IX Международная научно-практическая конференция

IX International Scientific and Practical Conference
"INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING"
ISPCIME-2018

ИННОВАЦИИ В МАШИНО-СТРОЕНИИ 2018

ИнМаш—2018,
посвященная **75-летию технологического образования на Алтае**

24—26 октября
Барнаул, Россия

Сборник трудов

24—26 October
Barnaul, Russia

Materials

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Polzunov Altai State Technical University

УДК 621–048.32

И 665

Инновации в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции/ под. ред. А.М. Маркова, А.В. Балашова, М.В. Доц,– Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 537с.

ISBN 978-5-7568-1263-3

В сборнике представлены труды IX Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении (ИнМаш – 2018)», посвященные современным проблемам развития машиностроительной отрасли. Представлены разработки в области оборудования, инновационных технологий, автоматизации производства, материаловедении, экономики, менеджмента и образования в области машиностроения.

Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 18 – 08 – 20108

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Марков Андрей Михайлович – доктор технических наук, профессор, ректор Алтайского государственного технического университета, г. Барнаул, Россия

Заместитель председателя

Леонов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Почетные члены комитета

Сакович Геннадий Викторович - доктор технических наук, профессор, научный руководитель ИПХЭТ СО РАН, г. Бийск, Россия

Альт Виктор Валентинович руководитель СибФТИ, академик РАН, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, Академик Национальной Академии Наук Монголии

Суслов Анатолий Григорьевич – доктор технических наук, профессор МАМИ, г. Москва, Россия

Гузеев Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, почётный машиностроитель России, действительный член международной академии наук, Международной академии о природе и обществе, член ассоциации инженеров России, г. Челябинск, Россия

Счигёл Норберт – доктор технических наук, профессор, Ченстоховский политехнический университет, г. Ченстохова, Польша

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, директор ИВЭП СО РАН, г. Барнаул, Россия

Рахимянов Харис Магсуманович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения НГТУ, г. Новосибирск, Россия

Батаев Анатолий Андреевич – доктор технических наук, профессор, ректор Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, Россия

Блюменштейн Валерий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения КузГТУ, г. Кемерово, Россия

Бородин Владимир Андреевич - доктор экономических наук, профессор, председатель Вольного экономического общества Алтайского края, член-корреспондент Сибирской академии наук Высшей школы, академик Международной Академии науки и практики организации производства, г. Барнаул, Россия

Гурьев Алексей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры начертательной геометрии и графики, АлтГТУ, г. Барнаул, Россия, профессор Уханьского текстильного университета, г. Ухань, Китай

Янюшкин Александр Сергеевич – доктор технических наук, профессор, г. Чебоксары, Россия

Клименко Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина

Пантелеенко Фёдор Иванович – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Жайлаубаев Далел Тлеугазиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения и механики Государственного университета им. Шакарима г. Семей, Казахстан

Томас Хассел – доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен, Германия

Монико Грайф – профессор, доктор технических наук, Высшая школа Рейн-Майн, Университет прикладных наук, г. Рюссельхайм, Германия

Флориан Нюрнбергер – доктор технических наук, Ганноверский университет Вильгельма Лейбница, г. Гарбсен, Германия

Попов Андрей Юрьевич – доктор технических наук, профессор, ОмГТУ, г. Омск, Россия

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель

Балашов Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Заместители председателя

Доц Марина Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Члены комитета

Леонов Сергей Леонидович - доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Хоменко Валерий Андреевич - доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения, АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Аскалонова Татьяна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Ситников Александр Андреевич - доктор технических наук, профессор кафедры наземных транспортно-технологических систем АлтГТУ, исполнительный директор Инновационно-технологического центра, г. Барнаул, Россия

Иконников Алексей Михайлович - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Шептаева Ольга Игоревна – учебный мастер кафедры технологии машиностроения АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

Мозговой Николай Иванович - кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения АлтГТУ, г. Барнаул, Россия

УДК 621–048.32

ISBN 978-5-7568-1263-3

© Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2018
© Новосибирский государственный технический университет, 2018
© Бийский технологический институт, 2018
© Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2018

Уважаемые коллеги!

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова был образован на базе Запорожского машиностроительного института, эвакуированного в Барнаул в военный 1941 г. Тогда Алтайский машиностроительный институт должен был готовить кадры для военных нужд. Шли годы, в вузе появлялись новые специальности, образовывались факультеты, но неизменным оставалось одно – технический профиль крупнейшего вуза региона. За все годы своего существования вуз выпустил не один десяток тысяч высококвалифицированных специалистов для машиностроения Алтайского края и всей страны.

Сегодня машиностроение – одна из важнейших отраслей промышленности Алтайского края. Благодаря добросовестному труду специалистов отрасль машиностроения в регионе продолжает динамично развиваться, внедряются новые технологии.

Одна из важнейших задач для АлтГТУ – подготовка высококлассных специалистов для развивающейся экономики нашей страны, в которой ключевая роль отводится именно машиностроительному комплексу.

Век высоких технологий подтверждает роль и потенциал российского машиностроения. С каждым годом эта специальность становится все более востребованной, на смену опытным конструкторам и технологам приходят не менее талантливые студенты, которые стремятся быть продолжателями великих инженеров.

Уважаемые участники IX Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении», убежден, что ваш высокий профессионализм позволит достичь успехов в деле возрождения и развития отечественного машиностроения, а предложенные вами проекты станут началом большого прорыва в области машиностроения и воплощением их в реальный товарный продукт.

Ректор
Алтайского государственного
технического университета
им. И.И. Ползунова
докт.техн.наук, профессор Андрей Михайлович Марков

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Инновационные технологические процессы изготовления деталей, сборки машин и заготовительного производства	**16**	Section 1. Innovative technological processes of detail creation, machine assembling and blank production
СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА *Аскалонова Т.А.*	**16**	**WAYS TO IMPROVE DURABILITY OF DIAMOND TOOLS WHEN HONING SMALL DIAMETER HOLES** *Askalonova T.A*
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЬЕВ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ШЛИФОВАНИИ *Братан С.М., Левченко Е.А., Крамарь В.А.*	**21**	**RESEARCH OF QUALITY OF THE BLANKET OF TEETHS OF HIGH-PRECISION COGWHEELS WHEN GRINDING** *Bratan S.M., Levchenko E. A., Kramar V. A.*
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОРОТКОГО КРУГОВОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕГО ЦИЛИНДРА С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННОГО РАСПУХАНИЯ *Хвисевич В.М., Веремейчик А.И.*	**27**	**THE STRESS-STRAIN STATE OF FUEL SHORT CIRCULAR CYLINDER SUBJECT TO RADIATION SWELLING** *Khvisevich V.M., Veremeichik A.I.*
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПАТРОНА .410 MAGNUM *Иконников А.М., Федоров Ю.В., Афанасов О.В.*	**35**	**IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY OF THE QUALITY ASSESSMENT OF THE PATRON QUALITY .410 MAGNUM** *Ikonnikov A.M., Fedorov Yu.V., Afanasov O.V.*
СТЕРЖНЕВОЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ РАВНООСНОГО ЛИТЬЯ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГТД) ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ *Деменок А. О., Павлинич С. П., Деменок О. Б., Ганеев А. А., Гайнцева Е. С., ХайруллинТ.А.*	**40**	**CORE MATERIAL FOR EQUIAXIAL CASTING OF COOLED BLADE OF GAS TURBINE ENGINES (GTE) FROM HEAT-RESISTANT ALLOYS** *Demenok A.O., Pavlinich S.P., Demenok O.B., Ganeev A.A., Gayntseva E.S., Khayrullin T.A.*
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТОЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ *Еренков О.Ю., Федорова Г.Н.*	**46**	**THE TURNING PROCESS COMPARING ANALYSIS OF ON THE BASE OF TECHNOLOGICAL SYSTEM OSCILLATIONS MODEL** *Erenkov O.Yu., Fedorova G.N.*
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ КАПРОЛОНА ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК *Еренков О.Ю.*	**52**	**INVESTIGATION OF CAPRILON TURNINIG PROCESS QUALITY AFTER WORK PIECES HEAT TREATMENT** *Erenkov O.Yu.*
ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОСЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК *Еренков О.Ю.*	**57**	**INVESTIGATION OF THERMOPLASTICS TURNINIG PROCESS QUALITY AFTER WORKPIECES ULTRASONIC TREATMENT** *Erenkov O.Yu.*

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ТОЧНОЙ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ АГРЕГАТОВ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ	**64**	**SOLUTION OF THE ISSUE OF PRESISES SAFT ALIGNMENT OF MARINE GASTURBINE UNITS AT THE TEST FACILITY**
Ерошков В.Ю.		*Eroshkov V. Yu.*
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «АНАЛИЗА ОТКАЗОВ» И ФОНДА ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ	**72**	**IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS BY THE METHOD OF "FAILURE ANALYSIS" AND THE FOUNDATION OF HEURISTIC TECHNIQUES**
Фирсов А.М., Овчаренко А.Г., Смирнов В.В., Ромашев А.Н.		*Firsov A.M., Ovcharenko A.G., Smirnov V. V., Romashev A. N.*
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ РАСТВОРЕНИЕ СПЛАВА 82К3ХСР В 10% ВОДНОМ РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ	**79**	**ELECTROCHEMICAL SOLUBILITY OF 82K3XSR ALLOY IN 10% AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM CHLORIDE**
Гаар Н.П., Рахимянов К. Х., Иванова М. В., Барышева Е. С.		*Rakhimyanov K. Kh., Gaar N.P., Ivanova M.V., Barisheva E. S.*
АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АМОРФНО-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА 5БДСР В 10% ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НИТРАТА И СУЛЬФАТА НАТРИЯ	**83**	**ANODIE BEHAVIOR OF AMORPHO-NANOCRYSTALLINE 5BDSR ALLOY IN 10% WATER SOLUTIONS NITRATE AND SULFATE OF SODIUM**
Гаар Н.П., Рахимянов К. Х., Иванова М. В., Мураткозиев П.Е.		*Gaar N.P., Rakhimyanov K. Kh., Ivanova M.V., Muratkoziev P.E.*
КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАДПИСЕЙ	**87**	**THE CLASSIFICATION OF INSTRUMENTS FOR THE APPLICATION OF TECHNICAL INSCRIPTIONS**
Гончаров В.Д., Соломин Д.Е.		*Goncharov V.D., Solomin D.E.*
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	**92**	**THE DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF ADAPTIVE MILLING PROCESS CONTROL ON CNC USING ACOUSTIC EMISSION SIGNAL**
Горин Е.Ю., Кряжев Ю. А., Обложок Д.Н.		*Gorin E. Yu., Kryazhev Yu. A., Oblozhok D.N.*
СПОСОБЫ ПРАВКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТНОГО ИНДУКТОРА	**97**	**WAYS TO CORRECT THYEWORKING SUEFACE OF THE MAGNETIC INDUCTOR**
Иконников А.М., Князев Е.В.		*Ikonnikov A.M., Knyazev E.V.*
ДИНАМИЧЕСКИЕ КОНТАКТНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В СОПРЯЖЕНИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	**102**	**DYNAMIC CONTACT DEFORMATIONS IN THE CONNECTIONS OF MACHINE-BUILDING CONSTRUCTIONS**
Максименко А.А., Перфильева Н.В., Лексейцев А.И.		*Maksimenko A.A., Perfilieva N.V., Alexeytsev A.I.*

ПРИБЛИЖЕННЫЕ РАСЧЕТЫ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА	**106**	**APPROXIMATE CALCULATIONS OF THE RESOURCE DETAILS AT THE STAGE OF TECHNICAL DESIGN**
Маньшин Ю. П, Маньшина Е. Ю.		*Manshin Yu.P., Manshina E.Yu.,*
СОКРАЩЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ	**113**	**REDUCTION OF COSTS OF DESIGNING MILLING OPERATIONSFOR PARTS THAT CONTAINCOMPLEX PROFILE SURFACES**
Маркова М.И., Негруленко Д.Н.		*Markova M.I., Negrulenko D.N.*
СТОЙКОСТЬ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТЕКЛОПЛАСТИКА	**117**	**THE RESISTANCE OF THE TWIST DRILL IN THE PROCESSING OF FIBERGLASS**
Маркова М.И., Попазов В.А., Су Цзянь		*Markova M.I., Popazov V.A., Su Jian*
ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ В ДЕТАЛЯХ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ	**122**	**QUALITY ASSURANCE OF PARTS PRODUCTION FROM COMPOSITES**
Иконников А.М., Федоров Ю.В., Одинаева В.О.		*Ikonnikov A.M., Fedorov Yu.V., Odinaeva V.O.*
РАСЧЕТ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ	**125**	**CALCULATION OF FORCES OF ACTION IN THE WORKING CLEARANCE ATMAGNETICALLY ABRASIVE PROCESSING**
Иконников А.М., Гребеньков Р.В., Панченко А.Д.		*Ikonnikov A.M., Grebenkov R.V., Panchenko A.D.,*
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ	**130**	**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TRAJECTORY OF MOTION OF THE TOOL ON THE ROUGHNESS OF THE PROCESSED SURFACE WITH MAGNETIC ABRASIVE TREATMENT**
Иконников А.М., Панченко А.Д.		*Ikonnikov A.M., Panchenko A.D.*
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ИНДУКТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ	**134**	**CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE MAGNETIC FIELD IN THE WORKING LIMIT FOR MAGNETIC-ABRASIVE TREATMENT OF THE INDUCTOR ON CONSTANT MAGNETS**
Иконников А.М., Черданцев А.О., Просеков С.С.		*Ikonnikov A.M., Cherdancev A.O, Prosekov S.S.*
ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТРАТАМИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	**141**	**APPLICATION OF QUALITY MANAGEMENT TOOLS TO COST MANAGEMENT BY THE EXAMPLE OF RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES**
Ромашев А.Н., Северова М.О., Ромашева М.А.		*Romashev A.N., Severova M.O., Romasheva M.A.*
ЛЕЗВИЙНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЗАКАЛЁННОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ТВЁРДОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ	**147**	**BLADE PROCESSING OF DETAILS FROM HARDENED STEEL BY METHOD OF SOLID MILLING**
Сединин И. Н., Макаров В.Ф., Крохин А.Н.		*Sedinin I.N., Makarov V.F., Krokhin A.N.*

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	**152**	**INFLUENCE OF ULTRASONIC SURFACE HARDENING MODE ON THE SURFACE RELIEF OF PARTS MADE OF PLIABLE MATERIALS**
Живага А. А., Семенова Ю.С.		*Semenova Yu. S., Zhivaga A. A.*
ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ	**157**	**SELECTION OF SOFTWARE FOR VIRTUAL MODELING OF CASTING TECHNOLOGICAL PROCESSES**
Иванкова Е.Е., Семенова Ю.С.		*Ivankova E.E.,Semenova Yu.S.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ГРАВИРОВАНИИ	**161**	**STUDY OF THE WEAR OF THE CUTTING TOOL IN ENGRAVING**
Балашов А.В., Соломин Д.Е.		*Balashov A.V., Solomin D. E.*
ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	**166**	**EVALUATION OF THE STRENGTH PROPERTIES OF CAST STEELS AFTER DIFFERENT TYPES OF HEAT TREATMENT**
Татаринцев В.А., Толстошеев А.К.		*Tatarintsev V.A., Tolstosheyev A.K.*
ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ВОЛЬФРАМО – КОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ	**172**	**INVESTIGATION OF ANODIC BEHAVIOR OF TUNGSTEN – COBALT ALLOYS DURING THE ELECTROCHEMICAL PROCESSING**
Рахимянов Х.М., Василевская С.И., Джавадова С.В.		*Rakhimyanov Kh.M., Vasilevskaya S.I., Dzhavadova S.V.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ДНА И ПРИДОННОГО УЧАСТКА ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫТЯЖКИ С УТОНЕНИЕМ	**178**	**STUDY OF THE CHANGE THE SHAPE OF THE BOTTOM OF THE CARTRIDGE CASE IN DEEP DRAWING**
Верещагин П.В., Колесников Д.Ю.		*Vereshchagin P.V., Kolesnikov D.Yu.*
ВЛИЯНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАССЕИВАНИЕ ПУЛЬ	**182**	**INFLUENCE OF BALLISTIC AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DISPERSION OF BULLETS**
Верещагин П.В., Самарин Р.А.		*Vereshchagin P.V., Samarin R.A.*
ДИАГНОСТИКА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПОДХОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ	**189**	**SURFACE ROUGHNESS DIAGNOSTICS BASED ON NONLINEAR DYNAMICS APPROACHES**
Верещагина А.С., Верещагин В.Ю.		*Vereshchagina A. S., VereschaginV.Yu*
РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПРОТЕЗ КИСТИ РУКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОПРИВОДА	**194**	**ROBOTIC ARM PROSTHESIS ON THE BASIS OF A HYDRAULIC ACTUATOR**
Гладыщук А.А., Некрасов В.Н.		*Gladychuk A.A., Nekrasov V.N.*
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА	**198**	**AUTOMATION OF QUALITY CONTROL OF TRAINING FROM THE STEEL OF SPECIAL PURPOSE IN THE PRODUCTION PROCESS**
Комаров Д.А., Некрасов В.Н., Черданцев А.О.		*Komarov D.A., Nekrasov V.N., Cherdatsev A.O.*

АНАЛИЗ СИЛ И МОМЕНТОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЖЕКТОРНОЕ СВЕРЛО И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ *Мурадов Т.И., Хоменко В.А.*	**202**	**INVESTIGATION OF ENERGY SUPPLY METHODS FOR REMOTE AND SPARSELY POPULATED SETTLEMENTS OF THE COUNTRY** *Muradov T.I., Homenko V.A.*
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ КОЛЕСНЫХ ПАР С БУКСОВЫМИ УЗЛАМИ *Пашкова Е.А., Мозговой Н.И.*	**206**	**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF ASSEMBLY OF WHEELSETS WITH AXLE-BOX NODES** *Pashkova E.A., Mozgovoy N.I.*
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ В ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЕ *Ромашев А.Н., Овчаренко А.Г., Смирнов В.В., Фирсов А.М.*	**212**	**DESIGN OF SHAPED CUTTERS IN THE GRAPHICAL ENVIRONMENT** *Ovcharenko A.G., Romashev A.N., Smirnov V.V., Firsov A.M.*
ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ ТЕРМОДИФФУЗИОННОМ ЦИНКОВАНИИ В ПОРОШКОВЫХ НАСЫЩАЮЩИХ СРЕДАХ *Ситкевич М.В., Булойчик И.А.*	**217**	**THE PERSPECTIVE OF INDUCTION HEATING APPLICATION IN THE SHERARDIZING TECHNOLOGIES OF OBTAINING ZINC ANTICORROSIVE LAYERS USING POWDER MIXTURES MATERIALS** *Sitkevich M.V., Buloichyk I.A.*
АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ТЭС С РАЗНОЙ МИКРОПОВРЕЖДЕННОСТЬЮ *Абабков Н. В., Смирнов А.Н.*	**223**	**THE ANALYSIS OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS IN METAL OF LONG WORKING TPP OBJECTS WITH DIFFERENT MICRODAMAGES** *Ababkov N.V., Smirnov A.N.*
ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ *Переверзев П.П., Акинцева А.В., Алсигар М.К.*	**228**	**THE USE OF DIGITAL TWIN FOR PREDICTING THE RELIABILITY TO CONTROL PROGRAMMING FOR CNC MACHINES** *Pereverzev P.P., Akintseva A.V., Alsigar M.K.*
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ *Извеков Ю.А., Никонова Т.Г.*	**233**	**ASSESSMENT OF QUALITY OF PROCESSING EQUIPMENT OF MACHINE-BUILDING PRODUCTIONS** *Izvekov Y.A., Nikonova T.G.*
МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ *Марков А.М., Гайст С.В., Салман А.М.*	**238**	**METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL DETERMINATION OF CUTTING FORCES DURING MACHINING** *Markov A.M., Gayst S.V., Salman A.M.*
Секция 2. Технологическое оборудование и автоматизация проектирования машиностроительных производств	**242**	**Section 2. Technological equipment and design automation of mechanical facilities**
АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ *Балашов А.В., Лукаш А.С., Болатов А.Б.*	**242**	**AUTOMATION OF THE SELECTION OF THE MEANS OF EQUIPMENT** *Balashov A.V., Lukash A.S., Bolatov A.B.*

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	**246**	**EXPERIENCE OF THE ORGANIZATION OF UNIFORM INFORMATION SPACES AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISE**
Калачев О.Н., Калачева Д.А.		*Kalachev O.N., Kalacheva D.A.*
ОБ УЧЕТЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИПУСКОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕХАНООБРАБОТКИ	**253**	**ABOUT ACCOUNTING OF FLUCTUATION ALLOWANCES IN THE AUTOMATION OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL DIMENSIONS OF MECHANICAL PROCESSING**
Калачев О.Н., Калачева Д.А.		*Kalachev O.N., Kalacheva D.A.*
ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ НА ЭТАПЕ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	**258**	**EVALUATE OF THE MANUFACTURABILITY PARAMETER AT EARLY DESIGN STAGE**
Лобанов А.В., Абраженин А.А.		*Lobanov A.V., Abrazhenin A.A.*
МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ	**264**	**MODEL OF ORGANIZATIONAL PROCESSES IN AUTOMATING THE INSPECTION OF WELDED JOINTS FOR PRODUCTS OF RESPONSIBLE USE**
Овечкин М.В.		*Ovechkin M. V.*
ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ	**268**	**PARAMETRIC DESIGN OPTIMIZATION**
Антибас И.Р., Савостина Т.П.		*Antibas I. R., SavostinaT.P.*
СИНТЕЗ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИС ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ В АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТАХ	**272**	**THE SYNTHESIS OF POSITIVE FEEDBACK WITH THE ADDITIONAL REGULATION IN THE ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES**
Шишкарев М.П.		*Shishkarev M.P.*
СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ С БИФУНКЦИОНАЛЬНЫМ УПРАВЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ	**280**	**THE SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE FRICTION CLUTCH A BIFUNCTIONAL CONTROL DEVICE**
Шишкарев М.П.		*Shishkarev M.P.*
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ	**288**	**COMPUTER MODELING USING FRACTALS FOR MICROGEOMETRY ARISING FROM SURFACE PROCESSING**
Смирнов В.В., Фирсов А.М., Ромашев А.Н., Овчаренко А.Г.,		*Smirnov V. V., Firsov A. M., Romaschev A.N., Ovcharenko A. G.,*
ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРТ НАЛАДКИ СТАНКОВ С ЧПУ С ПОМОЩЬЮ CAD/CAM СИСТЕМ	**293**	**DESIGN STAGES OF CARDS OF ADJUSTMENT OF CNC MACHINES BY MEANS OF CAD/CAM OF SYSTEMS**
Железняк И.С., Железняк Т.Е., Шерстобитова В.Н.		*Zheleznyak I.S., Zheleznyak T.E., Sherstobitova V.N.*

РАСКРОЙ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА *Железняк И.С., ЖелезнякТ.Е., Шерстобитова В.Н.*	**299**	**CUTTING OF THE SHEET HIRE** *Zheleznyak I.S., Zheleznyak T.E., Sherstobitova V.N.,*
ИНДУКЦИОННАЯ ТИГЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ С ПРОВОЛОЧНЫМ ИНДУКТОРОМ И КОЛЬЦЕВЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ *Левшин Г. Е.*	**305**	**INDUCTION CRUCIBLE FURNACE WITH A WIRE INDUCTOR AND A RING MAGNETIC CORE** *Levshin G. E.*
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА QFORM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ *Негруленко И.А., Мозговой Н.И.*	**312**	**THE USAGE OF SOFTWARE QFORM FOR SIMULATION OF THE PROCESSES OF OMD** *Negulenko I. A., Mozgovoy N.I.,*
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАСТРОЙКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ *Юсупов Ж.А.*	**319**	**TECHNOLOGY SETTINGS MULTI-FUNCTION MACHINES** *Yusupov Zh. A*
Секция 3 Нанотехнологии и материаловедение в машиностроении	**326**	**Section 3. Nanotechnologies and Material Sciences in machine-building industry**
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС, ПОЛУЧЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ *Балашов А.В., Заборцева М.Н., Елюбаева А.С., Ахметкали Б.К.*	**326**	**INCREASE IN THE ACCURACY OF THE GEARS, OBTAINED BY THE 3D-PRINTING** *Balashov A.V., Zaborceva M.N., Yelyubaeva A.S., Akhmetkali B.K.*
АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ РЕЗАНИИ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРЕЩИН *Еренков О.Ю., Федорова Г.Н.*	**334**	**ANALYSIS OF POLYMER MATERIALS TRESSED – DEFORMED STATE AT CUTTING WITH ACCOUNT OF CRACKS INTERACTION** *Erenkov O.Yu., Fedorova G.N.*
СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛ-КОМПОЗИТ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ *Маркин В.Б.*	**341**	**COMPOUNDS OF METAL COMPOSITEIN MODERN ENGINEERING** *Markin V.B.*
ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ИСХОДНОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ В СИСТЕМЕ TI–AL *Мясников А.Ю., Логинова М.В., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Яковлев В.И., Ситников А.А., Филимонов В.Ю., Негодяев А.З.*	**346**	**THE INFLUENCE OF PRELIMINARY MECHANICAL ACTIVATION ON THE STRUCTURAL-PHASE STATE OF THE INITIAL POWDER MIXTURE IN THE SYSTEM TI–AL** *Miasnikov A. Yu., Loginova M. V., Sobachkin A. V., Ivanov S. G., Yakovlev V. I., Sitnikov A. A., Filimonov V.Yu., Negodyaev A. Z.*
ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА TIAL В МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ γ-ОБЛУЧЕННОЙ СМЕСИ *Логинова М.В., Собачкин А.В., Ситников А.А., Яковлев В.И., Иванов С.Г., Мясников А.Ю., Филимонов В.Ю., Негодяев А.З., Градобоев А.В.*	**352**	**FEATURES OF HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS OF TI–AL IN A MECHANICALLY ACTIVATED γ-IRRADIATED MIXTURE** *Loginova M. V., Sobachkin A. V., Sitnikov A. A., Yakovlev V. I., Miasnikov A. Yu., Filimonov V.Yu., IvanovS. G., Negodyaev A. Z.,Gradoboev A. V.*

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА	**360**	**METHODS OF RESEARCH THE FRICTION MATERIAL DETAILS OF THE FRICTION UNIT DRAFT GEAR**
Марков А.М., Габец А.В., Иванов А. В., Габец Д.А.		*Markov A. M., Gabets A.V., Ivanov A. V., Gabets D. A.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЙ-МАГНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХМИНИАТЮРНОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	**366**	**RESEARCH OF DEFECTS OF ALUMINUM-MAGNESIUM ALLOYS BY USING SUBMINIATURE EDYY-CURRENT TRANSDUCER**
Григорьев А.А., Муравлев К.А., Катасонов А.О., Маликов В.Н.		*Grigoriev AA, Muravlev KA, Katasonov AO, Malikov V.N.*
АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ	**371**	**ANALYSIS OF STRUCTURAL-PHASE STATE SURFACE-LAYER METAL AFTER MECHANICAL TREATMENT OF CUTTING BY TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY**
Пимонов М.В., Левашова Е.Е., Абабков Н.В., Попова Н.А., Конева Н.А.		*Pimonov M.V., Levashova E. E., Ababkov N.V., Popova N.A., Koneva N.A.*
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ	**378**	**PERSPECTIVES OF APPLICATION OF MATERIALS WITH MEMORY OF THE FORM**
Труфанов А. Е.		*Trufanov A.E.*
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВАНА ТРЕЩИНОУСТОЙЧИВОСТЬ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ	**383**	**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION ON THE CRACKABLE STABILITY OF CHROMONIC STEELS**
Черканов В.В., Алексейцев А.И.		*Cherkanov V.V., Alexeytsev A.I.*
Секция 4. Упрочняющие технологии и функциональные покрытия	**388**	**Section 4. Strengthening technologies and functional coatings**
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНДЕНТОРОВ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	**388**	**INVESTIGATION OF WEAR-RESISTANCE OF INDENTERS DURING REINFORCING FINISHING TREATMENT WITH ULTRASONIC TOOLS**
Гилета В.П., Безнедельный А.И.		*Gileta V.P., Beznedelnyy A.I.*
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНО-СИЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКЕ	**394**	**DETERMINATION OF CONTACT FORCE PARAMETERS OF THE PROCESS COLD FORMING DIE TOOLING**
Щербинин Д.С., Горин Е.Ю, Кряжев Ю.А.		*Shcherbinin D.S., Gorin E.Yu., Kryazhev Yu.A.*
РАСЧЕТ СИЛ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ	**399**	**CALCULATION OF THE MAGNETIC FIELD FOR MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING**
Леонов С. Л., Иконников А.М., Гребеньков Р.В., Кульавик А. А.		*Leonov S.L., Ikonnikov A.M., Grebenkov R.V., Adam Kulawik,*

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ	**404**	**STRENGTHENING OF SURFACE STEEL PARTS BY ELECTRIC-SCREEN METHOD DIESING**
Коротин В.О.		*Korotin V.O.*
ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЁННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ	**408**	**PLASMA SPRAING OF POWDER COATINGS**
Иконников А. М., Малышев С. О., Федоров В. А.		*Ikonnikov A.M.,Malyshev S.O., Fedorov V.A.*
ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МИКРОТВЕРДОСТИ С ПАРАМЕТРАМИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ	**411**	**CORRELATION EVALUATION OF MICROHARDNESS WITH SIGNAL PARAMETERS OF ACOUSTIC STRUCTURE EXAMINATION**
Мирошин И.В., Петренко К. П.		*Miroshin I. V., Petrenko K. P.*
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ППД	**418**	**CURRENT STATE AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF SPD PROCESSES**
Митрофанова К.С.		*Mitrofanova K.S.*
МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ	**424**	**METHODS OF APPLICATION OF SOLID COATINGS**
ГилетаВ. П., Никитин В. Ю., Иванова М.В.		*Gileta V.P., Nikitin V.Yu., Ivanova M.V.*
КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НАПЛАВКОЙ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА	**429**	**TECHNOLOGY FOR OBTAINING A DIFFUSIVELY ALLOYED WEAR-RESISTANT COATINGS MADE OF METAL DISCARD BASED ON THE HARD FACING PROCESSES USING HIGH-FREQUENCY CURRENTS**
Щербаков В.Г.		*Shcherbakov V.G.*
АНАЛИЗ СХЕМ НАКАТЫВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ	**436**	**ANALYSIS OF SCHEMES OF ROLLING CYLINDRICAL AND CURVILINEARSURFACES ON TURNING MACHINE WITH CNC**
Учайкин С.Е.		*Uchaikin S.E.*
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА АДСОРБЦИИ АКТИВИРОВАННЫХ АТОМОВ БОРА, ХРОМА И ТИТАНА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ БОР-ХРОМ-ТИТАНИРОВАНИИ СТАЛЕЙ	**441**	**DETERMINATION OF THE MECHANISM OF ADSORPTION OF ACTIVATED OF BORON, CHROME AND TITANIUM ATOMS AT THE SIMULTANEOUSBOR-CHROME-TITANATION OF STEELS**
Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванова Т.Г., Мэй Шунчи		*Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Ivanova T.G., May Shungchi*
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОГО БОРИРОВАНИЯ ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫХ СРЕД	**446**	**DETERMINATION OF THE MECHANISM OF ADSORPTION OF ACTIVATED OF BORON, CHROME AND TITANIUM ATOMS AT THE SIMULTANEOUSBOR-CHROME-TITANATION OF STEELS**
Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Дон Яджи		*Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Don Jadzhie*

КОМПЛЕКСНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПОВЕРХНОСТНЫМ И ОБЪЕМНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ	**451**	**COMPREHENSIVE INCREASE OF DURABILITY OF WORKING BODIES OF SOIL PROCESSING MACHINES WITH SURFACE AND VOLUME SURFACE**
Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Щербаков В.Г.		*Constantinov V.M., Tkachenko G.A., Shcherbakou V.G.*
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА В ПРОЦЕССЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ	**458**	**THE ORETICAL MODEL OF DISTRIBUTION OF THE INTENSITY OF THE SHEAR STRAIN RATES IN THE PROCESS OF SURFACE PLASTIC STRAIN**
Останин О.А.		*Ostanin O.A.*
МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ ППД С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА УПРОЧНЯЕМОГО ТЕЛА	**463**	**THE SURFACE LAYER MECHANICAL CONDITION TRANSFORMING MODEL IN SURFACE PLASTIC DEFORMATION PROCESS WITH THE HARDENED BODY EFFECT CONSIDERATION**
Махалов М.С.		*Mahalov M.S.*
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ	**470**	**METHOD FOR CALCULATING THE CYCLIC LIFE OF HARDENED MACHINE PARTS TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL HEREDITY**
Кречетов А.А.		*Krechetov A.A.*
МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРОЧНЯЕМОГО МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССАХ ППД	**478**	**THE HARDENED METAL FEMODELING AND PLASTIC PROPERTIES CALCULATIONS IN THE SPD PROCESSES**
Блюменштейн В. Ю.		*Blumenstein V.Yu.,*
Секция 5. Организация машиностроительного производства и новые образовательные технологии в высшей школе	**486**	**Section 5. Management of machine-building industry and new educational technologies in higher education**
СОВРЕМЕННАЯ ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (НА МАТЕРИАЛАХ АЛТГТУ)	**486**	**MODERN DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT AS A TOOL OF DEVELOPMENT OF ENGINEERING EDUCATION (ON MATERIALS OF ASTU)**
Абсалямова Г.А.		*Absalyamova G. A.*
ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	**491**	**ANALYSIS OF MACHINING REGIMES AND THEIR INFLUENCE ON SURFACE ROUGHNESS WHILE HIGH-SPEED TURN-MILLING**
Андреев М.В., Кряжев Ю.А., Шитюк А.А.		*Kryazhev Yu. A., Andreev M.V., Shituk A.A.*
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SOLIDWORKS ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ МАШИН»	**498**	**USE OF A PROGRAM SET SOLIDWORKS DURING THE STUDY OF DISCIPLINE “THEORY OF THE MECHANISMS OF MACHINES”**

Балашов А.В., Ананьин С.В., Черданцев П.О., Черданцев А.О.		*Balashov A.V., Ananin S.V., Cherdantsev P.O., Cherdantsev A.O.*
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯМАТЕРИАЛЬНЫХ И ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ	**505**	**IMPROVEMENT OF NORMATING OF MATERIAL AND LABOR RESOURCES OF THE ENTERPRISE**
Дронова О.Б.		*Dronova O.B.*
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ	**513**	**METHODOLOGICAL FEATURES OF USING PARAMETERIZATION IN THE DESIGN**
Дьяченко А.Г., Савостина Т.П.		*Dyachenko A. G., Savostina T.P.*
ОБЪЕМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛТАЙСКОГО КРАЯ В ЦИФРАХ	**518**	**VOLUME MACHINE-BUILDING PRODUCTION OF ALTAI REGION IN FIGURES**
Мягкова Н.А.		*Myagkova N.A.*
О ПОСТАНОВКЕ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВО	**522**	**THE STATEMENT OF INNOVATIVE PRODUCTS FOR PRODUCTION**
Мягкова Н.А.		*Myagkova N.A.*
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В СРЕДЕ ARENA	**527**	**IMITATION MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MACHINE-BUILDING IN ARENA**
Белоногов В.А., Кутышкин А. В., Шашок А. В.		*Belonogov V.A., Kutyshkin A.V., Shashok A.V.*
РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА В НГТУ	**534**	**DEVELOPMENT OF ECONOMIC COMPETENCES OF THE FUTURE ENGINEER AT NSTU**
Низовкина Н.Г.		*Nizovkina N.G.*

УДК 621.357.3

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

АСКАЛОНОВА Т.А.[1], канд. техн. наук, доцент,
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Аскалонова Т.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: ata42@mail.ru

Аннотация

В статье описан способ повышения стойкости хонинговальных брусков при обработке точных отверстий малого диаметра (ø8-15мм). Обеспечивается это созданием новой конструкции хонинговальной головки (хонголовки) на основе синтеза технических решений функционально-стоимостного анализа двенадцати патентов конструкций головок. Повышение стойкости комплекта брусков достигается за счёт более эффективного использования алмазоносного слоя в оригинальной конструкции механизма разжима брусков. На конструкцию хонинговальной головки получен патент на полезную модель.

Ключевые слова: хонинговальная головка, механизм разжима, синтез, техническое решение, полезная модель, циклойда, разжимной шток, стойкость брусков, алмазоносный слой, радиальная подача, патент, точные отверстия, малый диаметр, система числового программного управления.

Введение

Операция хонингования по-прежнему остаётся наиболее распространенной при отделочной обработке точных отверстий у многих деталей, в частности, деталей топливной аппаратуры. Следует отметить, что при обработке отверстий малого диаметра (ø8-10мм) в таких деталях, как втулка плунжера топливного насоса, предпочтение отдаётся алмазному хонингованию, обеспечивающему исправление исходных геометрических погрешностей, высокую производительность и стабилизацию качества[1,2,3]. Эти возможности во многом определяются конструкцией хонинговального инструмента и особенностями механизма радиальной подачи алмазных брусков. Целью данных исследований является разработка новой конструкции хонголовки, обеспечивающей повышение стойкости комплекта хонинговальных брусков.

Материал и методика исследований

Традиционно для обработки отверстий малого диаметра используются хонголовки, имеющие 2,3,4 бруска. С уменьшением количества брусков повышается жёсткость конструкции, но снижается стойкость инструмента и производительность процесса. Наиболее эффективной является конструкция с 2-мя алмазными брусками, обеспечивающая оптимальное сочетание жёсткости и производительности.

Одним из вопросов экономической целесообразности внедрения алмазного хонингования при обработке отверстий малого диаметра является стойкость комплекта

брусков. При этом надо иметь ввиду значительную трудоёмкость замены брусков, связанную с их тщательной пригонкой с корпусом головки и разжимным штоком. Кроме того, необходима приработка брусков, при которой происходит бесполезный расход алмазов до 10-12%. [4,5,6]

Стойкость комплекта брусков в основном определяется следующими факторами:

– эффективным объёмом алмазного слоя;

– геометрическими параметрами брусков и их характеристикой;

– технологическими условиями обработки.

На рисунке 1 представлена наиболее распространённая конструкция головки для хонингования точных отверстий диаметром 8-20 мм. Головка жёстко закреплена в шпинделе станка. Разжимной шток 2 получает осевую подачу от силового механизма станка и через коническую поверхность обеспечивает радиальную подачу хонинговальным брускам. Крутящий момент передаётся через корпус головки 3. Для выявления наиболее значительного элемента был проведён функционально-стоимостной анализ (ФСА) представленной конструкции хонинговальной головки [7]. Построенная функционально-стоимостная диаграмма (ФСД), отражающая «значимость-затраты» всех элементов анализируемой конструкции, показала, что наиболее значимыми являются элементы, выполняющие функцию радиальной подачи брусков. В этом же блоке наблюдается и наибольшее рассогласование между затратами и значимостью элементов. Это позволяет сделать вывод, что совершенствование конструкции необходимо вести в направлении совершенствования элементов, выполняющих указанные функции.

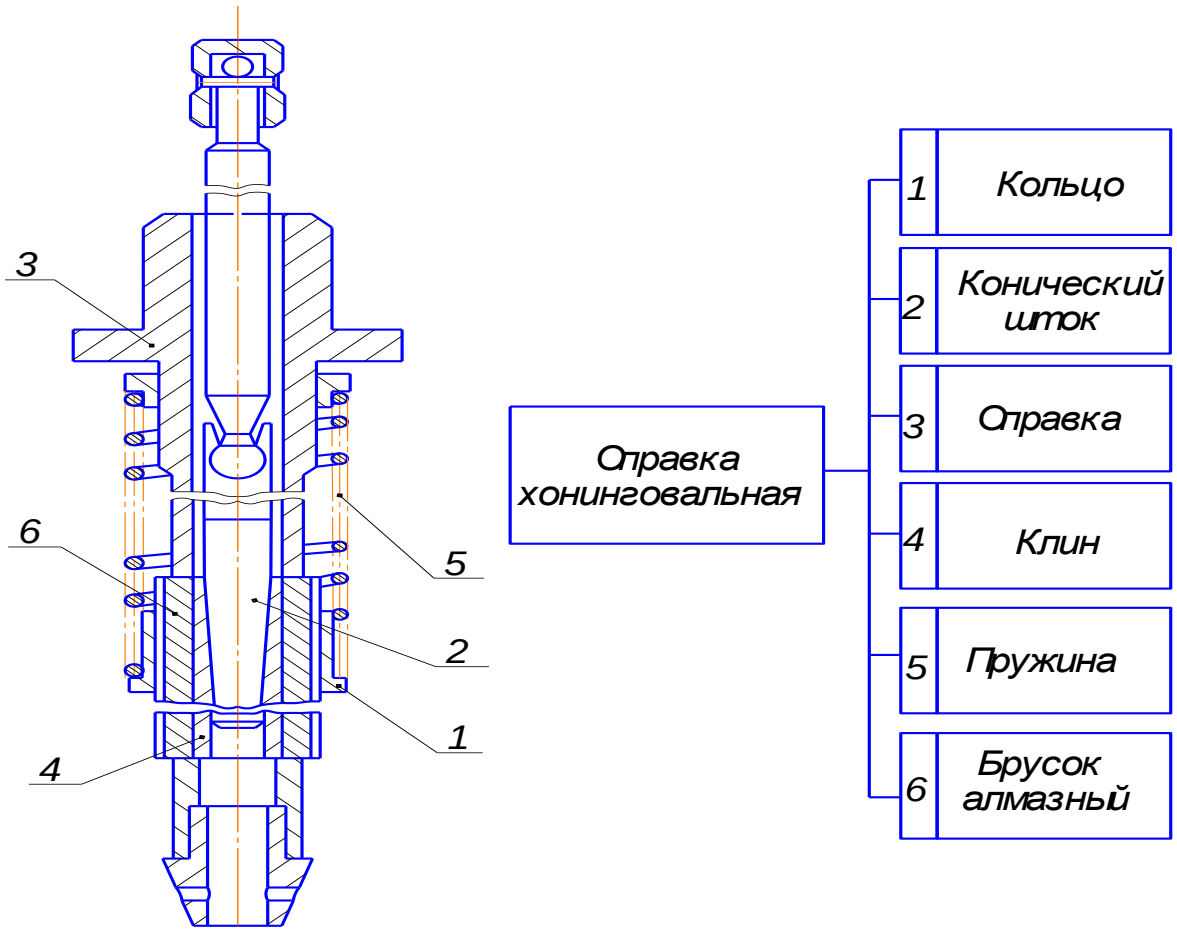


Рисунок 1 – Структурная - модель хонинговальной головки.

Проектирование новой конструкции хонголовки осуществлялось с использованием синтеза технических решений на основе И-ИЛИ графе. Данный метод позволяет в автоматизированном режиме синтезировать множество технических решений, соответствующих разработанному техническому заданию.

Обзор литературных источников, авторских свидетельств и патентов показал, что в настоящее время существует множество различных конструкций хонинговальных головок, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки[2,4,5]. В результате анализа отобранных 12 патентов выявлены следующие признаки: форма корпуса; способ передачи крутящего момента; движение разжимного механизма; вид брускодержателя; способ разжима брусков; форма алмазно-абразивных элементов. Для каждой из алмазных конструкций было построено И-дерево.

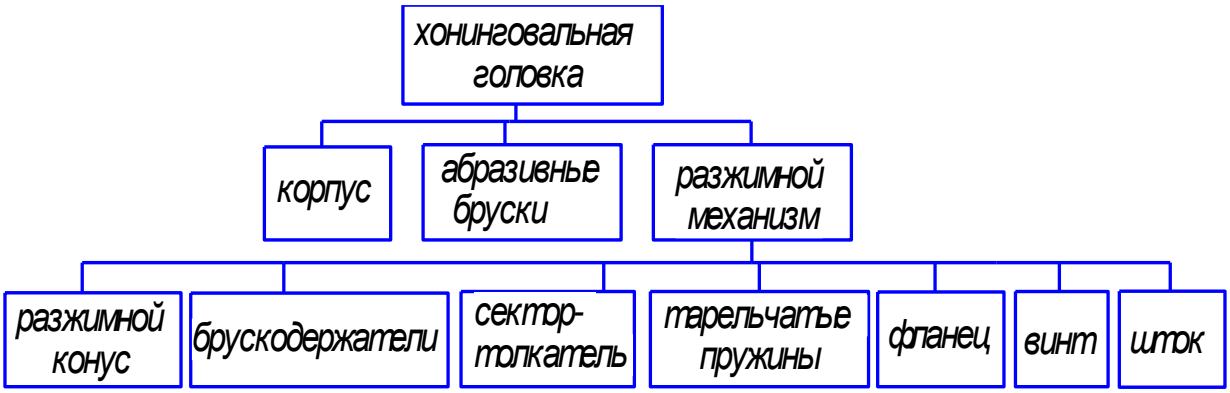


Рисунок 2 - И- дерево хонголовки.

Результаты и обсуждение

Основным недостатком анализируемых конструкций является неполное использование объёма алмазоносного слоя брусков и их неравномерный износ. Объясняется это тем, что базирование брусков осуществляется по пазам корпуса головки и возможен их перекос в пределах зазора между бруском и пазом корпуса, что приводит к неравномерному износу. Кроме того, сопряжение конической поверхности брусков с усечённым конусом разжимного штока не обеспечивает надёжного контакта, что снижает точность радиальной подачи брусков. В рассматриваемых конструкциях головок она совершается принудительно на каждый двойной ход головки. Малый угол скоса разжимного конуса, размер которого ограничивается размерами обрабатываемого отверстия, приводит к невозможности полного использования толщины алмазоносного слоя. Вследствие этого, при построении расширенного И-ИЛИ-дерева было добавлено техническое решение, направленное на расширение этого «узкого места».

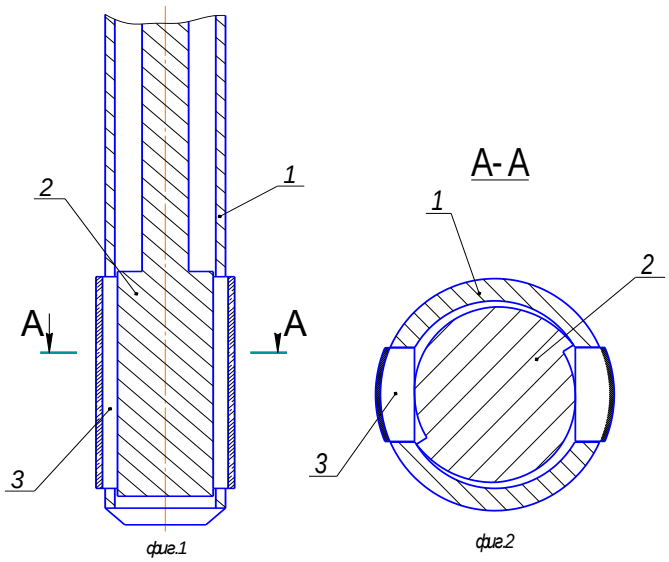


Рисунок 3 - Конструкция хонинговальной головки, полученная методом синтеза технических решений.

Техническое задание, сформулированное с учётом вышесказанного, позволило из множества синтезированных технических решений отобрать конструкцию, отвечающую поставленной задаче. На разработанную конструкцию хонинговальной головки получен патент на полезную модель [8].Полное использование толщины алмазоносного слоя брусков и повышение точности радиальной подачи брусков обеспечивается возможностью движения брусков в радиальном направлении разжимным штоком принципиально новой конструкции (рисунок 3).

На участке, контактирующем с брусками, разжимной шток выполнен в виде двух полуцилиндров, смещённых относительно друг друга в поперечном направлении, криволинейные поверхности которых образованы циклойдами. Верхний конец разжимного штока соединён с шаговым двигателем хонинговального станка с ЧПУ. При повороте разжимного штока 2 на соответствующий угол происходит перемещение брусков 3 на величину, равную требуемой радиальной подаче. Полное использование толщины алмазного слоя достигается управлением цикла работы шагового двигателя станка, который рассчитывается с учётом коэффициента подъёма циклоиды. Повышение точности радиальной подачи обеспечивается локализацией площади контакта брусков с криволинейными поверхностями циклоид разжимного штока.

Выводы

Предлагаемая конструкция механизма разжима брусков позволяет повысить точность радиальной подачи и эффективнее использовать алмазоносный слой брусков.

Новый способ разжима хонинговальных брусков рекомендуется реализовать на современных хонинговальных станках с числовым программным управлением.

Применение заявленной конструкции хонинговальной головки для обработки отверстий малого диаметра приводит, по нашим данным, к повышению стойкости комплекта брусков на 20-25%, а значит и к снижению себестоимости продукции.

Список литературы

1. Муратов К.Р., Гашев Е.А. Методы хонингования высокоточных отверстий// Современные проблемы науки и образования.-2014.-№5.

2. Вайнштейн Б.Н. Рациональные конструкции хонинговальных головок// Управление качеством финишных методов обработки. Сборник научных трудов. Пермь ППИ, 1996. С.107- 110.

3. Горленко О.А., Бишутин С.Г. Модель рабочей поверхности абразивного инструмента // СТИН. №11. 1999. - С.25-28.

4. Каяшев А.И, Романчук В.А. Механизм с ЧПУ для радиальной подачи хонинговальных брусков // Станки и инструмент. 1992, №1. С.2-3.

5. Кудояров Р.Г., Евсеев Ю.М. Автоматизация управления хонинговальным оборудованием //Автоматизированные технологические и мехатронные системы в машиностроении. Сборник научных трудов. Уфа, 1997. – с. 66.

6. Кудояров Р.Г. Особенности алмазного хонингования при изготовлении точных отверстий деталей авиационных агрегатов// Изв. вузов. Авиационная техника, 2002, №2. – С.49-51

7. Моисеева, Н.К., Карпунин, М.Т. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа: Учеб. Пособие для техн. спец. Вузов. – М.: Высш. шк., 1988. – 192 с.

8. Моисеев, Н.Н. Математические задачи системного анализа. Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 487 с.

WAYS TO IMPROVE DURABILITY OF DIAMOND TOOLS WHEN HONING SMALL DIAMETER HOLES

Askalonova T.A, PhD (Engineering), Associate Professor

Askalonova T.A

656038, Barnaul, Lenin Ave., 46
PolzunovAltai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract

The article describes a method of increasing the resistance of honing bars in the processing of accurate holes of small diameter (ø8-15mm). In connection with the spread of diamond honing, a lot of work is being done to improve the designs of honing machines, in particular, the mechanisms for uncompressing bars using numerical control systems. The new design of the honing head is based on the synthesis of technical solutions of functional and cost analysis of twelve patents describing the design of the heads. Increasing resistance set of bars in the proposed design are achieved through more efficient use of the diamond layer with the original design of the release mechanism of the bars. The proposed design allows to increase the accuracy of the radial feed bars. The design of the honing head received a patent for the utility model.

Keywords: honing head, the mechanism of release, synthesis, technical solution, useful model, the cycloid, unclamp the stock, resistance bars, the diamond layer radial flow, patent, precise holes, small in diameter, the numerical control system.

УДК 621.91.01

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЬЕВ ВЫСОКОТОЧНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПРИ ШЛИФОВАНИИ

БРАТАН С.М.[1], докт. техн. наук, профессор
ЛЕВЧЕНКО Е.А.[1], канд. техн. наук, доцент
КРАМАРЬ В.А.[1], докт. техн. наук, профессор
([1] СевГУ, г. Севастополь, Россия)

Братан С.М., Левченко Е.А., Крамарь В.А.

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33,
Севастопольский государственный университет
e-mail: serg.bratan@gmail.com;
e-mail: ealev1978@mail.ru;
e-mail: info@sevsu.ru

Аннотация

Рассмотрены особенности изменения показателей качества поверхностного слоя зубьев зубчатых колес при шлифовании. Проведен анализ деформировано-напряженного состояния и контактной нагрузки при работе зубчатых колес. Представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию режимов профильного зубошлифования на качество поверхностного слоя при обработке зубчатых колес. Установлен характер интенсификации режимов обработки с образованием структурных изменений в поверхностном слое.

Ключевые слова: зубчатые колеса, качество поверхностного слоя, структурные изменения, микротвердость, контактная нагрузка, зубошлифование.

Введение

Для современных условий развития мировой экономики характерна ориентация на наукоемкое и высокотехнологичное производство, которое может обеспечить высокий уровень продукции, ее конкурентоспособность при одновременном минимальном воздействии на окружающую среду. Одной из основных задач машиностроения является повышение надежности и долговечности деталей машин и механизмов [1 – 3].

Известно, что показатели качества изделий в решающей степени зависят от рационального построения технологических процессов: совершенная технология дает возможность улучшать физико-механические свойства материалов, а также экономическую эффективность производства [4]. Для повышения надежности работы сложных устройств необходимо совершенствовать технологию производства ответственных деталей, которые подвергаются значительным механическим нагрузкам. Это в полной мере относится и к зубчатым колесам. Эксплуатационные характеристики зубчатых колес зависят от их конструкции, используемых материалов, качества изготовления, способов контроля и условий эксплуатации. Для сохранения эксплуатационных характеристик зубчатых колес необходимо иметь четкое представление о причинах их снижения и на основе этой информации создавать новые технологические процессы, обеспечивающие в течение всего периода обработки необходимое качество и высокую производительность. В первую очередь это относится к чистовым и отделочным методам обработки, обеспечивающих формирование поверхностного слоя. Наиболее распространенным методом окончательной обработки зубчатых колес является шлифование.

Шлифование обеспечивает необходимую точность, но с его применением, из-за чрезмерной теплонапряженности, на боковых поверхностях зубьев появляются шлифовальные

дефекты (прижоги и трещины), которые в ряде случаев в процессе эксплуатации снижают их долговечность от 5 до 8 раз [2 – 5].

Результаты и обсуждение

Зубчатые колеса испытывают очень большие контактные нагрузки при высоких окружных скоростях и постоянной тенденции к снижению массы, габаритов и увеличению ресурса работы передачи (рис. 1). Повышение ресурса и вероятности безотказной работы зубчатых передач связано с обеспечением высокого качества рабочего слоя зубьев, которое определяет также эксплуатационные показатели как износостойкость, усталостная изгибная и контактная прочность зубьев.

Качество поверхностного слоя зубчатых колес характеризуется параметрами микро- и макрогеометрии, а также физико-механическими свойствами и остаточными напряжениями.

Рассматривая поверхностный слой, следует иметь в виду, что он резко отличается от основного материала, так как несет на себе следы технологии обработки, в результате которой возможно как упрочнение, так и образование слоев с дефектной структурой. При эксплуатации изделия постоянно нарастает процесс изменения свойств поверхности из-за силовых, температурных, окислительных и других воздействий.

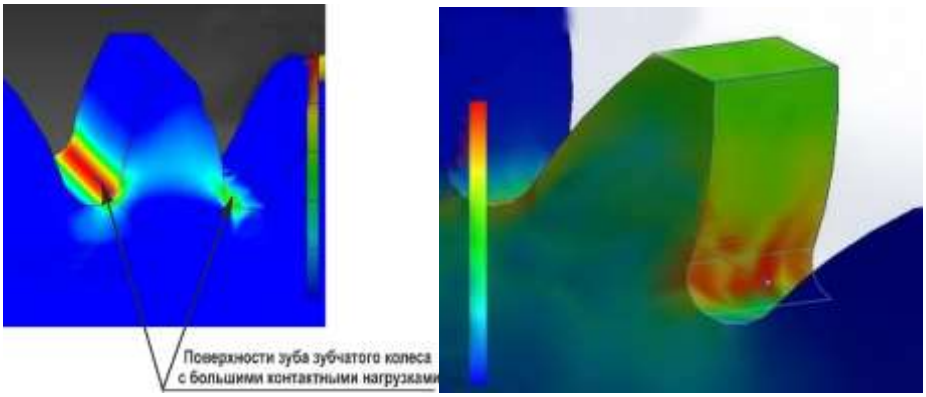


Рисунок 1–. Напряженно-деформированное состояние зубьев зубчатых колес при контактной нагрузке

Поверхностный слой с геометрической точки зрения определяется макрогеометрией поверхности и микрогеометрией, характеризуемой шероховатостью, волнистостью. Геометрические характеристики макро- и микрорельефа поверхности широко рассмотрены многими исследователями [1 – 5]. Зубчатые колеса главных передач характеризуются высокими требованиями к геометрии: 4-6 степени точности и шероховатостью поверхности 0,20...1,20 мкм. Обеспечение геометрических характеристик поверхностей при зубошлифовании обычно не вызывает затруднений. Значительно меньше разработана область научных и технических знаний о методах создания заданных физико-механических свойств рабочих поверхностных слоев деталей.

Целью отделочных операций является не только обеспечение требуемых параметров геометрической формы, размеров и шероховатости поверхности, но и получение заданной структуры и полезных остаточных напряжений в рабочем поверхностном слое.

Для высокоточных зубчатых колес основным методом придания требуемых свойств поверхностному слою служат отделочные виды обработки. Обеспечение этих свойств на предыдущих технологических операциях и их сохранение при последующем зубошлифовании вызывает на практике большие трудности. В машиностроении возникает еще ряд специфических проблем, обусловленных сложной конфигурацией зубчатых колес, большими размерами заготовок, а также ограниченными технологическими возможностями изготовителей из-за малой серийности продукции.

Работа зубчатых передач иногда сопровождается интерференцией, которая приводит к возникновению дополнительной динамической нагрузки, вибрации и предварительного усталостного разрушения колес (рис. 2).

В процессе шлифования выделяется большое количество теплоты, основная часть которой воспринимается обрабатываемой заготовкой и вызывает структурные изменения поверхностного слоя. Наличие на рабочей поверхности зубьев структурной неоднородности, а также остаточных напряжений растяжения и пониженной твердости снижает долговечность зубчатых передач. К дефектам поверхностного слоя относятся также микротрещины. Поэтому вопросы формирования свойств рабочего слоя, оказывающего решающее влияние на эксплуатационные свойства зубчатых колес, требуют детального изучения.

Повышение качества изготовления зубчатых колес тяжелонагруженных передач является существенным резервом увеличения их нагрузочной способности и снижения массы. С этой целью в технологический процесс изготовления зубчатых колес вводят операцию зубошлифования. Эффективно устраняя погрешности предшествующих обработок, зубошлифование существенно влияет на качество рабочих поверхностных слоев зубьев и эксплуатационные свойства колес.

Необходимость предупреждения прижогов при зубошлифовании существенно ограничивает производительность процесса, повышает его трудоемкость. Совершенствование этой операции связано с разработкой мероприятий по сохранению качественного рабочего слоя зубьев при обеспечении наибольшей производительности.

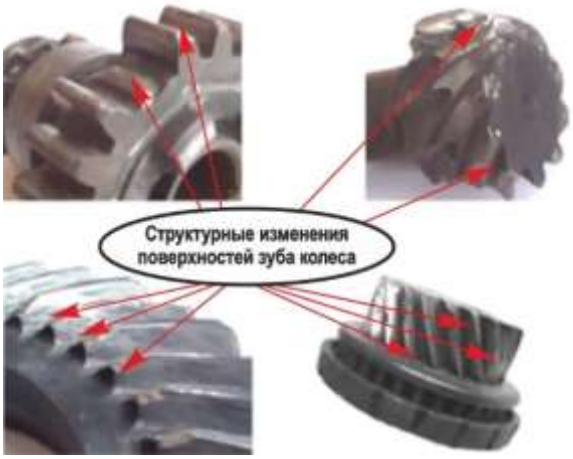


Рисунок 2 –.Структурные изменения поверхностного слоя зубьев зубчатых колес под воздействием контактных нагрузок

Для управления качеством рабочего слоя на этой операции важно установить закономерности образования прижогов, а также условия возникновения шлифовочных трещин (рис. 3).

Рисунок 3 –. Формирование дефектного слоя поверхностей зубьев зубчатых колес в виде микротрещин и прижогов

Вследствие многообразия факторов, характеризующих процесс зубошлифования и влияющих на свойства поверхностного слоя, важное значение приобретает установление общих закономерностей, связанных между собой одним параметром. Таким параметром является глубина поверхностного слоя с прижогом. Глубина прижогов зависит от условий шлифования, а характер изменений структуры обрабатываемой поверхности влияет на твердость, напряженное состояние, выносливость материала при контактном и изгибном нагружении.

Для обеспечения высокого качества при зубошлифовании существенное технико-экономическое значение имеет определение припусков и режимов обработки. При этом необходимо учитывать дополнительное условие, присущее шлифованию стали, согласно которому удаляемый припуск должен составлять лишь допустимую часть толщины слоя. Статистические исследования припуска и назначение минимальной глубины удаляемого слоя, а также разработку оптимальных режимов зубошлифования следует считать актуальными проблемами повышения качества зубьев зубчатых колес и производительности их изготовления.

Основу процесса шлифования составляет высокоскоростное микрорезание металла большим количеством хаотично расположенных абразивных зерен. Зона действия отдельного зерна, где практически вся механическая работа резания превращается в теплоту, представляет собой мгновенный точечный тепловой источник. Суммарное действие таких локальных источников в зоне контакта с поверхностью зуба образует движущийся тепловой источник, который создает своеобразный термический режим шлифования и обуславливает структурные превращения, изменения свойств и напряженного состояния поверхностного слоя. В зависимости от мощности теплового источника, времени его действия, а также химического состава и теплостойкости обрабатываемой стали структурные изменения поверхностного слоя могут развиваться на различную глубину и представлять собой прижоги отпуска и вторичной закалки с отпуском.

Влияние режимов предварительного профильного зубошлифования на качество поверхностного слоя исследовалось для зубчатых колес из стали 18Х2Н4МА, m = 8 мм, z = 68...70 на станке 5860А. Основным энергетическим параметром процесса зубошлифования является подача круга на врезание, которая устанавливалась в эксперименте от 0,03 до 0,6 мм на две стороны зуба. При исследовании микротвердости определялись средние значения и доверительные интервалы при доверительной вероятности 98,2%.

По результатам экспериментальных данных было установлено, что, начиная с подачи на врезание 0,08 мм и более, шлифовальный круг быстро осыпается, что приводит к частой правке инструмента и снижению производительности процесса. Этот факт был учтен при назначении рациональных режимов предварительного профильного зубошлифования. При шлифовании зубьев из стали 18Х2Н4МА профильным кругом глубина отпущенного слоя может достигать значений 260...280 мкм (рис. 4). На таких режимах наблюдается значительный отжим круга до 0,3 мм и образование глубоких прижогов отпуска, вторичной закалки с отпуском и видимых прижогов по всей боковой поверхности зубьев.

Появление прижогов указывает на образование неоднородной структуры как на рабочей поверхности зубьев. Причем глубина структурного измененного слоя максимальна на головке, уменьшается по высоте зуба к ножке.

К снижению теплонапряженности поверхностного слоя и прижогов приводит, как показано в работах А.В. Якимова [1], применение кругов с прерывистой рабочей кромкой. Температуру в зоне шлифования можно понизить, если шлифование проводить с определенными интервалами, причем продолжительность резания между этими интервалами сделать меньше времени теплового насыщения металла и за время разрыва процесса охладить поверхность детали, снизить температуру в зоне резания и уменьшить появление дефектов шлифования. Такой процесс можно осуществить кругами, имеющими на рабочей поверхности ряд чередующихся выступов и впадин определенной протяженности.

В процессе работы прерывистые круги подают в зону резания мощную струю смеси воздуха и охлаждающей жидкости. Это способствует выдуванию стружки из зоны резания, уменьшает засаливаемость круга и, кроме того, интенсифицирует процесс окисления и сгорания стружки. Окисленная стружка становится хрупкой, принимает шаровидную форму, не налипает на поверхность зерен и не внедряется в поры круга. Шлифование прерывистым кругом вызывает меньшую теплонапряженность процесса: уменьшение степени отпуска и глубины залегания отпущенных структур примерно в 1,5-2 раза.

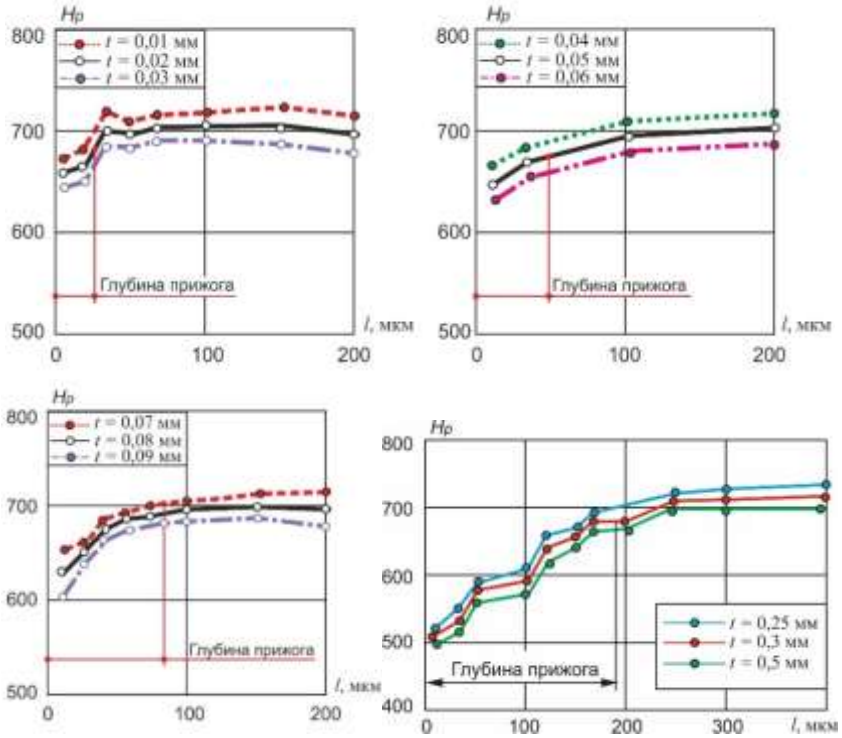


Рисунок 4. Изменение микротвердости H_p по глубине поверхностного слоя l при различных глубинах резания

Выводы

В результате проведенных исследований были установлены возможные причины, характеризующие особенности появления дефектных изменений поверхностного слоя зубьев зубчатых колес. Производственными исследованиями доказано, что интенсификация режимов зубошлифования с образованием структурных изменений в поверхностном слое глубиной от 30 до 280 мкм не вызывает видимых прижогов и образования микротрещин. Причиной образования микротрещин при зубошлифовании является предрасположение материала к растрескиванию, которое возникает на предыдущих операциях термической и механической обработки.

Список литературы

1. Якимов А.В. Стабилизация технологических параметров процесса шлифования зубчатых колес / А.В. Якимов, А.А. Якимов // Сучасне машинобудування. – 2000. – С.13-16.

2. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхностного слоя / В.А. Сипайлов // М.: Машиностроение, – 1978. – 167 с.

3. Сальников А.И. Физические основы процесса шлифования. / А.И. Сальников, В.А. Сипайлов // Саратов, изд. Сарат ун-та. – 1978. – 128 с.

4. Поклад В.А. Новая репрезентативная технология изготовления зубчатых колес и соединений / В.А. Поклад, В.С. Новиков, В.К. Старков, С.А. //Технология машиностроения, 2004. №4. – С. 14-20.

5. Елисеев Ю.С. Формообразование зубчатых колес методом профильного глубинного шлифования / Ю.С. Елисеев, В.К. Старков //Технология машиностроения, 2001. №2. – С. 2-11.

RESEARCH OF QUALITY OF THE BLANKET OF TEETHS OF HIGH-PRECISION COGWHEELS WHEN GRINDING

Bratan S.M., D.Sc. (Engineering), Professor
Levchenko E. A., PhD (Engineering), Associate Professor
Kramar V. A., D.Sc. (Engineering), Professor

Bratan S.M., Levchenko E. A. Kramar V. A.

299053, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

Abstract

Features of change of indicators of quality of a blanket of teeths of cogwheels when grinding are considered. The analysis is carried out it is deformed - tension and contact loading during the work of cogwheels. Results of pilot studies on influence of the modes of a profile zuboshlifovaniye on quality of a blanket when processing cogwheels are presented. The character of an intensification of the modes of processing with formation of structural changes in a blanket is established.

Keywords: cogwheels, quality of a blanket of a detail, structural changes, microhardness, contact loading, grinding of gear wheels

УДК 539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОРОТКОГО КРУГОВОГО ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕГО ЦИЛИНДРА С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННОГО РАСПУХАНИЯ

ХВИСЕВИЧ В.М. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
ВЕРЕМЕЙЧИК А.И. [1]*, канд. физ.-мат. наук, доцент*
([1]БрГТУ, г. Брест, Беларусь)

Хвисевич В.М., Веремейчик А.И.

224017, ул. Московская, 267, г. Брест, Беларусь,
УО «Брестский государственный технический университет»,
e-mail: vai_mrtm@bstu.by

Аннотация

Проведено исследование осесимметричного напряженно-деформированного состояния кругового цилиндра конечной длины при термомеханическом нагружении и радиационном облучении. С помощью метода конечных разностей разработан алгоритм и программа численного решения. Получены зависимости перемещений, компонент тензора напряжений и деформаций от координат.

Ключевые слова: цилиндр, напряжение, перемещение, радиационное облучение, температура, нейтрон.

Введение

В современной технике широко используются конструктивные элементы, выполненные в виде тел цилиндрической формы. В процессе эксплуатации они могут подвергаться воздействию силовых, термических, радиационных нагрузок. Воздействие температурного поля при одновременном интенсивном облучении высокоэнергетическими частицами приводит к появлению значительных напряжений, которые могут привести к разрушению нагруженного тела. Это диктует необходимость создания механико-математических моделей, методов анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) тел в условиях экстремальной эксплуатации и требует соответствующих исследований. Развитие теории расчета НДС тел, находящихся в условиях неоднородного термического воздействия, позволит корректно определять компоненты тензора напряжений и деформаций, а также продлевать ресурс существующих компонентов оборудования и других конструкций в условиях сложных механических, термических и радиационных нагрузок. Результаты исследования нелинейных процессов деформирования, развивающихся во времени и пространстве, имеют важное значение при создании новых технологических процессов и аппаратов для использования на транспорте, в энергетике, авиации и атомном машиностроении[1–5].

Методика теоретических исследований

Объектом рассмотрения является деформированный однородный круговой цилиндр конечной длины, изготовленный из изотропного материала. При построении математической модели задачи предполагается, что цилиндр радиуса R и длины H, ось которого совпадает с осью Oz, подвергается воздействию температурной нагрузки, внешнего радиального и осевого давления и интенсивному облучению потоком быстрых нейтронов с кинетическими энергиями $\bar{E} > 0{,}1$ МэВ (рис. 1). Будем использовать цилиндрическую систему координат r, z, θ с началом в середине цилиндра и считать, что ось Oz направлена вниз. В этом случае

касательные напряжения, $\tau_{r\theta}=0$, а остальные компоненты тензора напряжений и вектора перемещений не зависят от угла θ.

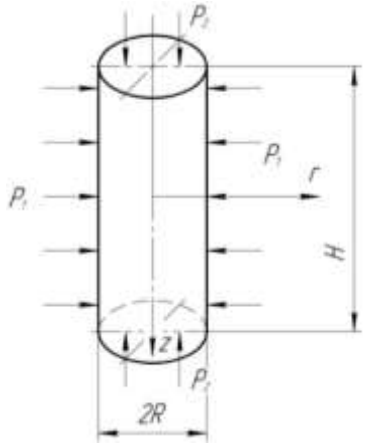


Рисунок 1–. Схема нагружения цилиндра

Дифференциальные уравнения (ДУ) равновесия имеют вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial\sigma_r}{\partial r}+\dfrac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}+\dfrac{\partial\tau_{rz}}{\partial z}=0, \\ \dfrac{\partial\sigma_z}{\partial z}+\dfrac{\tau_{rz}}{r}+\dfrac{\partial\tau_{rz}}{\partial r}=0, \end{cases} \qquad (1)$$

где $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ – радиальные, тангенциальные и осевые напряжения соответственно, – τ_{rz} – касательное напряжение.

Считаем равными нулю касательные напряжения на торцах цилиндра. Кроме этого, будем полагать, что точки, находящиеся на окружности, ограничивающей среднее поперечное сечение цилиндра (при $z=0$), не перемещаются в вертикальном направлении.

Запишем граничные условия в следующей математической форме:

при r = 0: $u_r=0$, $\dfrac{\partial u_z}{\partial r}=0$; при r = R: $\sigma_r=-P_1$, $\tau_{rz}=0$; (2)

при z = 0: $u_z=0$, $\tau_{rz}=0$; при z = $\dfrac{H}{2}$: $\sigma_z=-P_2$, $\tau_{rz}=0$;

где u_r, u_z – радиальные и осевые перемещения, P_1, P_2 – внешнее давление на боковой и торцевой поверхности соответственно.

Согласно [2], распухание конструкционных материалов зависит в основном от интегрального потока (флюенса) быстрых нейтронов $\Phi=\varphi t$ ($\bar{E}>0{,}1\,МэВ$) и температуры облучения. В [2] приведены различные зависимости распухания сталей $S=S(\Phi,T)$ от температуры и флюенса нейтронов. Применим зависимость Ю.И. Лихачева [6] в следующем виде:

$$S=A_{0S}\cdot\Phi^{\lambda_S(T)}\cdot A_S(T), \qquad (3)$$

где $A_{0S}=4{,}9\cdot10^{-51}$, $A_S(T)=10^{\frac{15490}{T}-\frac{5{,}98\cdot10^6}{T^2}}$, $\lambda_S(T)=1{,}71$ при $T<950\,K$, φ – плотность потока быстрых нейтронов, $\Phi=\varphi t$, t – время облучения, T – стационарное температурное поле как функция координат, представляющее собой решение ДУ теплопроводности Лапласа для сплошного цилиндра с внутренними источниками тепловыделения с учетом температурного воздействия с внешней поверхности [1, 2]:

$$T(r,z)=T_S+\frac{q_v}{4\lambda}\left(R^2-r^2\right), \qquad (4)$$

где T_S – температура на внешней поверхности цилиндра, $T_S = 700\ ^0C$, λ – коэффициент теплопроводности материала, q_v – интенсивность объемного тепловыделения равномерно распределенных внутренних источников тепла; $q_v = \overline{q}_v \cdot K_z \cdot \cos\left(\frac{\pi H}{H + 2H_0} \cdot \frac{z}{H}\right)$, $\overline{q}_v = 2,234 \cdot 10^8\ \frac{Вт}{м^3}$ – мощность внутренних источников теплоты. Исследования проводились для аустенитной нержавеющей стали ОХ16Н15М3Б (316, 316L по классификации AISI) [1], для которой принято: $K_z = 1,2$, плотность потока быстрых нейтронов $\varphi = 2,81 \cdot 10^{19}\ \frac{нейтр}{см^2 \cdot ч}$,коэффициент температурного расширения $\alpha = 16 \cdot 10^{-6}\ \frac{1}{^0C}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; модуль Юнга $E = 1,5 \cdot 10^{11}$ Па; $\lambda = 12\ \frac{Вт}{м^2 \cdot ^0 C}$. Размеры цилиндра: *H=40 мм; R= 5 мм*.

Формулы обобщенного закона Гука в данном случае принимаем в виде [6]:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_r &= \frac{1}{E}\left(\sigma_r - \nu\left(\sigma_\theta + \sigma_z\right)\right) + \alpha \cdot T\left(r,z\right) + \frac{S\left(r,z\right)}{3},\\
\varepsilon_\theta &= \frac{1}{E}\left(\sigma_\theta - \nu\left(\sigma_r + \sigma_z\right)\right) + \alpha \cdot T\left(r,z\right) + \frac{S\left(r,z\right)}{3},\\
\varepsilon_z &= \frac{1}{E}\left(\sigma_z - \nu\left(\sigma_\theta + \sigma_r\right)\right) + \alpha \cdot T\left(r,z\right) + \frac{S\left(r,z\right)}{3},\\
\gamma_{rz} &= \frac{\tau_{rz}}{G},
\end{aligned} \tag{5}$$

где $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$ – радиальные, тангенциальные и осевые деформации соответственно, γ_{rz} – угловая деформация, $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ – модуль упругости при сдвиге.

Геометрические соотношения Коши следующие [6]:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r}, \quad \varepsilon_\theta = \frac{u_r}{r}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \quad \gamma_{zr} = \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r}. \tag{6}$$

Выразив из (5) компоненты напряжений через перемещения u_r, u_z, и решая совместно с (6), получены выражения для напряжений $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$ и τ_{rz}, приведенные в [6]. С учетом этих выражений ДУ равновесия (1) представим в виде системы дифференциальных уравнений равновесия второго порядка в перемещениях:

$$\begin{cases}
\frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left(\left(1-\nu\right)\frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{\nu}{2}\frac{\partial^2 u_z}{\partial r \partial z} - \left(1-\nu\right)\frac{1}{r}\frac{\partial u_r}{\partial r} - \right.\\
\left. -\left(1-\nu\right)\frac{u_r}{r^2} + \frac{1-2\nu}{2}\frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \left(1+\nu\right)\alpha \cdot \frac{\partial T}{\partial r} - \left(1+\nu\right)\cdot\frac{\partial S}{\partial r}\right) = 0,\\
\frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)}\left(\left(1-\nu\right)\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{\nu}{2}\frac{\partial^2 u_r}{\partial z \partial r} + \frac{\nu}{2}\frac{1}{r}\frac{\partial u_r}{\partial z} + \right.\\
\left. + \frac{1-2\nu}{2}\frac{1}{r}\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{1-2\nu}{2}\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} - \left(1+\nu\right)\alpha \cdot \frac{\partial T}{\partial z} - \left(1+\nu\right)\cdot\frac{1}{3}\frac{\partial S}{\partial z}\right) = 0.
\end{cases} \tag{7}$$

Результаты и обсуждение

Решение системы ДУ второго порядка в частных производных с учетом сложных зависимостей (3) и (4) возможно только численным путем. Для ее решения применяется метод

конечных разностей, позволяющий перейти от систем ДУ к их дискретным аналогам – системе алгебраических уравнений с неизвестными значениями перемещений u_r, u_z в контурных и внутриконтурных точках, применив пошаговое разбиение по времени и составив конечно-разностные уравнения для каждого из временных шагов. Расчетные схемы и координатная сетка для построения конечно-разностных уравнений приведены на рис. 2–4.

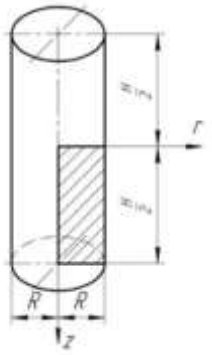


Рисунок 2 –. Расчетная схема для построения конечно-разностной сетки

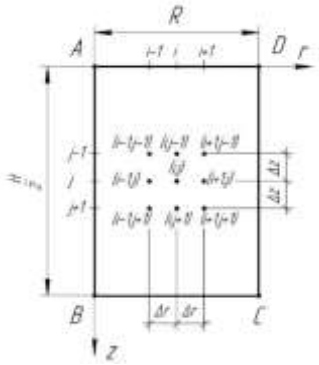


Рисунок 3 –. Координатная сетка для построения конечно-разностных уравнений

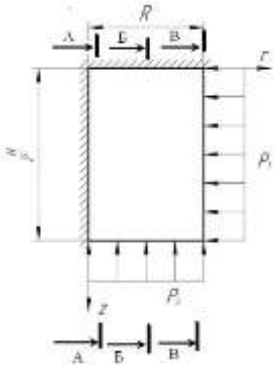


Рисунок 4 –. Схема для формулировки граничных условий

Тогда систему конечно-разностных аналогов системы дифференциальных уравнений (7) представим в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}\cdot\dfrac{u_{r(i+1,j)}-2u_{r(i,j)}+u_{r(i-1,j)}}{(\Delta r)^2}+\dfrac{1}{2\cdot(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\dfrac{u_{z(i+1,j+1)}-u_{z(i-1,j+1)}-u_{z(i+1,j-1)}+u_{z(i-1,j-1)}}{4\cdot\Delta z\cdot\Delta r}+ \\ +\dfrac{1-\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\dfrac{1}{r_i}\cdot\dfrac{u_{r(i+1,j)}-u_{r(i-1,j)}}{2\Delta r}+\dfrac{1}{2\cdot(1+\nu)}\cdot\dfrac{u_{z(i,j+1)}-2u_{z(i,j)}+u_{r(i,j-1)}}{(\Delta z)^2}-\dfrac{1}{1+\nu}\dfrac{u_{r(i,j)}}{r_i^2}= \\ =\alpha\cdot\dfrac{1}{1-2\nu}\dfrac{T_{(i+1,j)}-T_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta r}+\dfrac{1}{3}\cdot\dfrac{1}{1-2\nu}\dfrac{S_{(i+1,j)}-S_{(i-1,j)}}{2\cdot\Delta r}, \\ \dfrac{1-\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\dfrac{u_{z(i+1,j)}-2u_{z(i,j)}+u_{z(i-1,j)}}{(\Delta z)^2}+\dfrac{\nu}{2(1+\nu)(1-2\nu)}\cdot\dfrac{u_{r(i+1,j+1)}-u_{r(i-1,j+1)}-u_{r(i+1,j-1)}+u_{r(i-1,j-1)}}{4\cdot\Delta z\cdot\Delta r}+ \\ +\dfrac{\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\dfrac{1}{r_i}\cdot\dfrac{u_{r(i,j+1)}-u_{r(i,j-1)}}{2\Delta z}+\dfrac{1}{2\cdot(1+\nu)}\cdot\dfrac{u_{z(i+1,j)}-2u_{z(i,j)}+u_{z(i-1,j)}}{(\Delta r)^2}+\dfrac{1}{2(1+\nu)}\cdot\dfrac{1}{r_i}\cdot\dfrac{u_{z(i+1,j)}-u_{z(i-1,j)}}{2\Delta r}= \\ =\alpha\cdot\dfrac{1}{(1-2\nu)}\dfrac{T_{(i,j+1)}-T_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta z}+\dfrac{1}{3}\dfrac{1}{(1-2\nu)}\cdot\dfrac{S_{(i,j+1)}-S_{(i,j-1)}}{2\cdot\Delta z}. \end{cases} \quad (8)$$

Запишем условия для контурных точек области в конечных разностях в соответствии с граничными условиями (2) (рис. 4):

при $r = 0$ (сторона AB):

$$u_{r(1,j)}=0, \qquad \frac{u_{z(2,j)}-u_{z(1,j)}}{2\cdot\Delta r}=0,$$

при $z = 0$ (сторона AD):

$$u_{z(i,1)}=0, \qquad \frac{u_{r(i,2)}-u_{r(i,1)}}{\Delta z}+\frac{u_{z(i+1,1)}-u_{z(i-1,1)}}{2\Delta r}=0, \quad (9)$$

при $r = R$ (сторона CD):

$$\frac{u_{r(n,j+1)}-u_{r(n,j-1)}}{\Delta z}+\frac{u_{z(n,j)}-u_{z(n-1,j)}}{\Delta r}=0,$$

$$E\cdot\frac{1-\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\frac{u_{r(n,j)}-u_{r(n-1,j)}}{\Delta r}+E\cdot\frac{\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\frac{u_{z(n,j+1)}-u_{z(n,j-1)}}{2\Delta z}+$$

$$+E\cdot\frac{\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\frac{u_{r(n,j)}}{r_n}=-P_1+E\cdot\frac{1}{1-2\nu}\cdot\left(\alpha\cdot T_{(n,j)}+\frac{S_{(n,j)}}{3}\right),$$

при $z = H/2$ (сторона BC):

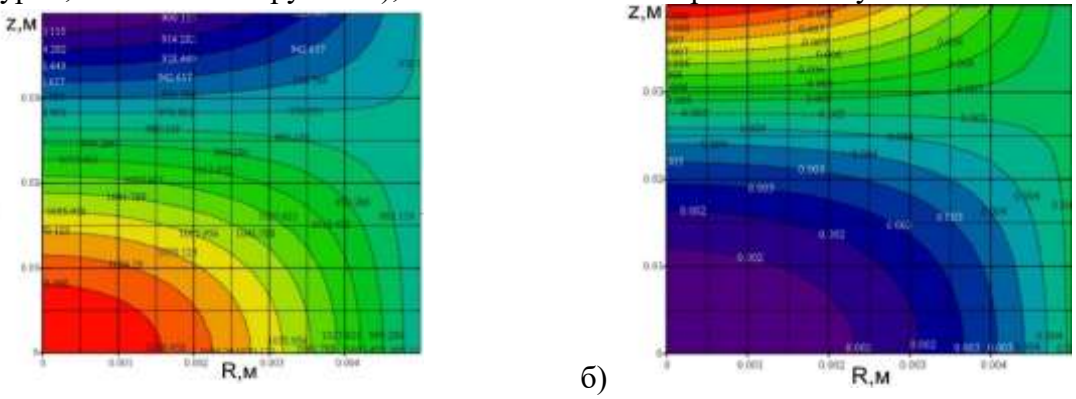
$$\frac{u_{r(i,m)}-u_{r(i,m-1)}}{\Delta z}+\frac{u_{z(i+1,m)}-u_{z(i-1,m)}}{2\Delta r}=0,$$

$$E\cdot\frac{1-\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\frac{u_{z(i,m)}-u_{z(i,m-1)}}{\Delta z}+E\cdot\frac{\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}\cdot\frac{u_{r(i+1,m)}-u_{r(i-1,m)}}{2\Delta r}+$$

$$+E\cdot\frac{\nu}{(1+\nu)\cdot(1-2\nu)}\cdot\frac{u_{r(i,m)}}{r_i}=-P_2+E\cdot\frac{1}{1-2\nu}\cdot\left(\alpha\cdot T_{(i,m)}+\frac{S_{(i,m)}}{3}\right).$$

Расчет перемещений для контурных точек начинается со стороны AD (рис. 3), для которой составляем n – уравнений для каждой принадлежащей этой стороне точки. Затем составляются (n–2) уравнения для контурных точек, принадлежащих стороне BC. При этом не учитываются точки B и C, для описания которых требуются значения функции в законтурных точках. Далее составляются m уравнений для точек стороны AB. Для стороны CD используются (m–2) систем уравнений, при этом не учитываются точки C и D [6, 7].

Решение системы алгебраических уравнений (8), включающей неизвестные значения перемещений u_r, u_z в контурных и внутриконтурных точках, проводится в системе компьютерной математики MathCAD 15. Для граничных условий (9) получены выражения осевых и радиальных перемещений, компонент тензоров напряжений и деформаций для контурных и внутриконтурных точек области в конечных разностях. В соответствии с разработанным алгоритмом, расчет контурных значений неизвестных перемещений для различных моментов времени проводится через контурные и внутриконтурные точки, что позволило снизить объем вычислительных операций и шаг сетки, повысив точность результатов. На основе созданного алгоритма разработана компьютерная программа, позволяющая получать численное решение системы ДУ (7). Программа предоставляет возможность пользователю варьировать не только физико-механическими и теплофизическими характеристиками материала, геометрическими размерами цилиндра и внешними воздействиями (эмпирической функцией радиационного распухания, внешней температурой, силовыми нагрузками), но и шагом сетки и граничными условиями.



а) б)

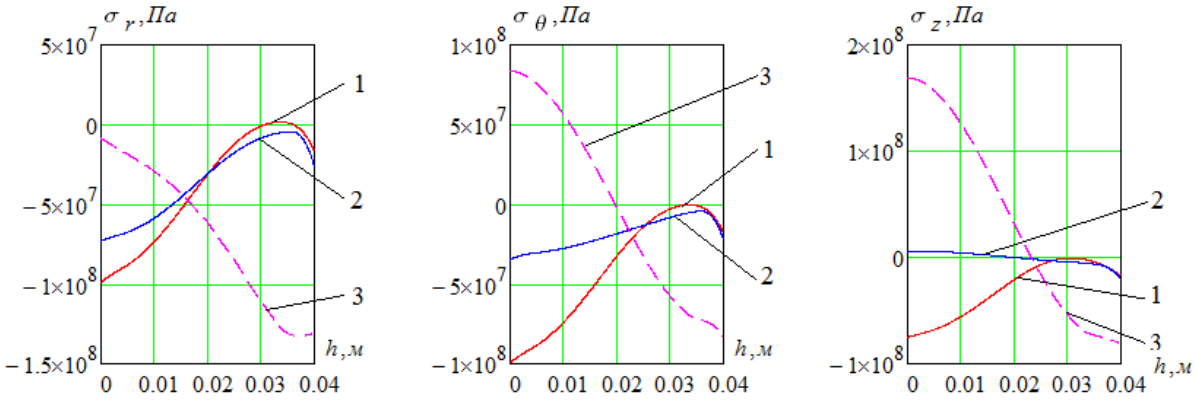
Рисунок. 5 – Изотермы $T(r,z)$ (а) и изолинии радиационного распухания $S(r,z)$ (б) в момент времени t=1000 часов для стали ОХ16Н15М3Б

На рис. 5 для стали ОХ16Н15М3Б приведены типичные изолинии температуры и радиационного распухания для t=1000 часов облучения потоком быстрых нейтронов с кинетическими энергиями $\bar{E} > 0{,}1$ МэВ.

Из рис. 5, б видно, что деформации тепловыделяющего материала направлены наружу. На начальном этапе нагружения наблюдается некоторое релаксационное падение напряжений в результате ползучести. В дальнейшем с течением времени происходит перераспределение по сечению деформаций и напряжений в результате радиационного распухания материала тела. После 1000 ч имеет место постоянный рост интенсивности напряжений.

Из полученных расчетов следует, что изменение механических характеристик рассмотренного модельного тела относительно стабильно только в первые 2000 ч деформирования, в дальнейшем зависимость напряжений и деформаций приобретает нестабильный характер. Вместе с тем, численные эксперименты показали, что цилиндрическая конструкция будет теоретически работоспособна практически до 3000 ч. Начальные термосиловые напряжения, вызванные неравномерным полем температур и равномерной силовой нагрузкой, с течением времени уменьшаются, а появляющиеся остаточные механические деформации в результате ползучести не столь велики. В это время радиационное распухание относительно мало. С ростом распухания происходит увеличение напряжений, дальнейшем напряжения и деформации в значительной степени перераспределяются. Таким образом, напряжения в цилиндре растут со временем, кроме того наблюдается постепенное ускорение их роста, что, по-видимому, связано с радиационной составляющей необратимых деформаций.

Получены зависимости компонент тензора напряжений $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{rz}$ и тензора деформаций $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z, \gamma_{rz}$ в зависимости от координат r и z(рис. 6). Исследована их зависимость от времени облучения и свойств материала [6].



а) б) в)

1 – сечение А–А 2 – сечение Б–Б 3 – сечение В–В

Рисунок. 6 –. Типичные зависимости напряжений σ_r (а), σ_θ (б), σ_z (в) от координаты z в различных сечениях (рис. 4) при t = 1000 ч облучения

Кроме того, выполнен анализ влияния температуры и радиационного распухания на напряжения, деформации и перемещения. Численные эксперименты показали, что дальнейшее повышение порядка аппроксимации не всегда оправдано: увеличивая число интервалов разбиения в схеме, можно лишь незначительно повысить точность вычислений, но при этом значительно усложняется система уравнений и ее решение. Проведено решение некоторых тестовых задач. Достоверность результатов ввиду отсутствия аналитических решений такого рода задач проверялась при отдельном механическом воздействии и высоких температурах.

Сравнение результатов с аналитическим решением задач теории упругости [8] подтвердило достоверность конечно-разностных схем. При числе интервалов разбиения сетки k>20 погрешность численного расчета не превышает 0,3 %. Кроме того, проведена проверка согласованности конечно-разностных схем. Устойчивость конечно-разностной задачи

проверялась методом фон Неймана. Для оценки сходимости разностных схем применялась теорема Лакса.

Выводы

Рассмотрено решение задачи анализа напряженно-деформированного состояния короткого кругового цилиндра, подверженного механическому нагружению, высокотемпературному нагреву и радиационному облучению потоком быстрых нейтронов плотностью $\varphi = 2{,}81 \cdot 10^{19} \frac{нейтр}{см^2 \cdot ч}$ с энергией $\bar{E} > 0{,}1\, МэВ$. Создана механико-математическая модель такой задачи, разработан алгоритм численной реализации и компьютерная программа определения НДС в диапазоне температур до 1200 К с учетом радиационного распухания. Терморадиационные задачи в такой постановке по сути сведены к задачам термоупругости.

Численное решение осесимметричной краевой задачи термоупругости с одновременным учетом радиационного распухания проводится с использованием метода конечных разностей. Получена разрешающая система дифференциальных уравнений в частных производных относительно компонент вектора перемещений, для решения которой разработан алгоритм численного решения. Программная реализация выполняется на базе системы компьютерной алгебры MathCAD. Получены зависимости перемещений, компонент тензора напряжений и деформаций от координат с обеспечением визуализации результатов и возможностью варьирования физико-механическими и теплофизическими характеристиками материала, размерами конечно-разностной сетки и параметрами нагружения [7]. Результаты тестовых расчетов показали хорошее согласие с точными аналитическими решениями для термоупругих задач, полученными С.П. Тимошенко, Дж. Гудьером и другими учеными [6].

Научные результаты проведенных исследований имеют важное значение при создании новых технологических процессов и механизмов и могут быть использованы при разработке и создании новых конструкций на транспорте, в энергетике и атомной промышленности. Они позволяют оптимизировать форму и размеры существующих конструктивных элементов при термических, силовых и радиационных воздействиях.

Список литературы

1. Куликов И.С., Тверковкин Б.Е. Прочность тепловыделяющих элементов быстрых газоохлаждаемых реакторов. – Минск: Наука и техника, 1984. – 103 с.

2. Ширвель П.И. ЧигаревА.В., Куликов И.С. Прочность неравномерно нагретых цилиндрических тел в условиях ползучести и радиационного облучения. – Минск: БНТУ, 2014. – 252 с.

3. Лихачев Ю.И., Пупко В.Я. Прочность тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. – М.: Атомиздат, 1972. – 280 с.

4. GhorbanpourA.A., AhmadiM., AhmadiA., RastgooA., SepyaniA.A. Bucklinganalysisofacylindricalshell, underneutronradiationenvironment // NuclearEngineeringandDesign. – 2012. – V. 242. – P. 1–6.

5. Киселевский В.Н. Прочность конструкционных материалов ядерных реакторов. – Киев: Наукова думка, 1990. – 163 с.

6. Хвисевич В.М.,ВеремейчикА.И., Гарбачевский В.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния цилиндрических тел конечной длины при нагреве и нейтронном облучении // Теоретическая и прикладная механика. – 2017. – Вып. 32. – С. 65–71.

7. Хвисевич В.М.,ВеремейчикА.И., Гарбачевский В.В. Осесимметричное термосиловое деформирование коротких цилиндрических тел при нейтронном облучении // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: материалы межд. научно-технич. конф., Брест, 2–3 ноября 2016 г. / БрГТУ. – Брест, 2016. – С. 184–187.

8. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

THE STRESS-STRAIN STATE OF FUEL SHORT CIRCULAR CYLINDER SUBJECT TO RADIATION SWELLING

Khvisevich V.M., *PhD (Engineering), Associate Professor*
Veremeichik A.I., *PhD (Phys-math), Associate Professor*

Khvisevich V.M., Veremeichik A.I.

224017, Moskovskaya st., 267, Brest, Belarus
Brest State Technical University, Brest, Belarus

Abstract

The investigation of axisymmetric stress-strain state of cylindrical bodies of finite length under thermomechanical loading and radiation is carried out. The algorithm and the program of numerical solution are developed with the help of finite difference method. The dependences of displacements, the component of the stress tensor and deformation coordinates.

Keywords: cylinder, stress, displacement, radiation exposure, temperature, neutron.

УДК 533.6.05

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПАТРОНА .410 MAGNUM

ИКОННИКОВ А.М.[1], канд. техн. наук, доцент
ФЕДОРОВ Ю.В.[1], канд. техн. наук, доцент
АФАНАСОВ О.В., [1]магистрант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Иконников А.М., Федоров Ю.В., Афанасов О.В.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: jd-oleg-90@mail.ru

Аннотация

В данной статье приведены методы измерения давления. Описаны проблемы измерения высокого давления этими методами. Приведен анализ методов измерения высокого давления и способ повышение качества баллистических испытаний патрона калибра .410 Magnum путем смены метода испытаний с крешерного на пьезометрический.

Ключевые слова: баллистические испытания, пьезометрический метод, крешерный метод, давление, высокое давление.

Введение

Издавна стрелковое оружие являлось наиболее массовым во всех армиях мира. До середины XIX в. применялось огнестрельное оружие с раздельным заряжанием, что требовало от стрелка особой сноровки, больших затрат времени и сковывало маневренность боевых подразделений. Поворотным этапом стало появление и применение в бою унитарного патрона, который объединял все элементы выстрела в единое целое. Упростился процесс заряжания, повысилась безопасность в обращении с оружием, возросла укомплектованность бойца боеприпасами, увеличился темп стрельбы.

Патрон является главным элементом, реализующим основное назначение огнестрельного оружия - поражение живой силы и боевой техники противника. Длительное время и разработка новых образцов патронов производилась опытным путём с ориентацией на практику эксплуатации аналогичных изделий. К 1970-1980-м годам на базе фундаментальных исследований сложилась более рациональная система проектирования боеприпасов, в которой стали наиболее полно использовать методики баллистических расчётов, оценки эффективности действия по целям, решения узловых проблем надёжности функционирования и эксплуатационной безопасности.

Масштабы расходования патронов стрелкового оружия даже в мирное время исчисляются миллиардами штук, что требует значительных материальных затрат не только на их производство, но и на транспортировку, хранение, проведение полигонных испытаний. Поэтому вопросам методики баллистических расчетов уделяется большое внимание. Разработка новых и модернизация существующих методов баллистических испытаний является непрерывным процессом совершенствования оружия.

Учитывая вышеизложенное, данная работа является своевременной и актуальной.

Научная новизна исследования заключается в анализе методов баллистических испытаниях на примере калибра .410 Magnum.

Анализ методик

Анализ методик измерения баллистических характеристик патрона .410 Magnum показывает, что существует несколько методов измерения давления такие как:

Тензометрический метод. Тензометрический эффект проявляется в изменении электрического сопротивления проводников (или полупроводников) при изменении геометрии (например, при изгибе) проводника. Тензорезисторы часто выполняются из тонкой металлической фольги и представляют собой достаточно длинный проводник, компактно уложенный в плоскости поверхности упругой пластины или мембраны. [3]

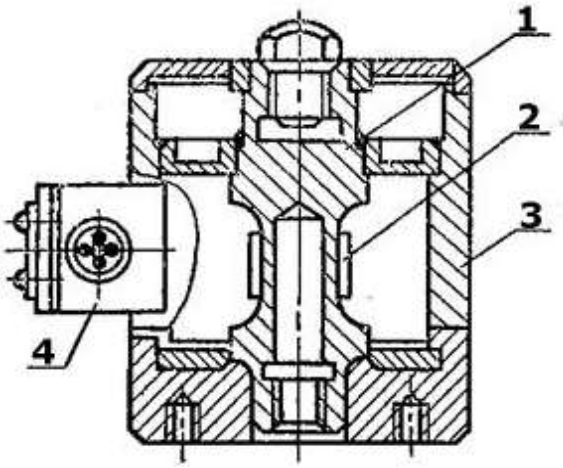


Рисунок 1 – конструкция тензодатчика.
1.Упругий элемент 2.Тензорезистор 3.Корпус датчика
4.Герметичный ввод (кабельный разъем).

Емкостные преобразователи. Помимо резистивных применяются и емкостные датчики давления. В емкостных датчиках мембрана выступает в роли одной из пластин конденсатора. Изменение ее положения приводит к изменению емкости датчика и затем, например, к изменению выходного напряжения моста переменного тока. [2]

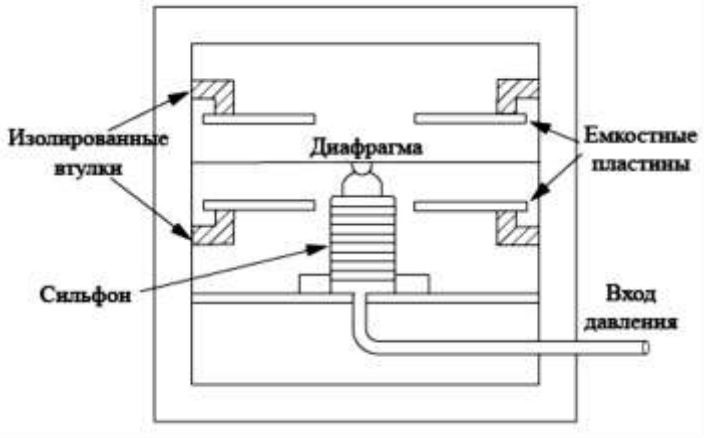


Рисунок 2 – конструкция емкостного преобразователя.

Индукционный метод. Основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном. Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создается ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки

дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению. [2]

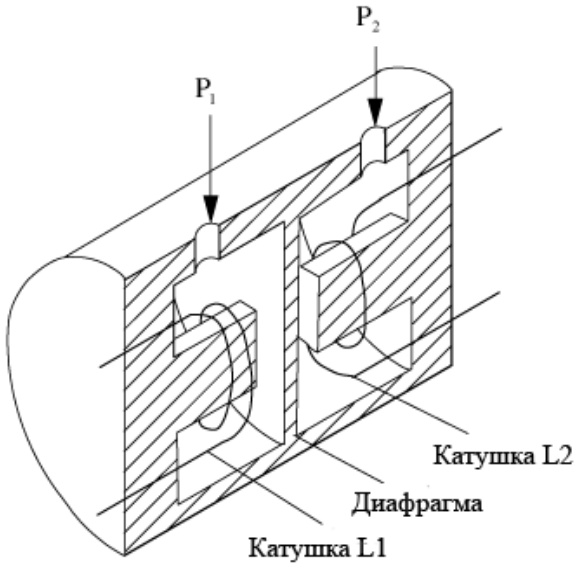


Рисунок 3 – Конструкция индукционного датчика

Пьезоэлектрический метод. Применение пьезометрического метода основывается на пьезоэлектрическом эффекте, суть которого сводится к следующему: при сжатии кристаллов на их боковых поверхностях возникает разность потенциалов, пропорциональная усилию сжатия. Диафрагма конвертирует давление в пропорциональную силу, работающую на пьезоэлектрическом датчике и производящую информационный заряд. Этот информационный заряд подпитывается через высокоизоляционный малошумный кабель к электрическому усилителю и конвертируется последним в сигнал напряжения с малым сопротивлением. [1]

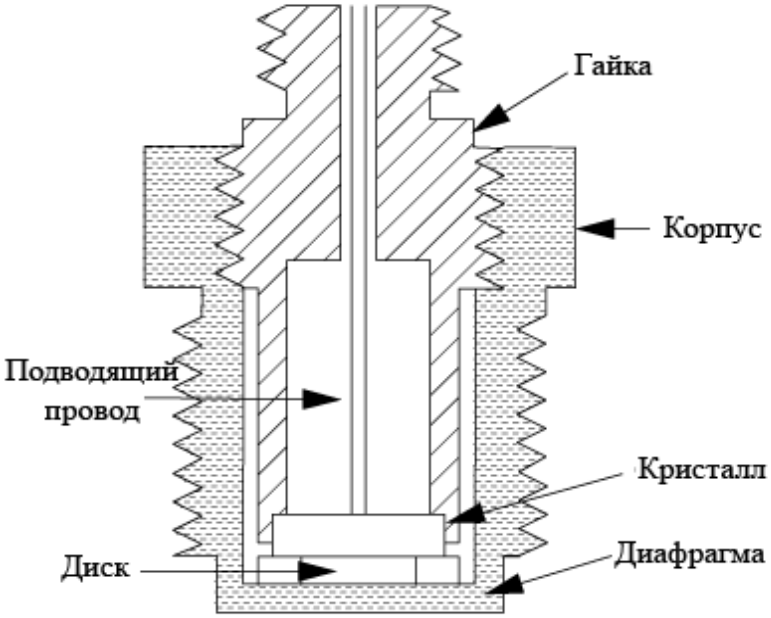


Рисунок 4 – конструкция пьезометрического датчика

Крешерный метод. Крешерным методом определения давление пороховых газов определяется по величине деформации в процессе выстрела предварительно обжатых крешерных столбиков. Величину давления пороховых газов по деформации крешерного столбика находят по градуировочным таблицам, которые составляют по результатам

статического обжатия крешерных столбиков на прессе при различных нагрузках. При этом, одинаковое обжатие крешерных столбиков на прессе и деформации их при выстреле соответствует одинаковые величины давлений[1].

Для измерения давления в .410 Magnum на данный момент используется крешерный метод. К минусам этого метода относятся сравнительно низкая точность измерения (связанно это с предварительным обжатием медных столбиков и погрешностью измерения высоты медных столбиков до и после измерения давления), дороговизна каждого выстрела (цена на выстрел складывается из учета цен на крешерный столбик, на патрон, на затраты человеко-часов).

В пьезометрическом методе таких недостатков нет. Для измерения давления пьезометрическим методом используется пьезодатчик, к его преимуществам относятся простота и точность снятия показаний, каждый пьезодатчик выдерживает десятки тысяч выстрелов прежде чем выйдет из строя.

Остальные методы не подходят из-за недостаточной прочности датчика, или из-за невозможности определения высокого давления.

Проблемы исследования

Крешерный метод используется в АО «Барнаульский патронный завод». И для того чтобы сменить метод измерения давления на .410 Magnum, нужно решить две проблемы:

Решить какой тип датчика, какой страны производства воспользоваться.

Разработать программу для работы с этим датчиком.

Для решения первой проблемы нужно понять какими параметрами должен обладать датчик.

Датчик должен определять давление до 5000 бар, резьба на датчике должна подходить к баллистическому стволу.

На данный момент имеется выбор из двух датчиков: датчик чешского производства Kistler type 6215 и датчик российского производства Т6000

Оба датчики удовлетворяют нас по основным параметрам, но предпочтительней использовать датчик российского производства из-за более стабильных поставок этих датчиков в случае выхода их из строя. Еще одним преимуществом российского датчика является его цена

Программа для обработки данных должна показывать и считать среднее давление, выводить график зависимости давления от времени. Такие графики наглядно показывают, как меняется давление на протяжении времени всего выстрела, это поможет делать более точный входной контроль порока и подбор заряда.

Выводы

При смене метода с крешерного на пьезометрический мы будем получать более точные баллистические результаты что позволит нам лучше контролировать качество и безопасность выпускаемой продукции. Смена метода ведет за собой уменьшение времени получение результатов и снизит стоимость испытания, путем уменьшения числа работников, и уменьшении расходных материалов, задействованных на испытании продукции.

Список литературы

1. Экспериментальная механика [Текст] : монография в 2 кн: Кн.1/пер. с англ.;под ред. А. Кобаяси.– М.: Мир, 1990. – 552 с.

2. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. – С.-Пб., изд-во СПбГТУ, 1999

3. Бутусов И.В. «Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы» 3 изд, перераб. и допол. Л.: -Гостехиздат, 1963. -624с

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY OF THE QUALITY ASSESSMENT OF THE PATRON QUALITY .410 MAGNUM

Ikonnikov A.M, PhD (Engineering), Associate Professor.
Fedorov Yu.V. PhD (Engineering), Associate Professor
Afanasov O.V. Graduate student.

Ikonnikov A.M., Fedorov Yu.V., Afanasov O.V.

656038, Barnaul, Lenin Ave., 46
PolzunovAltai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract

Methods of measuring pressure are given in this article. The problems of high pressure measurement by these methods are described. The analysis of methods for measuring high pressure and a method for improving the quality of ballistic tests of a .410 Magnum cartridge are given by changing the method of testing from a kresher to a piezometric.

Keywords: ballistic tests, piezometric method, kresher method, pressure, high pressure.

УДК621.742.4

СТЕРЖНЕВОЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ РАВНООСНОГО ЛИТЬЯ ОХЛАЖДАЕМЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГТД) ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ[1]

ДЕМЕНОК А.О.[1]
ПАВЛИНИЧ С.П.[1], доктор техн. наук, доцент
ДЕМЕНОК О.Б.[1], канд. техн. наук, доцент
ГАНЕЕВ А.А.[1], доктор техн. наук, профессор
ГАЙНЦЕВА Е.С.[1] канд. техн. наук
ХАЙРУЛЛИН Т.А.[1]
([1]УфГАТУ, г. Уфа, Россия)

Деменок А. О., Павлинич С. П., Деменок О. Б., Ганеев А. А., Гайнцева Е. С., ХайруллинТ.А.

450008, г. Уфа, ул. К.Маркса, 12,
Уфимский государственный авиационный технический университет,
e-mail: nu5tochka@mail.ru
e-mail: kmitlp@mail.ru
e-mail: dobor999@mail.ru
e-mail: almir.ganeew@ya.ru
e-mail: gaintsevaes@yandex.ru
e-mail: kmitlp@mail.ru

Аннотация

Предложен материал стержня на основе электрокорунда и плавленого кварца для оформления внутренней полости охлаждаемой рабочей лопатки ГТД из жаропрочного сплава ЖС6У с равноосной структурой. Изучены в интервале температур 20–1200°С зависимости предела прочности и прогиба при изгибе и термического расширения, а также другие характеристики стержневого состава. Применение стержней из разработанного материала, позволяет, согласно результатам контроля качества лопаток, практически полностью устранить на них дефекты по незаливу, неспаю, засору, существенно снизить уровень брака по утонению стенки пера.

Ключевые слова керамические стержни, пустотелая лопатка, стержневая смесь, жаропрочный сплав.

Введение

Конструктивное усложнение и утонение внутренних полостей литых пустотелых турбинных и сопловых лопаток ГТД, обусловленное необходимостью более эффективного их охлаждения, усиливает значимость проблем выбора состава и улучшения технологичности стержневой композиции и свойств керамических стержней, оформляющих упомянутые полости. Актуальность этого вопроса связана с освоением технологии литья по выплавляемым моделям пустотелой рабочей лопатки ГТД нового поколения, с длиной пера~180мм и минимальными толщинами стенки в пределах 0,7-0,9мм и внутренней полости по хорде – 0,7мм, оформляемой серийным спекаемым электрокорундовым стержнем. Для его

[1] Работа проводилась в рамках Постановления Правительства Российской Федерации №218 от09.04.2010 года, 6-я очередь №02.G25.31.0163 от 01.12.15 с Минобрнауки РФ

изготовления по известной технологии [1] использовалась термопластифицированная стержневая масса следующего состава (в % по массе): порошки электрокорунда фракций *F*120(100-120мкм) –20; *F*220(63-75мкм) –24; *F*240(40-50мкм) –53; пластификатор ППэ10 на основе парафина (90%) и полиэтилена (10%) –15-17(сверх 100%).

Результаты контроля лопаток свидетельствуют о большом количестве дефектов как по вине электрокорундового стержня, проявляющиеся в виде местного и общего утонения стенки пера лопатки (иногда, даже с выходом стержня на ее поверхность), повышенной шероховатости внутренней полости, так и несовершенства температурно-скоростного режима литья, обуславливающего появление в отливках недоливов, горячих и холодных трещин.

Поэтому были проведены исследования по разработке стержневого материала, который, по сравнению с серийным электрокорундовым составом, обладал бы большей седиментационной устойчивостью и текучестью, сопоставимым с формой коэффициентом термического расширения (КТР), меньшей теплопроводностью, оптимальными физико-химическими и термомеханическими свойствами, обеспечивающими требуемые размерную точность, качество внутренней поверхности отливок и удаляемость из них стержней.

Описание экспериментальных исследований

Стержни образцы для определения прочности изготавливали запрессовкой термопластифицированной минеральной композиции (стержневой массы) в пресс-форму на пресс-автомате марки CLEVELAND CTM-25. Следующие параметры процесса задавались и контролировались по дисплею пресс-автомата:

давление запрессовки – 8МПа;
температура массы – 85-90°С;
время выдержки сырца – 25с.

Заготовки образцов всех составов подвергались обжигу при температуре 1350-1370°С по серийной технологии в проходной газовой печи ПГ-30.

Предел прочности ($\sigma_и$) и стрелу прогиба (*f*) образцов определяли при 3-хточечном изгибе по методике и на установке, описанных в работе [2].

Определение коэффициента термического расширения (КТР) проводили на горизонтальном оптическом дилатометре MISURA® ODLT компании «Expert System Solutions» с функцией дифференциального термического анализа (ДТА), позволяющем выполнять дилатометрический анализ материалов до 1600°С и анализировать образцы в цикле отжига с максимальной скоростью нагрева до 30°С/мин.

Результаты и обсуждения

Стержневая смесь обычно является полифракционным материалом, составленным из компонентов разной плотности, что является важным фактором нестабильности реологических свойств массы. Это проявилось при освоении производства серийных электрокорундовых стержней на пресс-автомате CLEVELAND CTM-25, когда экспериментально было установлено постепенное неконтролируемое изменение зернового состава серийного электрокорундового стержня в сторону увеличения концентрации более крупных фракций по мере расходования массы в течение смены. Причем, этого не удавалось полностью избежать даже при непрерывном перемешивании стержневой массы, остающейся в баке пресс-автомата, в результате чего в ней возрастает содержание мелких фракций, увеличивающих вязкость массы и вызывающих, как уже отмечалось, недопрессовку, вспучивание и другие дефекты сырых заготовок стержней.

Теоретически можно показать, что введением в материал более седиментационно устойчивого компонента (более дисперсного, менее плотного) можно одновременно улучшить седиментационные характеристики всего материала.

Недостатком спекаемых электрокорундовых стержней является их более высокое, по сравнению с электрокорундовой оболочковой формой на кремнезольном связующем, термическое расширение (рисунок 1, кривые 1и 2). Так, если в интервале 200-300°С разность

КТР у них составляет (0,6-0,7)·10^{-6} 1/°С, то при температурах 1200-1300°С, близких к температуре заливки жаропрочных сплавов, она уже достигает (1,0-1,2)·10^{-6} 1/°С. При жестком закреплении в форме с обеих сторон, стержень в процессе нагрева, будет, в силу этой разности, расширяться, испытывая постепенно возрастающее сопротивление со стороны формы. Обусловленные этим термические напряжения сжатия в стержне достигают значительной величины.

В реальном литейном процессе, наиболее опасным, с точки зрения целостности и сохранения точности стержня, является начальный этап заливки формы, когда стержень, омываемый кругом жидким металлом, будет, естественно, прогреваться намного интенсивнее, чем форма, что приводит к появлению значительного перепада температуры между ними. Это, например, было выявлено в эксперименте по заливке жаропрочным сплавом электрокорундовой оболочковой формы опытной пустотелой отливки с толщиной стенки 2мм, полость в которой оформляется плоским электрокорундовым стержнем, с толщиной и длиной соответственно 2 и 180мм.

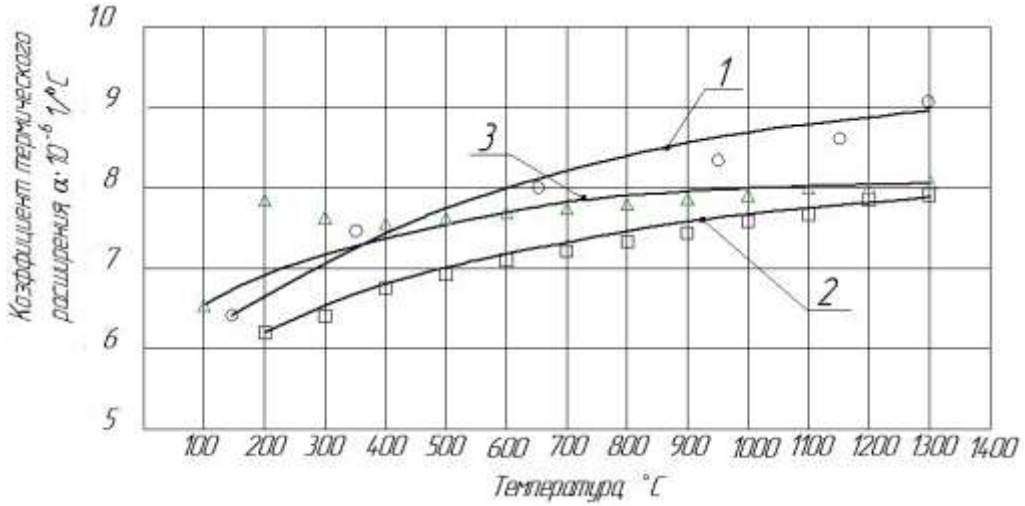


Рисунок 1.Температурные зависимости коэффициентов термического расширения стержневых материалов

Установлено, что температура в геометрическом центре стержня возрастает от ее начального значения ~1000°С до 1350–1360°С за 3–4с, в то время как изменение средней температуры оболочки, с толщиной стенки~7мм, за то же время не превышает 25–30°С. Таким образом, максимальный перепад температур между стержнем и формой с заданными размерными параметрами, достигает 320–330°С, вызывая разность в их удлинениях до 0,06 мм и появление дополнительных нагрузок на стержень, которые могут стать причиной потери им продольной устойчивости со значительным прогибом в слабом сечении или даже разрушением.

Из вышеизложенного следует, что для создания более благоприятных условий силового взаимодействия стержня с формой, необходимо выровнять показатели их термического расширения, по крайней мере, до величин, когда отличия в КТР не будут превышать (0,01-0,03)·10^{-6} 1/°С. Применительно к электрокорундовому стержню экспериментально было выявлено, что введение плавленого кварца с низким КТР (~0,5·10^{-6} 1/°С) [3] в стержневую массу на основе электрокорунда, дает, наряду с улучшением ее седиментационных свойств, возможность регулируемого снижения термического расширения стержня до уровня, сопоставимого со свойствами формы. Это наглядно подтверждает сравнительный анализ данных по КТР электрокорундовой оболочки и разработанного опытного стержневого материала (рисунок 1, кривая 3), включающего следующие компоненты (в % по массе): Al_2O_3–85,5 (*F*120–22,5%; *F*280–63,0%); SiO_2 (плавленый)–12,0 (*F*120–2,5%; *F*230–7,5%; *F*1200–2,0%); (*F*800)– 2,0; TiO_2 –0,5; пластификатор ППэ7–16 (сверх 100%). Из рисунка можно увидеть, что в области, близкой к

температуре заливки сплава ЖС6У, различия в КТР стержня и формы снижены до рекомендуемых значений. Положительным аспектом предлагаемого состава является его относительно небольшая усадка при обжиге (~0,4%), которая осталась практически такой же, что и у серийных стержней. Тем самым, обеспечивается возможность работы с уже имеющейся технологической оснасткой, без корректировки ее исполнительных размеров. Одновременно с этим и кажущаяся пористость стержней из этого материала, составляющая 40,3%, вполне удовлетворяет технологическим нормам (не менее 35%), необходимым для обеспечения полноты пропитки стержня растворами бифторида калия или щелочи в процессе его удаления из лопатки.

При выборе количества плавленого кварца учитывали возможность его расстекловывания при обжиге стержня, с присущими появляющейся кристаллической фазе (α-кристобалит) явлений полиморфизма. В ходе последующего охлаждения, стержень претерпевает разупрочнение вследствие объемных изменений при полиморфных превращениях α-кристобалита. При избыточных количествах последнего, что, в свою очередь, определяется исходным количеством стеклофазы в массе и температурой обжига, разупрочнение стержня может превысить допустимые величины. С учетом этого, содержание плавленого кварца в разработанном стержневом составе ограничено величиной 12%, которую, применительно к принятым условиям получения стержня, можно считать оптимальной.

Эксперименты выявили различия в характере температурных зависимостей пределов прочности серийного и опытного стержневых составов (рисунок 2). Так, если у первого происходит монотонное уменьшение величины $\sigma_и$ (от ~27 до ~21МПа, кривая 1) при нагреве от 20 до 1200°С, то у второго, наоборот, в интервале 20-1000°С, предел прочности растет (от ~19 до ~26МПа, кривая 2), а затем происходит уже его снижение (до ~24МПа при 1200°С).

При этом, прочностные свойства все еще остаются на уровне, заметно превышающем минимально допустимые для стержней значения (не менее 15МПа) [4].

Образцы из исследуемых материалов при относительно низких температурах испытания (до 1000°С) деформируются упруго под нагрузкой на 0,02-0,03мм (рисунок 2, кривые 3,4), а в дальнейшем податливость образцов из серийного состава существенно возрастает, достигая 3.3-3.5мм (рисунок 2, кривая 4).

Выявленные закономерности изменения термомеханических свойств образцов из опытного материала обусловлены присутствием значительного количества плавленого кварца (12% по массе) и, как отмечалось выше, структурными превращениям в нем (кристобалитизацией) при нагреве, что подтвердилось при рентгенофазовом анализе. Отметим, что такое изменение структуры будет способствовать в последующем улучшению удаляемости стержня из отливки. Следует, однако, иметь в виду, что содержание кристобалита в стержне не должно превышать оптимальных значений, с тем, чтобы излишнее снижение его прочностных свойств до опасных значений (менее 15МПа) не привело к ухудшению размерной точности отливки или браку по деформации или слому стержня.

Наблюдаемое увеличение прочности образцов с плавленым кварцем при повышении температуры можно объяснить возрастающей ролью вязкого течения материала, в первую очередь по границам зерен в местах воздействия больших локальных напряжений [5]. Благодаря аморфной структуре плавленого кварца допустимы большие микродеформации, которые в кристаллических зернах обычно вызывают появление трещин. Это обусловливает снижение концентрации напряжений на стыках зерен уже при температурах 400°С и увеличение предела прочности. При дальнейшем повышении температуры, вязкое течение проявляется уже в самих зернах и сопровождается повышением деформирования нагружаемого образца.

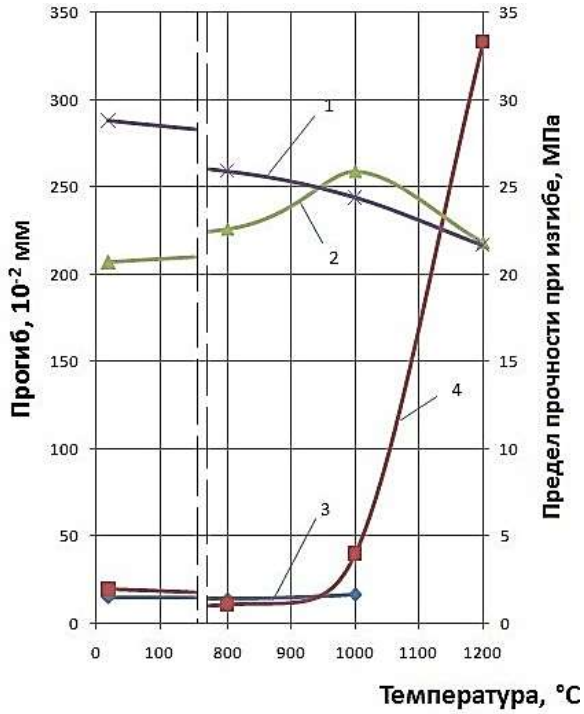


Рисунок 2. Температурные зависимости предела прочности (1,2) и прогиба (3,4) образцов при изгибе

Для производственного опробования отпрессована партия из 60 стержней–сырцов из предлагаемого стержневого материала. После прохождения обжига по установленному режиму качественные стержни были использованы при изготовлении моделей лопаток и оболочковых форм на кремнезольном связующем. Экспериментальная оболочка представляет собой блок из форм 4–х лопаток, несущих попарно стержни из серийного и опытного материалов. Это позволяет обеспечить идентичность температурно-скоростных режимов получения лопаток в блоке и адекватность данных последующего сравнительного анализа их качества.

Визуальным осмотром обнаружено, что около 8% лопаток, залитых с серийными стержнями, имеют дефекты по незаливу, неспаю, засору. При этом, на отливках с опытными стержнями внешние дефекты отсутствовали. Предположительной причиной улучшения заполнения полости формы, и как следствие, устранения указанных дефектов, является, в этом случае, более низкая теплопроводность опытного состава с плавленым кварцем, замедляющая теплоотдачу в стержень от металла с более продолжительным сохранением его жидкотекучести.

Выявленное при рентгеновском контроле примерно одинаковое количество дефектов по усадочной пористости (4–6%) в металле массивных замков лопаток как с серийными, так и опытными стержнями, объясняется несовершенством применяемой литниково-питающей системы.

Особенностью конструкции стержня является некоторый его начальный прогиб в сторону корыта в районе между замковой частью и серединой лопатки. Размерный контроль препарированных лопаток показал, что именно в этой области наблюдается наибольшая деформация стержней при температурно-силовом воздействии расплава, обуславливающая утонение стенки пера лопатки по корыту до 0,6мм и объем брака по этому дефекту, достигающий 20% у лопаток с серийными и ~12%–с опытными стержнями.

Выводы

В заключение можно сказать, что предлагаемый стержневой материал более технологичен и в большей степени отвечает особенностям получения стержней-сырцов на

полуавтоматах; имеет меньший коэффициент термического расширения; обеспечивает лучшее удаление стержня из отливки за счет добавки плавленого кварца и повышение выхода годных отливок, по сравнению с серийной стержневой массой.

Список литературы

1. Абрамсон Д.И. Керамика для авиационных изделий / Д.И. Абрамсон – М.: Оборонгиз, 1963.– 240 с.

2. Грибанов А.С.Опыт использования плавленого кварца при изготовлении огнеупорных оболочек в литье по выплавляемым моделям на Воронежском механическом заводе (ВМЗ)/ А.С. Грибанов, Ю.Н. Савельев, В.С. Кучеренко // Литейщик России.–2006.–№1.– С.31-35.

3. Установка для исследования термомеханических свойств оболочковых форм / С.С. Шпиндлер, М.И. Ланда, Н.Н. Копытов и др. // Литейное производство. – 1977. – №2. – С.32-36.

4. Легкоудаляемые керамические стержни для литья лопаток ГТД по выплавляемым моделям/ А.В. Беляков, И.В. Разумнова, И.М. Демонис и др.// Стекло и керамика.–2012. –№4.– С.26-31.

5. Пивинский Ю.Е. Кварцевая керамика / Ю.Е. Пивинский, А.Г. Ромашин – М.: Металлургия, 1974.– 264 с.

CORE MATERIAL FOR EQUIAXIAL CASTING OF COOLED BLADE OF GAS TURBINE ENGINES (GTE) FROM HEAT-RESISTANT ALLOYS

Demenok A.O.
Pavlinich S.P., D.Sc. (Engineering), Associate Professor,
Demenok O.B., PhD (Engineering), Associate Professor,
Ganeev A.A., D.Sc. (Engineering), Professor,
Gayntseva E.S., PhD (Engineering),
Khayrullin T.A.

Demenok A.O., Pavlinich S.P., Demenok O.B., Ganeev A.A., Gayntseva E.S., Khayrullin T.A.

450008, Karl Marx st., 12, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation
Ufa State Aviation Technical University,

Abstract

A material of a core based on electrocorundum and fused quartz is proposed for the design of the internal cavity of a cooled working turbine blade made of heat-resistant ZhS6U alloy with equiaxial structure. Limitations to the content of fused quartz were determined, which allowed to use the serial equipment and ensure a complete removal of the core from the casting. The dependence of the bend strength and deflection upon bending and thermal expansion, as well as other characteristics of the sand formulation, were studied in the temperature range 20-1200 ° C. Approbation of the experimental core material together with the serial core in the identical temperature-speed regimes was carried out. The use of cores from the developed material makes it possible, according to the results of the quality control of the blades, to eliminate defects on them almost completely by filling, casting seam, clogging, and to reducing significantly the level of rejection of the blade wall thinning.

Key words: ceramic core, hollow blade, core sand mixture, heat-resisting alloy

УДК 621.91.01

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ТОЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КОЛЕБАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ЕРЕНКОВ О.Ю.[1], докт. техн. наук,
ФЕДОРОВА Г.Н.[1], ст. преподаватель,
([1]ТГУ, г. Хабаровск, Россия)

Еренков О.Ю., Федорова Г.Н.

680035, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия,
Тихоокеанский государственный университет,
e - mail: erenkov@list.ru

Аннотация

В статье перечислены наиболее важные внешние факторы, оказывающие влияние на демпфирующие свойства материала при точении заготовок. На основе их анализа обосновывается целесообразность проведения сравнительного анализа динамических свойств технологической системы при обработке резанием полимерных и металлических материалов. Разработана математическая модель колебаний технологической системы при точении заготовок. Приведены результаты сравнительного анализа процессов токарной обработки заготовок из стали 45 и капролона. Установлено принципиальное отличие характеристик колебаний технологической системы при обработке полимерных материалов от обработки сталей.

Ключевые слова: технологическая система, колебания, токарная обработка, математическая модель, передаточная функция, динамическая податливость

Введение

При механической обработке различных материалов, в том числе и полимерных, важно обеспечить высокое качество поверхности обработанной детали. От качества поверхностного слоя зависят: прочность деталей, особенно при знакопеременных нагрузках, прочность прессовых и стабильность подвижных посадок, износостойкость, коэффициент трения, коррозионная прочность, оптические и химические свойства.

Известно, что качество обработанной детали зависит от характера и параметров относительных колебаний инструмента и заготовки, которые вызывают периодическое изменение толщины срезаемого слоя и сил резания, что в свою очередь, ведет к изменению размеров и появлению геометрических погрешностей у обработанных деталей [1]. Колебания элементов технологической системы приводят к ухудшению качества обработанной поверхности, а также снижению стойкости режущего инструмента [1,2]. Для снижения уровня колебаний в технологической системе уменьшают режимы резания (глубину резания и подачу), вследствие чего существенно снижается производительность обработки.

Поглощение энергии колебаний в процессе механической обработки определяется демпфирующей способность материалов деталей технологической системы и стыков между ними, которая характеризует способность материалов и стыков поглощать энергию циклического деформирования. Демпфирующая способность материала зависит от многих факторов, например, от его химического состава и структуры; амплитуды циклической деформации (напряжения) и вида напряженного состояния; вида и режима термической обработки; предварительного пластического деформирования; температуры и др. Известные конструкционные материалы различаются по демпфирующей способности весьма существенно – на три порядка [3]. Наиболее низкими демпфирующими свойствами обладают

титановые сплавы. Значительно лучшую демпфирующую способность по сравнению с титановыми сплавами имеют алюминиевые сплавы и стали. А самую высокую демпфирующую способность показали полимерные материалы.

Наиболее важными внешними факторами, оказывающими влияние на демпфирующие свойства материала, являются температура, частота колебаний, динамическая нагрузка и статическое предварительное нагружение. Оценка влияния величины амплитуд деформаций при динамических перемещениях на демпфирующие свойства материалов довольно затруднительна. Это связано с тем, что большие амплитуды деформаций обычно приводят к большому поглощению энергии в материале, что в свою очередь вызывает быстрый рост его температуры, поэтому оба эффекта – температурный и амплитудный – проявляются одновременно.

Однако для полимерных материалов, где модуль упругости и коэффициент потерь изменяются в зависимости от температуры относительно медленно, влияние температуры становится вторичным по сравнению с влиянием амплитуды динамических деформаций. Зависимость модуля упругости от амплитуды динамических деформаций определяется структурой материала [4]. Также на демпфирующие свойства материала оказывает влияние статистическое предварительное нагружение. В случае приложения нагрузки к материалу, модуль упругости растет с ростом предварительной нагрузки, тогда как коэффициент потерь уменьшается [5].

Исходя из вышесказанного, следует, что динамические свойства технологической системы при обработке резанием полимерных материалов должны иметь существенные отличия, по сравнению с обработкой металлических конструкционных материалов, вызванные большей демпфирующей способностью полимеров. Поэтому представляет значительный интерес сравнение динамических свойств технологической системы при обработке резанием полимерных и металлических материалов.

Математическая модель

В данной работе для определения параметров качества деталей при токарной обработке предложена математическая модель колебаний технологической системы, отличительными особенностями которой являются:

1) учет взаимного влияния параметров колебаний и силы резания;

2) учет взаимосвязи колебаний по различным осям координат;

3) представление расчетной схемы в виде многомассовой системы с сосредоточенными параметрами;

4) использование мгновенных (постоянных и переменных) значений подачи, скорости и глубины резания вместо их номинальных (постоянных) значений.

С учетом принятых в [6] расчетной схемы и обозначений, математическая модель колебаний имеет вид:

$$M\ddot{X} + H\dot{X} + CX = F(t) \qquad (1)$$

где M, H, C - матрицы масс, демпфирования и жесткости технологической системы:

$$M = \begin{pmatrix} M_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_1 \end{pmatrix};$$

$$H = \begin{pmatrix} H_1 & 0 & 0 & 0 & \gamma_x & -\gamma_x \\ 0 & h_1 & 0 & 0 & -\gamma_x & \gamma_x \\ 0 & 0 & H_2 & 0 & \gamma_y & -\gamma_y \\ 0 & 0 & 0 & h_2 & -\gamma_y & \gamma_y \\ 0 & 0 & 0 & 0 & H_3+\gamma_z & -\gamma_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\gamma_z & h_3+\gamma_z \end{pmatrix};$$

$$C = \begin{pmatrix} j_1+\beta_x & -\beta_x & \alpha_x & -\alpha_x & 0 & 0 \\ -\beta_x & c_1+\beta_x & -\alpha_x & \alpha_x & 0 & 0 \\ \beta_y & -\beta_y & j_2+\alpha_y & -\alpha_y & 0 & 0 \\ -\beta_y & \beta_y & -\alpha_y & c_2+\alpha_y & 0 & 0 \\ \beta_z & -\beta_z & \alpha_z & -\alpha_z & j_3 & 0 \\ -\beta_z & \beta_z & -\alpha_z & \alpha_z & 0 & c_3 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$X = (x_д, x_и, y_д, y_и, z_д, z_и)^т$ - вектор виброперемещений технологической системы по осям X, Y и Z детали и инструмента, соответственно (т - символ транспонирования); $F(t) = (P_x(t), -P_x(t), P_y(t), -P_y(t), P_z(t), -P_z(t))^т$ - вектор вибровозмущений, который содержит часть составляющих силы резания, явно зависящих от времени; коэффициенты $\alpha_{x,y,z}, \beta_{x,y,z}, \gamma_{x,y,z}$ рассчитываются по следующим зависимостям, полученным при линеаризации выражения для силы резания по мгновенным значениям подачи, глубины резания и скорости резания:

$$\begin{aligned} \alpha_{x,y,z} &= 10 \cdot Cp_{x,y,z} Kp \cdot x \cdot s^{x-1} \cdot t^{y} \cdot v^{n}, \\ \beta_{x,y,z} &= 10 \cdot Cp_{x,y,z} Kp \cdot y \cdot s^{x} \cdot t^{y-1} \cdot v^{n}, \\ \gamma_{x,y,z} &= 10 \cdot Cp_{x,y,z} Kp \cdot n \cdot s^{x} \cdot t^{y} \cdot v^{n-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

где C_p – коэффициент, учитывающий условия обработки; K_p – коэффициент, учитывающий фактические условия резания; x,y,n – показатели степени; данные коэффициенты определяются по справочной литературе.

Величина погрешности обработки детали равна $\Delta(t) = y_д(t) - y_и(t)$. Она включает в себя погрешность размера, волнистость и шероховатость обработанной поверхности. Поскольку погрешность обработки зависит от разности перемещений детали и инструмента по оси Y, то для определения особенностей обработки полимеров необходимо определить динамическую характеристику технологической системы в направлении этой оси.

В частотной области модель колебаний технологической системы имеет вид

$$X(\omega) = \left(-\omega^2 M + i\omega H + C\right)^{-1} F(\omega), \quad (4)$$

где ω - круговая частота колебаний; *i* - мнимая единица; X(ω) - комплексный амплитудный спектр виброперемещений; F(ω) - комплексный амплитудный спектр вибровозмущений; выражение в скобках является матрицей динамической податливости технологической системы - $W(\omega) = (-\omega^2 M + i\omega H + C)^{-1}$.

В частотной области выражение для величины погрешности обработки имеет вид $\Delta_{поп}(\omega) = y_д(\omega) - y_и(\omega)$, где $\Delta_{поп}(\omega)$ - комплексный амплитудный спектр величины погрешности обработки в поперечном сечении; $y_д(\omega)$ и $y_и(\omega)$ - составляющие вектора X(ω).

Спектральное представление величины погрешности обработки детали в поперечном сечении характеризует при ω=0 погрешность размера обработанной детали, при $\omega=\omega_{шп}$ - величину эксцентриситета обработанной поверхности относительно базовой поверхности детали, при $\omega=2\omega_{шп}$ - овальность обработанной поверхности, $\omega=3\omega_{шп}$ - трехгранность и т.п., при $15\omega_{шп} \le \omega < 46\omega_{шп}$ - волнистость, а при $\omega > 46\omega_{шп}$ - шероховатость обработанной поверхности в поперечном сечении.

Передаточная функция процесса резания - $W_{рез} = |(w_{33}-w_{34}-w_{43}+w_{44})|$, т.е. выражается через составляющие матрицы динамической податливости. Поскольку нас интересуют различия динамических характеристик при обработке сталей и полимеров, то сравнение можно выполнить на основе анализа передаточной функции процесса резания в этих случаях.

Результаты моделирования

В таблице представлены значения параметров динамической системы станка при обработке стали 45 и капролона. Значения коэффициентов демпфирования для капролона

выбраны по работе [6]. Значения коэффициентов инерции, жесткости и демпфирования для подсистемы инструмента при обработке этих материалов приняты одинаковыми. Значения коэффициентов жесткости для подсистемы заготовки-полимера определялись посредством умножения коэффициентов жесткости для подсистемы заготовки-стали на отношение модуля упругости капролона к модулю упругости стали, поскольку геометрические параметры этих заготовок приняты одинаковыми.

На рис.1 представлены результаты моделирования функции $W_{рез}$ при токарной обработке заготовок из стали 45 и капролона.

При моделировании установлена особенность динамики технологической системы при обработке резанием полимеров, заключающаяся в расположении наибольших значений динамической податливости системы в области, соответствующей погрешности размера и эксцентриситета (рисунок 1, б зона 1), а также шероховатости обработанной поверхности (рисунок 1, б зона 3). При обработке сталей наибольшие значения динамической податливости технологической системы расположены в области погрешности формы – огранки и волнистости (рисунок 1, а зона 2).

Обеспечение точности размера при обработке полимеров может выполняться обычным способом – настройкой и поднастройкой на размер. Поэтому наибольшее влияние на качество обработки полимеров оказывают высокочастотные колебания технологической системы, формирующие шероховатость обработанной поверхности. Как следует из выражения (2) на величину погрешности обработки оказывают влияние динамическая податливость и сила резания, поэтому повышение качества обработки полимеров связано с уменьшением силы резания. Как отмечалось ранее снижение значений режимов обработки (скорости резания и подачи) связано со снижением производительности. В связи с этим одним из главных направлений повышения качества обработки является снижение величины напряжений в полимерных материалах и соответственно силы резания, за счет предварительных воздействий на них.

Таблица 1– Параметры динамической системы станка при обработке стали 45 и капролона

№ п/п	Обозначения параметров	Численное значение	
		сталь 45	капролон
1	j_1	16 Н/мкм	1,4 Н/мкм
2	j_2	6 Н/мкм	0,5 Н/мкм
3	j_3	6 Н/мкм	0,5 Н/мкм
4	c_1	25 Н/мкм	25 Н/мкм
5	c_2	25 Н/мкм	25 Н/мкм
6	c_3	37 Н/мкм	37 Н/мкм
7	H_1	4000 кг/с	35000 кг/с
8	H_2	1600 кг/с	14000 кг/с
9	H_3	1600 кг/с	14000 кг/с
10	h_1	600 кг/с	600 кг/с
11	h_2	600 кг/с	600 кг/с
12	h_3	1000 кг/с	1000 кг/с
13	M_1	4 кг	0,7 кг
14	M_2	2 кг	0,35 кг
15	m_1	0,5 кг	0,5 кг
16	m_2	1 кг	1 кг

Выводы

Таким образом, на основании выше изложенного, может сделать следующие выводы:

1.Принципиальным отличием колебаний технологической системы при обработке полимерных материалов от обработки сталей, оказывающих существенное влияние на качество обработки, является преобладание высокочастотных колебаний, формирующих шероховатость поверхности.

2. Одним из направлений в области повышения качества токарной обработки полимерных материалов является применение предварительных воздействий на заготовки с целью изменения напряженно – деформированного состояния материала в зоне резания.

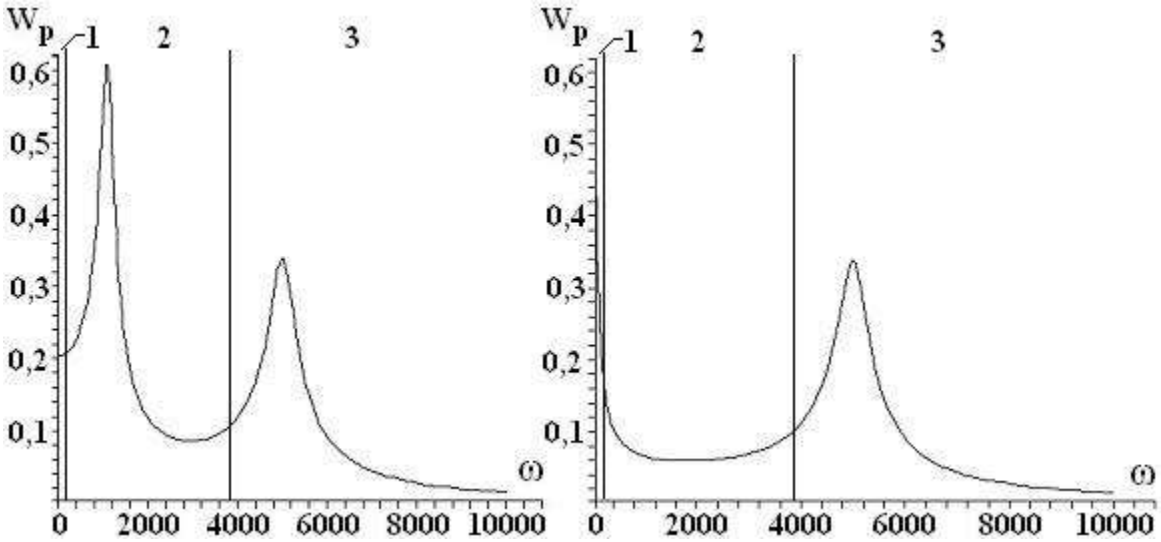


Рисунок 1. Зависимость передаточных функций $W_{рез}$ (мкм/кН) от круговой частоты ω (рад/с) при скорости резания v = 75 м/мин: а) для стали 45; б) для капролона

Список литературы

1. Кабалдин Ю.Г. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием/ Ю. Г. Кабалдин, А. И. Олейников, А. М. Шпилев, А. А. Бурков. - Владивосток: Дальнаука, 2000. - 195 с.

2. Кудинов В. А. Схема стружкообразования (динамическая модель процесса резания) // Станки и инструмент. – 1992.-№10.-С.14-17,№11.-С.26–29с.

3. Матвеев В. В. Демпфирование колебаний деформируемых тел. Киев: Наукова думка, 1985. 264 с.

4. Аскадский А. А., Матвеев Ю. И. Химическое строение и физические свойства полимеров. - М.: Химия, 1983. - 248 с.

5. Тюдзе Р., Кавай Т. Физическая химия полимеров. - М.: Химия, 1977. - 296 с.

6. Ивахненко Е. О. Обеспечение точности обработки на токарных станках посредством выбора рациональных режимов резания с учетом состояния динамической системы СПИД: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – ХГТУ.: 1997. – 18 с.

7. Еренков О.Ю. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2006. № 5. С. 23.

8. Еренков О.Ю. Токарная обработка полимерных материалов с применением опережающее обработки заготовок/ О.Ю. Еренков//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 7. С. 45.

9. Патент №2207937 Российская федерация, (51) МПК В29С 41/04. Устройство для предварительной обработки заготовок из пластмасс / Еренков О.Ю., С.А. Ковальчук.- Заявка № 2003145870; заявлено 07.12.2003; опубликовано 10.07.2003, Бюл. №19.

10. Патент № 2203183 Российская федерация, (51) МПК 7 В 29 С 69/00. Способ обработки деталей из пластмасс/ О.Ю. Еренков. - № 2001106372/12; заявл. 24.03.2001; Опубл.27.04.2003, Бюл. №12.

11. Патент №2328374 Российская федерация, (51) МПК В 29 С 37/00. Способ обработки заготовок из пластмасс/ О.Ю. Еренков, А.В. Гаврилова, А.Г. Ивахненко А.Г. - № 2006138533/12; заявл. 31.10.2006; Опубл.10.07.2008, Бюл. №19.

12. Еренков О.Ю. Исследование комбинированного способа токарной обработки заготовок из полимерных материалов после предварительного термомеханического воздействия/О.Ю. Еренков//Вестник машиностроения. 2006. № 7. С. 30.

THE TURNING PROCESS COMPARING ANALYSIS OF ON THE BASE OF TECHNOLOGICAL SYSTEM OSCILLATIONS MODEL

Erenkov O.Yu., D.Sc. (Engineering), Professor
Fedorova G.N., Senior Lecture

Erenkov O.Yu., Fedorova G.N.

680035, Tikhooceanskaya st. 136
Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Abstract

The article lists the most important external factors that affect the damping properties of the material when rotating workpieces. On the basis of their analysis, the expediency of performing a comparative analysis of the dynamic properties of the technological system during cutting by polymer and metallic materials is justified. A mathematical model of the oscillations of the technological system is developed for the rotation of blanks. The results of a comparative analysis of the lathe processing of blanks made of steel 45 and caprolon are presented. A fundamental difference is found in the characteristics of the oscillations of the technological system when processing polymeric materials from the treatment of steels.

Keywords: polymeric materials, technological system, oscillations, work pieces turning, mathematical model, transmission function, dynamic compliance

УДК621.91.01

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ТОЧЕНИЯ КАПРОЛОНА ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

ЕРЕНКОВ О.Ю.[1], докт. техн. наук
([1]ТГУ, Хабаровск, Россия)

Еренков О.Ю.

680035, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия,
Тихоокеанский государственный университет,
e - mail: erenkov@list.ru

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований нового способа точения заготовок из капролона. Техническая сущность способа заключается в том, что предварительно точению производят термообработку обработку заготовки. Результаты экспериментальной проверки разработанного способа подтвердили целесообразность его реализации, так как точение капролона после термообработки по предложенной последовательности приводит к снижению уровня шероховатости обработанной поверхности детали, о чем свидетельствуют значения параметров шероховатости и тип получаемой стружки.

Ключевые слова: капролон, токарная обработка, термообработка, шероховатость, стружкообразование

Введение

При механической обработке полимерных композиционных материалов важно обеспечить высокое качество поверхности обработанной детали. От качества поверхностного слоя зависят: прочность деталей, особенно при знакопеременных нагрузках, прочность прессовых и стабильность подвижных посадок, износостойкость, коэффициент трения, коррозионная прочность, оптические и химические свойства. Процессы резания полимерных композиционных материалов отличаются от процессов резания металлов [1,2], что обусловлено их специфичными свойствами, однако на практике обработку резанием полимерных композиционных материалов назначают без учета состояния структуры полимерного материала, что является причиной ограниченной производительности процесса на основе обычных способов обработки и проблемой обеспечения высокого качества обработанной резанием поверхности.

Таким образом, задача повышения производительности механической обработки резанием заготовок из полимерных композиционных материалов актуальна для современного машиностроения, так как ее решение позволит улучшить технико-экономические показатели выпускаемой продукции.

В настоящее время известны [3,4,5,6] оригинальные способы токарной обработки деталей из пластмасс, реализация которых обеспечивает получение обработанной поверхности высокого качества. Но, тем не менее, разработка и исследование новых способов обработки полимерных материалов резанием остается насущной задачей современного машиностроения, так как появляются новые полимерные композиционные материалы, имеющие свойства отличные от известных.

Цель данной работы – экспериментальная проверка эффективности нового способа [7] токарной обработки термопластичных полимерных материалов, основанного на применении предварительной термообработки заготовок.

Методика проведения экспериментальных исследований

В качестве исследуемого выбран капролон – термопластичный полимерный материал, широко применяемый в различных отраслях промышленности в качестве конструкционного материала для изготовления широкой номенклатуры деталей различного служебного назначения.

Экспериментальные исследования проводились в следующей последовательности согласно разработанного способа [7]. На первом этапе в среде минерального масла производили предварительную обработку заготовок из капролона путем нагрева до температуры 150 ºС со скоростью нагрева 60^0С/час, последующей выдержки при данной температуре в течение 20 минут, и охлаждения со скоростью 30^0С/час до температуры 20 ºС.

На втором этапе реализовывали токарную обработку как заготовок, не подвергавшихся термообработке (обработка по базовому варианту), так и заготовок после предварительной термообработки. Точение проводили на токарном патронно-центровом станке с ЧПУ модели РТ755Ф311. Рациональные значения основных параметров процесса резания, инструментальный материал и геометрия режущей части инструмента были выбраны на основе ранее проведенных исследований [6,8].

Шероховатость обработанной поверхности контролировали при помощи профилометра TR 200. В качестве выходных параметров из номенклатуры параметров шероховатости согласно ГОСТ 2789-73 выбраны: среднее арифметическое отклонение профиля R_a, высота неровностей профиля по десяти точкам R_z, наибольшая высота неровностей профиля R_{max}, средний шаг неровностей профиля S_m. Дополнительно определялись параметры шероховатости в соответствии с международным стандартом ISO 4288: расстояние от вершины наибольшего выступа профиля до средней линии P_p, расстояние от дна наибольшей впадины профиля до средней линии P_m, асимметрия профиля S_k. Данные параметры имеют важное практическое значение для оценки качества поверхностного слоя. Согласно положениям ISO 4288 профиль с положительными значениями параметра S_k имеет четкие высокие пики, которые выделяются от среднего. Поверхности с отрицательными значениями S_k имеют четкие глубокие впадины в гладких плато профиля. В менее очевидных случаях значения S_k приближаются к нулю. Значения S_k> 1,5 показывают, что поверхность имеет непростую форму и простые параметры (R_a, R_z, R_{max}), вероятно не могут адекватно характеризовать качество поверхностного слоя.

Исследование структуры стружек производилось на электронном микроскопе Micro 200.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1 представлены, в виде профилограмм, результаты исследования уровня шероховатости обработанной поверхности деталей из капролона. Такие профилограммы могут использоваться для визуального и оперативного контроля процесса токарной обработки. Анализ данных профилограмм показывает, что вариант токарной обработки с применением предварительной термообработки заготовок, рис.1 б, более предпочтителен по сравнению с базовыми вариантами обработки, рис.1. Об этом свидетельствуют более равномерный профиль отклонений впадин и выступов профиля поверхности и показатели их значений.

Анализ численных значений исследуемых параметров шероховатости, сведенных в таблицу 1, подтверждает тот факт, что применение предварительной обработки заготовок из капролона путем их термообработки позволяет получить впоследствии более качественный поверхностный слой детали, по сравнению с вариантом базового точения заготовок. При этом, значения параметра S_k для каждого варианта обработки подтверждают правомерность оценки шероховатости обработанной поверхности по общепринятым в российской практике параметрам шероховатости R_a, R_z и R_{max}. Таки образом, из данных таблицы 1 следует, что данные параметры шероховатости в случае точения заготовок после термообработки имеют устойчивую тенденцию к снижению, при этом параметр R_a снижается в 2,5 раза, параметр R_zв 2 раза, параметрR_{max} в 1,85 раза. Остальные параметры шероховатости также имеют меньшие значения, по сравнению с вариантом базового точения, что убедительно свидетельствует о

повышении качества обработанной точением поверхности капролона в случае предварительной термообработки заготовок.

Полученные результаты экспериментальных исследований можно объяснить следующим образом. Термообработка заготовок из капролона приводит к изменениям надмолекулярной структуры полимерного материала [9] с изменением степени порядка в укладке цепей, что приводит к упорядочению структуры за счет повышения процентного содержания кристаллической фазы в капролоне.

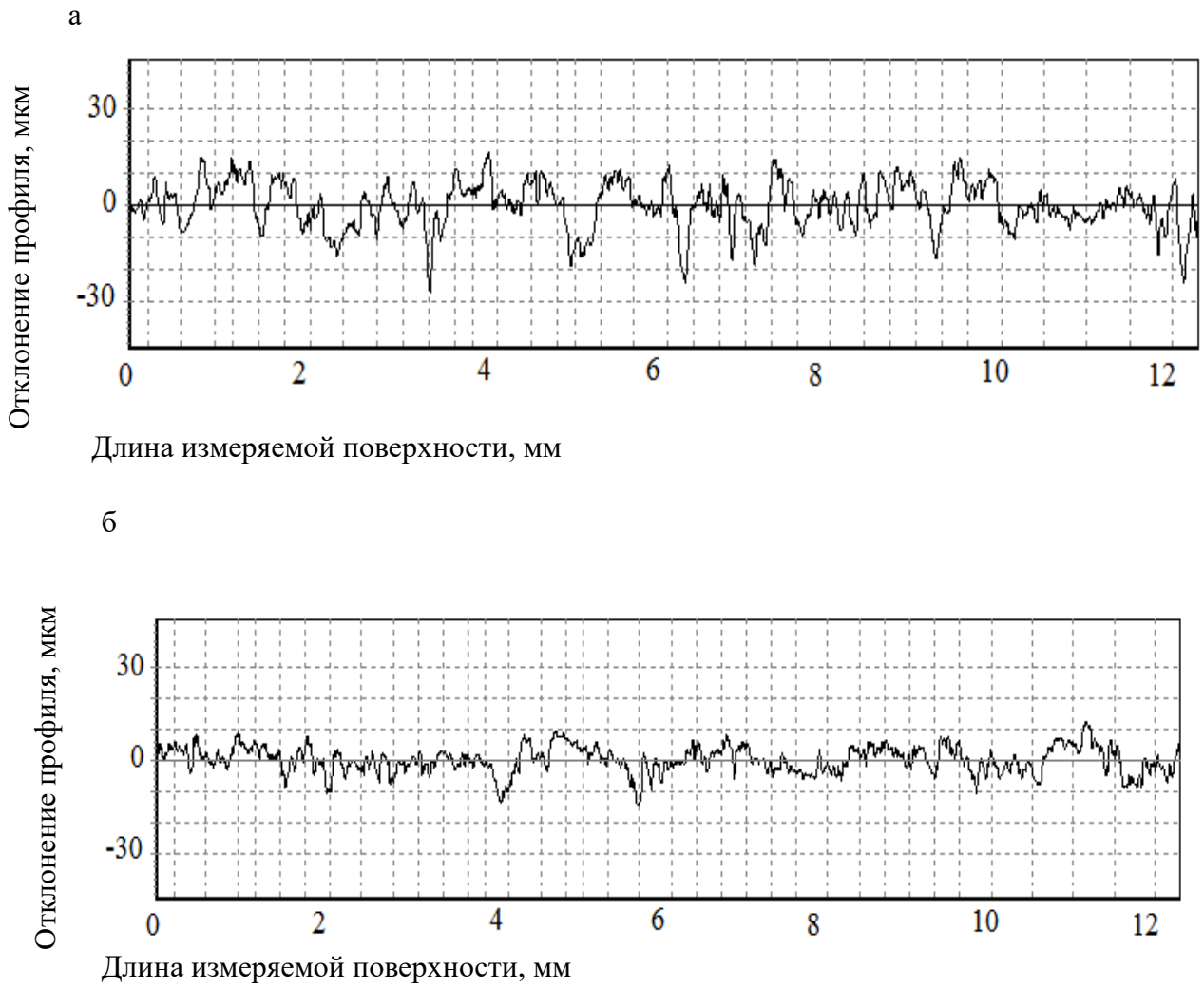


Рисунок 1– Профилограммы поверхностей деталей из капролона:
а – базовое точение; б- предварительная термообработка

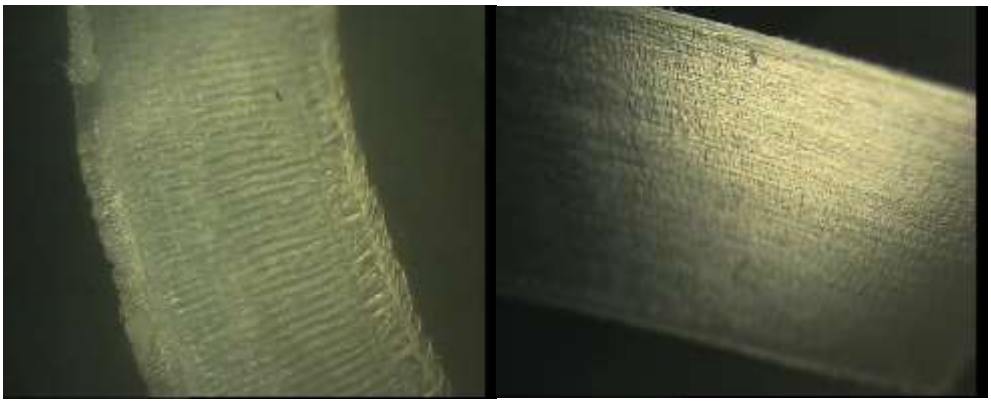
При последующем взаимодействии поверхностного слоя капролона с режущим клином инструмента магистральная трещина приобретает более устойчивое направление развития вдоль линии среза, что является предпосылкой снижения шероховатости обработанной поверхности, так как снижается вероятность образования вырывов, сколов и подобных дефектов. Кроме того, термообработка капролона приводит к снятию остаточных напряжений в объеме заготовки, которые образуются на стадии формирования материала из-за более высокой скорости остывания поверхностных слоев заготовки по сравнению с его внутренними слоями вследствие большой теплоемкости и низкой теплопроводности полимера. Как известно [10], наличие данных напряжений приводит к образованию дефектов структуры в виде микротрещин различного масштаба.

Таблица 1 – Шероховатость обработанной поверхности капролона

Вид обработки	Параметры шероховатости, мкм						
	Ra	Rz	Rmax	Rp	Rm	Sm	Sk
Базовое точение	8,7	20,20	37.90	14,80	23,10	0,2016	0,131
Точение после термообработки	3,505	10,24	20.75	9,232	11,52	0,1865	0,600

Экспериментальным подтверждением вышеизложенного являются микрофотографии стружек капролона, полученные при традиционном точении и с предварительной термообработкой заготовок, рис.2, а, б.

Сравнительный анализ представленных микрофотографий стружек, рис. 2, позволяет сделать заключение о том, что применение предварительной термообработки заготовок капролона позволяет повысить качество обработанной поверхности, о чем свидетельствует практически полное отсутствие сдвиговых элементов, формирующих стружку. Такой характер стружкообразования, так же свидетельствует о стабильности процесса обработки. Как известно [8], стабильность технологической системы при точении полимеров зависит от неравномерности структуры материала заготовки.



а б

Рисунок 2– Стружка капролона: а – традиционное точение;
б – точение после предварительной термообработки заготовок

Выводы

1. Разработан новый способ точения заготовок из капролона, техническая сущность которого заключается в том, что предварительно точения производят обработку заготовки путем нагрева до температуры 150 ºС со скоростью нагрева 60^0С/час, последующей выдержки при данной температуре в течение 20 минут, и охлаждения со скоростью 30^0С/час до температуры 20 ºС. Такая предварительная операция позволяет изменить надмолекулярную структуру капролона, что является предпосылкой повышения качества последующего процесса токарной обработки капролона.

2. Результаты экспериментальной проверки разработанного способа подтвердили целесообразность его реализации, так как точение капролона после термообработки по предложенной последовательности приводит к снижению уровня шероховатости обработанной поверхности детали, о чем свидетельствуют значения параметров шероховатости и тип получаемой стружки.

Список литературы

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов: Учебное пособие для вузов/ В.Н. Подураев.- М.: Машиностроение, 1974.- 430 с.
2. Еренков О.Ю. Токарная обработка заготовок из полимерных материалов после механической деструкции поверхностного слоя/О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Технология машиностроения. 2006. - №9. – С. 18-20.
3. Еренков О.Ю. Термомеханические параметры процесса резания полимерных материалов/О.Ю. Еренков, А.В. Гаврилова// Технология машиностроения. 2008. №3. С.13-17/
4. Еренков О.Ю. Исследование комбинированного способа токарной обработки заготовок из полимерных материалов после предварительного термомеханического воздействия/О.Ю. Еренков//Вестник машиностроения. 2006. № 7. С. 30.
5. Еренков О.Ю. Токарная обработка полимерных материалов с применением опережающее обработки заготовок/ О.Ю. Еренков//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 7. С. 45.
6. Еренков О.Ю. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2006. № 5. С. 23.
7. Патент № 2626639 Российская федерация, (51) МПК B 29 C 37/00. Способ токарной обработки заготовок из капролона / О.Ю. Еренков, А.С. Шакина, О.В. Аникеева.- № 2016122374; заявл. 06.06.2016; Опубл.31.07.2017, Бюл. № 22.
8. Ивахненко А.Г. Методология структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем/ А.Г. Ивахненко, В.В. Куц, О.Ю. Еренков, А.В. Олейник, М.Ю. Сарилов.- Комсомольск – на – Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015.-282 с.
9. Кестельман Н. Я. Термическая обработка полимерных материалов в машиностроении / Н. Я. Кестельман. - М.: Машиностроение, 1968. - 268 с.
10. Карташов Э.М. Структурно – статистическая кинетика разрушения полимеров/ Э.М. Карташов, Б. Цой, В.В. Шевелев. - М.: Химия, 2002. 736 с.

INVESTIGATION OF CAPRILON TURNINIG PROCESS QUALITY AFTER WORK PIECES HEAT TREATMENT

Erenkov O.Yu., D.Sc. (Engineering), Professor

Erenkov O.Yu.

680035, Tikhooceanskaya st. 136,
Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Abstract

The results of experimental researches of a new method of turning workpieces made of caprolon are presented. The technical essence of the method lies in the fact that before cutting the heat treatment of the workpiece is processing. The results of experimental verification of the developed method confirmed the feasibility of its implementation, as the turning of caprolon after heat treatment according to the proposed sequence leads to reduction of the roughness of the processed surface details, as evidenced by the values of the roughness parameters and the type of the resulting chip.

Keywords: caprolon, turning, heat treatment, roughness, chip formation

УДК621.91.01

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ ПОСЛЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

ЕРЕНКОВ О.Ю.[1], докт. техн. наук
([1]ТГУ, Хабаровск, Россия)

Еренков О.Ю.

680035, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия,
Тихоокеанский государственный университет,
e–mail: erenkov@list.ru

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований нового способа точения заготовок из термопластичных полимеров капролона и фторопласта. Техническая сущность способа заключается в том, что предварительно точению производят опережающую обработку заготовки ультразвуковыми колебаниями. Результаты экспериментальной проверки разработанного способа подтвердили целесообразность его реализации, так как применение опережающей ультразвуковой обработки при точении термопластов приводит к снижению уровня шероховатости обработанной поверхности детали, о чем свидетельствуют значения параметров шероховатости и тип получаемой стружки.

Ключевые слова: термопласты, токарная обработка, ультразвуковые колебания, шероховатость, стружкообразование

Введение

Как известно, процессы резания полимерных композиционных материалов отличаются от процессов резания металлов [1,2,3,4,5,6], что обусловлено их специфичными свойствами, однако на практике обработку резанием полимерных композиционных материалов назначают без учета состояния структуры полимерного материала.Такой подход является причиной ограниченной производительности процесса на основе обычных способов обработки и проблемой обеспечения высокого качества обработанной резанием поверхности.

Таким образом, задача повышения производительности механической обработки резанием заготовок из полимерных композиционных материаловактуальна для современного машиностроения, так как ее решение позволит улучшить технико-экономические показатели выпускаемой продукции.

В настоящее время известны [7,8,9,10,11] оригинальные способы токарной обработки деталей из пластмасс, реализация которых обеспечивает получение обработанной поверхности высокого качества. Но, тем не менее, разработка и исследование новых способов обработки полимерных материалов резанием остается насущной задачей современного машиностроения, так как появляются новые полимерные композиционные материалы, имеющие свойства отличные от известных.

Цель данной работы – экспериментальная проверка эффективности нового способа [12] токарной обработки термопластичных полимерных материалов, основанного на применении опережающейультразвуковой обработки заготовок.

Методика проведения экспериментальных исследований

В качестве исследуемых выбранытакие термопластичные материалы как капролон и фторопласт, широко применяемые в различных отраслях промышленности в качестве конструкционного материала для изготовления широкой номенклатуры деталей различного служебного назначения.

Экспериментальные исследования проводились на токарном станке [13], который оборудован ультразвуковой колебательной системой, рис.1,а,б, состоящей из корпуса 5, в котором размещен электромеханический преобразователь 6, концентратор – усилитель амплитуды колебаний 7 и рабочий инструмент 8 в виде конического наконечника, при этом ультразвуковая система установлена подвижно перед резцом 2 с возможностью копирования рельефа поверхности заготовки 1 и вырабатывает ультразвуковые колебания частотой 22 - 25 кГц, амплитудой 0,1 - 100 мкм, интенсивностью 1-3*10-3 Вт/м2.

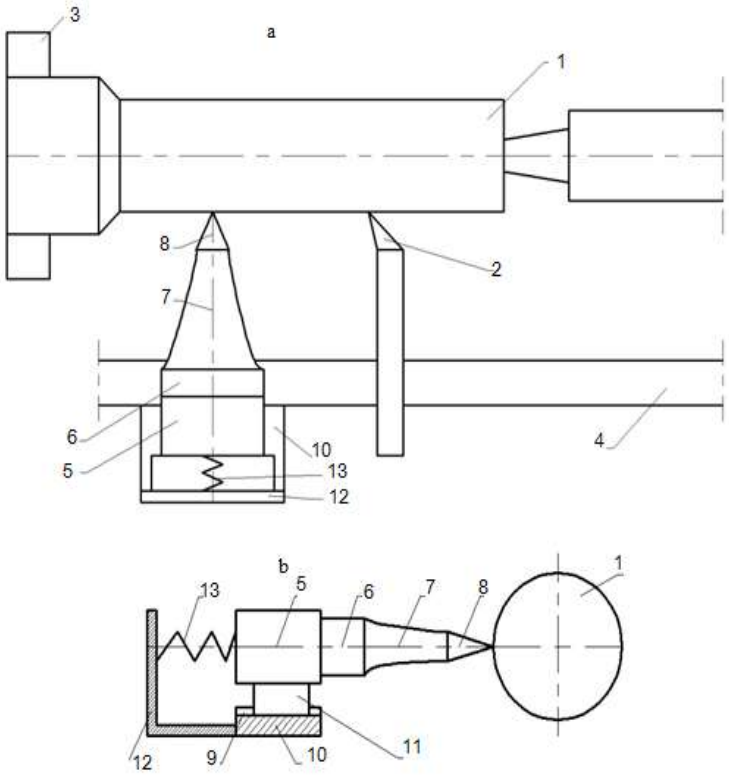


Рисунок 1 – Способ токарной обработки заготовок: а - общая схема обработки заготовки; б - ультразвуковая система; 1-заготовка; 2 – резец; 3- зажимной патрон; 4 - направляющие механизма продольной подачи; 5 – корпус ультразвуковой системы; 6 – электромеханический преобразователь; 7 – усилитель амплитуды колебаний; 8 – конический наконечник; 9-паз; 10 – опорная пластина; 11- направляющие корпуса ультразвуковой системы; 12 – кронштейн; 13- пружина.

Возможность копирования внутренней поверхности рельефа заготовки осуществляют за счет опорной пластины 10 с пазами 9, кронштейна 12 и пружины 13, закрепленной на кронштейне 12 и корпусе 5 ультразвуковой системы, при этом в пазы 9 опорной пластины 10 размещены направляющие 11 корпуса 5 ультразвуковой системы.

Заготовка 1 из капролона установлена в токарном станке с режущим инструментом 2 (резцом). Для вращения заготовки имеется привод 3, а для подач режущего инструмента 2 имеется устройство подачи 4.

Рациональные значения основных параметров процесса резания, инструментальный материал и геометрия режущей части инструмента были выбраны на основе ранее проведенных исследований [14,15,16,17]. Ультразвуковая система вырабатывает ультразвуковые колебания частотой 22 кГц, амплитудой 10 мкм, интенсивностью $1*10^{-3}$ Вт/м^2.

Шероховатость обработанной поверхности контролировали при помощи профилометра TR 200. В качестве выходных параметров из номенклатуры параметров шероховатости согласно ГОСТ 2789-73 выбраны: среднее арифметическое отклонение профиля R_a, высота неровностей профиля по десяти точкам R_z, наибольшая высота неровностей профиля R_{max}, средний шаг неровностей профиля S_m. Дополнительно определялись параметры

шероховатости в соответствии с международным стандартом ISO4288: расстояние от вершины наибольшего выступа профиля до средней линии P_p, расстояние от дна наибольшей впадины профиля до средней линии P_m, асимметрия профиля S_k. Данные параметры имеют важное практическое значение для оценки качества поверхностного слоя. Согласно положениям ISO 4288 профиль с положительными значениями параметра S_k имеет четкие высокие пики, которые выделяются от среднего. Поверхности с отрицательными значениями S_k имеют четкие глубокие впадины в гладких плато профиля. В менее очевидных случаях значения S_k приближаются к нулю. Значения S_k> 1,5 показывают, что поверхность имеет непростую форму и простые параметры (R_a, R_z, R_{max}), вероятно не могут адекватно характеризовать качество поверхностного слоя.

Исследование структуры стружек производилось на электронном микроскопеMicro 200.

Результаты исследований

На рис. 2, 3 представлены, в виде профилограмм, результаты исследования уровня шероховатости обработанной поверхности капролона и фторопласта соответственно.Такие профилограммы могут использоваться для визуального и оперативного контроля процесса токарной обработки. Анализ данных профилограмм показывает, что вариант токарной обработки с применением опережающей ультразвуковой обработки заготовок, рис.2б, 3б, более предпочтителен по сравнению с базовыми вариантами обработки, рис.2а, 3а. Об этом свидетельствуют более равномерные профили отклонений впадин и выступов профиля поверхности и показатели значений параметров шероховатости.

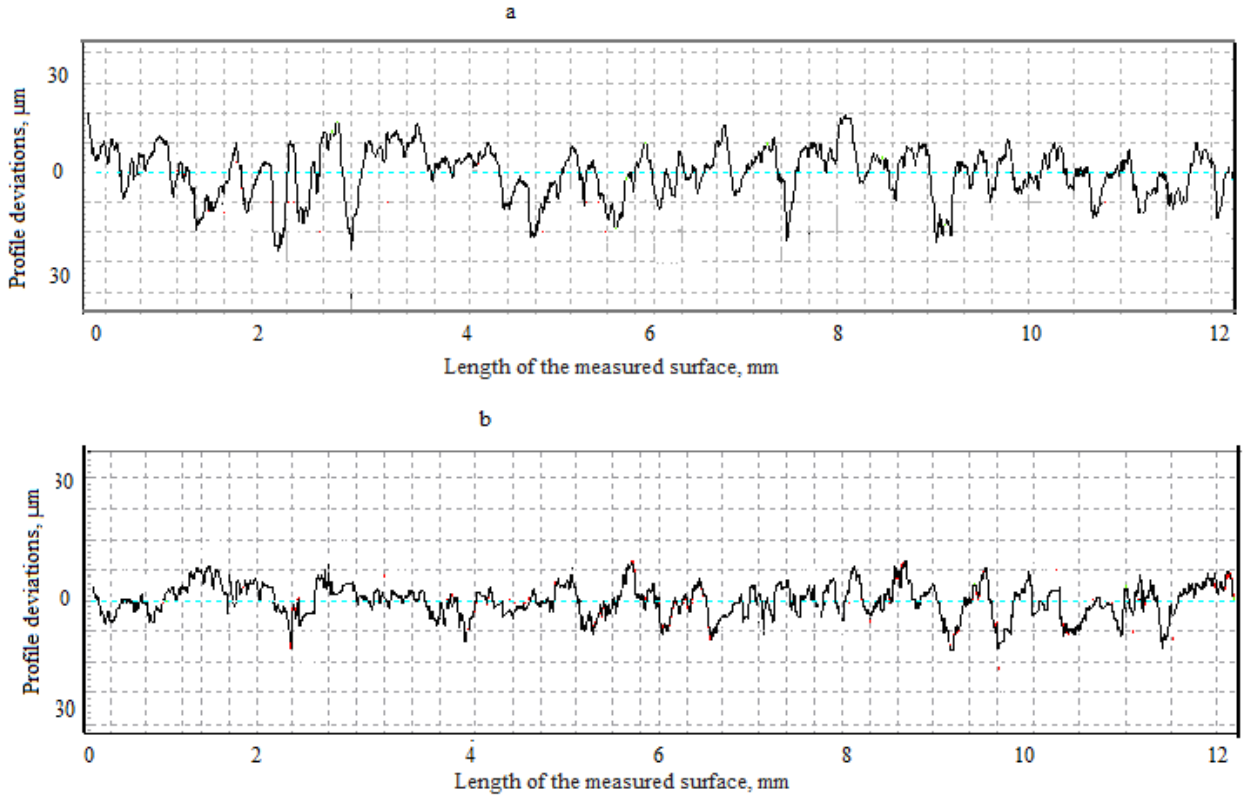


Рисунок 2– Профилограммы поверхностей деталей из капролона:
а – базовое точение; б- с опережающей ультразвуковойобработкой

Анализ численных значений исследуемых параметров шероховатости, сведенных в таблицу 1, подтверждает тот факт, что применение предварительной опережающей ультразвуковой обработки заготовок из исследуемых термопластовпозволяет получить впоследствии более качественный поверхностный слой детали, по сравнению с вариантом базового точения заготовок.

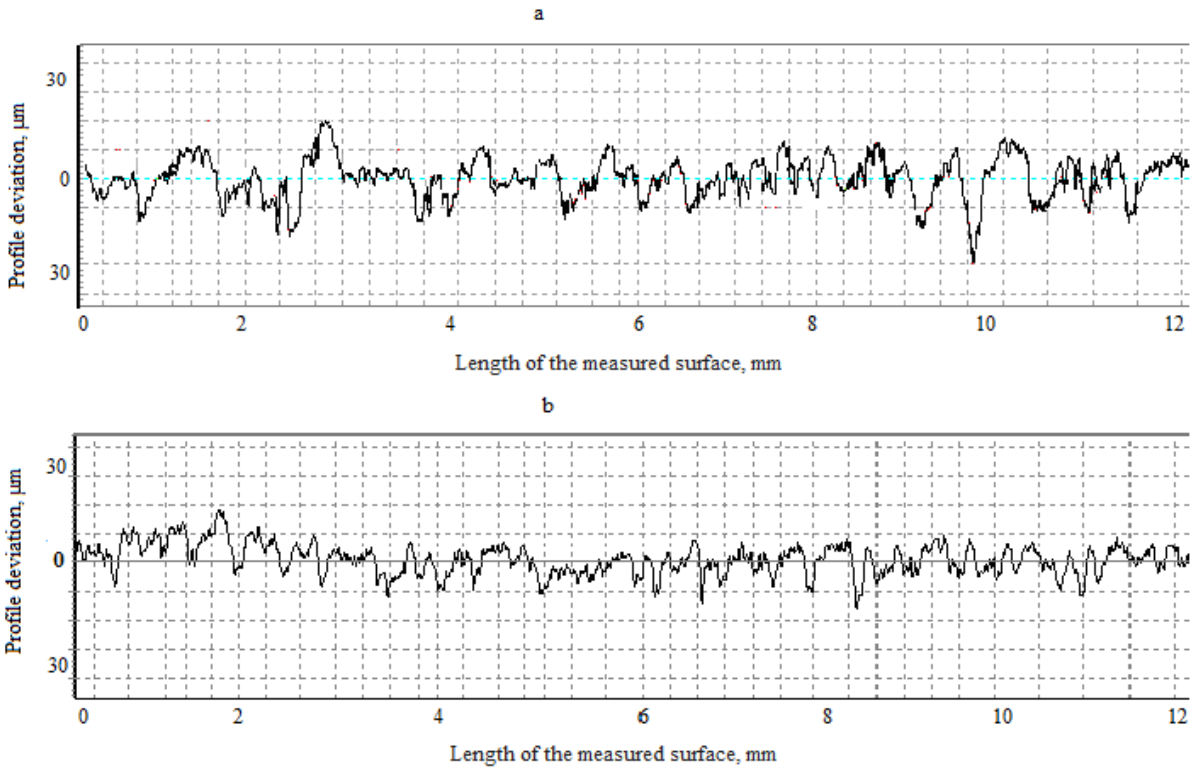


Рисунок 3– Профилограммы поверхностей деталей из фторопласта:
а – базовое точение; б- с опережающей ультразвуковой обработкой.

При этом, значения параметра S_k для каждого варианта обработки подтверждают правомерность оценки шероховатости обработанной поверхности по общепринятым в российской практике параметрам шероховатости R_a,R_z иR_{max}.Таки образом, из данных таблицы 1 следует, что данные параметры шероховатости в случае точения заготовок с опережающей ультразвуковой обработкой имеют устойчивую тенденцию к снижению, при этом параметр R_a снижается в 2 раза для фторопласта и в 2,4 раза для капролона; параметр R_zв 1,6 для капролона и в 3,5 раза для фторопласта; параметрR_{max} в4,2 раза для фторопласта и в 2раза для капролона.Остальные параметры шероховатости также имеют меньшие значения, по сравнению с вариантом базового точения, что убедительно свидетельствует о повышении качества обработанной точением деталей в случае применения опережающей ультразвуковой обработки.

Обсуждение результатов исследований

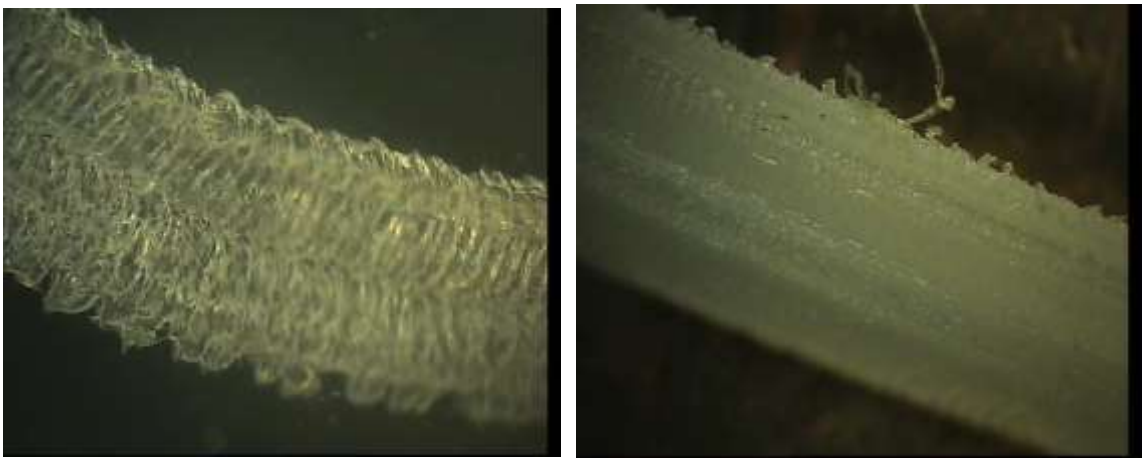
Полученные результаты экспериментальных исследований можно объяснить следующим образом. Обработка заготовок из исследуемых термопластов ультразвуковыми колебаниями способствует разрыву и рекомбинации атомных и межмолекулярных химических связей в структуре материала, конфигурации макромолекул полимера и, следовательно, изменению надмолекулярной структуры полимерного материала. Структура материала становится более упорядоченной за счет повышения содержания кристаллической фазы в объеме материла, чему способствует более организованный порядок укладки макромолекул под воздействием энергии ультразвуковых колебаний [18,19,20].Наличие более организованной надмолекулярной структуры полимерного материала заготовки способствует более устойчивому распространению магистральной трещины вдоль линии среза, при последующем взаимодействии поверхностного слоя заготовки с режущим клином инструмента, что является предпосылкой снижения шероховатости обработанной поверхности, так как снижается вероятность образования вырывов, сколов и подобных дефектов.

Таблица 1 – Шероховатость обработанной поверхности деталей из термопластов

Вариант обработки	Параметры шероховатости, мкм						
	Ra	Rz	Rmax	Rp	Rm	Sm	Sk
Точение фторопласта без опережающей ультразвуковой обработки	8,7	20,20	37.90	14,80	23,10	0,201	0,131
Точение фторопласта с опережающей ультразвуковой обработкой	4,393	5,68	9.016	5,320	3,696	1,3888	-0,170
Точение капролона без опережающейультразвуковой обработки	7,6	22,72	35.97	14,02	21,95	0,3378	0,276
Точение капролона с опережающей ультразвуковой обработкой	3,136	14,34	18.032	9,112	8,920	0,5000	-0,121

Кроме того, ультразвуковая обработка заготовок из термопластов приводит к снятию остаточных напряжений в объеме заготовки, которые образуются на стадии формирования материала из-за более высокой скорости остывания поверхностных слоев заготовки по сравнению с его внутренними слоями вследствие большой теплоемкости и низкой теплопроводности полимера. Как известно [18,19], наличие данных напряжений приводит к образованию дефектов структуры в виде микротрещин различного масштаба.

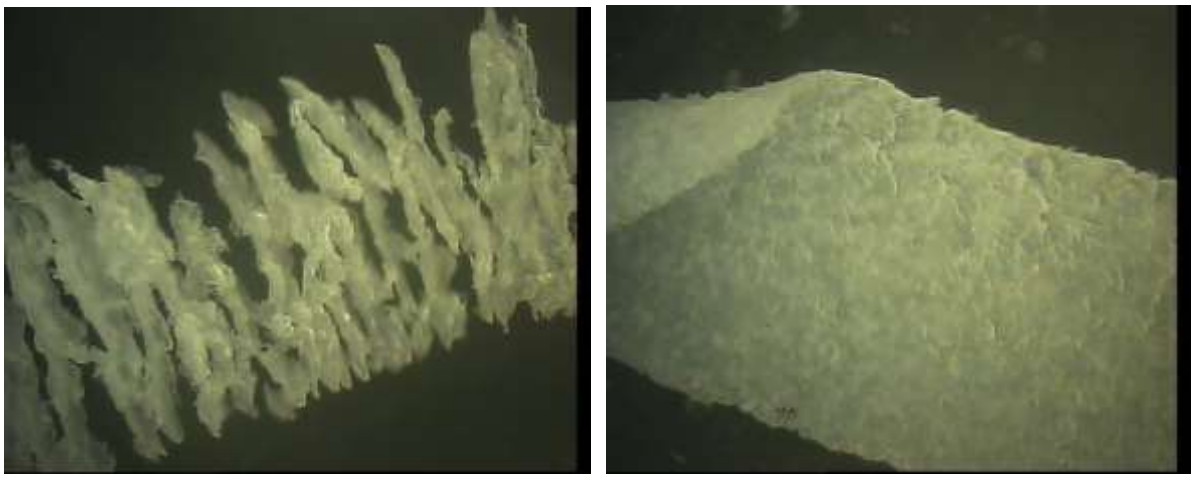
Экспериментальным подтверждением вышеизложенного являются микрофотографии стружек капролона и фторопласта, полученные при различных условиях, рис. 4,5 а, б.



а б

Рисунок 4– Стружка капролона: а – традиционное точение;
б – точение с опережающей ультразвуковой обработкой

Сравнительный анализ представленных микрофотографий стружек, рис. 4,5 позволяет сделать заключение о том, что применение опережающей обработки заготовок капролона и фторопластаультразвуковыми колебаниями позволяет повысить качество обработанной поверхности, о чем свидетельствует практически полное отсутствие сдвиговых элементов, формирующих стружку. Такой характер стружкообразования, так же свидетельствует о стабильности процесса обработки. Как известно [14], стабильность технологической системы при точении полимеров зависит от неравномерности структуры материала заготовки.



а б

Рисунок 5 – Стружка фторопласта: а – традиционное точение;
б – точение с опережающей ультразвуковой обработкой

Выводы

1. Разработан новый способ точения заготовок из полимеров и устройство для его реализации, техническая сущность которого заключается в том, что предварительно точения производятопережающую обработку заготовки ультразвуковыми колебаниями. Такая технологическая операция позволяет изменить надмолекулярную структуру исследуемых материалов капролона и фторопласта, что является предпосылкой повышения качества последующего процесса их токарной обработки.

2. Результаты экспериментальной проверки разработанного способа подтвердили целесообразность его реализации, так как точение капролона и фторопласта после обработки ультразвуковыми колебаниями приводит к снижению уровня шероховатости обработанной поверхности детали, о чем свидетельствуют значения параметров шероховатости и тип получаемой стружки.

Список литературы

1. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов: Учебное пособие для вузов/ В.Н. Подураев. - М.: Машиностроение, 1974.- 430 с.

2. Еренков О.Ю. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2006. № 5. С. 23.

3. Еренков О.Ю. Термомеханические параметры процесса резания полимерных материалов/О.Ю. Еренков, А.В. Гаврилова// Технология машиностроения. 2008. №3. С.13-17/

4. Еренков О.Ю. Исследование комбинированного способа токарной обработки заготовок из полимерных материалов после предварительного термомеханического воздействия/О.Ю. Еренков//Вестник машиностроения. 2006. № 7. С. 30.

5. Патент №2574764 Российская федерация, (51) МПК B 29 C 37/00. Способ токарной обработки заготовок из капролона / О.Ю. Еренков, Козлова М.А. - № 2014145224/05; заявл. 20.10.2014; Опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.

6. Патент №2584207 Российская федерация, (51) МПК B 29 C 37/00. Устройство для обработки заготовок из капролона / О.Ю. Еренков, Козлова М.А. - № 2014142225/05; заявл. 20.10.2014; Опубл. 20.10.2016, Бюл. № 14.

7. Еренков О.Ю. Токарная обработка полимерных материалов с применением опережающей обработки заготовок/ О.Ю. Еренков//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 7. С. 45.

8. Кестельман Н. Я. Термическая обработка полимерных материалов в машиностроении / Н. Я. Кестельман. - М.: Машиностроение, 1968. - 268 с.

9. Карташов Э.М. Структурно – статистическая кинетика разрушения полимеров/ Э.М. Карташов, Б. Цой, В.В. Шевелев. – М.: Химия, 2002. – 736 с.

INVESTIGATION OF THERMOPLASTICS TURNINIG PROCESS QUALITY AFTER WORKPIECES ULTRASONIC TREATMENT

Erenkov O.Yu., D.Sc. (Engineering), Professor

Erenkov O.Yu.

680035, Tikhooceanskaya st., 136,
Pacific National University, Khabarovsk, Russia

Abstract

The results of experimental studies of a new method for turning billets from thermoplastic polymers of caprolon and fluoroplastic are presented. The technical essence of the method lies in the fact that preliminary machining is performed by advanced processing of the workpiece by ultrasonic vibrations. The results of the experimental verification of the developed method confirmed the expediency of its implementation, since the use of advanced ultrasonic treatment during turning of thermoplastics leads to a decrease in the roughness level of the treated surface of the part, as evidenced by the values of roughness parameters and the type of chips obtained.

Keywords: thermoplastics, turning, ultrasonic vibrations, roughness, chip formation

УДК 621.438

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ ТОЧНОЙ ЦЕНТРОВКИ ВАЛОВ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ АГРЕГАТОВ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ СТЕНДЕ

ЕРОШКОВ В.Ю.[1], канд.техн. наук
([1]ПАО «ОДК –Сатурн», г. Рыбинск, Россия)

Ерошков В.Ю.

152903, Ярославская обл., г. Рыбинск, пр-т. Ленина, д. 163,
Публичное акционерное общество «ОДК-Сатурн»
e – mail: eroschkow@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен вопрос центровки валов корабельных газотурбинных агрегатов в условиях испытательного стенда и проблемы, возникающие из-за специальных требований заказчика и необходимости обеспечения сжатых сроков испытания изделий. Для решения указанных проблем предлагается использовать новые технологические решения, основанные на использовании лазерной системы центровки OPTALIGN Smart и регулируемых виброопор типа «SKF Vibracon». Дополнительные математические вычисления позволяют использовать получаемые при контроле центровки лазерным методом измерительные параметры для «паспортизации» процесса испытания изделия.

Ключевые слова: корабельный газотурбинный агрегат, центровка, испытания, стенд, лазерная система центровки, излом, расцентровка, виброопоры, вал, трансмиссия, сборка, монтаж.

Введение

Вопросы сборки и испытания корабельных газотурбинных и дизель –газотурбинных агрегатов в настоящее время приобретают существенное значение в связи с переводом отечественной базы судостроения на движительные установки собственного производства [1, 3].

Особенностью конструкции корабельных газотурбинных агрегатов (ГТА) является наличие точно центрируемых валов, обеспечивающих передачу крутящего момента от силовой турбины ГТД к корабельному редуктору [4]. Проблемным местом при сборке и монтаже данной конструкции является центровка валов агрегатов, как в условиях испытательного стенда перед испытаниями, так и на верфи при монтаже агрегата в трюме корабля.

Постановка проблемы центровки валов корабельных газотурбинных агрегатов

С точки зрения основ машиностроения, основными видами отклонений от соосности центрируемых узлов являются линейные и угловые смещения осей всех сопрягаемых компонентов от номинального положения общей оси вращения. Процесс центровки предполагает наличие в конструкции регулировочных элементов, позволяющих выполнять коррекцию положения в горизонтальном, вертикальном и угловых направлениях, т.е. в трехмерном пространстве с высокой точностью.

В отличие от специальных требований монтажа корабельного газотурбинного агрегата на корабле, на испытательном стенде предприятия-изготовителя не регламентировано использование унифицированной и простой в эксплуатации оснастки собственного производства. По причине сжатых сроков сдачи изделия заказчику возникает необходимость снижение трудоемкости работ по подготовке к испытаниям, прозрачности процедур монтажа и контроля, что возможно реализовать путем использования современных автоматизированных измерительных средств и адаптивных устройств крепления.

В настоящее время центровка корабельных агрегатов выполняется классическим способом, широко используемым в машиностроении на основе косвенного метода измерения с помощью специальных приспособлений и часовых индикаторов. Фрагмент компоновки газотурбинного агрегата на испытательном стенде ПАО «ОДК- Сатурн» представлен на рис. 1.

Точность центровки, которая является паспортной для корабельного агрегата, фиксируется в документации как при монтаже на испытательном стенде, так и при монтаже в корабле и определяется величиной излома осей валов, основной составляющей расцентровки агрегатов и трансмиссий их соединяющих.

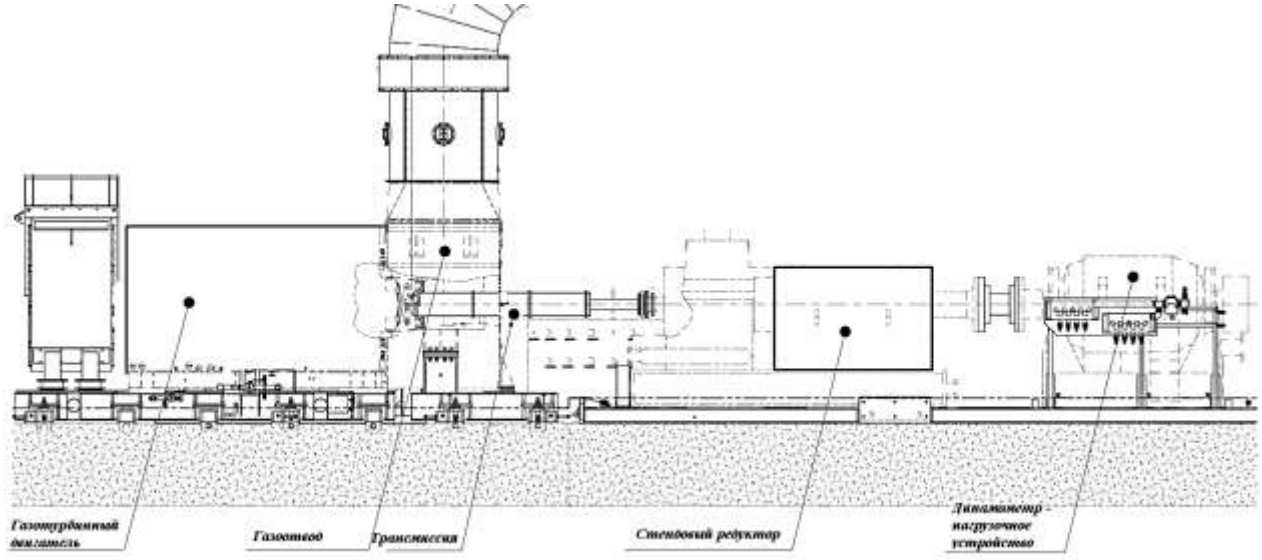


Рисунок 1 – Расположение компонентов корабельного ГТА и стендовых систем на испытательном стенде

Относительная величина излома осей в плоскости наибольших отклонений индикатора определятся по формуле:

$$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{Аизм}}{2\ R\mathrm{расп}}, \qquad (1)$$

где A - относительная величина излома (расцентровка валов) в мм/м;

$A_{изм}$ - наибольшая величина измеренного излома, мм;

$R_{расп}$ - расстояние точки замера от оси вращения, м.

Для рассматриваемого случая (рис. 2) при $R_{расп}$=0,3 м относительная величина расцентровки составляет:

$$\mathrm{A} = \frac{\mathrm{Аизм}}{2\ R\mathrm{расп}} = \frac{0{,}11}{2{\cdot}0{,}3} = 0{,}18\ \left(\frac{\mathrm{мм}}{\mathrm{м}}\right).$$

По своей геометрической сущности значение относительной величины расцентровки A является угловой несоосностью, которая может быть выражена как тангенс угла перекоса осей α, с учетом перевода величины $A_{изм}$ из нормируемых миллиметров в метры, т.е.

$$tg\alpha = \frac{\mathrm{Аизм}}{2\ R\mathrm{расп}} \cdot 10^{-3}, \qquad (2)$$

или

$$tg\alpha = A \cdot 10^{-3} \qquad (3)$$

$$\mathrm{A} = 1000\ tg\alpha \quad (\text{мм/м}) \qquad (4)$$

Особенностью данного способа контроля и последующей регулировки и, соответственно, его недостатком является то, что при измерении только радиального биения фиксируется угловое смещение осей валов. В случае же наличия только линейной расцентровки индикаторная схема не позволяет выявить смещение осей.

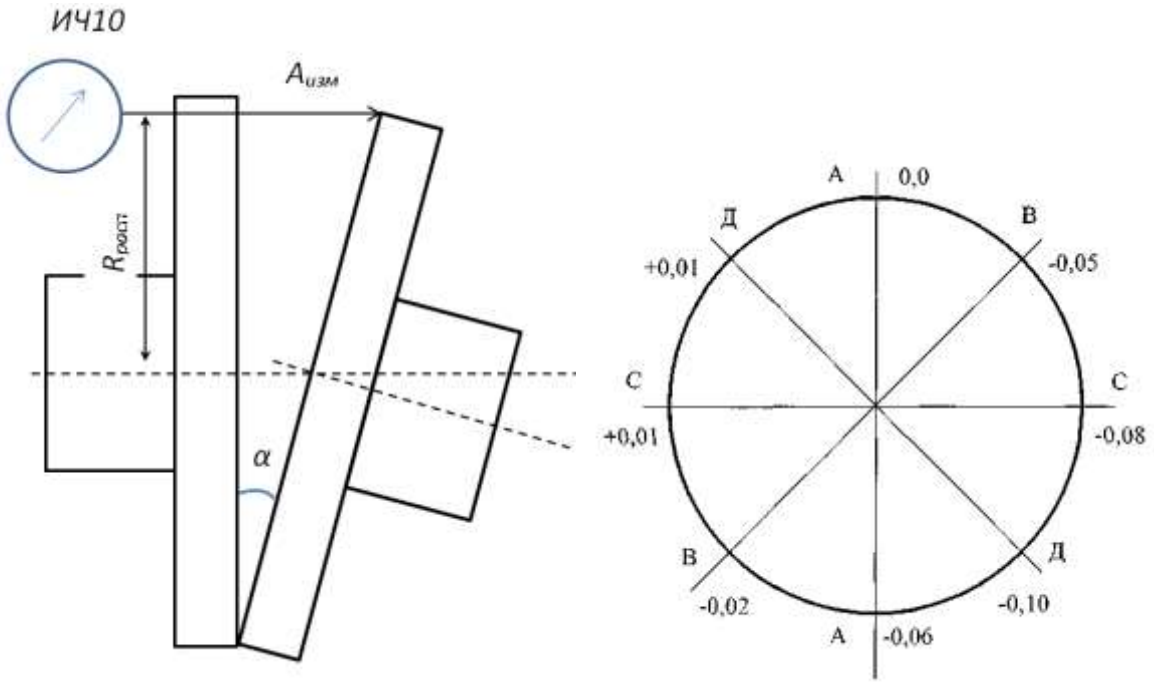


Рисунок 2 – Схема замера излома осей трансмиссии

Другим недостатком существующей схемы оценки соосности агрегатов является влияние на результаты измерений деформаций передаточной системы – муфт, на которые устанавливается измерительное приспособление и, которые при силовом замыкании меняют положение стыковочных плоскостей в виду их конструктивно заложенной компенсационной способности. Поэтому необходимым условием обеспечения соосности валов и агрегатов является проведение контроля и регулировки положения агрегатов на разомкнутой трансмиссии по исполнительным поверхностям выходных узлов.

На практике обеспечить нормативную величину расцентровки с первого раза, как правило, не удается, поэтому, приходится производить многократную дополнительную подцентровку агрегатов изделия за счет изменения толщин клиньев между опорными поверхностями установочной рамы ГТД и полом бокса. Определение необходимой величины клина – операция трудоёмкая, интуитивная и требует значительного опыта в проведения подобной работы. Иногда циклы подцентровки агрегата выполняются многократно и занимают до одной рабочей смены и более. Для выполнения данных работ необходима бригада сборщиков, включая специалиста инженерного уровня и от двух до 4 слесарей (в зависимости от габаритов изделия). Более того, трудоемкость монтажа существенно зависит от количества опорных точек рамы корабельного агрегата, число которых может изменяться в зависимости от типа агрегата от 4, до 6, 8 и даже 10, что существенно усложняет данный процесс.

Очевидным достоинством вышеприведенной методики центровки является ее простота, возможность использования несложной оснастки и измерительных средств, которые легко поверить, заменить или отремонтировать. Именно по этой причине так выполняют монтаж ГТА на корабле.

К недостаткам подобной технологии относятся – высокая трудоемкость, необходимость использования квалифицированного персонала, возможность ошибок при пересчетах. Точность данной системы центровки составляет порядка 15-20% от измеренного значения.

Этап испытаний корабельных ГТА на производстве является заключительным, задержки по срокам сдачи здесь недопустимы и не могут быть «скомпенсированы» другими этапами. С этой целью в процессе создания сборочно-испытательного комплекса корабельных газотурбинных агрегатов на ПАО «ОДК–Сатурн» были внедрены новые технологические решения, которые позволили значительно повысить эффективность и качество монтажно-настроечных работ по установке компонентов ГТА.

Реализация новых технологических решений для повышения эффективности центровки агрегатов

При монтаже ГТА и центровке его компонентов апробирован прямой метод измерения, основанный на использовании передовой лазерной системы OPTALIGN Smart. Система OPTALIGN Smart–измерительная система точной центровки валов, в состав которой входит надежный компьютер, в защищенном исполнении, способный работать в условиях вибраций, внешних климатических воздействий, электромагнитных полей и других негативных производственных факторов, дополненный техническими возможностями современного быстрого лазерного датчика с технологией выравнивания по 5 осям (рис.3). Погрешность центровки валов данной системой составляет 0,01 мм, разрешающая способность 0,001 мм.

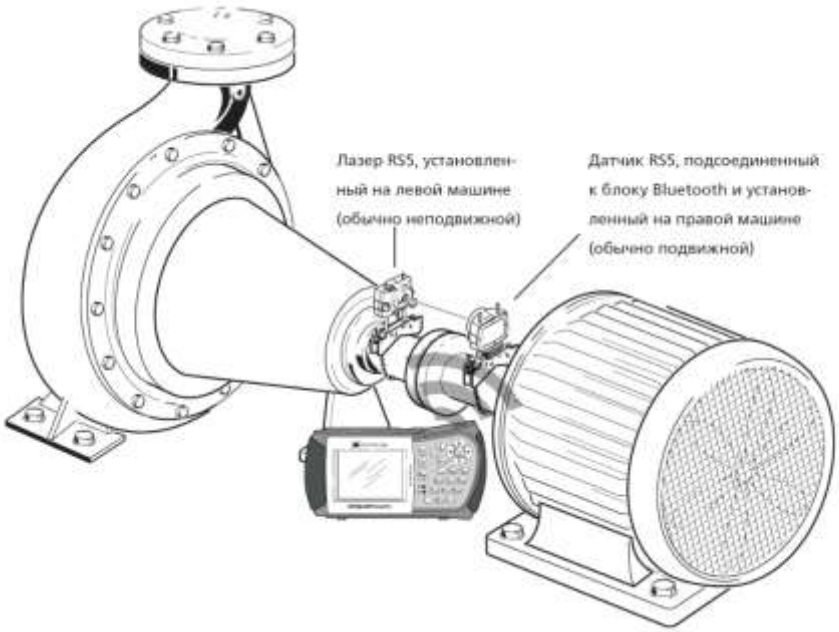


Рисунок3 –Схема установки системы лазерной центровки OPTALIGN Smart

Датчик RS5лазерной системы OPTALIGN Smart оснащен двумя позиционно-чувствительными детекторами XL HD (PSD) и встроенной микро электромеханической системой (MEMS), которая обеспечивает возможность проведения одновременной корректировки положения по вертикали и горизонтали в реальном времени, а также датчиком углового положения вала. Во время вращения вала в режиме непрерывной линейной развертки достигается быстрое и точное считывание данных. Данные технические разработки обеспечивают высокую точность воспроизведения результатов даже при наличии механических ограничений, например, таких как свободный ход вала, т.е. ограничения углу его поворота.

Монтаж лазерной системы центровки на валу достаточно прост. Компактное и легкое цепное зажимное устройство датчика лазера и приемника разработано для максимально жесткой фиксации компонентов измерительной системы. Для ускорения процесса установки лазерного датчика может использоваться компактное магнитное зажимное устройство (в случае изготовления вала или трансмиссии из магнитных сталей и сплавов). Все эти преимущества позволяют использовать данную систему центровки для сложных метрологических задач персоналом, не имеющим специального технического образования. В частности, в условиях испытательного стенда с такими работами успешно справляются слесари-сборщики, которые обеспечиваются соответствующими технологическими инструкциями, а работы выполняются под контролем ОТК.

После выполнения процедур размещения компонентов корабельного агрегата на стенде, включая ГТД на собственной раме, выхлопного коллектора (части системы газоотвода) производится предварительный монтаж трансмиссии «ГТД –стендовый редуктор».

Место соединения вала трансмиссии к ГТД внутри газоотвода (см. рис. 1) является базовым и далее не демонтируется, поэтому установка лазерной системы центровки OPTALIGN Smart производится на фланцы силовой турбины ГТД и фланцы вала трансмиссии. После установки оборудования выполняется ввод необходимых размеров соединяемых деталей в программу на пульте управления компьютера OPTALIGN Smart: расстояние от центра муфты до датчика, диаметр муфты, частота вращения вала, расстояния от центра муфты до передней опоры изделия, расстояния между передней и задней опорой изделия (рис. 4).

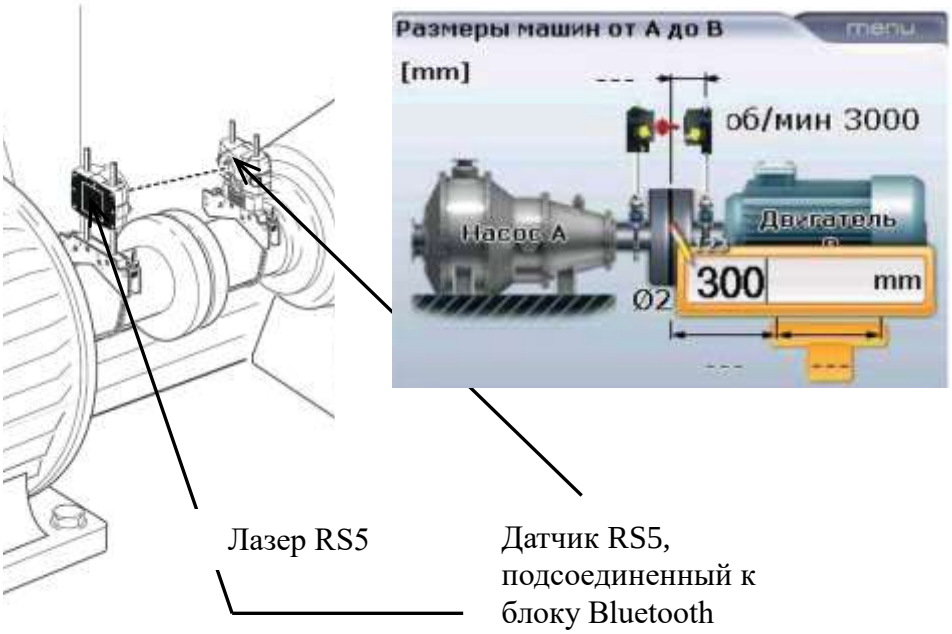


Рисунок 4 – Схема лазерной центровки ГТА с трансмиссией
и стендовым редуктором с помощью системы OPTALIGN Smart.

После выполнения монтажа лазерной системы и ввода исходных данных выполняется центровка лазерного луча по центру датчика – приемника путем регулировки зажимов крепежа и поворота дисковых регуляторов угла. Процедура настройки выполняется в автоматическом режиме путем поворота трансмиссии включением валоповоротного устройства редуктора.

Рисунок 5 – Результаты предварительного измерения относительного расположения
агрегатов на мониторе компьютера OPTALIGN Smart

Результаты измерения относительного расположения осей трансмиссии отражаются на мониторе в виде значений их смещения и зазора в стыке муфты, как для горизонтальной, так и вертикальной плоскостей (рис. 6). Положительное значение зазора отображается при обзоре сверху или сбоку от наблюдателя; положительное значение смещения отображается в том случае, если вал правой машины в точке муфтового соединения располагается выше и дальше.

Положительное значение означает, что опора перемещаемого оборудования поднята вверх или смещена в сторону от наблюдателя; отрицательное значение свидетельствует, что опора перемещаемого оборудования опущена вниз или смещена навстречу.

Качественное состояние центровки обозначается цветом шрифта результата измерения и горящим светодиодным индикатором центровки системы OPTALIGN Smart.

С целью повышения производительности и снижения трудоемкости регулировочных работ были применены универсальные регулируемые опоры SKF Vibracon, которые предназначены для простой и точной регулировки оборудования. Опоры компенсируют угловой перекос между оборудованием и монтажным основанием, устраняя необходимость в дорогостоящей механической обработке основания, исключают подгонку клиньев, позволяют обеспечить выравнивание рамы ГТД в трех направлениях и центровку с трансмиссией, расположенной в выхлопном коллекторе (рис 6).

а) б) в)

Рисунок 6 – Регулирование положения ГТД при центровке на раме:
а – установка домкратов, б – монтаж виброопор «SKF Vibracon»,
в – возможная деформация виброопор при монтаже

Операция центровки выполняется до тех пор, пока на экране монитора не появятся необходимые значения, определяемые соответствующим допуском на центровку валов агрегатов.

Таким образом, технологический вопрос центровки компонентов ГТА с помощью лазерной системы решен, остается только решить вопрос документирования процедур в соответствии с требованиями заказчика, т.е. обеспечить «паспортизируемый» излом согласно формул (1) – (4).

С этой целью, для обеспечения точности центровки в соответствии с нормативами и требованиями заказчика в линейной размерности «мм/м» при настройке компьютера OPTALIGN Smart был найден, настроен и успешно апробирован специальный режим отображения результатов «Угол α/Угол β» (рис.7).

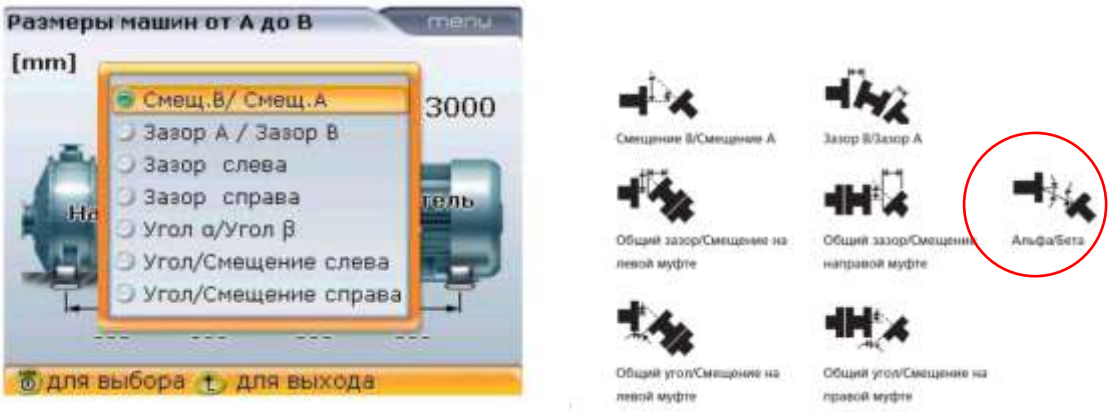


Рисунок 7 –Настройка формата результатов измерения для муфт соединительных валовчерез элемент конфигурации «Shaft settings»

Изобразим схему контроля излома с дополнительными геометрическими построениями (рис. 8). Из схемы видно, что угол αсоответствует расчетному углу, представленному на рис. 2, и по факту является нормируемым показателем – углом излома осей, что и подтверждает достоверность данного способа центровки.

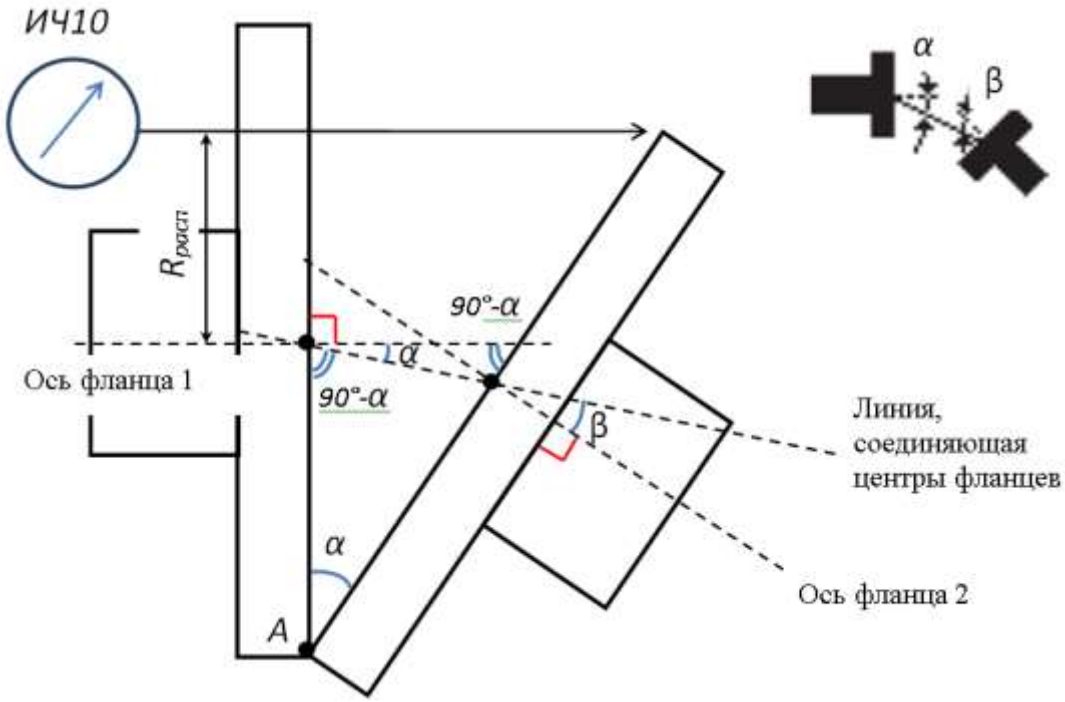


Рисунок 8 – Схема соотношения углов расценровки фланцев валов

Выводы

В заключении необходимо отметить, что на ПАО «ОДК–Сатурн» технология лазерной центровки успешно используется при монтаже корабельных газотурбинных агрегатов различной конфигурации. Ее реализация позволяет достичь более высокой точности центровки, существенно сократить трудоемкость работ по монтажу агрегатов, а также обеспечить наглядность процедуры центровки, удобство предъявления операции службе технического контроля. Важным фактором является так же прямое обеспечение требований заказчика, установленных в нормативной документации на изделие.

Список литературы

1. ПетровичевО.В., Иванов Л.М. Создание российской базы морского газотурбостроения // Газотурбинные технологии. – 2016. – № 3-05.
2. Никитин В.С., Половинкин В.Н., Барановский В.В. Современное состояние и перспективы развития отечественных газотурбинных энергетических установок // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2017. Т. 3, № 381.– С. 75 – 90.
3. Корабельные газотурбинные энергетические установки //Военно-морские силы. Интернет-журн. 20.04.2014.URL: http://zvo.su/VMS/korabelnye-gazoturbinnye-energeticheskie-ustanovki.html (дата обращения: 17.04.2017).
4. Ревизин Б.С., Комаров О.В. Газотурбинные двигатели судового типа для энергетических установок. Екатеринбург: Изд-воУГТУ-УПИ, 2003. 56 с.

SOLUTION OF THE ISSUE OF PRESISES SAFT ALIGNMENT OF MARINE GASTURBINE UNITS AT THE TEST FACILITY

Eroshkov V. Yu.PhD (Engineering)

Eroshkov V. Yu.

152903, Lenin Avenue 163, Rybinsk, Yaroslavl Region,
Public Joint-Stock Company UEC-Saturn
e-mail: eroschkow@mail.ru

Abstract

The issue of marine gas-turbine unit shaft alignment at the test facility and the problems arising because of specific customer requirements and necessity to conduct item tests within the short timeframe are considered. To handle the mentioned problems it is proposed to use new technological solutions based on application of the laser centering system OPTALIGN Smart and adjustable vibration mounts of SKF Vibracon type. Additional mathematical calculations enable using the measurement parameters obtained at the laser centering system control to certificate the item tests.

Keywords: marinegas-turbineunit, centering, tests, testfacility, laser centering system, S-bend segment, misalignment, vibration mounts, shaft, drive-line, assembly, installation.

УДК 621.9(045)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА «АНАЛИЗА ОТКАЗОВ» И ФОНДА ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ

ФИРСОВ А.М.[1], канд.техн.наук, доцент,
ОВЧАРЕНКО А.Г.[1], докт.техн.наук., профессор,
СМИРНОВ В.В.[1], канд.техн.наук, доцент,
РОМАШЕВ А.Н.[1], канд.техн.наук,, доцент
([1]Бийский техн. институт филиал АлтГТУ, Бийск, Россия)

Фирсов А.М., Овчаренко А.Г., Смирнов В.В., Ромашев А.Н.

659305, Бийск, ул. им. Героя Советского Союза Трофимова, 27
Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета,
e-mail: tmk@bti.secna.ru

Аннотация

Эффективность современного многономенклатурного машиностроительного производства во многом определяется степенью совершенства технологической подготовки. Чем больше будет выявлено потенциальных отклонений при проектировании технологических процессов (ТП), тем эффективней будет его реализация. Для прогнозирования отклонений выходных параметров ТП от требуемой величины (отказов) предлагается использовать экспертные, статистические и аналитические (расчетные) методы оценки. Однако, в современном многономенклатурном производстве при проектировании ТП групповой обработки, применить эти методы не всегда представляется возможным. Предлагается применить интегрированный метод оценки, позволяющий: выявить потенциальные отказы, возникающие при выполнении процесса; определить основные причины появления отказов и их возможные последствия; предложить решения по устранению причин или возможных последствий. Для этого в работе предлагается использовать метод «Анализ видов и последствий отказов» и фонд эвристических приемов. В данной статье приведены результаты исследований по проектированию технологического процесса механической обработки базовых отверстий тонкостенных корпусных деталей с помощью комплексного метода.

Ключевые слова: эффективность машиностроительного производства, технологическая подготовка, групповая обработка, базовые отверстия, корпусные детали, прогнозирование отказов, эвристические приемы, технологические решения.

Введение

Промышленное производство независимо от формы собственности и уровня развития должно получать прибыль, т.е. должно быть эффективным. Эффективность производства это комплексное понятие, которое отражает результаты использования средств производства и рабочей силы (работников) за определенный промежуток времени [1]. Успешное использование средств производства и рабочей силы во многом зависит от степени совершенства технологической подготовки производства. Применение даже современных систем проектирования технологических процессов (ТП) не гарантирует появление отклонений выходных параметров ТП при его реализации. Чем больше будет выявлено потенциальных отклонений при проектировании ТП, тем эффективней будет его реализация. Особенно важным это становится в условиях современного машиностроительного

производство, которое характеризуется широкой номенклатурой выпускаемой продукции и применением многофункционального технологического оборудования с ЧПУ, которое позволяет обрабатывать разные по конструкции детали. Эффективность этого оборудования определяется степенью его загруженности. Однако обеспечение максимальной загрузки этого оборудования не всегда удается, так как широкая номенклатура обрабатываемых изделий требует непрерывного проектирования ТП и переналадки оборудования для обработки одной или группы деталей. Увеличение загрузки оборудования возможно, например, за счет применения групповой обработки деталей, принципы которой были разработаны С.П. Митрофановым, А.П. Соколовским и нашли развитие в работах Б.М. Базрова [2,3,4,5]. Однако, типовые технологические решения, характерные для единичных ТП, не позволяют обеспечить требуемые выходные параметры для групповой технологической операции. При изготовлении всех деталей группы и при обработке каких-то деталей группы могут возникнуть отклонения выходных параметров, например, невыполнения требований по точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей и т.п. Устранение отказов во время отладки или при выполнении технологического процесса значительно повышают трудоемкость. Поэтому, необходимо выявить потенциально возможные отклонения выходных параметров еще на стадии проектирования ТП для всех деталей группы и принять решения по их предотвращению.

Анализ работ по прогнозированию выходных параметров ТП, а также их отклонений (отказов) показал, что для этого могут быть использованы экспертные, статистические и аналитические (расчетные) методы оценки. Однако, при проектировании групповой обработки в условиях многономенклатурного производства, применение таких методов не всегда возможно, потому, что в группу, для повышения эффективности ТП, могут быть объединены детали разные по конструкции. В этом случае расчетный метод будет трудоемким и не подойдет для всех деталей. Если результаты статистических исследований отсутствуют, то экспертная оценка позволит провести только качественную оценку выходных параметров. Следовательно, необходимо применять метод оценки, позволяющий: найти потенциальные отказы, возникающие при выполнении процесса; выявить основные причины их появления и возможные последствия; предложить действия по устранению этих причин или возможных последствий. К одному из таких методов относится метод «Анализ видов и последствий отказов» (АВПО) (PFMEA-Potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly process), который успешно применяется для оценки надежности различных объектов и технологий[6,7,8,9,10].

При выработке действий по устранению причин потенциальных отказов рекомендуется применять творческие методы проектирования, например, метод эвристических приемов [11, 12]. Этот метод объединяет опыт многих исследователей и проектировщиков, но пока не находит широкого применения при технологическом проектировании.

Таким образом, повышение эффективности проектирования и реализации ТП возможно за счет объединения методов АВПО и эвристических приемов. В данной статье приведены результаты таких исследований по проектированию технологического процесса механической обработки базовых отверстий тонкостенных корпусных деталей.

Описание исследований

Предложенный подход, основанный на применении методов АВПО и эвристических приемов, использован для совершенствования ТП процесса обработки базового отверстия группы корпусных деталей (рисунок 1). Заготовки корпусных деталей из алюминиевого сплава АК12, получены литьем под давлением, имеют тонкие, переменной толщины стенки и прерывистость цилиндрической поверхности в виде окон. Обработку заготовок планируется выполнять на токарно-винторезном станке мод. 16К20Ф3, расточным резцом с пластинкой из твердого сплава ВК6, на режимах согласно нормативам [13].

Выявление потенциально возможных отказов и анализ их последствий производился по методике, изложенной в статьях [9,10,11]. Было установлено, что возникновение

потенциальных отказов возможно только под воздействием факторов, которые не учтены в нормативно-технической документации по проектированию ТП. К таким факторам относятся тонкие переменной толщины стенки, окна, создающие прерывистость обрабатываемой поверхности и то, что отверстия глухие. В результате анализа были установлены причинно-следственные связи конструктивных особенностей базового отверстия с потенциальными отказами и их последствиями при выполнении операций растачивания, эти связи показаны на рисунке2.

Рисунок 1– Группа корпусных деталей.

Тонкие и переменной толщины стенки базового отверстия могут служить причиной появления потенциальных отказов в виде: отклонение диаметрального размера и формы базового отверстия больше допустимого; не обеспечение требований по шероховатости поверхности.

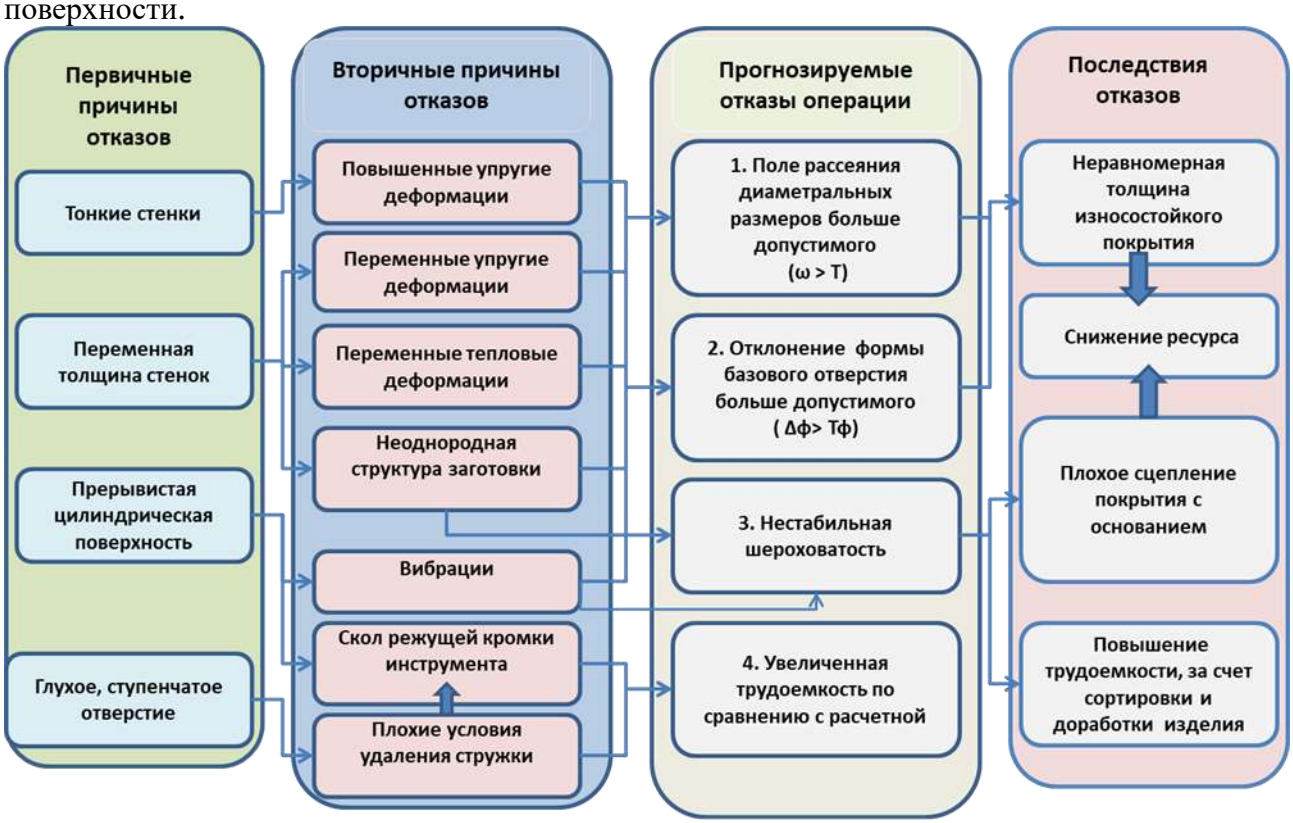


Рисунок 2 – Причинно-следственная связь формирования потенциальных отказов при растачивании базового отверстия корпусной детали с тонкими, переменной толщины стенками и с прерывистой поверхностью.

Наличие прерывистой цилиндрической поверхности в виде окон, канавок или пересекающих отверстий может привести к появлению отказов, характеризующих точность базового отверстия, и снижение стойкости режущего инструмента. Наличие глухого отверстия, усложняет удаление стружки, которая попадая под режущую кромку, может послужить причиной снижения стойкости инструмента, ухудшение шероховатости поверхности и в конечном итоге повышение трудоемкости.

Из межотраслевого фонда эвристических приемов, который приведен в работе [11] были выбраны приемы, позволяющие, по мнению авторов, устранить отмеченные недостатки ТП. В таблице 1 приведены выбранные приемы и варианты технологических решений, которые позволят устранить выявленные отказы.

Таблица 1 – Возможные варианты технологических решений, позволяющие устранить выявленные отказы (полученные с помощью фонда эвристических приемов[11])

№ п/п	Вид отказа	Эвристический прием	Варианты технологических решений
1	2	3	4
1	Поле рассеяния размеров больше допустимого	1.Изменить поверхностные свойства объекта	ТР1–Провести обработку (термическую или другую), стабилизирующую физико-механические свойства поверхности детали
		2.Предусмотреть компенсацию неточностей изготовления объекта	ТР2–Прогнозировать поле рассеяния размеров и уменьшать его при помощи изменения числа рабочих ходов
			ТР3–Сортировать заготовки на группы по твердости или величине припуска
			ТР4–Применять адаптивную систему управления точностью
2	Отклонение формы больше допустимого	1.Устранить нежелательную форму путем сложения с обратной по очертанию формой	ТР5–Прогнозировать отклонения формы и устранять их программно путем изменения траектории движения инструмента
		2.Изменить действие среды или рабочей силы во время обработки	ТР6–Воздействовать на обрабатываемую поверхность с разным усилием
		3.Предусмотреть компенсацию неточностей изготовления объекта	ТР7–Прогнозировать отклонение формы и уменьшать его при помощи изменения числа рабочих ходов
			ТР8–Измерять отклонения формы после обработки и устранять их дополнительным проходом
			ТР9–Применять адаптивную систему управления точностью
3.	Нестабильная шероховатость	1.Изменить действие рабочей среды или силы во время обработки	ТР10–Регулировать режимы обработки
			ТР11–Изменять геометрию применяемого инструмента
		2.Изменить поверхностные свойства объекта; упрочнить поверхность	ТР12–Провести обработку, стабилизирующую физико-механические свойства поверхности заготовки (термическую, механическую или другую)

		3.Заменить лезвийную обработку на обработку без снятия стружки	ТР13–Применить методы поверхностно-пластического деформирования (ППД): раскатывание, выглаживание и т.п.
		4.Совместить разные технологические процессы, операции	ТР14–Использовать совмещенные, комбинированные методы обработку
4	Ухудшение шероховатости или появление волнистости при обработке прерывистых поверхностей	1.Обеспечить снижение или устранение вибрационных, ударных нагрузок	ТР15– Подобрать режимы обработки, уменьшающие ударные нагрузки ТР16–Заполнить окна материалом сходным по физическим свойствам с основным ТР17– Применять инструмент с демпфирующим элементом
5	Скол режущей кромки во время обработки прерывистой поверхности с окнами (снижение производительности)	1.Обеспечить снижение или устранение вибрационных, ударных нагрузок	ТР15– Подобрать режимы обработки, уменьшающие ударные нагрузки
			ТР16–Заполнить окна материалом сходным по физическим свойствам с основным
			ТР17– Применять инструмент с демпфирующим элементом
6	Скол режущей кромки из-за плохого удаления стружки из отверстия (снижение производительности)	1.Обеспечить снижение или устранение ударных нагрузок	ТР18–Обеспечить непрерывность стружки и удаление ее из зоны резания
			ТР19–Разделить стружку на отдельные элементы и принудительно удалять ее из зоны резания

Результаты и обсуждения

Как видно, устранение потенциального отказа может быть выполнено с помощью разных эвристических приемов, который позволяет реализовать одно или несколько технологических решений (ТР). Выбор технологического решения зависит от конструкции, материала заготовки, производственных условий и производится после тщательного анализа. Так ТР–1 и ТР–3 целесообразно применять при больших партиях заготовок из одного материала. Реализация ТР–4, ТР–9 возможно при условии наличия оборудования с адаптивной системой управления и т.д.

Анализ предложенных ТР для устранения отклонений размеров и формы (отказ 1, 2) показал, что наиболее простое ТР для данных условий это прогнозирование отклонений размеров и формы базового отверстия на этапе проектирование и принятие мер по обеспечению допустимых отклонений.

Применение компьютерного моделирования позволяет спрогнозировать не только максимально возможное отклонение поверхности базового отверстия в результате упругой и тепловой деформации, но и получить топографию этой поверхности. Это дает возможность разрабатывать управляющую программу станка с учетом этих отклонений, реализуя ТР5, ТР6 или ТР7 и обеспечивая требуемую точность обработки. ТР8 может быть успешно реализовано, если обеспечить оперативное получение топографии обработанной поверхности, например, с помощью лазерного сканера.

Устранение отказа, в виде нестабильной шероховатости (отказ 3), из-за переменных физико-механических свойств обрабатываемой поверхности, путем изменения режимов обработки или геометрии инструмента (ТР10, ТР11) возможно, если физико-механический

свойств обрабатываемой поверхности отличаются незначительно. Если свойства отличаются существенно, то эти ТР не дают должного результата и требуют непрерывной корректировки условий обработки. Изменение свойств поверхности, для ее стабилизации, возможно перед механической обработкой (ТР12) и во время обработки (ТР13, ТР14). Применение термообработки или других методов, позволяющих изменить свойства обрабатываемой поверхности перед механической обработкой, возможно, если материал, конструкция, размеры заготовки или другие условия позволяют это выполнить.

Применение пластического деформирования (ППД) с целью изменить свойство поверхности во время обработки (ТР13), предлагается производить инструментом с одиночным деформирующим элементом, это расширяет возможности ППД и позволяют обрабатывать отверстия с разными размерами и широким диапазоном свойств поверхности. Реализация комбинированного метода обработки (ТР14) основывается на том, что требуемая точность при обработке отверстий корпусных деталей возможно, как растачиванием, так и ППД. В зависимости от конструкции и размеров отверстия (сквозное, глухое, прерывистое и другие признаки) обработка может осуществляться параллельно (резание +ППД) или последовательно (резание ⟶ ППД).

Для предотвращения отказов 4 и 5, причиной которых является прерывистость обрабатываемой поверхности, предложены технологические решения ТР15–17. Отказ 6, причиной которого является стружка, можно устранить с помощью ТР18 и ТР19.

Выводы

Разработана методика проектирования группового технологического процесса (операции), на основе методов АВПО и поискового проектирования, позволяющий выявить потенциально возможные отказы, которые могут появиться при обработке группы деталей с разными конструктивными признаками, провести оценку отказов по значимости, принять решение об устранении отказа, сформулировать задание на проектирование технологического (технического) решения (ТР), устраняющего отказ, разработать техническое задание на проектирование и спроектировать ТР.

Установлены причинно-следственные связи возникновения потенциальных отказов операции растачивания базовых отверстий группы корпусных деталей с конструктивными элементами не учтенных в нормативно-технической документации по проектированию ТП. Выявлены потенциальные отказы в виде: рассеяния размеров и отклонение формы больше допустимого; нестабильной шероховатости поверхности**;** снижение производительности при обработке глухих отверстий с прерывистыми поверхностями.

С использованием фонда эвристических приемов для расточной операции предложены технологические решения, позволяющие предотвратить отказы на стадии проектирования ТП.

Список литературы

1. Е. Душенькина. Экономика предприятия. http://www.e-reading.club/bookreader.php/99178/Dushen%27kina_-Ekonomika_predpriyatiya.html.

2. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Т.1 Организация группового производства. – Л.: Машиностроение, 1983.– 407 с.

3. Соколовский А.П. Курс технологии машиностроения. В 2-х частях. Ч.1 Общие вопросы технологии механической обработки. – М., Л.: Машгиз, 1947.– 435 с.

4. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001.– 368 с.

5. Базров Б.М. Типовая технология в современных условиях. – Наукоемкие технологии в машиностроении. –2014.– №4. С.44-46.

6. ГОСТ 27.310 – 95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – М.: – Издательство стандартов, 1996. – 20 с.

7. РМЕА «Анализ видов и последствий потенциальных отказов». - Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. - 2-е издание, 1995 г.

8. Фирсов А.М., Вдовин А.В., Тимахович И.В. Проектирование технологического процесса обработки резанием на основе учета отказов технологической системы // Механики XXI веку. - 2013.– №12. - С. 155-159.

9. Татаркин Е.Ю., Фирсов А.М. Калистру В.А.Обеспечение точности базовых отверстий корпусных деталей при групповой обработке путем прогнозирование параметрических отказов // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2015.– №5. - С.15- 29.

10. Фирсов А.М., Овчаренко А.Г. Совершенствование технологической подготовки механической обработки с использованием метода «отказов» // Актуальные проблемы в машиностроении – 2017. – Т.4, – №4. С. 16-21.

11. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

12. Мушталь В.И. Основы инженерного творчества: Учеб. Пособие для вузов / В.И. Мушталь, В.Е. Токарев. – М.: Дрофа, 2005 – 254 с.

13. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: Справочник/ Под ред. В.И.Гузеева. М.: Машиностроение, 2005-368 с.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS BY THE METHOD OF "FAILURE ANALYSIS" AND THE FOUNDATION OF HEURISTIC TECHNIQUES

Firsov A.M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
Ovcharenko A.G., D.Sc. (Engineering), Professor
Smirnov V. V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
Romashev A. N. Ph.D. (Engineering), Associate Professor

Firsov A.M., Ovcharenko A.G., Smirnov V. V., Romashev A. N.

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
27 Trofimova st., Biysk, Altai region, 659305, Russian Federation

Abstract

The efficiency of modern machine-building production is determined by the degree of perfection of technological training. Identification of potential deviations (failures) in the design of technological processes is determining the effectiveness of their implementation. The paper proposes to use the method of "analysis of the types and consequences of failures" and heuristic techniques to predict the output parameters. The results of research in the design of technological process of machining the base holes of the thin-walled housing parts with an integrated method are given.

Keywords: efficiency of machine-building production, technological preparation, group processing, base holes, body parts, failure prediction, heuristic techniques, technological solutions.

УДК 621.9.047

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ РАСТВОРЕНИЕ СПЛАВА 82К3ХСР В 10% ВОДНОМ РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ

РАХИМЯНОВ К. Х.[1]канд. техн. наук, доцент,
ГААР Н. П.[1],канд. техн. наук,
ИВАНОВА М. В.[1], аспирант,
БАРЫШЕВА Е. С.[1], магистрант
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Гаар Н.П., Рахимянов К. Х., Иванова М. В., Барышева Е. С.

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e – mail: gaar@corp.nstu.ru

Аннотация

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований анодного поведения сплава 82К3ХСР в 10% водном растворе хлорида натрия в аморфном и аморфно-кристаллическом состоянии, полученных при помощи потенциостатического метода. Установлены диапазоны потенциалов активного и пассивного растворения сплава в обоих состояниях в указанном электролите.

Ключевые слова: электрохимическая обработка, хлорид натрия, аморфный сплав, аморфно-кристаллический сплав, окисные плёнки

Введение

Электрохимическая размерная обработка (ЭХРО) нашла широкое применение в различных отраслях промышленности для формообразования деталей из труднообрабатываемых материалов, когда использование традиционной механической обработки затруднено или невозможно. К числу ее достоинств относится возможность обработки хрупких и сверхтвердых материалов, практически полное отсутствие дефектного слоя, отсутствие термического воздействия на металл.

Все эти достоинства объясняются особенностями формообразования обрабатываемых поверхностей за счёт анодного растворения материала под действием электрического тока в токопроводящей среде (электролите), где анод (деталь) приобретает форму катода (инструмента). Для обработки каждого нового материала при ЭХРО первоначально проводится ряд исследований, позволяющих определить возможность анодного растворения материала в определенном составе электролитов. Это относится к новым материалам, и способы их обработки еще до конца не определены по тем или иным причинам. К таким материалам относится аморфный сплав 82К3ХСР (83,7 % Co + 3,7 % Fe + 3,2 % Cr + 9,4 % Si (вес. %)). Данный сплав был разработан и выпускается ОАО «Ашинским металлургическим заводом» в виде ленты толщиной ~25-30 мкм. Данный сплав обладает уникальными магнитными свойствами, что обеспечивает меньшие потери при его использовании, как магнитомягкого материала [1]. Особенностью данного материала является его аморфное состояние, т.е. отсутствует дальний порядок расположения атомов. Если данный материал после охлаждения подвергнуть термообработке (при температуре ~ 470ºС), то материал представляет собой аморфную матрицу с нанокристаллическими включениями в нее [2].Термическое воздействие на материал свыше указанной температуры, приводит к процессу полной кристаллизации материала и потере его уникальных свойств [3].Следует отметить, что материал в аморфном состоянии обладает высокой твёрдостью и чрезвычайной хрупкостью,

что с ограничениями по температурному воздействию не позволяет использовать традиционные методы механической обработки.

Существуют работы [4, 5], подтвердившие эффективность обработки исследуемого материала при помощи электроалмазного шлифования, которое является комбинацией электрохимической обработки с алмазным шлифованием. Однако, возможности самой электрохимической обработки материала без активации процесса и причин ее низкой производительности для данного материала установлены не в полной мере.

Описание экспериментальных исследований

Исследования анодного растворения сплава 82К3ХСР проводились в двух состояниях материала – в исходном (аморфный материал) без термообработки и в термообработанном (аморфная матрица с нанокристаллическими включениями).

Эксперименты осуществлялись с помощью поляризационных кривых, полученных с использованием потенциодинамического метода, применяемого при изучении анодного поведения материала в электрохимии для установления возможности электрохимического растворения материала, а также для выявления областей активного и пассивного растворения. В качестве задающего и регистрирующего прибора использовался потенциостат-гальваностатElinsP-20X.Развертка потенциала осуществлялась в диапазоне потенциалов от 0 до 13 В со скоростью 50 мВ/с. Функциональная схема и внешний вид установки, используемой для исследований, представлены на рисунках 1 и 2, соответственно.

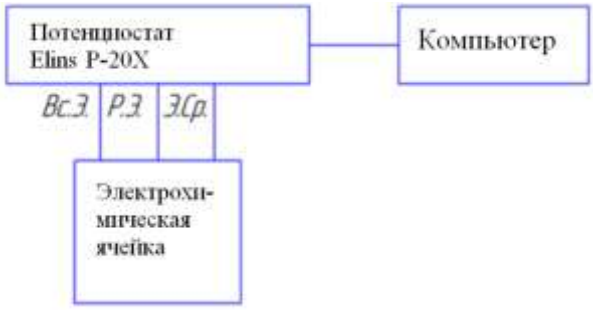


Рисунок 1– Функциональная схема экспериментальной установки для исследования анодного поведения материала: Вс.Э. – вспомогательный электрод (катод); Э.С. – электрод сравнения, Р.Э. – рабочий электрод (анод)

Принимая во внимание, что сплав 82К3ХСР выполнен на кобальтовой основе, в качестве электролита выбран 10% водный раствор хлорида натрия [6].

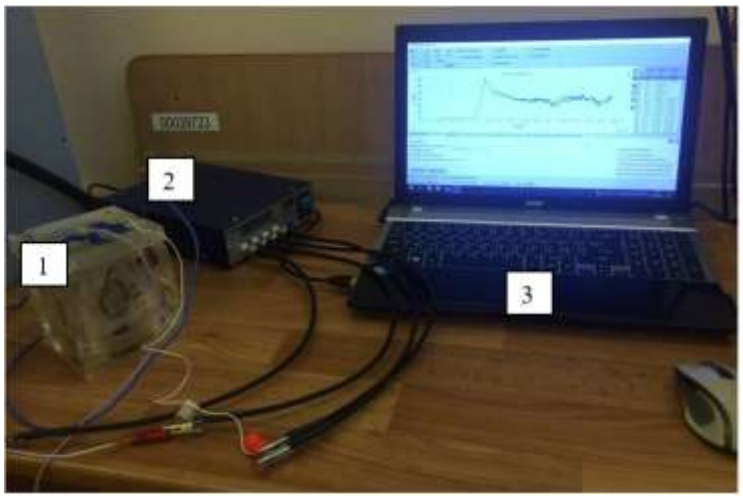


Рисунок 2 –. Внешний вид экспериментальной установки для исследования анодного поведения материала:1-электрохимическая ячейка, 2- потенциостат ElinsP-20X, 3- персональный компьютер

Результаты и обсуждение

Поляризационные кривые, полученные в 10% водном растворе хлорида натрия для сплава 82К3ХСРв обоих структурных состояниях, представлены на рисунке 3.

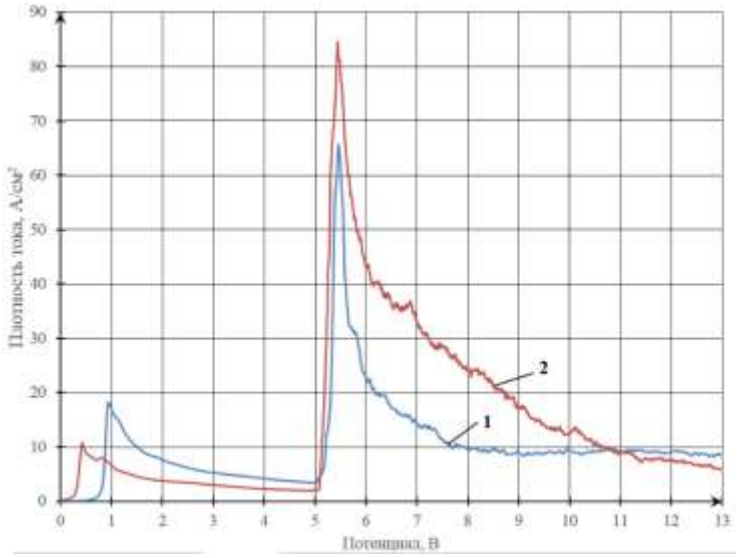


Рисунок 3 –Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода для сплава 82К3ХСРв 10% водном растворе хлорида натрия:
1-без термообработки; 2-после термообработки

Анализ полученной поляризационной кривой (кривая 1) для аморфного (без термообработки) сплава 82К3ХСР, позволяет условно разделить ее на ряд характерных участков. Первый участок (от 0 до 0,7 В) характеризуется нулевым значением плотности тока, что свидетельствует об отсутствии процесса анодного растворения материала. Второй участок поляризационной кривой располагается в диапазоне потенциалов от 0,7 В до 0,9 В, в пределах которого наблюдается резкое увеличение плотности тока с ростом потенциала, что позволяет говорить об активном растворении материала. Далее следует участок пассивации (0,9 В – 5В), характеризующийся снижением плотности тока с ростом потенциала, вследствие интенсивного образования пассирующей пленки на анодной поверхности [7]. На третьем участке (от 5 В до 5,5 В) вновь наблюдается активное растворение материала. Предположительно, в данном случае, происходит постепенное разрушение пассивирующей пленки, которая формировалась в диапазоне потенциалов от 1 до 5В. Разрушение окисной плёнки происходит за счёт наличия активирующих анионов хлора в растворе. Последний характерный участок поляризационной кривой располагается в диапазоне от 5 В до 13 В и является участком пассивного растворения материала, сопровождающийся снижением плотности тока с ростом потенциала.

Если рассматривать в сравнении поляризационные кривые сплава 82К3ХСР без термообработки (кривая 1) и после термообработки (кривая 2), то следует отметить, что они различаются лишь достигаемыми максимальными значениями плотности тока и некоторой сдвижкой потенциалов характерных участков. Принципиального различия в анодном поведении сплава в различных структурных состояниях не наблюдается. Это позволяет предположить, что растворение материала после термообработки определяется характером растворения аморфной матрицы, а возрастание плотности тока происходит, скорее всего, за счет более интенсивного растворения границ нанокристаллических структур.

Выводы

Проведенный анализ поляризационных кривых сплава 82К3ХСР в 10% водном растворе хлорида натрия позволил сделать следующие выводы:

1. Сплав 82К3ХСР в 10% водном растворе хлорида натрия растворяется как в аморфном состоянии, так и в аморфно-кристаллическом.

2. Предположительно, основными причинами наличия на потенциодинамической кривой участков пассивного растворения являются окисные пленки, образующиеся на поверхности образца.

3. Анодное растворение аморфно-кристаллического сплава 82К3ХСР определяется особенностями анодного растворения аморфной матрицы. Наличие нанокристаллических структур после термообработки приводит к увеличению плотности тока в диапазоне потенциалов свыше 5,5 В.

Список литературы

1. Рахимянов К.Х. Магнитные характеристики изделий, выполненных из нанокристаллических и аморфных сплавов /К. Х. Рахимянов, Н. П. Гаар, А. С. Еремина// Обработка металлов(технология, оборудование, инструменты) – 2011. – № 2 (51). – С. 8–10.

2. ГойхенбергЮ.Н. Структура и магнитные свойства аморфных сплавов в зависимости от степени кристаллизации/ Ю.Н. Гойхенберг, В.Е. Рощин, С.И. Ильин //Вестник ЮУрГУ, - 2011. - № 14 - С.24-28.

3. РахимяновК.Х. Влияние температуры отжига на структуру и твердость аморфных и нанокристаллических сплавов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2007. – № 2(35). – С. 14–17.

4. РахимяновХ. М. Активация анодного растворения аморфных и нанокристаллических сплавов непрерывным обновлением поверхности / Х. М. Рахимянов, К. Х. Рахимянов, Н. П. Гаар // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты) -2010. – № 1(46). – С. 35-38.

5. РахимяновХ. М. Влияние режимов обработки на производительность электроалмазного шлифования нанокристаллических и аморфных сплавов / Х. М. Рахимянов, К. Х. Рахимянов // Научный вестник НГТУ, 2010. – № 1(38). – С. 99-110.

6. Мороз И.И. Электрохимическая обработка металлов. – М.: Машиностроение, 1969 – 208с.

7. Судзуки К. Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.

ELECTROCHEMICAL SOLUBILITY OF 82K3XSR ALLOY IN 10% AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM CHLORIDE

Rakhimyanov K. Kh. Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Gaar N.P.,Ph.D. (Engineering),
Ivanova M.V., Post-graduate Student,
Barisheva E. S.,Graduate-student

Rakhimyanov K. Kh., Gaar N.P., Ivanova M.V., Barisheva E. S.

630073 Prospekt K. Marks 20, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State Technical University,

Abstract

This paper, presents the results of experimental studies of the anodic behaviour of the 82K3XSR alloy in a 10% aqueous solution of sodium chloride in the amorphous and amorphous-crystalline state obtained by the potentiostatic method. The ranges of potentials of active and passive dissolution of the alloy in both states in the above mentioned electrolyte are established.

Keywords: electrochemical treatment, sodium chloride, amorphous alloy, amorphous-crystalline alloy, oxide films.

УДК 621.9.047

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ АМОРФНО-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА 5БДСР В 10% ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НИТРАТА И СУЛЬФАТА НАТРИЯ

РАХИМЯНОВ К. Х.[1]канд.техн.наук, доцент,
ГААР Н. П.[1], канд. техн. наук,
ИВАНОВА М. В.[1], аспирант,
МУРАТКОЗИЕВ П. Е.[1], магистрант
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Гаар Н.П., Рахимянов К. Х., Иванова М. В., Мураткозиев П.Е.

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e – mail: gaar@corp.nstu.ru

Аннотация

Для сплава 5БДСР проведены поляризационные исследования в водных растворах нейтральных солей нитрата натрия и сульфата натрия с концентрацией 10% диапазоне потенциалов 0 до 12 В. Исследования проводились при помощи потенциодинамического метода на потенциостате-гальваностате ElinsP-20Xc использованием электрохимической ячейки с платиновым электродом сравнения. Установлены области активного и пассивного растворения материала в исследуемом диапазоне потенциала. Причинами пассивации анодного растворения является наличие окислых пленок на поверхности образца.

Ключевые слова: аморфно-нанокристаллический сплав, потенциодинамические исследования, растворы нейтральных солей, окисные пленки

Введение

Аморфно-нанокристаллические сплавы находят применение в качестве материалов для трансформаторов и электромагнитов благодаря уникальным магнитным свойствам. Исследуемый магнитомягкий сплав 5БДСР (B - 1,2-1,9%; Si - 6,8-7,9%; Cu - 0,8-1,5%; Nb - 4,0-5,7%; V - 0,2-2,0%; Mo - 0,2-3,0%; Ge - 0,1-0,5%, остальное Fe (вес. %))выпускается Ашинским металлургическим заводом в виде ленты толщиной 25мкм. Следует отметить, что данный материал является условно нанокристаллическим, так как представляет собой аморфную матрицу с элементами нанокристаллическойструктуры [1].

В связи с высокой хрупкостью исследуемого материала, а также возможностью потери его уникальных свойств при перегреве[2], традиционные методы обработки механическим резанием не применимы для формообразования изделий из данного материала. В связи с вышеизложенными особенностями исследуемого сплава перспективным методом его обработки является электрохимическая обработка (ЭХО)[3]. Предложенный метод обработки основан на анодном растворении обрабатываемого материала в токопроводящей среде.

Методика проведения экспериментов

Для определения возможности электрохимического растворения исследуемого сплава использовался потенциодинамический метод. Он основан на непрерывной развёртке потенциала с регистрацией значений тока на аноде. Области активного и пассивного растворения материала определяются при анализе поляризационных зависимостей плотности тока от потенциала.

Для развертки потенциала и регистрации полученных значений тока использовался потенциостат ElinsP-20X, подключенный к персональному компьютеру с необходимым ПО, с присоединённой электрохимической ячейкой с платиновым электродом сравнения. Развертка

потенциала осуществлялась в диапазоне от 0 до 12 В со скоростью 100 мВ/с. Зазор между электродом сравнения и анодом-образцом составил 0,1 мм.

Образец для исследований изготавливался из ленты исследуемого сплава, путем заливки её в специальную оправку эпоксидной смолой марки ЭДП-2. Рабочий торец образца перед каждым опытом зачищался с помощью наждачной бумаги и обезжиривался.

В качестве электролитов были выбраны водные растворы нейтральных солей $NaNO_3$и Na_2SO_4, которые применяются в качестве электролитов для электрохимической обработки материалов на основе железа [4]. Концентрация соли в электролитах составила 10%.

Результаты и обсуждение экспериментов

На рисунке 1 представлена поляризационная кривая электрохимического растворения сплава 5БДСР в водном растворе $NaNO_3$, полученная потенциодинамическим методом.

На данной кривой можно выделить следующие характерные участки. На участке потенциалов от 0 до 2,5 В плотность тока равна нулю, что отражает отсутствие электрохимического растворения. Второй участок (от 2,5 до 3,5 В) является участком активного растворения материала, характеризуемого ростом плотности тока с увеличением потенциала. Третий участок расположен в диапазоне потенциалов от 3,5 до 8 В и отражает процесс пассивного растворения с падением плотности тока при росте потенциала. Причиной такого анодного поведения в указанном диапазоне может быть пассивация поверхности образца за счет образования окисных пленок различной природы. Осцилляции плотности тока на данном участке и в остальной части поляризационной кривой могут быть связаны с процессом восстановления кислорода на поверхности анода, которое и наблюдалось в опыте визуально. Далее на кривой присутствует следующей участок активного растворения (от 8 до 9,5 В) и пассивации поверхности анода в диапазоне потенциалов 9,5 -12 В.

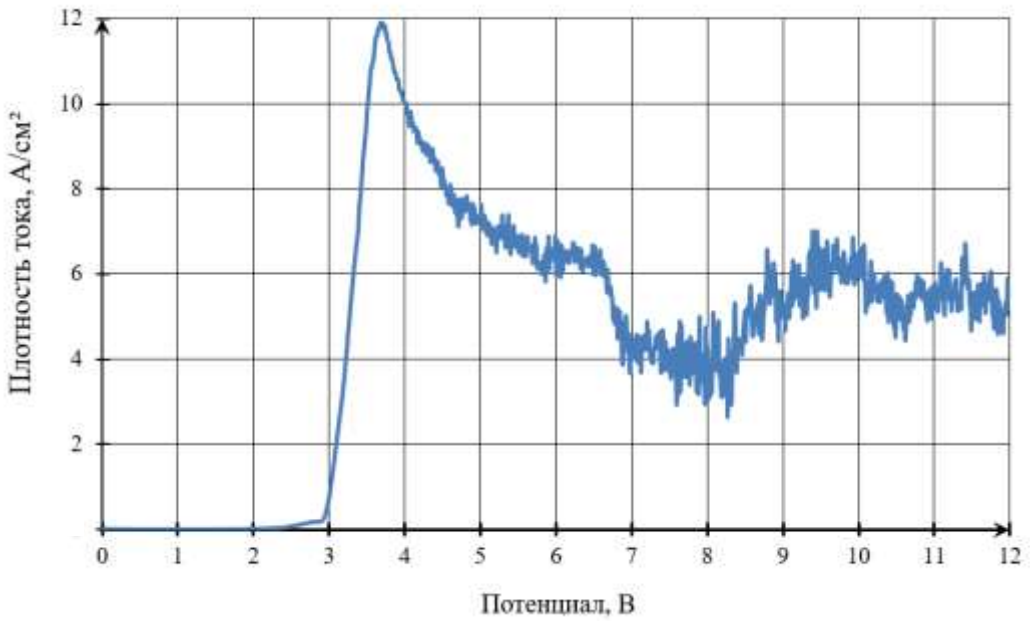


Рисунок 1–Потенциодинамическая поляризационная кривая анодного растворения сплава 5БДСР в 10% водном растворе нитрата натрия

Несколько по-иному выглядит поляризационная кривая, полученная для исследуемого материала в 10% водном растворе Na_2SO_4 (Рис. 2).

На поляризационной кривой можно выделить три характерных участка. На первом участке (от 0 до 2,5 В) наблюдается отсутствие электрохимического процесса. Следующий за ним участок в диапазоне от 2,5 до 6,5 В характеризуется ростом плотности тока при увеличении потенциалами является участком активного растворения материала. И на третьем

участке (от 6,5 до 12 В) наблюдается пассивное растворение материала, характеризуемое постоянством плотности тока при росте потенциала.

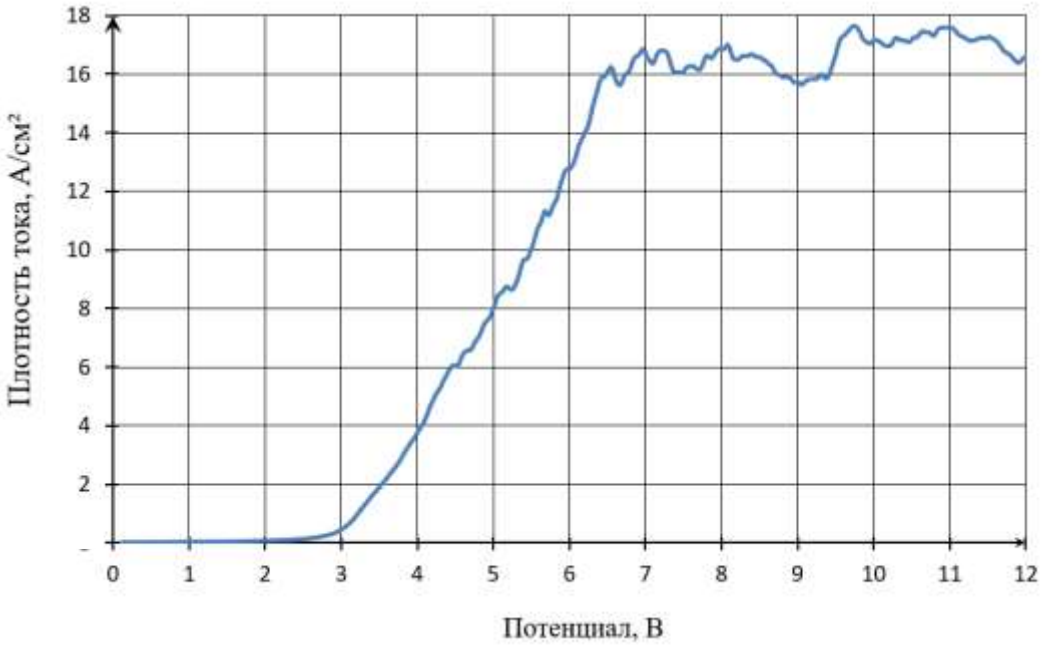


Рисунок 2–Потенциодинамическая поляризационная кривая анодного растворения сплава 5БДСР в 10% водном растворе сульфата натрия

Выводы

Аморфно-нанокристаллический сплав 5БДСР электрохимически растворяется в 10% водных растворах нитрата и сульфата натрия в диапазоне потенциалов свыше 2,5 В до 12 В. Электрохимическое растворение 5БДСР происходит как в активном, так и пассивном состоянии в исследуемых составах электролита. Причинами пассивации материала при электрохимическом растворении является образование на поверхности анода окисных пленок.

Список литературы

1. Гойхенберг Ю.Н. Структура и магнитные свойства аморфных сплавов в зависимости от степени кристаллизации/ Ю.Н. Гойхенберг, В.Е. Рощин, С.И. Ильин //Вестник ЮУрГУ, - 2011. - № 14 - С.24-28.

2. Рахимянов К. Х. Влияние температуры отжига на структуру и твердость аморфных и нанокристаллических сплавов / К. Х. Рахимянов // Обработка металлов. – 2007. – № 2(35). – С. 14-17.

3. Рахимянов Х.М. Современные электрофизические технологии в машиностроении // Инновации в машиностроении (ИнМаш - 2017): сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, 28-30 сент. 2017 г. – Новосибирск, 2017. – С. 266-277.

4. Мороз И.И. Электрохимическая обработка металлов. – М.: Машиностроение, 1969. – 208с.

5. Судзуки К. Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимото – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.

ANODIE BEHAVIOR OF AMORPHO-NANOCRYSTALLINE 5BDSR ALLOY IN 10% WATER SOLUTIONS NITRATE AND SULFATE OF SODIUM

Rakhimyanov K. Kh. Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Gaar N.P., Ph.D. (Engineering),
Ivanova M.V., Post-graduate Student,
Muratkoziev P.E., Graduate student

Gaar N.P., Rakhimyanov K. Kh., Ivanova M.V., Muratkoziev P.E.

630073 Prospekt K. Marks 20, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State Technical University,

Abstract

The polarization researchon the amorpho-nanocrystalline alloy 5BDSR in water solutions of neutral salts 10% of sodium nitrate and sodium sulfate was conducted. Potential of the anodechanged in the range from 0 to 12 V. The research of potentiodynamic method was conducted using a potentiostate-galvanostate of Elins P-20X. Experiments in an electrochemical cell with a platinum reference electrodewere carried out. Itis established that the start of electrochemical dissolution process in both electrolytes under investigation begins at 2.5V. The areas of active and passive dissolution of the material have been identified in the water solution of sodium nitrate as well as sodium sulfate. The reasons of passivation of anodic dissolution are the presence of oxide films on the surface of the sample.

Keywords: amorphous-nanocrystalline alloy, potentiodynamicreseach, solutions of neutral salts, oxide films

УДК 621.9

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАДПИСЕЙ

ГОНЧАРОВ В.Д. [1] *канд. техн. наук, профессор*
СОЛОМИН. Д.Е. [1] *магистрант*
([1]АлтГТУ, Барнаул , Россия)

Гончаров В.Д., Соломин Д.Е.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: agtu-otm2010@mail.ru
e – mail: student_ktm31_11@mail.ru

Аннотация

Описана область использования операций гравирования в машиностроении. Приведен пример выполнения фрезерной операции по нанесению технической надписи. Разработана классификация инструмента для гравировки надписей необходимых для подбора инструмента с учетом особенностей выполняемых операций. Инструменты для нанесения технических надписей разделены на пять групп: граверы (штихели), гравировальные фрезы, фрезы, микрофрезы, бор фрезы. Разработанная классификация инструментов позволит уменьшить номенклатуру и типоразмеры оснастки в производстве.

Ключевые слова: нанесение технических надписей, фрезерование, гравирование, граверы (штихели), гравировальные фрезы, фрезы, микрофрезы, бор фрезы.

Введение

В машиностроении широко применяются технологические операции нанесения буквенных и цифровых надписей на деталях приборов, металлорежущих инструментах, штампах, прессформах с глубоким и выпуклым профилем.

Нанесение буквенно-цифровых знаков реализуется гравированием, например на таких деталях, как вставка штампа подрельсовой подкладки резиновой ЦП-638 ТУ 2539-161-01124323-2003 (рисунок 1).

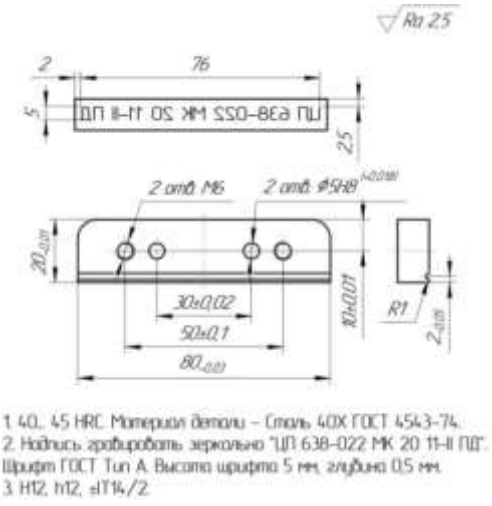


Рисунок 1 – Эскиз детали «Вставка»

Перечень видов инструментов для нанесения надписей обширен. Классификация инструмента для гравировки надписей необходима для подбора инструмента с учетом особенностей выполняемых операций.

Описание теоретических исследований

Все инструменты были разделены на 5 групп:

1. Граверы (штихели)
2. Гравировальные фрезы
3. Фрезы
4. Микрофрезы
5. Бор фрезы

1. Граверы (штихели) – ручной режущий инструмент, чаще всего применяющегося для гравировки по металлу.

Клинки штихелей различаются по форме и размеру поперечного сечения. Каждому размеру сечения соответствует определенный номер штихеля, причём, чем больше номер, тем больше площадь поперечного сечения. Также штихели различают по форме лобовой грани клинка, т.е поперечного сечения его режущей части. В зависимости от этой формы резцы имеют специальные названия.

1.1. Шпицштихель
1.2. Мессерштихель
1.3. Фасетштихель
1.4. Юстирштихель
1.5. Грабштихель
1.6. Флахштихель с широкой спинкой
1.7. Флахштихель с узкой спинкой
1.8. Полуовальный болтштихель
1.9. Овальный болтштихель
1.10. Шатирштихель

2. Гравировальные фрезы – режущий инструмент предназначенный для обработки металлов резанием. Применяется для различных задач гравировки, табличек, гравировки для торцевой подсветки, снятие фасок, обработки воска, кости, фрезерования под изгиб композита и других операциях.

Гравировальные фрезы подразделяются на три группы:

2.1 По типу обрабатываемого материала
2.2. По материалу режущей части
2.3. По форме режущей части

В свою очередь они подразделяются на более мелкие подгруппы.

2.1. По типу обрабатываемого материала
2.1.1. Для обработки сталей, чугунов, нержавеющей стали.
2.1.2. Для обработки пластика
2.1.3. Для обработки дерева
2.1.4. Для обработки цветных металлов
2.1.5. Для обработки камня
2.1.6. Для обработки кости
2.1.7. Для обработки воска
2.2. По материалу режущей части
2.2.1.Из быстрорежущей стали
2.2.2.Из твердосплавного материала
2.2.3.Из синтетического алмаза
2.3.По форме режущей части
2.3.1.Пиарамидка

2.3.2.Сферические
2.3.3.Конические
2.3.3.1. Однозаходные
2.3.3.2. Двухзаходные
2.3.4.Перовые (для обработки дерева)
2.3.4.1.Прямые
2.3.4.2.Сферические
2.3.4.3. Фасонные
2.3.5.Прямые
2.3.5.1.Однозаходные
2.3.5.2. Двухзаходные
V – граверы (твердосплавные)

3. Фрезы – режущий инструмент, выполненный из твердого сплава. Различаются геометрической частью, предназначены для фрезерования, раскроя, выборки пазов, а также, их можно применять на граверных работах.

Фрезы разделяются на три группы:
3.1. Спиральные
3.2. Компрессионные
3.3. Прямые

Каждая группа разделяются на подгруппы.
3.1. Спиральная
3.1.1. Спиральные конусные сферические
3.1.2. Спиральные сферические
3.1.3. Спиральные конусные плоский кончик
3.2. Компрессионные
3.2.1. Однозаходные
3.2.2. Двухзаходные
3.2.3. Трехзаходные
3.2.4. Четырехзаходные
3.3. Прямые
3.3.1. Прямые конусные сферические
3.3.2. Прямые сферические

4 Микрофрезы – режущий инструмент малого диаметра (от 0,05 до 3 мм), выполненный из твердого сплава. Предназначен для фрезерования, гравирования, выборки пазов, отверстий. Отличается высокой степенью точности обработанной поверхности.

Различаются по типу обрабатываемого материала.
4.1. Для обработки алюминия
4.2. Для обработки сталей, чугунов, нержавеющих сталей.

В свою очередь подразделяюся на подгруппы:
4.1. Для обработки алюминия
4.1.1. Концевые
4.1.2. Концевые сферические
4.1.3. Концевые сферические удлиненные
4.1.4. Концевые удлиненные

Для обработки сталей, чугунов нержавеющих сталей подгруппы будут идентичными.

5. Борфрезы- режущий инструмент, выполненный в виде хвостовика и рабочей части. Применяют для таких технологических операций как зачистка поверхности из металла и ее шлифовка, гравировка, растачивание отверстий до требуемых размеров.

Борфрезы делятся на 3 группы:
5.1. По форме режущей части
5.1.1. Цилиндрические
5.1.1.1. Цилиндрические

5.1.1.2. Цилиндрические с коническим хвостовиком
5.1.2. Сферические
5.1.3. Овальные
5.1.4. Конические
5.1.4.1. Коническая закругленная
5.1.4.2. Коническая заостренная
5.1.4.3. Конус с углом 60 градусов
5.1.4.4. Конус с углом 90 градусов
5.1.4.5. Обратный конус
5.1.5. Полуовальные
5.1.5.1 Аркоподобная закругленная
5.1.5.2. Аркоподобная заостренная
5.2. По материалу режущей части
5.2.1. Из быстрорежущей стали
5.2.2. Из твердосплавного материала
5.2.3. Из синтетического алмаза
5.3. По типу заточки
5.3.1. Для выполнения работ по алюминию
5.3.2. С универсальной нарезкой
5.3.3. С ультратонкой нарезкой
5.3.4. С тонкой нарезкой

Результаты и обсуждение

На кафедре «Технология машиностроения» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова ведутся научно-производственные исследования по механическим методам получения буквенно-цифровых знаков на металлах путем снятия стружки, и формирования канавки на глубину от 0,05 до 0,5 мм.

Проводился поисковый эксперимент по микрофрезерованию буквенно-цифровой надписи «ЦП 638-022 МК 20 11-II ПД» на заготовке детали «Вставка», выполненной из Стали 40Х ГОСТ 4545-74 твердостью 240 НВ (рисунок 1).

Фрезерование буквенно-цифровой надписи производилось на фрезерно-гравировальном станке Lynx 3D-020 (рисунок 2), 3-гранныой твердосплавной гравировальной фрезой KF3JS33001(рисунок 3), выбранным с помощью разработанной классификации, с подачей, S=10 мм/мин, частотой вращения шпинделя, n=24000 мин-1, глубиной резания t=0,5 мм.

Рисунок 2 – Фрезерно-гравировальный станок

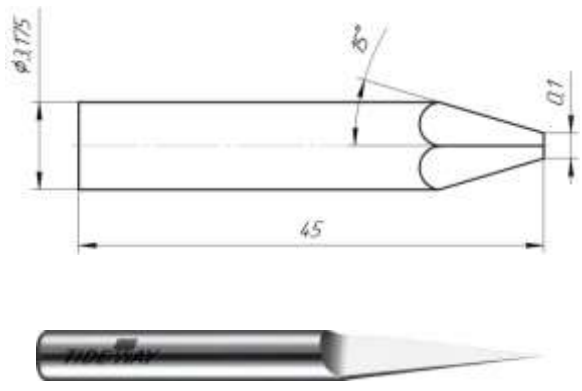


Рисунок 3 – Гравировальная фреза

Фотография вставки с надписью изображена на рисунке 4.

Рисунок 4 - Вставка

Выводы

Разработанная классификация инструментов для фрезерования буквенно-цифровых знаков позволяет уменьшить номенклатуру и типоразмеры оснастки в производстве.

Разработанная классификация инструментов для фрезерования буквенно-цифровых знаков применялась для выбора инструмента для нанесения надписи на вставке штампа подрельсовой подкладки резиновой ЦП-638 ТУ 2539-161-01124323-2003.

В дальнейшем исследования будут направлены на определение рациональных режимов фрезерования буквенно-цифровых знаков, применения смазочно-охлаждающих технологических средств, определение стойкости режущего инструмента и шероховатости буквенно-цифровых надписей.

Список используемой литературы:

1. Ручное и машинное гравирование. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1990. – 208 с., ил.

2. http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_03_nc.html

3. https://www.stankoff.ru/category/988/frezyi-gravery

4. http://cncbit.ru/category/mikrofrezy-zcc-ct-hrc50/

THE CLASSIFICATION OF INSTRUMENTS FOR THE APPLICATION OF TECHNICAL INSCRIPTIONS

Goncharov V.D., Ph.D. (Engineering), Professor,
Solomin D.E.,Graduate student

Goncharov V.D., Solomin D.E.

656038, Barnaul, Lenin Ave., 46
PolzunovAltai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract

The area of application of engraving operations in mechanical engineering is described. An example of a milling operation to apply a technical inscription is given. The classification of the tool for engraving inscriptions necessary for the selection of the tool, taking into account the characteristics of the operations performed. Tools for drawing technical inscriptions are divided into five groups: engravers (pins), engraving cutters, cutters, boron cutters. The developed classification of tools will reduce the range and size of tooling in production.

Keywords: drawing of technical inscriptions, milling, engraving, engravers (pins), engraving cutters, cutters, micro-cutters, boron cutters.

УДК 621.914.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

КРЯЖЕВЮ. А.[1], канд. техн. наук, доцент
ГОРИН Е. Ю.[1], аспирант
ОБЛОЖОК Д. Н. [1], аспирант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Горин Е.Ю., КряжевЮ. А., Обложок Д.Н.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: evgenijgorin@gmail.com

Аннотация

Для решения задачи обеспечения качества обработанной поверхности при фрезеровании был разработан алгоритм системы адаптивного управления технологическими параметрами на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии. Была проведена работа по разработке приложения с применением самообучающихся алгоритмов для принятия решений на изменение технологических параметров процесса торцового фрезерования. В данном приложении идет построение нейронных сетей для выявления закономерностей в больших объёмах данных Реализация работы нейросетевой модели осуществлена в пакете программного комплекса MATLAB.

Ключевые слова: фреза, торцовое фрезерование, адаптивное управление технологическими параметрами, сигнал акустической эмиссии, структурная схема, нейронные сети.

Введение

Решающим фактором экономической эффективности применения станков с ЧПУ и ГПС является производительность и эксплуатационная надежность. В балансе производительности станков с ЧПУ и ГПС доля сбоев металлорежущего оборудования по инструменту занимает одно из главных мест. На сегодняшний день в машиностроении остаются недостаточно изученными вопросы, касающиеся динамических процессов, происходящих в упругих замкнутых технологических системах. Прежде всего, это вибрации или колебания, возникающие при резании материалов. Управление этими процессами является одним из резервов повышения производительности обработки и качества изделий [1]. Обеспечение требуемого качества деталей машин при металлообработке неразрывно связано с задачей управления заданными параметрами процесса резания. При этом важнейшим показателем качества деталей является микропрофиль (шероховатость) обрабатываемой поверхности. Сложность решения данной задачи обуславливается многообразием нестационарно изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки деталей и оказывающих влияние на показатели поверхностного слоя обрабатываемого материала детали. В связи с этим важнейшими задачами современного машиностроения являются задачи совершенствования методов и способов прогнозирования качества обрабатываемой поверхности. Совершенствование системы диагностики и прогнозирования параметров процесса резания должно обеспечить:

1. Снижение себестоимости обработки при максимальном ресурсе режущего инструмента;
2. Повышение качества обрабатываемых деталей за счёт компенсирования износа режущего инструмента - корректировкой положения исполнительного органа станка на величину износа;
3. Повышение надёжности обработки за счёт своевременной замены режущего инструмента до наступления критического износа или поломки.

Обеспечение заданного качества изготовления деталей является главным показателем эффективности технологического процесса. В данной работе используется способ обеспечения заданной размерной точности и шероховатости обработанной поверхности путём прогнозирования параметра шероховатости Ra с помощью системы обработки сигнала акустической эмиссии (АЭ) [1]. Метод является технически простым и не изменяет конструкции металлообрабатывающего оборудования и обладает необходимой чувствительностью и быстродействием. Метод акустического излучения относится к акустическим методам неразрушающего контроля и технической диагностики.Но для этого необходимо иметь такую систему, которая могла бы не только принимать и анализировать виброакустический сигнал, но и также изменять технологические параметры технологического процесса в режиме реального времени. В настоящее время существуют системы адаптивного управления металлорежущими станками, которые используют для анализа и управления режимами резания: измерение термо-ЭДС; измерение мощности привода главного движения станка; измерение составляющих силы резания.

Для решения задачи обеспечения качества обработанной поверхности при резании в АлтГТУ был разработан алгоритм системы адаптивного управления технологическими параметрами на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии [2,3]. Механические волны, возникающие в процессе механической обработки деталей, преобразуются пьезодатчиком в электрический сигнал, затем этот сигнал проходит через усилитель с фильтром и передаётся в звуковую карту электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Далее в ЭВМ происходит обработка полученного ВА сигнала в специализированном программном обеспечении (ПО), анализ этих данных, а также передача полученных результатов в базу данных (БД). На основе ранее полученных результатов анализа, хранящихся в БД, и текущего получаемого ВА сигнала, ПО принимает решение на изменение технологических параметров для достижения заданного качества обработки детали. Сформированные управляющие команды изменения конкретных технологических параметров отправляется через интерфейс передачи данных в систему ЧПУ станка и происходит изменение параметров режима резания заданного технологического процесса.

В связи с отсутствием программного обеспечения, отвечающего требованиям работы данной системы, была проведена работа по разработке приложения с применением самообучающихся алгоритмов для принятия решений на изменение технологических параметров процесса торцового фрезерования. Структурная схема алгоритма ПО с применением самообучающихся алгоритмов для адаптивной маршрутизации представлена на рисунке 1. В данной программе идет построение нейронных сетей для выявления закономерностей в больших объёмах данных [4]. Нейронная сеть используется тогда, когда неизвестен точный вид связей между входами и выходами, - если бы он был известен, то связь можно было бы моделировать непосредственно. Среди развивающихся областей применения искусственных нейронных сетей (ИНС) – это обработка аналоговых и цифровых сигналов. Важным этапом разработки искусственной нейронной сети является разработка нейросетевой модели (НСМ) и формирование входного и желаемого выходного сигналов НСМ.

Нейронные сети - исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Для построения нейронных сетей необходимо иметь входные данные из большого числа испытаний. Основы теории и технологии применения ИНС широко представлены в пакете программного комплекса MATLAB. В нашем случае входными параметрами являются параметры инструмента и

заготовки, режимы резания, а на выходе будем получать значения параметра шероховатости и волнистости, средней амплитуды и скорости счета сигнала акустической эмиссии (см. рис. 2).

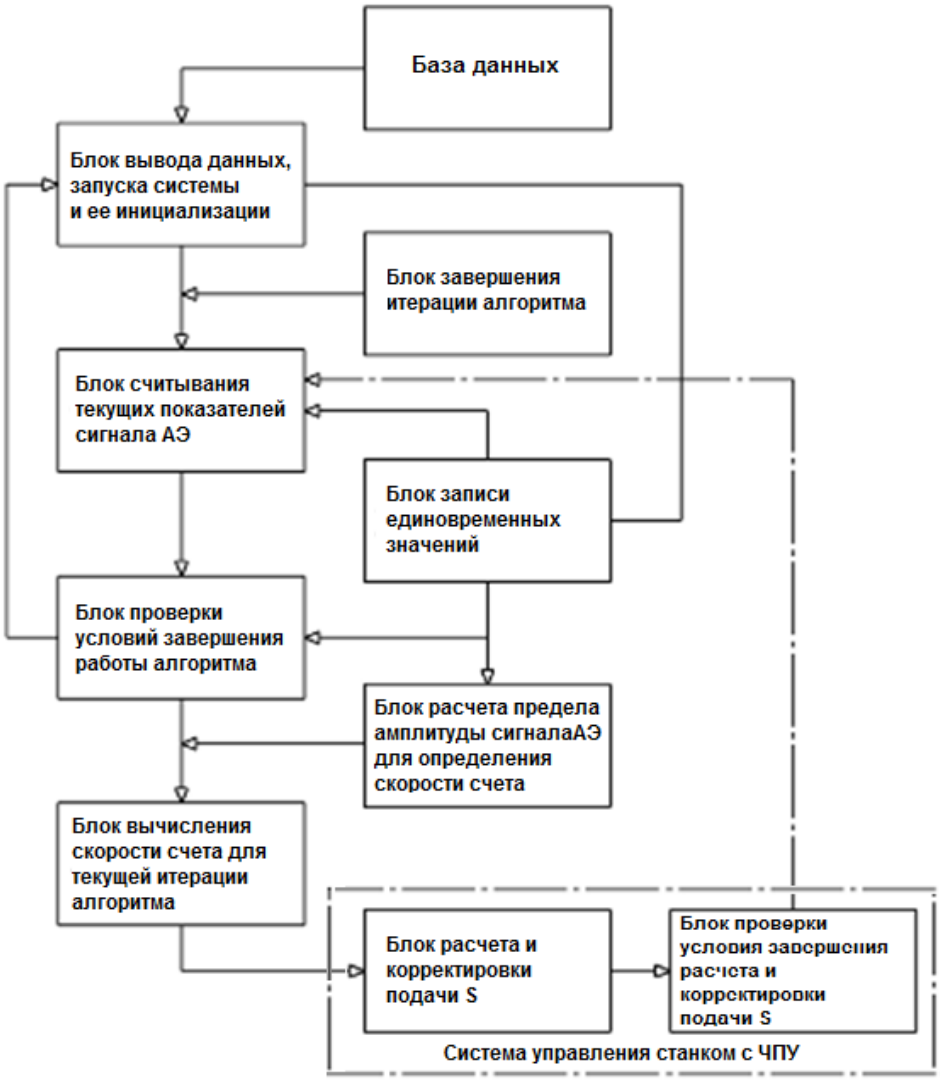


Рисунок 1–Структурная схема алгоритма программного обеспечения с применением самообучающихся алгоритмов.

Входные параметры														Параметры на выходе				
Параметры инструмента					Параметры заготовки			Режимы резания						Шероховатость		Амплитуда	Скорость счёта	Волнистость
φ1	стойкость	φ	материал инстр.-та (тв.-ть; вязкость)	Dфрез (мм)	Материал	Hв	σв	$V_ф$, м/мин	n ф, об/мин	$S_м$, мм/мин	t, мм	S_z, мм/зуб	z, кол-во реж. кромок	R_a; мкм	R_z, мкм	A, дБ	$\dot{N}$, имп/сек	W_z

Рисунок 2 – Таблица ввода данных для прогнозирования шероховатости

Для создания новой нейронной сети в программном комплексе MatLab используем функцию «nntool», при этом откроется окно интерфейса программы (см. рисунок 3).

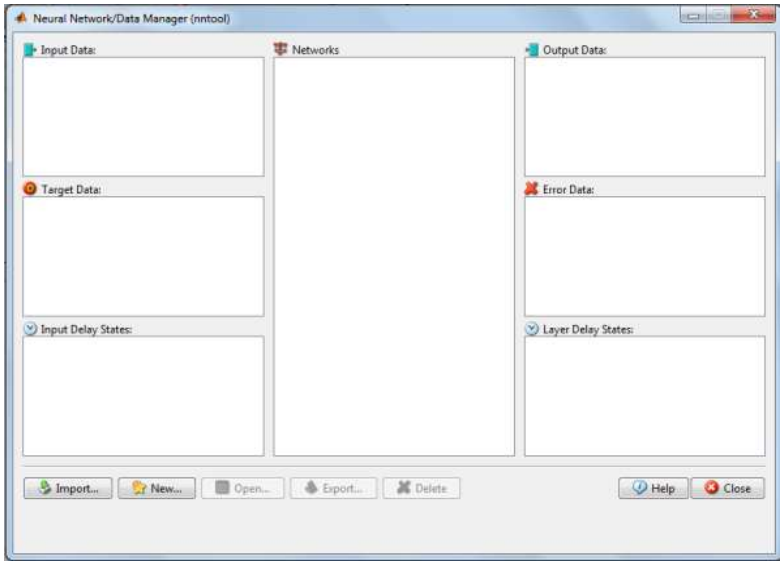


Рисунок 3 – Основное окно интерфейса

В окне программы создаем нейронную сеть, затем выбираем значения входов и выходов, а остальные установки при создании сети оставим по умолчанию.

После всех проделанных операций получаем структуру нейронной сети в новом окне программы (см. рисунок 4).

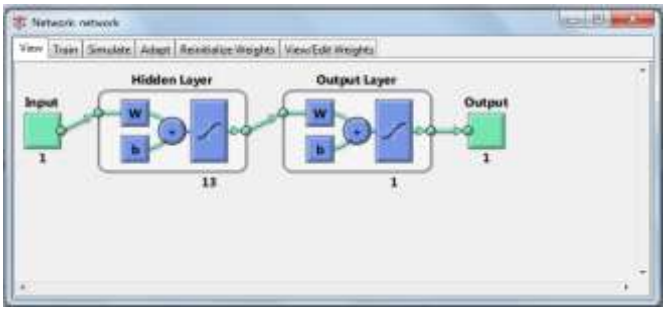


Рисунок 4. – Структура полученной нейронной сети

Рисунок 5 – Обученная нейронная сеть

Для обучения полученной нейронной сети вводим данные, которые мы получили в ходе предыдущих испытаний. После этого запускаем процесс обучения сети и проводим это до того периода, когда процент ошибки не станет очень низким. Обучение сети может занять продолжительный период времени, исходя из объема базы данных. Результаты обучения можно посмотреть в окне, которое появляется после окончания операции обучения (см. рисунок 5.) В процессе создания и обучения сети необходима большая база данных для прогнозирования выходных параметров с минимальным процентом ошибок.

Выводы

Разработанный алгоритм адаптивного управления процессом фрезерования на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии реализовывается в программном обеспечении с применением самообучающихся алгоритмов и обеспечивает стабильность параметров качества обрабатываемой поверхности при торцовом фрезеровании.

Список литературы

1. Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С. Исследование колебательных процессов, возникающих при работе спирального сверла, с применением анализа акустического сигнала. «Технология машиностроения», - 2008.- №1 - С.28-29.

2. Кряжев Ю.А. Горин Е.Ю. Разработка алгоритма адаптивного управления процессом фрезерования на станках с ЧПУ с использованием сигнала акустической эмиссии. [Статья.] Сборник материалов международной конференции «Актуальные проблемы в машиностроении». НГТУ, 2017 г.;

3. Кряжев Ю.А. и др. Прогнозирование шероховатости при иглофрезеровании методом акустической эмиссии (статья). Вестник Алтайской науки. - №2-1.- 2013.- С. 30-33.

4. Афанасьева М. А. Создание и обучение нейронных сетей в системе Matlab [Текст] / М. А. Афанасьева // Молодой ученый. — 2014. — №4.

THE DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF ADAPTIVE MILLING PROCESS CONTROL ON CNC USING ACOUSTIC EMISSION SIGNAL

Kryazhev Yu. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Gorin E. Yu.,. Post-graduate Student
Oblozhok D.N., Post-graduate Student

Gorin E. Yu., Kryazhev Yu. A. Oblozhok D.N.

656038, Barnaul, Lenin Ave., 46
PolzunovAltai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract

We developed an algorithm of a system of adaptive technological parameters control on CNC using acoustic emission signal to solve the problem of quality provision of a treated surface during the milling process. We worked on the development of an application with the use of self-training algorithms for decision making on change of technological parameters of face milling. There is a creation of neural networks in this application for identification of regularities in large volumes of data. The realization of work of neural network model is carried out in MATLAB software. We enter data, which we had obtained during the previous tests for training of the received neural network. Thus we can see the results of this training in a pop up on the screen at the end of the operation. A big database is necessary to predict the output parameters with the minimum error rate in process of creation and training of network.

Keywords: Mill, face milling, adaptive technological parameters control, acoustic emission signal, block diagram,neural networks.

УДК 621.9

СПОСОБЫ ПРАВКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГНИТНОГО ИНДУКТОРА

ИКОННИКОВ А.М.[1], канд. техн. наук, доцент,
КНЯЗЕВ Е.В. [1], магистрант,
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Иконников А.М., Князев Е.В.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова
e-mail: iamagtu@mail.ru
e-mail: troian392@yandex.ru

Аннотация

Авторы излагают методику проектирования технических решений правки рабочей поверхности режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки. Поиск нового технического решения включает 4 этапа. На первом этапе выделяется и анализируется проблема, связанная с отсутствием систем для обеспечения параметров качества обработанной поверхности в течение периода стойкости режущего инструмента. Второй этап выявляет актуальность проектирования устройств и способов правки режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки. Третьим этапом поиска технического решения является получение набора решений при помощи комбинаторного метода матриц открытия А. Моля. В итоге, на четвертом этапе получены технические решения способов правки рабочей поверхности магнитного индуктора. Таким образом, с использованием методологи поискового конструирования спроектированы технологические системы для процесса правки рабочей поверхности режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки.

Ключевые слова: Магнитно-абразивная обработка, поисковое конструирование, правка рабочей поверхности, стойкость режущего инструмента, качество обработки.

Введение

Поддержание конкурентоспособности машиностроительной продукции непрерывно требует решения задач, связанных с проектированием и внедрением новых технологий, сокращением временных и материальных затрат на всех этапах жизненного цикла изделия. Своевременное решение технологических задач в настоящее время в значительной мере замедляется из-за несовершенства методик проектирования технологических систем. Известные методики проектирования основаны, как правило, на прошлом опыте (базы данных известных решений). Не учитываются законы развития технических систем различных классов, не используются инженерного творчества.

Теория

Поиск нового технического решения включает следующие этапы:

1) Анализ проблемы;

2) Выявление недостатков, которые не позволяют с использованием прототипа обеспечить заданные требования, предъявляемые к техническому решению и направленные на решение проблемы;

3) Получение набора решений;

4) Выбор рационального решения с учетом достижения заданных технических требований.

Существенной и малоизученной проблемой (первый этап) технологии магнитно-абразивной обработки является отсутствие технические решений для управления стойкостью абразивного инструмента, и, следовательно, невозможно обеспечить стабильность параметров качества обработанной поверхности в течение периода его стойкости.

Для выявления на втором этапе недостатков имеющихся прототипов был проведен патентный поиск глубиной в 35 лет. Анализ порядка 200 патентов и авторских свидетельств по технологии магнитно-абразивной обработки показал, что по технологическим системам наибольшее распространение получили патенты, разработанные с целью повышения качества обработанной поверхности и производительности обработки, а наименьшее распространение, практически нулевое, получили технические решения для восстановления режущих свойств абразивного инструмента. Это объясняет невозможность изучения и анализа прототипов, по причине их отсутствия. Поэтому является актуальным проектирование устройств и способов правки режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки.

Наиболее сложным является третий этап, так как он носит творческий характер. На этом этапе проектирования обычно используют: собственные знания проектировщика, базы данных, известные технические системы и т.п. Выбор метода проектирования для совершенствования технологических систем определяется следующими факторами: требуемой характеристикой технической системы; временем, отведенным на поиск и реализацию решения; квалификацией проектировщиков и рядом другими технико-экономическими показателями.

К числу наиболее эффективных методов проектирования новых решений следует отнести комбинаторный «Метод матриц открытия А. Моля». Метод матриц открытия заключается в построении двумерной матрицы, имеющей два ряда признаков – вертикальный и горизонтальный. Эти ряды могут быть как упорядоченными, так и неупорядоченными, выражаться качественными и количественными параметрами. Часть признаков может относиться к внутренней среде, внешней среде, условиям функционирования и т.п. Данный метод не дает конкретных технических решений, но позволяет проанализировать варианты комбинаций признаков системы, формулировать проблемы, находить решения.

В квадратной матрице «Стойкость магнитно-абразивного инструмента» в качестве признаков взяты следующие 9 элементов: обламывание зерен (I), расщепление зерен (II), площадки износа (III), вырывание зерен (IV), внутреннее трение (V), рельеф режущей части (VI), поры в режущей части (VII), рабочий зазор (VIII) и зернистость порошка (IX). Ряд комбинаций предполагает наличие потенциальных решений. Поле для анализа составляет 81 комбинацию. Черным цветом выделены комбинации вариантов, которые не дают возможности нахождения новшеств. Бесцветные – комбинации вариантов, которые дают возможность нахождения новшеств.

Таблица 1– Стойкость магнитно-абразивного инструмента

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I									
II									
III									
IV									
V									
VI									
VII									
VIII									
IX									

В итоге на четвертом этапе получен ряд технических решений способов правки рабочей поверхности магнитного индуктора. Предлагается осуществлять правку тремя

сгенерированными способами: воздействием металлическим карандашом, струи сжатого воздуха и металлической струной.

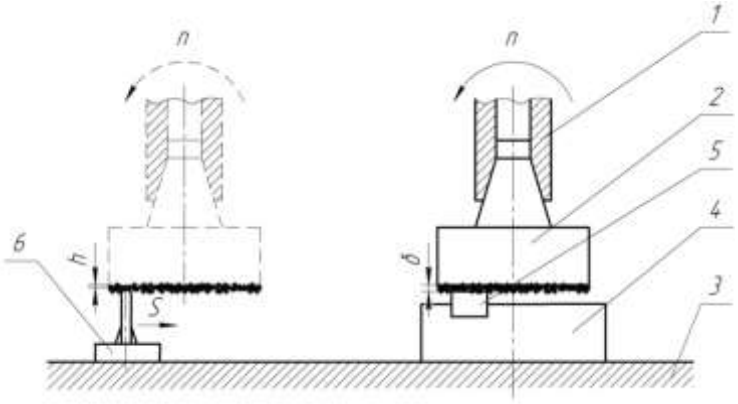


Рисунок 1– Структурная схема установки для осуществления способа правки металлическим карандашом

Предлагаемое решение поясняется рисунком 1, на котором изображена схема реализации способа правки рабочей поверхности магнитного индуктора воздействием металлического карандаша. На рисунке обозначено: 1 – шпиндель вертикально-фрезерного станка с ЧПУ, 2 – цилиндрический магнитный индуктор, 3 – стол станка, 4 – тиски, 5 – обрабатываемая деталь, 6 – металлический карандаш, S – подача стола станка, h – зазор между рабочей поверхностью индуктора и металлическим карандашом, n – частота вращения шпинделя, δ – величина рабочего зазора.

В процессе обработки изделия с течением времени магнитный порошок изнашивается, вследствие чего необходима его правка. Правка рабочей поверхности абразивного инструмента происходит при вращении магнитного индуктора с частотой n и одновременном перемещении стола станка с величиной подачи S с необходимым зазором h между рабочей поверхностью инструмента и металлическим карандашом.

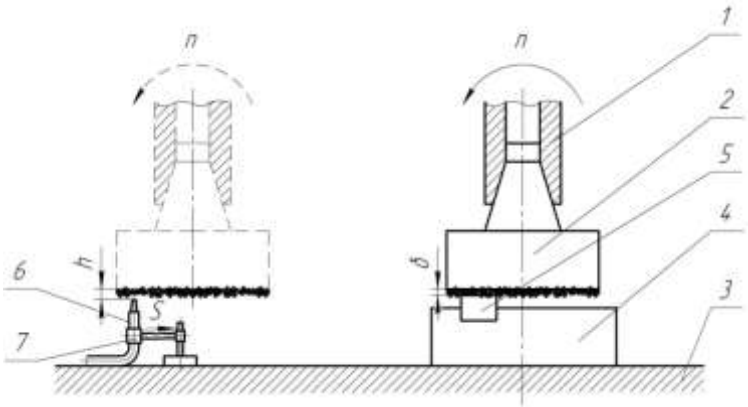


Рисунок 2– Структурная схема установки для осуществления способа правки струей сжатого воздуха

Предлагаемое решение поясняется рисунком 2, на котором изображена схема реализации способа правки рабочей поверхности магнитного индуктора воздействием струи сжатого воздуха. На рисунке обозначено: 1 – шпиндель вертикально-фрезерного станка с ЧПУ, 2 – цилиндрический магнитный индуктор, 3 – стол станка, 4 – тиски, 5 – обрабатываемая деталь, 6 – сопло для подачи воздуха под давлением, 7 – удерживающее сопло устройство, S – подача стола станка, h – зазор между рабочей поверхностью индуктора и соплом, n – частота вращения шпинделя, δ – величина рабочего зазора.

В процессе обработки изделия с течением времени магнитный порошок изнашивается, вследствие чего необходима его правка. Правка рабочей поверхности абразивного инструмента происходит при вращении магнитного индуктора с частотой n и одновременном

перемещении стола станка с величиной подачи S с необходимым зазором h между рабочей поверхностью инструмента и соплом для подачи сжатого воздуха.

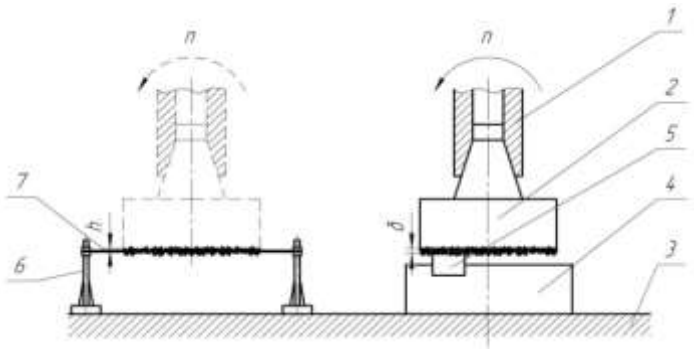


Рисунок 3– Структурная схема установки для осуществления
способа правки металлической струной

Предлагаемое решение поясняется рисунком 3, на котором изображена схема реализации способа правки рабочей поверхности магнитного индуктора воздействием металлической струной. На рисунке обозначено: 1 – шпиндель вертикально-фрезерного станка с ЧПУ, 2 – цилиндрический магнитный индуктор, 3 – стол станка, 4 – тиски, 5 – обрабатываемая деталь, 6 – удерживающее струну устройство, 7 – металлическая струна, h – зазор между рабочей поверхностью индуктора и металлической струной, n – частота вращения шпинделя, δ – величина рабочего зазора.

В процессе обработки изделия с течением времени магнитный порошок изнашивается, вследствие чего необходима его правка. Правка рабочей поверхности абразивного инструмента происходит при вращении магнитного индуктора с частотой n с необходимым зазором h между рабочей поверхностью инструмента и металлической струной.

Результаты и обсуждение

Таким образом, с использованием методологии поискового конструирования спроектированы технологические системы для процесса правки рабочей поверхности режущего инструмента для магнитно-абразивной обработки. Приведенная методика проектирования базируется на основных положениях системного подхода и элементах функционально-стоимостного анализа.

Выводы

В результате использования предлагаемых технических решений создается возможность управления состоянием и процессом правки рабочей поверхности магнитного индуктора. Достигается необходимая производительность и стабильность параметров качества обработки деталей, а также увеличивается стойкость абразивного инструмента.

Список литературы

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 176 с.

2. Татаркин, Е.Ю., Татаркина, Ю.Н. Поиск новых решений при проектировании технологических систем. Учеб. пособие. Барнаул: Изд-во Алт. ГТУ им. И.И. Ползунова. 1999. 168 с.

3. Хомич, Н. С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н. С. Хомич. - Минск: БНТУ, 2006. - 217 с.: ил.

WAYS TO CORRECT THYEWORKING SUEFACE OF THE MAGNETIC INDUCTOR

Ikonnikov A.M., PhD (Engineering), Associate Professor,
Knyazev E.V., Graduate student

Ikonnikov A.M., Knyazev E.V.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, LeninaAvenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

The authors cover the methodology for designing technical solutions for the modifying of the working surface of the cutting tool for magnetic abrasive finishing. The search for a new technical solution consists of 4 phases. The first phase is allocated and analyzed the problem of the lack of systems to ensure quality parameters of the machined surface during the period of tool life. The second stage of the methodology identifies the relevance of the design of the devices and methods modifying cutting tools for magnetic abrasive finishing. The third phase of searching technical solutions is to obtain a set of solutions using a combinatorial method matrix opening A. Mol. In the end, in the fourth stage of designing the technical solutions of the methods of modifying the working surface of the magnetic inductor. Thus, using the methodology designed for search designing new technological systems for the process of modifying the working surface of the cutting tool for magnetic abrasive finishing.

Keywords: Magnetic-abrasive machining, designing the search, modifying the working surface, the durability of the cutting tool, the machining quality.

УДК 539.739

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОНТАКТНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ В СОПРЯЖЕНИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

МАКСИМЕНКО А.А. [1]*, докт. техн. наук, профессор*
ПЕРФИЛЬЕВА Н.В. [1]*, докт. техн. наук, профессор*
ЛЕКСЕЙЦЕВ А.И. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Максименко А.А., Перфильева Н.В., Лексейцев А.И.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: max.astu@mail.ru

Аннотация

В представленной статье рассматривается контакт условно-неподвижных соединений под действием различных вибрационных нагрузок. Представлен метод расчета динамических соединений на основе учета реальных деформаций площадок контакта и диссипативных свойств.

Ключевые слова: условно-неподвижные соединения, учет контактных деформаций, динамическое нагружение, контактная прочность, диссипация механической энергии.

Введение

Основополагающим фактором развития машиностроения в условиях рыночной экономики является конкурентоспособность выпускаемых механизмов и машин. Важным при этом становится вопрос о надежности уже имеющихся конструкций, поиск оптимальных сочетаний характеристик соединений. А все это напрямую зависит от контактной жесткости и прочности сочленений машин, что особенно актуально при их работе в условиях различного сочетания динамических нагрузок.

Отсутствие универсального подхода при решении этих проблем ставит задачу создания физической и математической модели упругого контактного взаимодействия, которая позволила бы оценивать влияния параметров контактирования (которые являются изменяемым величинами при конструировании соединений) на поведение сочленений при воздействии ударных, осциллирующих и других видах динамических нагрузок.

Без дальнейшего развития динамической теории контактного взаимодействия в пределах трения покоя невозможно создание точных, устойчивых, работоспособных условно-неподвижных соединений с заданными прочностными, диссипативными и динамическими характеристиками.

Условно-неподвижные соединения (болтовые, винтовые, шлицевые, соединения с натягом и т.п.), образующие наиболее распространенную группу так называемых контактных соединений узлов машин и приборов, характеризуются наличием контактного давления на сопрягаемых поверхностях, которые за счет сил трения и обеспечивают взаимную неподвижность деталей.

На уменьшение силы затяжки в динамически нагруженных соединениях оказывают влияние различные факторы. Один из важных факторов – это появление пластических деформаций в контакте, которые как установлено многими авторами, зависят от давления в зоне контакта. Следовательно, при выборе внешней нагрузки необходимо, чтобы не только номинальные, но и контурные давления не превышали предела текучести материала.

Контурное давление при динамическом нагружении из условия отсутствия пластических смещений:

$$\sigma_C^{Д} = \frac{N^*}{A_C} \le [\sigma_C], \qquad (1)$$

где $\sigma_C^{Д}$ - контурное давление при динамическом нагружении, N^* - динамическая нагрузка, A_C - контурная площадь, $[\sigma_C]$ - допустимое контурное давление.

Динамическая нагрузка N^* является суммой нормальной статической составляющей *N = const* и динамической силы *N(x)*, изменяющейся во времени,

$$N^* = N_{const} + N(x(t)). \qquad (2)$$

Динамическая составляющая находится по методике изложенной в [1].

Исследование контактной прочности резьбового соединения с использованием предложенной методики позволило установить диапазон динамических нагрузок, при которых в зоне контакта не возникают пластические деформации.

В соединениях с натягом относительная неподвижность деталей при работе механизма обеспечивается только за счет сил трения, возникающих на контактных поверхностях под действием упругих деформаций, создаваемых натягом. Величина натяга при сборке должна обеспечивать плотность стыка, при этом она зависит не только от внешней нагрузки, но и от внутренних параметров соединения.

Для обеспечения неподвижности соединения номинальные контактные давления q_0 должны быть такими, чтобы силы трения превышали внешние сдвигающие нагрузки:

$$q_0 \ge \frac{P_z k}{\pi d l f}, \qquad (3)$$

где k - коэффициент запаса сцепления; f – коэффициент трения (для соединений, работающих с частотой больше 10 Гц, значения коэффициентов трения следует понижать на 30-40 %), d и l - геометрические размеры сопряжения, P_z - внешняя осевая нагрузка.

Используя условие совместности перемещений вала и втулки, номинальное давление без учета контактных деформаций записывается:

$$q_0 = \frac{\delta_H}{2(\lambda_1 + \lambda_2)}, \qquad (4)$$

где δ_H - расчетный минимальный натяг; λ_1 и λ_2 - коэффициенты радиальной податливости деталей.

Контактное давление приводит к возникновению в сопряженных деталях нормальных радиальных σ_R и окружных σ_t напряжений. Наибольшие напряжения возникают с внутренней поверхности охватывающей детали. При этом условие отсутствия пластических деформаций следующее:

$$\sigma_{экв} = \sigma_t - \sigma_R = \frac{2q_0}{1 - \left[\frac{d}{d_2}\right]^2} \le \sigma_T. \qquad (5)$$

В случае, когда соединение кроме радиальных давлений воспринимает еще и осевую нагрузку, в его поперечных сечениях возникают напряжения:

$$\sigma_Z = \frac{P_Z}{\pi(R_1^2 - R_2^2)}. \qquad (6)$$

Кроме того, при передаче нагрузки прессовыми соединениями на поверхностях контакта возникают касательные напряжения τ.

Наибольшие значения их определяются:

$$\tau_{\max} = q_0 f \le \tau_T, \qquad (7)$$

τ_T - предел текучести менее твердого материала соединения.

Выражение (9) является также условием прочности по касательным напряжениям.

Неравномерность распределения нагрузки в соединениях заметно сглаживается предварительным смещением, т.е. касательным смещением нормально нагруженного соединения под действием усилия, не превышающего силы трения покоя.

В большинстве случаев при прочностных расчетах не учитывают деформации, перемещения, напряжения, возникающие в поверхностных шероховатых слоях сопряженных деталей соединения в пределах трения покоя, а также за счет явления предварительного смещения. Эти упругие контактные перемещения как в нормальном, так и в касательном направлениях оказывают существенное влияние на формирование величины натяга.

В частности, инженерная податливость соединения с натягом увеличивается за счет контактной податливости шероховатого поверхностного слоя деталей соединения.

Итак, податливость за счет микронеровностей в контакте соединения с натягом в нормальном направлении будет определяться общим выражением:

$$K_N = \frac{X(t)}{N^*}, \qquad (8)$$

где $X(t)$ - нормальное контактное смещение, изменяющееся во времени в случае действия динамической нагрузки, определяемое из [1], N^* - нормальное усилие, в случае динамического нагружения соединения, являющееся в каждый момент времени суммой нормальной статической составляющей и динамической силы $N(x,t)$, изменяющейся во времени. При статических условиях в знаменателе будет стоять величина номинального давления в соединении q_0.

Тогда с учетом нормальной контактной податливости шероховатого слоя в соединении величина номинального давления будет определяться:

$$q_0 = \frac{\delta_H}{2(\lambda_1 + \lambda_2 + K_N)} \qquad (9)$$

Таким образом, номинальное давление в соединении с натягом будет уменьшаться, а, следовательно, фактическая величина натяга будет так же меньше минимального расчетного значения.

Если прессовое соединение нагружено динамической или статической силой тангенциального направления, то необходимо в общем инженерном расчете на прочность учесть касательную контактную податливость шероховатого слоя:

$$K_\tau = \frac{\Delta(x(t);t))}{N^* f}. \qquad (10)$$

Для общего случая одновременного динамического нагружения соединения как в нормальном, так и в тангенциальном направлениях: $\Delta(x(t);t))$ - касательные контактные колебания, являющиеся функцией от $x(t)$ – нормальных контактных колебаний в каждый момент времени (методика [1,2]).

В случае действия только осевой динамической нагрузки на соединение с натягом контактная касательная податливость шероховатого слоя определяется:

$$K_\tau = \frac{\Delta^*}{\tau^*}, \qquad (11)$$

где Δ^* - амплитудное значение вынужденных касательных контактных колебаний в пределах предварительного смещения [1, 2]; τ^* - касательное напряжение соответствует - Δ^*.

Причем по условию прочности во избежание срыва поверхностей должно соблюдаться условие:

$$\begin{matrix} \Delta^* \le \Delta_P \\ \tau^* \le \tau_{\max} \end{matrix}. \qquad (12)$$

Выводы

Оценочные расчеты показали, что и податливость соединений с натягом как в нормальном направлении, так и в касательном направлениях увеличивается с учетом контактной податливости соединения. В частности, номинальное давление в соединении, а, следовательно, и величина самого минимального натяга уменьшается при различных параметрах контактирования от 10 % до 15%.

На основе созданной модели поведения механического контакта при тангенциальных и нормальных вынужденных колебаниях разработан метод расчета динамических параметров условно- неподвижных соединений на примере резьбовых соединений, клиновых и соединений с натягом. Метод основан на учете реальных деформаций на площадках контакта и его диссипативных свойств. Данный учет необходимо производить при проектировании ответственных соединений прецизионных конструкций (3).

Список литературы

1. Максименко А.А., Перфильева Н.В., Котенева Н.В. Динамические контактные взаимодействия при сложном нагружении в условиях трения покоя // Известия вузов. Машиностроение. - 2002. - № 2-3. – С.28 –37.

2. Максименко А.А., Перфильева Н.В. Динамические контактные взаимодействия упругих квазистационарных систем // Ползуновский вестник.- 2002.- № 1.- С. 103-105.

3. Максименко А.А., Перфильева Н.В., Феропонтов В.А., Борисова А.Д. Амплитудно-частотные характеристики и контактная податливость сопряжений прецизионных конусных соединений// Ползуновский вестник.–№ 1, 2015.– С. 40–43

DYNAMIC CONTACT DEFORMATIONS IN THE CONNECTIONS OF MACHINE-BUILDING CONSTRUCTIONS

Maksimenko A.A., D.Sc. (Engineering), Professor
Perfilieva N.V. D.Sc. (Engineering), Professor
Alexeytsev A.I., Ph.D. (Engineering), Associate Professor

Maksimenko A.A., Perfilieva N.V., Alexeytsev A.I.

656038, Barnaul, Lenin Ave., 46
PolzunovAltai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract

The objective of the present report is examination of the regularities in conduct of an elastic contact under compound shock loading and vibration loads. The examination is orientated towards refinement of the processes of contact deformation in the given state as well as towards getting calculating formulas to describe the phenomenon in question.

Keywords: conditionally fixed connections, allowance for contact deformations, dynamic loading, contact strength, dissipation of mechanical energy.

УДК 62.192

ПРИБЛИЖЕННЫЕ РАСЧЕТЫ РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ НА СТАДИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА

МАНЬШИН Ю. П.[1], канд. техн. наук. доцент,
МАНЬШИНА Е. Ю.[1], ст. преподаватель
([1]ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия),

Маньшин Ю. П, Маньшина Е. Ю.

344000 Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Донской государственный технический университет,
e-mail: manshin@mail.ru
e-mail: elemans@mail.ru

Аннотация

При выполнении проектов любого уровня (технический проект новой машины или учебного проекта) цель разработчиков - обеспечить заданный уровень надежности проектируемой технической системы. Необходимый и достаточный перечень исходных характеристик технической системы должен быть сформулирован в техническом задании на проектирование. После чего для доведения надежности деталей до требуемого уровня надежности используется математический аппарат теории надежности

Ключевые слова надежность, вероятность безотказной работы, ресурс, наработка технической системы, уровень надежности, интенсивность отказов.

Заданный уровень надежности технической системы (ТС) может характеризоваться вероятностью безотказной работы (ВБР) и временем (требуемая наработка) на которое ВБР гарантируется [1, 2]. Функциональная схема ТС, являющаяся исходным документом проекта, служит для синтеза ее структурной схемы надежности [1]. Анализ структурной схемы надежности ТС позволяет распределить требуемые ВБР элементов ТС с учетом вида их взаимодействия, требуемой наработки и заданной ВБР ТС [2, 3].

Готовый проект в виде конструкторской документации (КД) или опытного образца обладает достигнутым уровнем надежности, который характеризуется наработкой ее элементов до отказа с требуемыми ВБР. Достигнутая наработка деталей до отказа по причине накопления усталостного повреждения на основании вероятностной модели отказа получается из расчетов (на основании КД) или расчетно-экспериментальным методом после полевых испытаний опытного образца [3].

Достигнутая наработка деталей с требуемыми ВБР может оказаться больше заданной (избыточный ресурс), либо меньше заданной (недостаточный ресурс). Последний вариант требует конструктивной доработки проекта, направления которой известны [1, 3, 7]. Однако остается за рамками публикаций численные меры различных приемов модернизации деталей.

В статье рассматриваются числовые характеристики различных направлений повышения выносливости деталей, вытекающие из безразмерных соотношений параметров моделей развития усталостного повреждения.

Если напряжение в опасном сечении представлено гистограммой, среднее (с вероятностью 0,5 или 50%) число циклов до разрушения детали согласно корректированной гипотезы накопления усталостного повреждения [4] по нормальным напряжениям:

$$N_{\sigma 0,5} = \frac{a_o \sigma_{-1Д}^{\ m_o} N_{Go}}{\sum \sigma_j^{\ m_o} p_{jo}} \quad \text{циклов,} \qquad (1)$$

где a_σ — корректирующий коэффициент, учитывающий ускорение накопления усталостного повреждения под действием максимальных амплитуд напряжении [4];

$\sigma_{-1Д}$ – предел выносливости детали в опасном сечении;

m_σ — показатель кривой выносливости по нормальным напряжениям;

$N_{G\sigma}$ – базовое число циклов нормальных напряжений, соответствующее точке слома кривой выносливости;

$\sum \sigma_j^{m\sigma} p_{j\sigma}$ – эквивалентные амплитуды нормальных напряжений (эквивалентные всему массиву переменных амплитудпо величине накопленного усталостного повреждения);

σ_j— разрядные величины амплитуд нормальных и касательных напряжений;

$p_{j\sigma}$ — разрядные частости (вероятности) амплитуд нормальных и касательных напряжений.

Средний ресурс в часах : $t_{0,5} = \dfrac{N_{0,5}}{3600 n_e}$ час, (2)

где n_e, гц (1/с) – средняя частота эффективных амплитуд, ($\sigma_j \geq 0{,}5\sigma_{-1Д}$), участвующих в процессе накопления усталостного повреждения.

Теория надежности описывает распределение наработок на отказ технических систем по причине развития усталостных трещин логарифмически нормальным законом [1, 5] с плотностью вероятности

$$q(t) = \frac{1}{t S_{\lg t 0,5} \sqrt{2\pi}} EXP[-\frac{(\lg t_{0,5} - \lg t)^2}{2 S_{\lg t 0,5}{}^2}],$$

и вероятностью безотказной работы, выраженную через табулированную функцию Лапласа:

$$P(t) = \Phi(\frac{\lg t_{0,5} - \lg t}{S_{\lg t 0,5}}), \quad (3)$$

где lgt – десятичный логарифм ресурса в часах, соответствующего заданной вероятности безотказной работы P(t);

$\lg t_{0,5}$ - десятичный логарифм медианного ресурса в часах, соответствующего вероятности безотказной работы P(t) = 0,5;

$S_{\lg t 0,5}$ – среднее квадратическое отклонение логарифма медианного ресурса:

$$S_{\lg t 0,5} = 0{,}434 m \sqrt{V_{\sigma_{-1Д}}{}^2 + V_{\sigma_j}{}^2},$$

где $V_{\sigma-1Д}$ – коэффициент вариации предела выносливости детали, может изменяться в диапазоне 0, 05...0,2, $V_{\sigma j}$ - коэффициент вариации амплитуд напряжений;

Аргумент функции Лапласа (3):

$$\frac{\lg t_{0,5} - \lg t}{S_{\lg t 0,5}} = u_P. \quad (4)$$

где u_P - квантиль нормального распределения, вычисленный в математических таблицах в функции вероятности безотказной работы P(t).

Из (4) получена функция распределения ресурса в виде, приведенном в [6], которая графически спрямляется в логарифмически – вероятностных координатах:

$\lg t = \lg t_{0,5} - u_P S_{\lg t 0,5}$ (5)

После решения (6) относительно t будет получена функция распределения ресурса в зависимости от заданной ВБР:

$t = t_{0,5}\, 10^{-uP\, Slgt0,5}$, часов. (6)

Наглядное представление о функции ресурса получается на графике в логарифмически - вероятностных координатах (рис. 1).

Сближение достигнутого и требуемого ресурсов деталей наглядно показано на рисунке 1: если требуемый ресурс t = 3000 час, то должны быть приняты меры чтобы точка пересечения функция распределения ресурса f1 с требуемой ВБР детали Рдет(t) переместилась вправо в

точку с требуемым ресурсом t = 3000 час (показано стрелкой), после чего ресурс t_{P1} из недостаточного станет достаточным. Если при этом перемещении выполняется параллельный перенос линии функции распределения ресурса на нужную величину по оси ресурса, точка среднего ресурса тоже переместится вправо на ту же величину. Перемещение будет параллельным, если принятые меры не затрагивают в (1) показатель степени m, влияющего на угол наклона линии ресурса, или изменяют его в пределах ± 5 %, что с достаточной инженерной точностью позволит считать показатель m неизменным при коррекции конструктивных параметров детали.

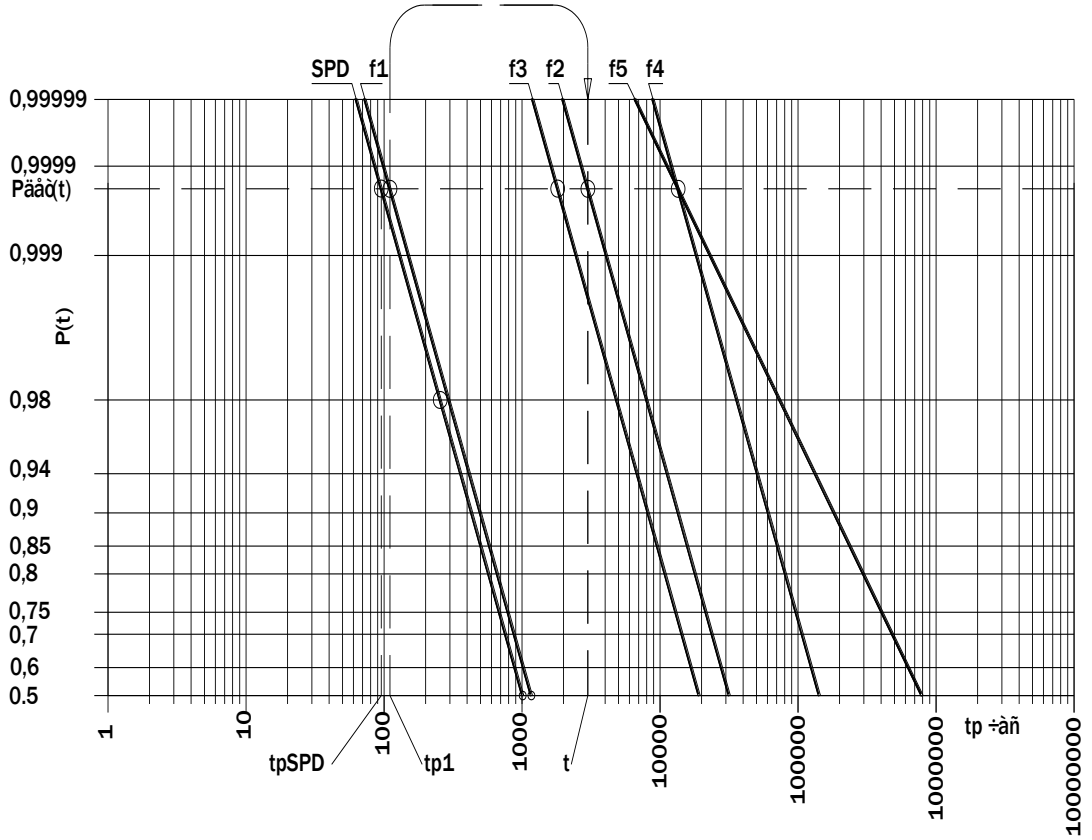


Рисунок 1 — Функции распределения ресурса в логарифмически – вероятностных координатах.

f1 – функция распределения ресурса (6).

SPD - функция распределения ресурса, полученная из программы расчета ресурса деталей SPD7ALT на основании экспериментальной записи напряжений.

f1, f2, f3, f4, SPD – семейство параллельных функций распределения ресурса с одинаковым показателем кривой выносливости m = 4.

f5 - функция распределения ресурса с показателем кривой выносливости m = 6,55.

t - требуемый ресурс.

Рдет(t) - ВБР детали по условию обеспечения заданной ВБР ТС.

Из (2) : $t_{0,5} = \dfrac{N_{0,5}}{3600 n_e}$ следует прямая пропорциональность между $t_{0,5ДОС}$ и $N_{0,5ДОС}$, где индексом «ДОС» отмечены достигнутые в конструкции ресурсы (функция f1, рис. 1). Такая же связь между $t_{0,5ТР}$ и $N_{0,5ТР}$ (требуемые ресурсы, функция f2, рис. 1). Из параллельности функций f1 и f2 следует равенство отношений

$$\frac{t_{0,5ТР}}{t_{0,5ДОС}} = \frac{N_{0,5ТР}}{N_{0,5ДОС}} = \frac{t_{ТР}}{t_{ДОС}}, \qquad (7)$$

где $t_{ДОС}$ и $t_{ТР}$ – достигнутый и требуемый ресурсы на функциях f1 и f2 с расчетной ВБР Рдет(t) на рис. 1.

Обратно пропорциональная ресурсу эффективная частота n_e (2) не подлежит коррекции, т.к. она следует из ТЗ, связана с частотными характеристиками внешней нагрузки, частотой вращения.

Выделив из (7) отношения $$\frac{N_{0,5TP}}{N_{0,5ДОС}} = \frac{t_{TP}}{t_{ДОС}} \ , \qquad (8)$$

и используя выражение (1) $N_{\sigma 0,5} = \frac{a_o \sigma_{-1Д}^{m_o} N_{Go}}{\sum \sigma_j^{m_o} p_{jo}}$,

можно сделать вывод, что увеличить (или уменьшить) $N_{0,5}$ циклов, а, следовательно, и t час можно двумя путями:

– повышением предела выносливости детали $\sigma_{-1Д;}$

– снижением амплитуд напряжений $\sigma_{j.}$

Повышение предела выносливости детали достигается выбором материала с более высокими пределами выносливости σ_{-1} и при необходимости конструктивными и технологическими мероприятиями по снижению концентрации напряжений. Это могут быть: уменьшение разности диаметров соседних участков вала, увеличение радиусов галтелей, разгрузочные канавки, выбор типа шпоночных пазов, замена проямобочных шлицов на эвольвентные, обоснованное снижением натягов посаженных деталей, снижение шероховатости поверхности, поверхностная закалка и накатка роликом опасных зон. В сварных конструкциях повышению предела выносливости способствуют оптимизация технологии сварки к условиям производства и эксплуатации, термообработка, механическая обработка, проковка и дробеструйка сварных швов для снижения концентрации напряжений. Той же цели служит правильный подбор сочетаний лобовых и фланговых угловых швов, устранение поперечных угловых швов в пролетах рам, нагруженных изгибающим моментом и другие меры [7, 8]. Приведенные меры учитываются коэффициентами концентрации напряжений, которые влияют на величину предела выносливости детали или сварного шва. Если достигается или превышается требуемый уровень предела выносливости детали, этих мероприятий достаточно для достижения требуемого ресурса.

Заменив в выражении (8) средний ресурс формулой (1), при неизменности прочих параметров можно записать отношения:

$t_{ПОВ} / t_{ДОС} = (\sigma_{-1Д\ ПОВ} / \sigma_{-1Д\ ДОС})^{mб}$,

где $t_{ПОВ}$ - повышенный в результате принятых мер ресурс, час;

$\sigma_{-1Д\ ПОВ}$ - повышенный в результате принятых мер предел выносливости детали;

$\sigma_{-1Д\ ДОС}$ – исходный предел выносливости детали, соответствующий достигнутому ресурсу.

Тогда повышенный ресурс с измененным пределом выносливости детали и неизменными прочими параметрами:

$$t_{ПОВ} = t_{ДОС} (\sigma_{-1Д\ ПОВ} / \sigma_{-1Д\ ДОС})^{mб} \text{ , час.} \qquad (9)$$

Начиная модернизацию с наиболее доступных действий, следует проверять соотношение $t_{ПОВ}$ и $t_{ТР}$. Если $t_{ПОВ}<t_{ТР}$, $t_{ПОВ}$ и $\sigma_{-1Д\ ПОВ}$ принимаются как новые достигнутый ресурс и достигнутый предел выносливости, добавлением следующих мер дополнительно повышается предел выносливости (новый $\sigma_{-1Д\ ПОВ}$) и по формуле (9) рассчитывается новый повышенный ресурс.

Если на каком – то шаге этого алгоритма достигается $t_{ПОВ} \geq t_{ТР}$, задачу проектирования детали с требуемым уровнем надежности можно считать выполненной.

Если повышения предела выносливости недостаточно для достижения требуемого ресурса $t_{ТР}$, полученные значения $t_{ПОВ}$ и $\sigma_{-1Д\ ПОВ}$ принимаются как достигнутые и на их основе следует применять следующие приемы повышения надежности.

Возможность снижения амплитуд напряжения, т.е. знаменателя формулы среднего ресурса (1), вытекает из структуры эквивалентной амплитуды напряжения. Если одну из

ступеней гистограммы приравнять к номинальному напряжению $\sigma_{ном}$, эквивалентная амплитуда может быть представлена в виде: $\sum\sigma_j^{m\sigma}p_{j\sigma} = \sigma_{ном}^{m\sigma}\sum(\sigma_j / \sigma_{ном})^{m\sigma} p_{j\sigma}$.

Отношения напряжений и разрядные частости под знаком суммы не изменяются при подстановке нового $\sigma_{ном}$, если показатель кривой выносливости m_σ в обоих частях равенства не меняются.

Напряжения номинальные в общем случае могут имеют вид $o_u = \frac{M}{W_x}$,

где M – изгибающий момент, W_x – момент сопротивления при изгибе.

Тогда при всех прочих неизменных параметрах для достижения требуемого ресурса (t_{TP}) можно использовать повышение момента сопротивления от исходной (достигнутой) величины ($W_{xДОС}$) до требуемой (W_{xTP}). Отношение ресурсов (1), аналогично (7) можно записать

$$(\frac{W_{xTP}}{W_{x\,ДОС}})^m = \frac{t_{TP}}{t_{ДОС}} \quad , \qquad (10)$$

откуда требуемый момент сопротивления для достижения ресурса:

$$W_{xTP} = W_{xДДО} = \sqrt[m]{\frac{t_{TP}}{t_{ДОС}}} \quad , \qquad (11)$$

который может использоваться при модернизации любого профиля.

Если модернизируется вал круглого сечения, для которого момент сопротивления $W_x = \pi d^3 / 32$, соотношение для требуемого диаметра из (11)

$$d_{TP} = d_{ДОС}\sqrt[3m]{\frac{t_{TP}}{t_{ДОС}}} \quad . \qquad (12)$$

Высокий показатель степени m+3 в диапазоне 7...10 делает повышение диаметра радикальным средством повышения ресурса валов. При этом следует учитывать, что изменения диаметра вала, как правило, связаны с конструктивными и технологическими условиями (стандарты на подшипники, посадочные размеры и т.п.) и допускают повышение до регламентированной ступени $d_{ПОВ}$. Тогда повышение ресурса из (12) можно рассчитать

$$t_{ПОВ} = t_{ДОС}\,(d_{ПОВ} / d_{ДОС})^{3m} , \qquad (13)$$

и оценить по критерию $t_{ПОВ} \geq t_{ДОС}$.

Уменьшение напряжений изгиба исходной детали возможно сокращением плеч изгибающих моментов: уменьшение пролетов, приближение зубчатых колес к опорам, уменьшение вылетов консольных нагрузок, что приводит к уменьшению изгибающего момента и повышению достигнутого ресурса до величины $t_{ПОВ}$. В сварных конструкциях уменьшения напряжений изгиба добиваются рациональным расположением стержней рамных конструкций (сближая их пересечения с местами приложения нагрузок и совмещая плоскости наибольшей жесткости и действия результирующего момента), сосредоточением металла в сварных панелях и оребрением корпусных сварных конструкций вдоль потоков напряжений [7, 8]. По аналогии с (11), с использованием формулы напряжений изгиба, получается соотношение:

$$\frac{t_{ПОВ}}{t_{ДОС}} = (\frac{o_{номДОС}}{o_{номУМ}})^m = (\frac{M_{ДОС}}{M_{УМ}})^m \quad ,$$

где $\sigma_{номУМ}$ – уменьшенное напряжение от нового момента,

$M_{ДОС}$ – изгибающий момент исходной детали,

$M_{УМ}$ – изгибающий момент, уменьшенный конструктивными мероприятиями.

Отсюда повышенный ресурс с измененным моментом и неизменными прочими параметрами:

$$t_{ПОВ} = t_{ДОС}(\frac{M_{ДОС}}{M_{УМ}})^m \qquad (14)$$

Если $t_{пов} \geq t_{тр}$, конструктивного уменьшения изгибающего момента достаточно для достижения требуемого ресурса. Если $t_{пов} < t_{тр}$, уменьшения изгибающего момента недостаточно. Для достижения требуемого ресурса повышенный ресурс считается достигнутым ресурсом, и добавляются уже рассмотренные приемы повышения предела выносливости детали и (или) снижения амплитуд.

Таким образом, путем анализа безразмерных соотношений параметров моделей развития усталостного повреждения, можно получить инструменты (9...14) численной оценки технологических и конструктивных приемов повышения ресурса деталей и их рационального сочетания.

Список литературы

1. ПронниковА.С.. Параметрическая надежность машин. –М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. -560с.:ил.

2. Маньшин Ю.П. Объективизация расчетов надежности при проектировании СХМ и оборудования /Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина // Состояние и перспективы развития с/х машиностроения: материалы 6 международной научно-практической конференции 26 февраля-1 марта 2013г., г. Ростов-на-Дону. В рамках 16-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2013», Ростов н/Д, 2013. -457с.

3. Маньшин Ю.П.Приближенная оценка ресурса детали, обеспечивающая ее требуемый ресурс с заданной вероятностью безотказной работы/Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина//Вестник машиностроения.-2017.-№12.-С.20-24.

4. Маньшин Ю.П. Расчеты параметров надежности элементов при проектировании машин / Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 10 междунар. науч.-практ. конф. 2-4 марта. В рамках 20-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2017». Ростов н/Д, 2017.С. 261-263.

5. Шабанов Б.М. Прочностной расчет ковша зернового элеватора (нории) в Autodesk Inventor / Б.М. Шабанов, Т.П. Савостина, Е.Д. Барсук // Новая наука как результат инновационного развития общества: сборник статей Международной научно-практической конференции в 17 частях. 2017. С. 229-231.

6. Андросов А.А. Проектирование технических систем с заданным уровнем надежности/А.А. Андросов, Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина// Учебное пособие. Издательский центр ДГТУ г. Ростов-на-Дону, 2013,-92 с.

7. Детали машин. Расчет и конструирование. Справочник. Н.С.Ачеркан. – М.: Машиностроение, 1968.

8. Маньшин Ю.П. Расчеты параметров надежности элементов при проектировании машин / Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: материалы 10 междунар. науч.-практ. конф. 2-4 марта. В рамках 20-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2017». Ростов н/Д, 2017.С. 261-263.

APPROXIMATE CALCULATIONS OF THE RESOURCE DETAILS AT THE STAGE OF TECHNICAL DESIGN

Manshin Yu.P., PhD (Engineering), Associate Professor
Manshina E.Yu., Senior Lecturer

Manshin Yu.P., Manshina E.Yu.,

344000, Rostov-on-Don, Gagarin square, 1
Don State Technical University, Russian Federation

Abstract

During the execution phase of the technical project, should assess the current resource. It is characterized by the mean time to failure of parts when the required probability of failure-free operation. Made the resource takes into account the design dimensions, material properties, dynamic characteristics of the external loads, mathematical model of fatigue damage accumulation. The increase of the achieved to the desired resource is performed by selecting a material with a high endurance limit, the use of constructive and technological measures to reduce the stress concentration. Developed rapid methods allow to measure and to find an adequate level of upgrading parts.

Keywords: the probability of failure, life, life technical systems, reliability, failure, strength, endurance.

УДК 621.9.042

СОКРАЩЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФРЕЗЕРНЫХ ОПЕРАЦИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

МАРКОВА М.И.[1], канд. техн. наук, доцент,
НЕГРУЛЕНКО Д.Н. [1], магистрант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Маркова М.И., Негруленко Д.Н.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: margarita-markova@inbox.ru
e-mail: zaborceva.daria@mail.ru

Аннотация

Трудоемкость создания управляющих программ (УП) для обработки деталей на станках с ЧПУ в автоматизированных САМсистемах определяется временем проектирования операций. При обработке деталей, содержащих сложно-профильные поверхности (СПП) процесс проектирования усложняется выбором режущего инструмента и назначением режимов резания на черновые и получистовые операции фрезерования. Назначение инструмента перебором фрез разного диаметра для обеспечения точности и шероховатости всех СПП может существенно увеличить время проектирования.

На языке программирования VBA, встроенном в Office Excel создана программа обработки алгоритма проектирования фрезерных операций, позволяющая формировать комплект режущего инструмента с рекомендуемыми режимами резания на обработку СПП. Это позволит в САМсистеме при проектировании фрезерных операций быстро назначить режущий инструмент, провести имитацию процесса обработки, устранить недочеты и сформировать УП на обработку детали на станке с ЧПУ.

Ключевые слова: Обработка сложно-профильных поверхностей, проектирование фрезерных операций в автоматизированных САМ-системах, трудоемкость изготовления фрезерных операций.

Введение

Создание УП для обработки деталей на станках с ЧПУ является трудоемким процессом. При формировании УП для обработки деталей, содержащих СПП трудоемкость процесса может увеличиться в несколько раз. Современные автоматизированные САМсистемы позволяют достаточно быстро проектировать операции и подготавливать УП для станка с ЧПУ. Сокращение времени проектирования уже начинается с создания в CADсистеме 3D моделидетали. Затем по 3D модели, импортированной в САМ модуль формируется пооперационный процесс обработки. При указании поверхности на 3D модели, выборе режущего инструмента и режимов резания система автоматически строит траекторию движения инструмента. Однако, при проектировании операционного процесса для деталей со СПП наиболее сложной задачей является определение рациональной траектории перемещения инструмента при обработке на станке с ЧПУ каждой конкретной зоны поверхности[1]. Сложность, так же состоит в назначении черновых, получистовых и чистовых видов обработки, так как для детали, содержащей СПП может быть достаточно много разных радиусов скругления поверхностей (рисунок 1), что привлечет к большому остатку не выбранного материала после обработки на данной операции [2]. Таким образом, выбор режущего инструмента и назначение режимов резания на операции играет достаточно важное значение.

Рисунок 1 – Деталь, содержащая сложно-профильные поверхности

Теория и методы

Современные многоцелевые станки с ЧПУ с высокой точностью позволяют с одного установа обрабатывать большое количество поверхностей разным инструментом. Получение сложных профильных поверхностей осуществляется концевыми фрезами разной конфигурации. Для обеспечения высокой производительности при фрезеровании используются твердосплавные фрезы: при черновой обработке с максимально допустимым диаметром, при получистовой и чистовой обработке с радиусом в местах сопряжения цилиндрической поверхности и торца. Наличие такого производительного инструмента фирмы Hoffmann, Iscar, SandvikCoromant и др. дает возможность при проектировании операций фрезерования СПП назначить необходимый инструмент и рекомендуемые режимы резания.

Для реализации разработанного алгоритма проектирования операций фрезерования деталей[2], содержащих СПП в пакете приложений Office Excel создана база режущего инструмента (рисунок 2), содержащая информацию: фирма изготовитель, вид фрезы, тип хвостовика, марка материала, диаметр, длина режущей части, длина инструмента и рекомендуемые режимы резания (скорость резания, подача).

Код инструмента	Фирма	Материал инструмента	Код инструмента	Диаметр инструмента	Длина РЧ	Длина инструмента	Диаметр хвостовика	Кол-во зубьев	Тип хвостовика	Вид обр-ки	Подача
191200	Hoffmann	HSS-Co8	191200	1,5	7	51	6	3	Цил.	чистовая	0,002
191632	Hoffmann	SPM	191200	6	8	52	6	4	Цил.	получистовая	0,008
191630	Hoffmann	HSS-Co5	191200	50	36	100	32	8	Цил.	чистовая	0,06
191640	Hoffmann	HSS-Co8	191200	11	22	79	12	3	Цил.	получистовая	0,014
205490	Hoffmann	VHM	191200	20	38	104	20	4	Цил.	черновая	0,1
205592	Hoffmann	VHM	191200	8	16	63	8	3	Цил.	черновая	0,04
205718	Hoffmann	VHM	191200	16	32	150	16	5	Цил.	черновая	0,06

Код инструмента	AL	AL литье	<500 N	<750 N	<900 N	<1100 N	<1400 N	<55 HRC	Нерж. Сталь <900 N	Нерж. Сталь >900 N	СЧ
205482	280	200	120	105	100	70	60	35		60	90
205490	280	200	120	105	100	70	60	35		60	90
205590				110	95	95	80		50	40	70
205592	280	200	120	105	100	70	60	35		60	90
205718			120	95	85	80	70	60	50	35	70

Рисунок 2 – База режущего инструмента

На встроенном в Office Excel языке макропрограммирования VBA создана программа обработки алгоритма проектирования фрезерных операций. Анализируя введенные исходные данные - конфигурацию детали, минимальную шероховатость поверхности и диапазон

радиусов скругления поверхностей назначаются виды обработки: черновая, получистовая, чистовая [3]. На черновую обработку из базы режущего инструмента с учетом обрабатываемого материала подбирается фреза с максимально допустимым радиусом. При выборе фрез на получистовую обработку учитывается возможность максимального снятия материала на данной операции. Для чистового фрезерования СПП назначаются фрезы со сферическим концом. При выборе диаметра фрезы учитывается минимальный радиус скругления поверхностей на детали. Выбранная геометрия фрезы обеспечит высокую производительность и качество обработанных поверхностей в местах сопряжения цилиндрической поверхности и торца.

Результат работы программы – это два комплекта режущего инструмента на все виды обработки детали, содержащей СПП с рекомендуемыми режимами резания (рисунок 3).

Теперь при проектировании фрезерных операций в CAM системе с использованием 3D моделидетали, содержащей СПП остается назначить режущий инструмент с режимами резания подобранными автоматизированным способом.

Количество	6	Шероховатость	3,2	Тип конфигурации	2	глубина до СПП	48	материал заготовки	Серый чугун
Номер радиуса	1	2	3	4	5	6	7	подобрать на обработку	
	40	28	20	12	5	3		Очистить	

	Код инструмента	Материал инструмента	Диаметр инструмента	Длина инструмента	Кол-во зубьев	Вид обр-ки	тип фрезы	Подача	Скорость рез.
1 комплект	205482	VHM	18	84	4	черновая	обдирочная	0,08	90
	191632	SPM	10	63	4	получистовая	концевая	0,019	63
	191200	HSS-Co8	3	52	3	чистовая	концевая	0,003	23
2 комплект	205482	VHM	20	92	4	черновая	обдирочная	0,1	90
	191632	SPM	16	79	4	получистовая	концевая	0,033	63
	191280	HSS-Co8	3	56	3	чистовая	концевая	0,003	23

Рисунок 3- Комплект режущего инструмента

Результаты и обсуждение

Программа, написанная на языке программирования VBA из пакета приложений Office Excel, создана на основе алгоритма разработанного с учетом экспериментальных данных, проведенных в системе Sprut CAM. Она делает подбор режущего инструмента на обработку СПП. Затем при проектировании фрезерных операций в CAM системе идет назначение выбранного инструмента и рекомендуемых режимов резания по всем видам обработки. Имитация процесса обработки детали в CAM системе в режиме «Сравнение результата обработки с деталью» позволит контролировать остаток не снятого материала после получистового и чистового фрезерования. При неудовлетворительных условиях обработки на операции можно быстро устранить недочеты скорректировав выбор инструмента либо режимы резания. Все это снижает трудоемкость проектирования операций с применением автоматизированных CAM систем.

Выводы

Сокращение трудоемкости проектирования фрезерных операций для деталей, содержащих СПП достигается за счет программного продукта, позволяющего быстро назначить режущий инструмент на черновое, получистовое и чистовое фрезерование. Сравнение результатов отработки одного и другого комплекта режущего инструмента (время обработки рассчитывается в CAMсистеме) позволит выбрать тот комплект режущего инструмента, при котором время обработки будет минимальным. При этом еще и снижается трудоемкость процесса изготовления детали, содержащей СПП.

Список литературы

1. Маркова М.И., Марков А.М., Счигёл Н. Модель оптимизации операций фрезерования поверхностей формообразующей оснастки. Сборник трудов VII Международной научно-практической конференции. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Новосибирский государственный технический университет, Бийский технологический институт, МИП Техмаш; Под редакцией Блюменштейна В.Ю. Баканова А.А. Останина О.А. 2015. С. 104-108.

2. Маркова М.И., Негруленко Д.Н. Методика проектирования операций для обработки сложно-профильных поверхностей. Актуальные проблемы в машиностроении. 2018. Т.5 №3-4 С.9-14.

3. Заборцева Д.Н., Маркова М.И. Методика назначения режущего инструмента на обработку сложно-профильных поверхностей детали. XIVВсероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». Горизонтыобразования: Барнаул, 2017. С.13-14.

REDUCTION OF COSTS OF DESIGNING MILLING OPERATIONSFOR PARTS THAT CONTAINCOMPLEX PROFILE SURFACES

Markova M.I., PhD (Engineering), Associate Professor,
Negrulenko D.N., Graduate student,

Markova M.I., Negrulenko D.N.

Polzunov Altai State Technical University,
Lenin prospect, 46, Barnaul, Russian Federation

Abstract

The time of creation of control programs for the processing of parts on CNC machines in automated CAM systems is determined by the time of design operations. When processing parts that contain complex profile surfaces, the design process is complicated by the choice of the cutting tool and the appointment of cutting modes for roughing and finished operations. The purpose of the tool to ensure the accuracy and roughness of complex profile surfaces can significantly increase the design time.

Software algorithm design milling operations written in the language of VBA in Office Excel. The program allows you to form a set of cutting tools with the recommended cutting modes for processing complex profile surfaces. Imitation of the processing process in the CAM system will help to eliminate defects, to form a control program.

Keywords: Machining of complex profile surfaces, design of milling operations in automated CAM systems, reduction of costs of manufacturing milling operations.

УДК 621.9.042

СТОЙКОСТЬ СПИРАЛЬНОГО СВЕРЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТЕКЛОПЛАСТИКА

МАРКОВА М.И. [1]*, канд. техн. наук, доцент,*
ПОПАЗОВ В. А. [1]*, магистрант,*
СУ ЦЗЯНЬ, [1,2] *аспирант*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия
[2] *Институт механизации сельско-хозяйственной академии*
сельско-хозяйственных наук СУАР, г. Урумчи, КНР)

Маркова М.И., Попазов В.А., Су Цзянь

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
830000, Институт механизации сельского-хозяйства академии
сельско-хозяйственных наук СУАР, г. Урумчи, КНР
e-mail: margarita-markova@inbox.ru
e-mail: wutangforever1968@gmail.com

Аннотация

Вопросы стойкости режущего инструмента при обработке композиционных материалов является актуальной темой. Стойкость инструмента определяет экономическую эффективность производственного процесса.

В работе рассматривается процесс сверления стеклопластика спиральными сверлами из быстрорежущей стали. По проведенным экспериментальным данным были определены режимы резания – подача и скорость резания, и установлено их влияние на стойкость инструмента. Для увеличения стойкости сверла определены поправочные коэффициенты k_T на скорость резания для значений подач 0,2; 0,3; 0,4 мм/об. Для контроля осевой силы резания и крутящего момента разработано программное обеспечение на языке программирования VBA, встроенном в OfficeExcel.

Ключевые слова: Стойкость сверла при обработке стеклопластика; режимы резания при сверлении стеклопластика; особенности обработки стеклопластика.

Введение

Композиционные материалы находят широкое применение в различных областях промышленности. Это обуславливается уникальностью их конструкционных свойств: высокая удельная прочность и жёсткость; низкая плотность; варьируемая теплопроводность; высокая виброустойчивость; коррозионная стойкость.Существенным недостатком является склонность материала к расслоению в процессе обработки из-за его слоистости, структурной неоднородности, высокой твердости материала наполнителя и низкой пластичности связующего.

При сверлении деталей из стеклопластика используются сверла из твердого сплава и быстрорежущей стали со специальной геометрией [1]для прохождения разных субстанций материала, из которого состоит стеклопластик. Обработка сквозных отверстий ведется спиральными сверлами с задним углом α=10...30°, передним углом γ=0...20° и углом при вершине сверла 2φ=90...120°. Глухие отверстия рекомендуется сверлить концевыми шпоночными фрезами.

Высокая твердость материала стеклопластика пагубно влияет на стойкость инструмента. Кроме того, на стойкость инструмента большое влияние оказывают режимы резания: подача и скорость резания, которые зависят от диаметра режущего инструмента и материала его режущей части.

Теория и методы

Структурные и физико-химические свойства стеклопластика оказывают достаточно сильное влияние на протекание процесса резания и его технологические показатели. Неоднородность связующего и волокнистого наполнителя затрудняют получение малой шероховатости и требуемой точности отверстий. Абразивность и высокая твердость связующего приводит к сильному изнашиванию инструмента, что напрямую определяет экономическую эффективность технологического процесса. Для обеспечения наиболее благоприятных условий обработки необходимо управлять следующими факторами: материалом режущего инструмента, его геометрией и режимами резания.

Для сверления стеклопластика применяют как твердосплавные сверла, так и сверла из быстрорежущей стали. Выбор геометрических параметров сверла обуславливается особенностями обрабатываемого материала. Значение подачи зависит от шероховатости поверхности. Для шероховатости R_a=2,5…4,0 мкм подача назначается в пределах от 0,1 до 0,2 мм/об[2]. При большей шероховатости подачу можно увеличить до 0,8 мм/об. Скорость резания будет зависеть от материала режущей части сверла, диаметра сверла и назначенной подачи.

Выбранные режимы резания оказывают влияние на стойкость инструмента, которая в большей степени зависит от скорости, затем подачи и диаметра инструмента [3].

На основе метода планирования эксперимента проводился эксперимент сверления сквозных отверстий спиральными сверлами из быстрорежущей стали Р6М5 с углом при вершине 2φ=110°. Заготовка из стеклопластика, полученная методом косослойной продольно-поперечной намотки устанавливалась на столе вертикально-фрезерного станка с ЧПУ модели ГФ2171С5.Для определения режимов резания, положительно влияющих на стойкость инструмента по матрице планирования эксперимента, устанавливались разные сочетания подачи (0,2…0,4 мм/об) и скорости резания (0,17…0,33 м/с) для сверл диаметром 8 и 9 мм.

Абразивное воздействие армирующих волокон оказывает значительное воздействие на износ режущих кромок сверла по задней поверхности. Площадка износа режущих кромок сверла по задней поверхности ($h_з$) контролировалась на приборе по настройке режущего инструмента вне станка UNO 115 ECO в режиме Vision (рисунок 1). По полученным данным были построены графики износа сверла от времени (рисунок 2), из которых видно, что при одинаковой подаче скорость резания существенно влияет на износ сверла. Однако изменение подачи (при одинаковой скорости резания) оказывает меньшее влияние на износ режущих кромок.

Из формулы скорости резания [4]: $V = \frac{C_v D^{x_v}}{T^{m_s} y_v}$,

где V- скорость резания, м/с; D- диаметр сверла, мм; T- стойкость сверла, мин; s – подача, мм/об; C_v, m, x_v, y_v – коэффициенты, учитывающие условия обработки,

можно определить стойкость сверла: $T = \frac{CD^x}{V^{k_s y}}$,

где коэффициенты: C=0,07; k =1,79; x =1,13; y =0,57.

На основе экспериментальных данных установлены значения скорости резания при подачи 0,2; 0,3; 0,4 мм/об (таблица 1) для площадки износа $h_з$=0,4 мм.

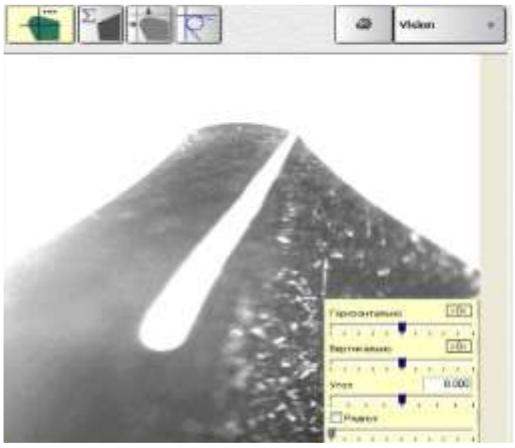


Рисунок 1 - Площадка износа режущей кромки спирального сверла

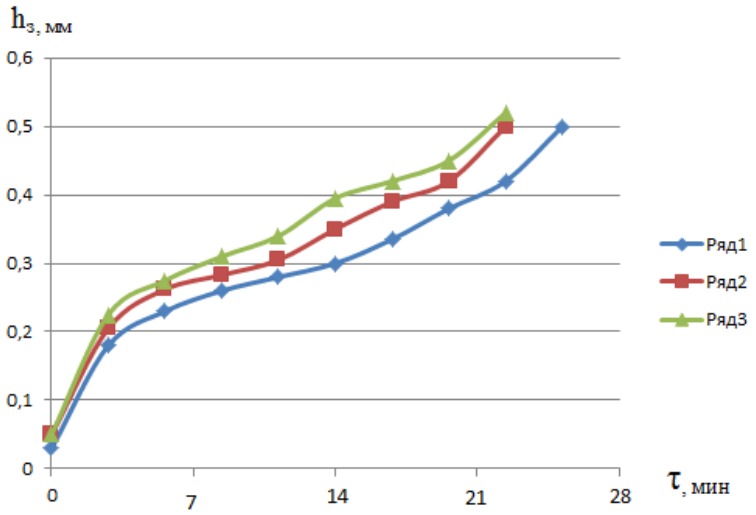


Рисунок 2 - Износ сверла диаметром 8 мм от времени: ряд 1-s=0,2 мм и V=0,25 м/с; ряд 2 -s=0,4 мм и V=0,25 м/с; ряд 3 -s=0,2 мм и V=0,33 м/с.

Таблица 1 Скорость резания, м/с при сверлении стеклопластика

Подача, мм/об	Диаметр сверла, мм		
	8	8,5	9
0,2	0,3	0,32	0,33
0,3	0,27	0,28	0,29
0,4	0,25	0,26	0,27

Направление армирующих волокон также оказывает большое значение на процесс резания. При перерезании армирующего волокна возникает колебание составляющих сил резания, что влияет на износ сверла. Контроль осевой силы резания и крутящего момента для экспериментальных данных осуществлялся с помощью программного обеспечения, разработанного по рекомендациям справочника В.И. Баранчикова [2] (рисунок 3).

N мощность резания					N=M*n/ 975	квт	Hs площадка износа			
Po	осевая сила резания				Po= Cp*(D^xp)*(S^yp)*Kp					
M	крутящий момент				M= Cm*(D^xM)*(S^yM)*Km					
n=	500 оборотов				Kp= Kph*kpφ*kpα*kpγ					
D=	9	мм			Km=Khm*kpφ					
S=	0,4	мм/об								
Материал	Cp	xp	yp	xM	yM	Cm				
Стеклопластик	83,4	1,03	0,81	1,66	0,99	0,21				
			Поправочный коэфицент Kph для осевавой силы резания				Поправочный коэф Km на крутя			
Hs-площадка	0	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	Hs-площадка	0		
Kph	1	1,57	1,87	2,04	4,46	4,5	Khm	1		
kpφ	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	Kφm	1		
kpα	1	1	1	1	1	1				
kpγ	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	1				
	Kph и Khm поправочный коэфицент учитывается в зависимости от Hs									
						0,1	0,15	0,2	0,3	
	Kp=					2,19015	2,60865	2,8458	6,2217	
	Po=					835,946	995,681	1086,198	2374,726	
	Km=					1,16	1,26	1,37	1,58	
	M=					3,77362935	4,098942225	4,456786387	5,139943425	
	N=					1,935194538	2,102021654	2,285531481	2,635868423	
Расчет силы резания, мощности и крутящего момента для износа сверла по экспериментальным данным										
	дельта				T=2	ряд 1	ряд 2	ряд 3		
время, мин	ряд 1	ряд 2	ряд 3		Po=	835,9461238	1086,197511	1086,197511		
2	0,18	0,205	0,225		M=	3,77362935	4,456786387	4,456786387		

Рисунок 3 – Расчет осевой силы и крутящего момента

Результаты и обсуждение

Так как стеклопластик относится к труднообрабатываемым материалам, для назначения режимов резания необходимо учитывать материал режущей части инструмента, его геометрию и режимы резания. При этом режимы резания назначаются с учетом стойкости инструмента. Низкая стойкость инструмента влечет к частой смене инструмента, а это приводит к низкой производительности процесса обработки. Для повышения стойкости инструмента необходимо снижать скорость резания. Для этого полученные значения скорости резания (таблица 1) можно скорректировать за счет применения коэффициентов k_T[3] (таблица2).

Таблица 2Поправочные коэффициенты k_T на скорость резания
в зависимости от периода стойкости

s, мм/об	T, мин		
	30	45	60
0,2	0,7	0,57	0,47
0,3	0,6	0,56	0,45
0,4	0,64	0,52	0,44

Выводы

Экспериментальные данные позволили определить зависимости износа спиральных сверл из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 8…9 мм от времени, значения скорости резания и подачи при обработке стеклопластика. Для увеличения стойкости сверла определены поправочные коэффициенты k_T на скорость резания.

Список литературы

1. Рогов В.А., Велис А.К., Шкарупа М.И. Инструменты, применяемые при обработке труднообрабатываемых материалов сверлением // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11-3. – С. 645-651.

2. Баранчиков В.И., Тарапанов А.С., Харламов Г.А. Обработка специальных материалов в машиностроении: справочник / В.И. Баранчиков. – М.: Изд-во Машиностроение, 2002. – 264 с.

3. Попазов В.А., Маркова М.И. Повышение стойкости режущего инструмента на операциях сверления деталей из стеклопластика. Горизонты образования. Барнаул, №20/2018.

4. Ярославцев В.М. Обработка резанием полимерных композиционных материалов: учеб.пособие / В.М. Ярославцев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 180, [4] с.: ил.

THE RESISTANCE OF THE TWIST DRILL IN THE PROCESSING OF FIBERGLASS

Markova M.I., PhD (Engineering), Associate Professor,
Popazov V.A., Graduate Student,
Su Jian, Post-graduate Student

Markova M.I., Popazov V.A., Su Jian

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenin prospect, 46, Barnaul, Russian Federation
830000, Institute of Mechanization of Agriculture of the Academy
Agricultural sciences Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, China

Abstract

Issues of durability of cutting tools in the processing of composite materials is an important topic. Tool life determines the economic efficiency of the production process.

The paper deals with the process of processing holes in fiberglass with high-speed steel twist drills. According to the experimental data were determined cutting conditions-cutting speed and feed, their influence on tool life is established. To increase the durability of the drill, correction factors k_T for the cutting speed for feed values 0.2; 0.3; 0.4 mm/rev were determined.For control of axial cutting force and torque developed software in VBA programming language, built-in office Excel.

Keywords: Tool life when machining fiberglass; cutting data when drilling fiberglass; features of fiberglass treatment.

УДК 621.9

ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ В ДЕТАЛЯХ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

ИКОННИКОВ А.М. [1]*, канд. техн. наук, доцент,*
ФЕДОРОВ Ю.В. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
ОДИНАЕВА В.О. [1]*, магистрант*
([1] АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Иконников А.М., Федоров Ю.В., Одинаева В.О.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова,
e – mail: mczhk@yandex.ru

Аннотация

Рассматриваются способы получения отверстий малого диаметра в деталях топливной аппаратуры и контроль шероховатости поверхности после обработки.

Ключевые слова: сверление, электроэрозионная обработка, шероховатость поверхности.

Введение

В современном машиностроительном производстве существует проблема получения глубоких отверстий малого диаметра, особенно в материалах, трудно обрабатываемых резанием. К таким отверстиям условно относят отверстия с диаметром 0,1…0,5 мм. Глубокими считают отверстия с отношением длины к диаметру 10 и более. Малые отверстия применяются в качестве элементов системы охлаждения таких деталей, как лопатки турбин, детали горячей части двигателей, теплообменники, форсунки для впрыска топлива в камеру сгорания и в фильтрах агрегатов автоматики. Ниже приведён патентно-аналитический обзор методов и технологий, применяемых при изготовлении отверстий малого диаметра, и их технологических возможностей. Получение отверстий малых диаметров в деталях топливной аппаратуры вызывает ряд определенных особенностей.

Методы получения отверстий

В настоящее время получение отверстий малого диаметра в металлах возможно методами:

– механической обработки,
– электроэрозионной прошивки,
– лазерного получения отверстий,
– электрохимической прошивки.

При сверлении отверстий малых диаметров (от 0,3 до 2мм) к станкам для сверления предъявляются такие требования: достаточная жесткость системы и отсутствие биения шпинделя. Сверло должно быть заточено так, чтобы режущие кромки были строго симметричны по высоте и углу, перемычка должна проходить через ось сверла, ленточки сверла должны быть чисто отшлифованы и не иметь дефектов. Даже незначительная погнутость сверла не допускается. Отверстия малых диаметров должны обрабатываться на станках, обеспечивающих высокую чувствительность ручной подачи, так как осевое усилие с уменьшением диаметра сверления становится незначительным. Поэтому отверстия малых диаметров сверлят с ручной подачей, при этом качество сверления во многом зависит от квалификации рабочего.

В настоящее время для обработки отверстий малых диаметров в деталях топливной аппаратуры существует несколько распространенных методов: электроэрозионная обработка, лазерная обработка; гидроабразивная резка; электрохимическая обработка и т.д.

Электроэрозионные методы могут быть эффективны для получения пазов и отверстий в деталях ГТД, так как технологические показатели метода практически не зависят от физико-механических характеристик обрабатываемых материалов, и обработка осуществляется без заметных силовых воздействий. Современные генераторы импульсов позволяют достаточно эффективно производить обработку отверстий, если их глубина не превышает 10-15 диаметров. При многоэлектродной обработке увеличивается производительность процесса, однако возникают проблемы с изготовлением многоэлектродного инструмента и реализацией электроэрозионной обработки. Поэтому сегодня перед специалистами стоит задача изыскания новых высокоэффективных процессов электроэрозионной обработки. [1]

Электроэрозионная обработка является дорогостоящей. Поэтому рассмотрим возможность применения сверления отверстий малого диаметра в деталях топливной аппаратуры. При этом целесообразно провести анализ возникновения тепловых явлений, так как они оказывают существенное влияние на инструмент.

Рассмотрим две особенности воздействия теплового явления:

– силы резания труднообрабатываемых металлов значительно превышают силы резания при обработке обычных конструкционных сталей, это приводит к повышению величины удельной работы и количества тепла на единицу срезаемого объема металла;

– теплопроводность труднообрабатываемых материалов, как правило, существенно ниже теплопроводности обычных конструкционных материалов. В результате тепло не успевает отводиться из зоны резания, что вызывает сильный нагрев режущей части инструмента. Особенно это актуально для процессов обработки осевым инструментом, работающим в относительно замкнутом пространстве [2].

Исходя из этих особенностей, работа на рекомендованных для жаропрочных материалов режимах резания приводит к быстрому достижению допустимой температуры резания, стойкость сверла резко падает, увеличение сил резания приводит к поломке инструмента. Поэтому необходимо снижать скорости резания, что приводит к снижению производительности. Возникает вопрос поиска таких методов, которые при высокой прочности материалов обеспечили бы достаточно высокую производительность и стойкость инструмента. Применение правильно подобранных СОЖ позволяет несколько изменить тепловые процессы [3].

Максимальный нагрев отмечается на расстоянии 0,8-0,9 диаметра сверла от его оси. Затем темп роста температуры снижается. В сечениях, расположенных близко к оси, температура, по мере удаления точек от лезвия сверла падает.

Температура на поперечной кромке составляет 60-80% от максимального значения. С увеличением подачи и скорости нарастания температуры на периферийных участках оказывается выше, чем у поперечной кромки, здесь сказывается влияние теплоотвода в сердцевину сверла [4].

Высокие температуры в зоне обработки, возникающие из-за низкой теплопроводности труднообрабатываемых материалов, определяют необходимость исследования температурных явлений в зоне резания.

Одним из способов снижения температуры можно отнести применение СОЖ. В настоящее время – это один из основных способов улучшения процессов резания.

Расчет режимов резания целесообразно проводить с использованием таблиц режимов резания при сверлении заготовок из различных труднообрабатываемых материалов. Они составлены по зависимостям, установленным в наиболее оптимальных диапазонах скоростей резания, осевые силы, крутящие моменты и эффективные мощности приведены в таблицах [5].

Выводы

Проведя детальный анализ, можно сделать вывод о возможности сверления отверстий малого диаметра в деталях топливной аппаратуры, причем в отличие от электроэрозионной обработки, получение отверстий можно осуществить прямо в условиях ремонтной базы предприятия без существенных финансовых затрат. Шероховатость внутренней поверхности после обработки подвергают контролю бесконтактным способом при помощи специального прибора [6].

Список литературы

1. Электроэрозионные методы обработки глубоких прецизионных отверстий в деталях авиационных двигателей. А. К. Алтынбаев, В. А. Гейкин, НТЦ «НИИД» ФГУП Московское машиностроительное производственное предприятие «Салют»/ Металлообработка научно-производственный журнал №6(18)/2003, стр.47-49

2. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. – М., «Высш. Школа», 1974. – 587с.

3. Пестрецов С.И. Копьютерное моделирование и опитимизация процессов резания: учеб. пособие / С.И. Пестрецов – Тамбов: ТГТУ, 2009 – 104с.

4. Латышев В.Н. Повышение эффективности СОЖ. – М., «Машиностроение», 1975 – 88 с.

5. Исследование и разработка методики расчета оптимальных параметров режимов резания на токарных станках с ЧПУ. Б.М. Бржовский, А.Л. Плотников, А. О. Таубе. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: htpp://users.kpi.kharkov.ua/articles/000005/000005.html

6. Бесконтактный способ контроля шероховатости поверхности деталей пресс-форм и его реализация/ М.С. Чепчуров, Ю.А. Афанаскова//Технология машиностроения. - №11. – 2009. –С.15-17

QUALITY ASSURANCE OF PARTS PRODUCTION FROM COMPOSITES

Ikonnikov A.M., PhD (Engineering), Associate Professor
Fedorov Yu.V., PhD (Engineering), Associate Professor
Odinaeva V.O., Graduate student,

Ikonnikov A.M., Fedorov Yu.V., Odinaeva V.O.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

Ways of reception of apertures of small diameter in heat resisting alloys and control of a roughness of a surface after processing are considered.

Keywords: drilling, electroerosive processing, a surface roughness.

УДК 621.9

РАСЧЕТ СИЛ ДЕЙСТВУЮЩИХ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

ИКОННИКОВ А.М.[1], канд. техн. наук, доцент,
ГРЕБЕНЬКОВР.В.[1], аспирант
ПАНЧЕНКО А.Д.[1], магистрант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Иконников А.М., Гребеньков Р.В., Панченко А.Д.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: iamagtu@mail.ru
e – mail: sigaset@yandex.ru
e – mail: pan4enko.arteom@yandex.ru

Аннотация

Представлена методика исследования состояния равновесия зерен ферромагнитного порошка в процессе магнитно-абразивной обработки. Сначала необходимо рассчитать значения магнитных сил в рабочем зазоре методом конечных элементов. Зная величины магнитных сил возможно определение расположения зерен магнитно-абразивного порошка в состоянии равновесия. Далее следует расчет всех механических сил в рабочем зазоре решением задачи статического равновесия. Итогом решения данной задачи станет выявление конфигурации зерен ферромагнитного порошка в состоянии статического равновесия.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, равновесие зерен, статическая система сил, магнитная сила, контактная сила, механическая сила.

Введение

Магнитно-абразивная обработка - одна из эффективных операций отделочно-чистовой обработки [1]. Специфика магнитно-абразивной обработки заключается в воздействии на обрабатываемую деталь порошковой ферромагнитной массы, уплотненной силами магнитного поля. Именно от величины и распределения магнитной индукции ферромагнитная масса будет тем или иным образом распределяться в рабочем зазоре между магнитным индуктором обрабатываемой поверхностью заготовки.

При магнитно-абразивной обработке роль режущего инструмента выполняет порция ферромагнитного порошка, а заготовку для обработки размещают на определенном расстоянии от магнитного индуктора. Данное пространство частично или полностью заполняют магнитно-абразивным порошком. Под воздействием магнитного поля зерна ферромагнитного порошка формируются в цепочки, образуя своеобразную «щетку». Данная щетка удерживается силами магнитного поля в рабочем пространстве, и при движении заготовки относительно индуктора осуществляет съем с поверхности обрабатываемой детали[2].

Зная величины магнитных сил в рабочем зазоре, возможно определение расположения зерен магнитно-абразивного порошка в состоянии равновесия.

Расчет магнитных сил в рабочем зазоре в процессе магнитно-абразивной обработки

Известно, что сложность расчета магнитных сил, действующих на зерна внутри рабочего зазора усугубляется тем, что они имеют разную форму и размеры. Учитывать это многообразие не представляется возможным и целесообразно принимать допущение о том, что

рабочий зазор заполнен однородной по плотности и магнитным свойствам сплошной средой [1].

Магнитные силы, действующие на зерна ферромагнитного порошка, в процессе магнитно-абразивной обработки рассчитываются методом конечных элементов. В качестве программного обеспечения для этого будет использоваться среда Ansys [3].

В данном исследовании решается задача, плоская и при этом однородная по плотности и магнитным свойствам сплошная среда разбивается на отдельные зерна. При этом принимается допущение, что зерна ферромагнитного порошка – упорядочены и имеют форму шара.

При магнитно-абразивной обработке постоянные магниты располагаются в индукторе таким образом, чтобы магнитная система индуктора состояла из магнитных ячеек, каждая из которых состоит из магнита и двух стальных магнитопроводов, размещенных у полюсных боковых поверхностей магнита (рисунок 1) [4].

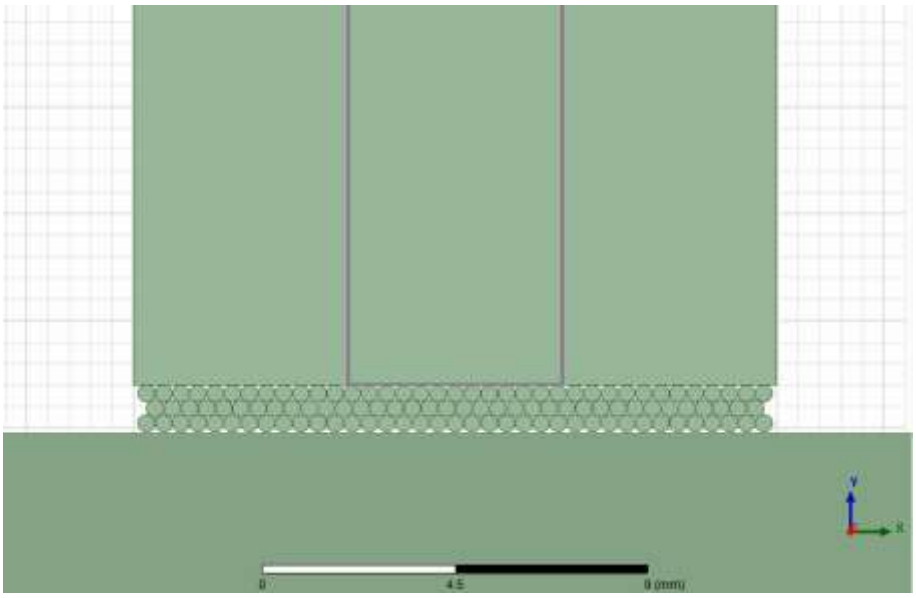


Рисунок 1– Магнитная система

В предоставленном исследовании был совершен расчет магнитных сил в процессе магнитно-абразивной обработки заготовки из немагнитного материала, например, алюминия. В качестве образца был взят именно немагнитный материал, так как он не влияет на действующие магнитные силы в рабочем зазоре. При полировании немагнитной заготовки силовые линии проходят от одного полюса индуктора к другому прежде всего вдоль рабочего зазора под магнитом, сосредоточиваясь у боковых кромок стальных магнитопроводов (рисунок 2)[5].

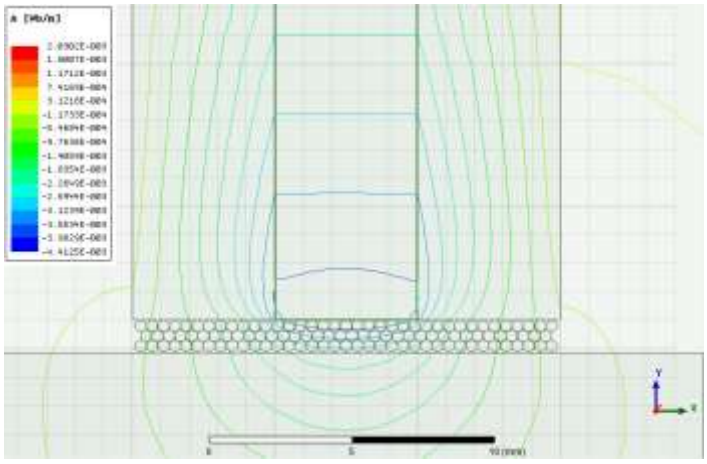


Рисунок 2– Картина силовых линий магнитного поля

Из-за этого магнитно-абразивный порошок в рабочем зазоре концентрируется под магнитами (рисунок 3).

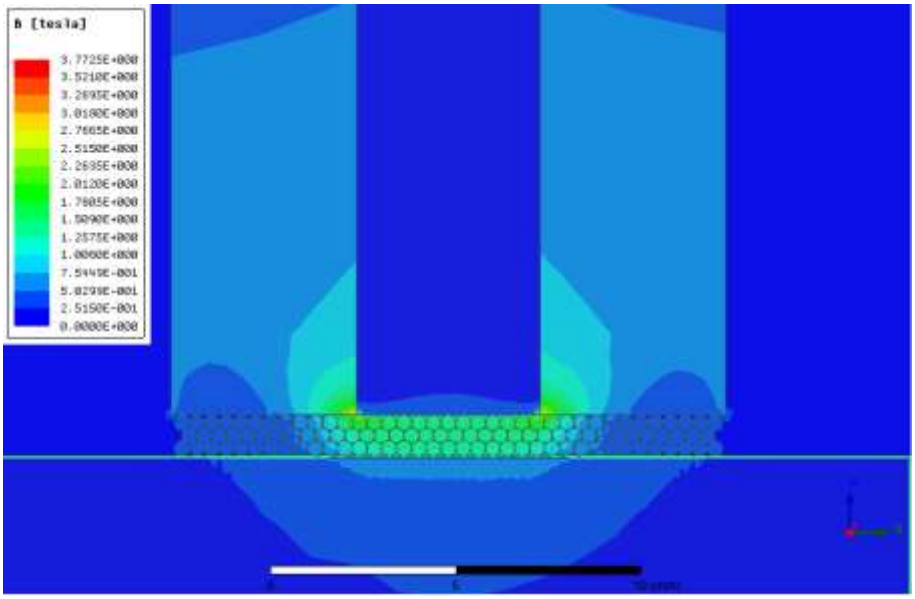


Рисунок 3– Концентрация магнитно-абразивного порошка

Следующим шагом является расчет магнитных сил, действующих на зерна ферромагнитного порошка со стороны магнитного поля. Данные магнитные силы удерживают порошок на рабочей поверхности магнитного индуктора[6]. В зависимости от расположения каждого конкретного зерна в рабочем зазоре, на зерно действует соответствующая сила магнитного поля в состоянии равновесия.

В итоге получены значения всех магнитных сил, действующих на все зерна ферромагнитного порошка, расположенные в рабочем зазоре в состоянии равновесия [7]. Каждое зерно имеет свой индивидуальный номер, и свое значение магнитной силы.

Состояние равновесия произвольного количества зерен магнитно-абразивного порошка

Для расчета состояния равновесия зерен магнитно-абразивного порошка необходимо рассчитать два вида сил, действующих на зерна: магнитные и механические силы. Магнитные силы рассчитываются с помощью метода конечных элементов по методике, приведенной в п. 1. Механические силы, действующие на зерна ферромагнитного порошка, рассчитываются из условия равновесия зерен под действием магнитных сил [8]. При расчете механических сил методом конечных элементов в точках контакта зерен ферромагнитного порошка, смоделированных шарами, образуются напряжения, стремящиеся к бесконечности [9]. Поэтому для расчета механических сил между зернами магнитного порошка необходимо решать задачу статического равновесия. В отличие от метода конечных элементов такой способ расчета позволяет пренебречь напряжениями, возникающими при точечном контакте зерен порошка в состоянии равновесия.

Обозначим n – количество рядов зерен ферромагнитного порошка, а m – количество зерен ферромагнитного порошка в ряду, примыкающему к магнитному индуктору. Тогда в следующем от индуктора ряду будет $m-1$ зерен, в следующем – $m-2$ зерен и т.д.

Для получения статически разрешимой задачи, рассмотрим систему контактных сил. Контактными называются силы, возникающие при соприкосновении тел и действующие со стороны одного тела на другое. При этом, возникают деформации, но они обычно невелики и тела рассматриваются как абсолютно твердые.

На зерна 1-го ряда (примыкающего к магнитному индуктору) действуют силы реакции от контакта с индуктором F_{Pi} и сила трения F_{mp}, которая одинакова для всех зерен магнитно-абразивного порошка. Это связано с тем, что рассматривается состояние статического

равновесия и все зерна неподвижны. Поэтому фактически рассматривается сила трения F_{mp} покоя, которая действует на каждое зерно порошка 1-го ряда. Тогда суммарная сила трения равна mF_{mp}. Отсюда мы имеем $m+1$ силу: m сил реакций от контакта с индуктором F_{Pi} и одну, одинаковую для всех зерен первого ряда, силу трения F_{mp}.

Между зернами магнитного порошка 1-го ряда имеются контактные силыF_{ij}. Количество этих сил составляет $m-1$.

На зерна магнитного порошка 1-го ряда также воздействуют зерна порошка второго ряда. Расположение этих сил – наклонное: проекции этих сил на оси x и y находятся через коэффициенты 0.5 и $\frac{\sqrt{3}}{2}$. Количество этих сил учитывается при рассмотрении второго и последующих рядов зерен магнитно-абразивного порошка.

Зерна магнитного порошка второго и последующих рядов между собой в ряду не контактируют, а имеют контакт только с зернами предыдущего и последующего рядов. Для данного ряда зерен порошка i количество контактов с предыдущим рядом зерен порошка составляет $2(m-i+1)$. Тогда общее количество наклонных сил будет составлять: $2\sum_{i=2}^{n}(m-i+1)=(n-1)(2m-n)$.

В конечном итоге количество искомых сил будет составлять $(m+1)+(m-1)+(n-1)(2m-n)=2mn+n-n^2$.

Количество уравнений системы будет равно удвоенному количеству зерен магнитно-абразивного порошка (так как силы проецируется на оси x и y) $2mn+n-n^2$.

В итоге получим, что количество уравнений системы совпадает с количеством неизвестных сил [10]. Система контактных сил является разрешимой задачей статического равновесия.

Выводы

В ходе проделанной работы было исследовано состояние равновесия зерен магнитно-абразивного порошка в процессе магнитно-абразивной обработки.

Сперва были рассчитаны значения магнитных сил в рабочем зазоре. Данный расчет производится методом конечных элементов, и его результатом являются значения всех магнитных сил, действующих на все зерна ферромагнитного порошка, расположенные в рабочем зазоре. Зная величины магнитных сил возможно определение расположения зерен магнитно-абразивного порошка в состоянии равновесия.

Дальнейшим шагом является расчет всех механических сил в рабочем зазоре решением задачи статического равновесия. В отличие от метода конечных элементов такой способ расчета позволяет пренебречь напряжениями, возникающими при точечном контакте зерен порошка в состоянии равновесия.

Итогом решения этой задачи стало выявление конфигурации зерен ферромагнитного порошка в состоянии статического равновесия.

Список литературы

1. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

2. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки/ Ф. Ю. Сакулевич. – Минск: Наука и техника, 1981. – 328 с.

3. Приходько, С. П. Моделирование процесса магнитно-абразивной обработки деталей машин на ЭВМ / С. П. Приходько // Отделочно-чистовые методы обработки и инструменты в технологии машиностроения. – Барнаул, 1987. – С. 115-119.

4. Кульавик, А. А. Расчет магнитных сил, действующих на зерна ферромагнитного порошка, в процессе магнитно-абразивной обработки / А. А. Кульавик, С. Л. Леонов, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков // Сборник трудов III Всероссийской молодежной научно-практической школы 29-30 ноября 2017 г. "Упрочняющие технологии и функциональные покрытия в машиностроении", КузГТУ, Кемерово, 2017. Режим доступа: http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/School/utec/2017/school/pages/Articles/108.pdf

5. Приходько, С. П. Магнитно-абразивное полирование индукторами на постоянных магнитах / С. П. Приходько, Ю. М. Барон // Автотракторное электрооборудование. – 1983. – № 5. – С. 11-14.

6. Оликер, В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки износостойких покрытий / В. Е. Оликер. – М.: Металлургия, 1990. – 175 с.

7. Леонов, С. Л. Автоматическое регулирование рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственного сложных поверхностей / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков // Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении», Новосибирск, 2014. - С. 162-166.

8.Барон, Ю. М. Физические основы работы магнитно-абразивных материалов / Ю. М. Барон // Магнитно-абразивные материалы и методы их испытания. – Киев, 1980. – С. 10-17.

9. Ящирицын, М. Т. Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле / П. И. Ящирицын, М. Т. Забавский. – Минск: Наука и техника, 1988. – 270 с.

10. Татаркин, Е. Ю. Методытворчества: учеб. пособие / Е. Ю. Татаркин, А. М. Марков, А. А. Ситников. – Барнаул: Изд-воАлтГТУ, 1998. – 84 с.

CALCULATION OF FORCES OF ACTION IN THE WORKING CLEARANCE ATMAGNETICALLY ABRASIVE PROCESSING

Ikonnikov A.M., PhD (Engineering), Associate Professor,
Grebenkov R.V., Post-graduate Student
Panchenko A.D., Graduate student,

Ikonnikov A.M., Grebenkov R.V., Panchenko A.D.,

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

A technique is presented for studying the equilibrium state of grains of a ferromagnetic powder in the course of magnetic abrasive processing. First, it is necessary to calculate the values of the magnetic forces in the working gap by the finite element method. Knowing the magnitude of the magnetic forces, it is possible to determine the location of grains of a magnetically abrasive powder in a state of equilibrium. Then follows the calculation of all mechanical forces in the working gap by solving the static equilibrium problem. The result of solving this problem will be the identification of the configuration of the grains of a ferromagnetic powder in a state of static equilibrium.

Keywords: magnetic-abrasive processing, grain balance, static force system, magnetic force, contact force, mechanical force.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

ИКОННИКОВ А.М.[1], канд. техн. наук, доцент,
ПАНЧЕНКО А.Д.[1], магистрант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Иконников А.М., Панченко А.Д.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: iamagtu@mail.ru
e – mail: pan4enko.arteom@yandex.ru

Аннотация

Представлена методика исследования влияния траектории движения инструмента на шероховатость обработанной поверхности при магнитно-абразивной обработке. Был проведен эксперимент, в котором рассматривалось изменение шероховатости стальных образцов после процесса магнитно-абразивной обработки в различных условиях. После каждого этапа обработки производились замеры шероховатости. Магнитно-абразивная обработка проводилась магнитным порошком. В результате проведения эксперимента были получены зависимости шероховатости обработанной поверхности с течением времени от траектории магнитно-абразивной обработки.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, равновесие зерен, статическая система сил, магнитная сила, контактная сила, механическая сила.

Введение

На любой обработанной поверхности в различном проявлении имеются следы режущих кромок инструментов в виде близко расположенных друг к другу продольных и поперечных впадин и выступов. Совокупность всех микронеровностей, образующих рельеф поверхности детали, называется шероховатостью[2].

Величина шероховатости или микронеровностей, определяется высотой выступов и глубиной впадин и оказывает весьма существенное влияние на эксплуатационные характеристики деталей — трение, износоустойчивость, прочность, антикоррозионную стойкость и т.д. В зависимости от назначения и условий работы деталей машин допускают различную шероховатость их поверхностей, и на одной и той же детали шероховатости ее различных поверхностей могут очень сильно отличаться друг от друга. Правильное назначение конструктором шероховатости обрабатываемой поверхности, соответствующей условиям работы детали, имеет огромное значение в машиностроении. При установлении требований к шероховатости поверхностей из эксплуатационных соображений следует учитывать возможность обеспечения их в процессе изготовления изделия[1].

Влияние траектории движения инструмента на шероховатость

Шероховатость поверхности детали образуется в направлении главного движения — движения резания вдоль обработочных рисок (продольная шероховатость) и в направлении поперечной подачи (поперечная шероховатость) [1]. Форма, размер и расположение неровностей зависят от метода обработки. Меняя метод обработки, можно изменять характер

и расположение микронеровностей. Оценка класса шероховатости поверхности детали производится измерением ее в направлении наибольшего значения, т. е. поперечной шероховатости, которая обычно в несколько раз превышает продольную шероховатость[2].

Очевидно, что при дальнейшей магнитно-абразивной обработке изделия значение итоговой шероховатости будет зависеть от ее величины перед обработкой, от направления движения подачи, а также от времени обработки.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы, был проведен эксперимент, в котором рассматривалось изменение шероховатости стальных образцов после процесса магнитно-абразивной обработки в различных условиях. Габаритные размеры образцов составляли 20х20х15 мм.

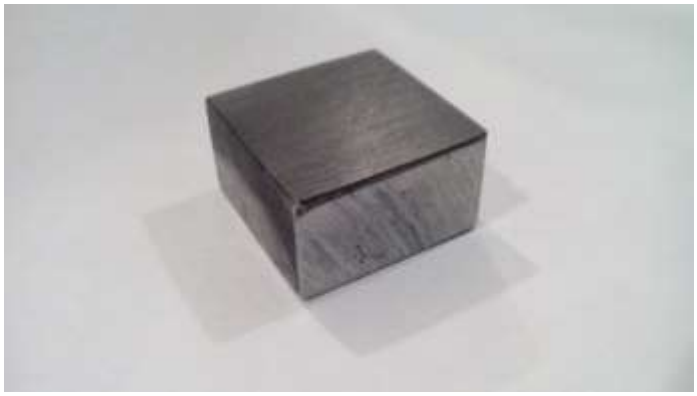


Рисунок 1 – Экспериментальный образец

Была разработана установка, приведенная на рисунке 2. В шпинделе вертикально-фрезерного станка с ЧПУ 1 установлен цилиндрический магнитный индуктор 2, на столе станка 3 установлены тиски 4 с обрабатываемой заготовкой 5.

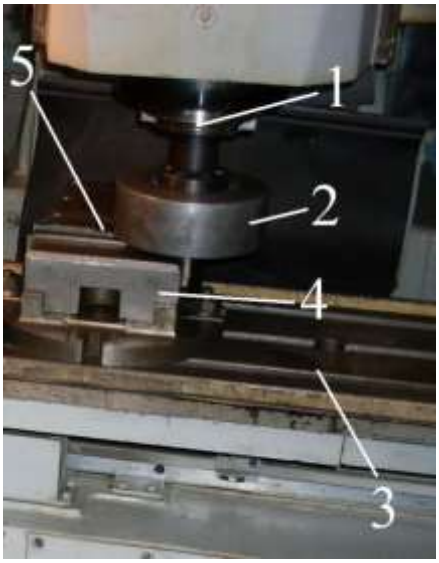


Рисунок 2 – Экспериментальная установка

В ходе проведения эксперимента первый образец обрабатывался вдоль линий шероховатости, второй – под углом 45°, а третий – поперек. Длительность обработки каждого образца составляла 4 раза по 15 секунд. После каждого этапа обработки производились замеры шероховатости на профилограф-профилометре и интерференционном микроскопе (оптическом профилометре), при этом, исходные параметры шероховатости у исследуемых образцов были одинаковые. Магнитно-абразивная обработка проводилась магнитным порошком зернистостью 630/40 с частотой вращения шпинделя 200 об/мин и величиной рабочего зазора 1 мм.

В результате проведения эксперимента были получены результаты, представленные в виде графиков на рисунке 3 и в виде изображений, полученных при помощи оптического профилометра, представленных на рисунках 4 и 5.

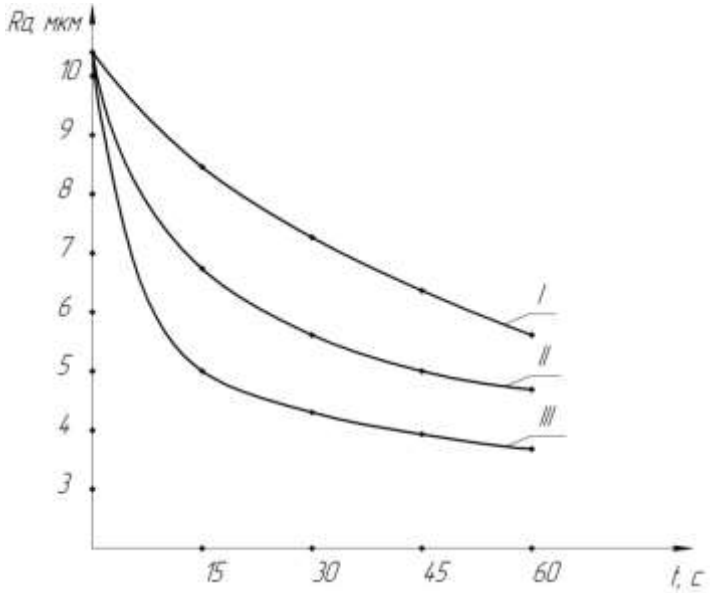


Рисунок 3 – Зависимость шероховатости обработанной поверхности
от времени и направления обработки

На графиках представлены зависимости шероховатости обработанной поверхности с течением времени от траектории магнитно-абразивной обработки. I – обработка вдоль рисок шероховатости обрабатываемой поверхности образца, II – обработка поверхности под углом 45° к рискам шероховатости, III – обработка поперек рисок.

На представленных графиках видно, что при одинаковой продолжительности магнитно-абразивной обработки и режимах резания более производительной является обработка поверхности образца поперек рисок шероховатости. При этом, за суммарную продолжительность магнитно-абразивной обработки, получаемая шероховатость при продольной обработке в 1.5-2 раза выше, чем при поперечной.

На рисунках 4 и 5 представлены изображения, полученные при помощи интерференционного микроскопа для образца III, до обработки и в конце эксперимента после 60 секунд обработки соответственно.

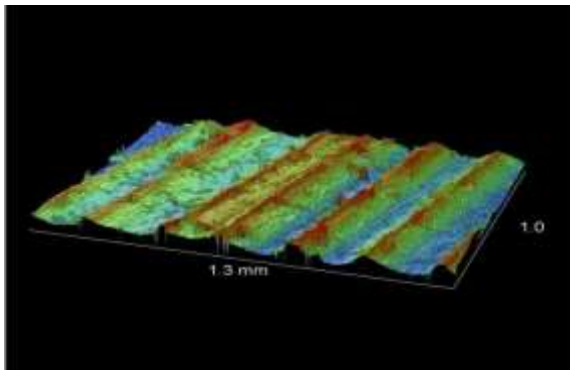


Рисунок 4 – Фрагмент обрабатываемой поверхности до процесса магнитно-абразивной обработки

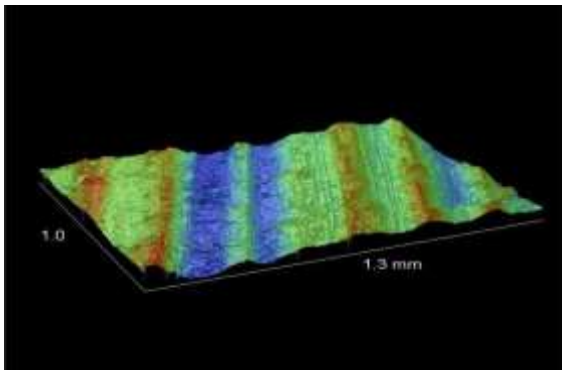


Рисунок 5 – Фрагмент обрабатываемой поверхности по истечении 60 секунд магнитно-абразивной обработки

Выводы

В завершении проделанной работы можно сделать окончательный вывод о том, что магнитно-абразивная обработка изделий поперек рисок исходной шероховатости является наиболее производительной, в отличие от продольной обработки и обработки под углом 45° к рискам при одинаковых начальных условиях и условиях обработки.

Список литературы

1. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

2. Сакулевич, Ф. Ю. Основымагнитно-абразивнойобработки / Ф. Ю. Сакулевич. – Минск: Наукаитехника, 1981. – 328 с.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE TRAJECTORY OF MOTION OF THE TOOL ON THE ROUGHNESS OF THE PROCESSED SURFACE WITH MAGNETIC ABRASIVE TREATMENT

Ikonnikov A.M., PhD (Engineering), Associate Professor,
Panchenko A.D.,Graduate Student,

Ikonnikov A.M., Panchenko A.D.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

A technique for studying the influence of the tool's trajectory on the roughness of the treated surface during magnetic abrasive machining is presented. An experiment was conducted in which the change in the roughness of steel samples after the process of magnetically abrasive treatment under different conditions was considered. After each stage of processing, measurements of the roughness were made. Magnetic abrasive treatment was carried out with a magnetic powder. As a result of the experiment, the roughness of the treated surface was obtained as a function of the trajectory of the magnetic abrasive treatment over time.

Keywords: magnetic-abrasive processing, grain balance, static force system, magnetic force, contact force, mechanical force.

УДК 621.9

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ ИНДУКТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

ИКОННИКОВ А.М.[1] канд. тех.наук, доцент,
ЧЕРДАНЦЕВ А.О.[1], аспирант,
ПРОСЕКОВ С.С.[1], магистрант
([1]АлтГТУ, г.Барнаул, Россия)

Иконников А.М., Черданцев А.О., Просеков С.С.

656038, г.Барнаул, пр. Ленина 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,
e-mail: iamagtu@mail.ru.

Аннотация

Авторы излагают методику расчета магнитной индукции при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей индуктором на постоянных магнитах. Магнитная система спроектирована и рассчитана в среде Ansys. Магнитная система индуктора с постоянными магнитами представляет собой один, реже – два, расположенных друг над другом блока, составленных из отдельных магнитных ячеек. Каждый блок составляют из поочередно расположенных магнитов и стальных магнитопроводов, причем магниты устанавливают так, что их одинаковые полюсы в каждых двух соседних ячейках обращены друг к другу. В результате работы была рассчитана магнитная индукция в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах. Также расчеты показали распределение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре, в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора. При магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, магнитная индукция, силовая линия, плоская поверхность, магнитный индуктор, постоянный магнит, магнитопровод, ферромагнитная заготовка, немагнитная заготовка, рабочий зазор, магнитно-абразивный порошок.

Введение

Возрастающие требования к поверхностям вызывают потребность совершенствовать и создавать новые способы отделочной и упрочняющей обработки [1]. Разработка теоретических основ процесса отделочной обработки материалов позволяет обеспечить научно обоснованный технологический процесс с оптимальной последовательностью и минимальным количеством необходимых операций.

Методика расчета

К финишным операциям относится и магнитно-абразивная обработка. Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в воздействии на обрабатываемую деталь порошковой ферромагнитной массы, уплотненной магнитной индукцией [2]. Именно от

величины и распределения магнитной индукции ферромагнитная масса будет тем или иным образом распределяться в рабочем зазоре [3] между магнитным индуктором на постоянных магнитах и плоской поверхностью заготовки из ферромагнитных и немагнитных материалов [4]. При магнитно-абразивной обработке постоянные магниты располагаются в индукторе таким образом, чтобы магнитная система индуктора состояла из магнитных ячеек, каждая из которых состоит из магнита и двух стальных магнитопроводов, размещенных у полюсных боковых поверхностей магнита [5] (рисунок 1).

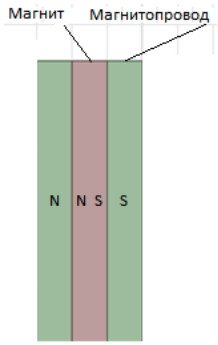


Рисунок 1 – Элементарная ячейка магнитной системы индуктора на постоянных магнитах

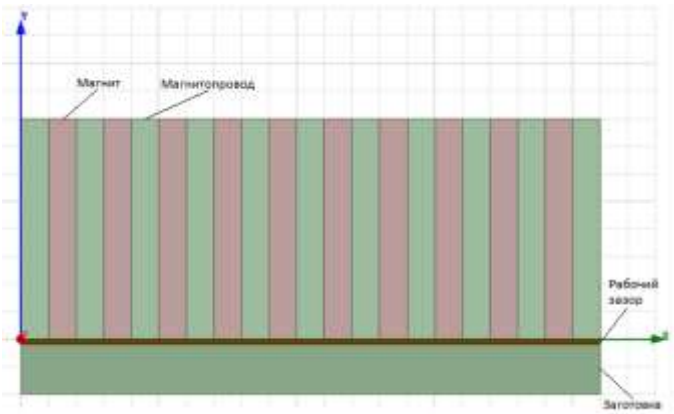


Рисунок 2 – Магнитная система индуктора на постоянных магнитах

У отдельной ячейки весь созданный магнитом поток переходит по воздуху со стального полюса N на стальной полюс S через их боковые и горизонтальные площадки, а также с ребер полюсов. При объединении отдельных ячеек в блоки боковые площадки не участвуют в передаче магнитного потока. Потоками с ребер полюсов ввиду их малости можно пренебречь.

Магнитная система индуктора с постоянными магнитами представляет собой один, реже – два, расположенных друг над другом блока, составленных из отдельных магнитных ячеек. Каждый блок составляют из поочередно расположенных магнитов ($SmCo_5$) и стальных магнитопроводов, причем магниты устанавливают так, что их одинаковые полюсы в каждых двух соседних ячейках обращены друг к другу (рисунок 2). Размеры магнитов и магнитопроводов составляют 5х40 мм, величина рабочего зазора 1 мм, а размеры заготовки 105х19 мм. Данная система спроектирована в среде Ansys, в которой и будут проведены и представлены дальнейшие расчеты.

Каждый стальной магнитопровод при этом пропускает через себя поток, созданный двумя соседними магнитами. Нижние плоскости магнитопроводов с чередующимися полярностями являются магнитными полюсами на рабочей поверхности индуктора, обращенной к заготовке [6]. При полировании ферромагнитной заготовки картина силовых линий поля имеет вид, изображенный на рисунке3.

Плотность силовых линий в рабочем зазоре под полюсом оказывается максимальной, благодаря высокой магнитной проводимости участков на пути прохождения силовых линий.

Наибольшим магнитным сопротивлением на пути силовых линий обладают участки рабочего зазора, заполненные магнитно-абразивным порошком, магнитная проницаемость которых $\mu_П = (2 \div 4)\mu_0$. При обработке ферромагнитной заготовки силовые линии дважды пересекают рабочий зазор. Длина этих участков мала, а значит и их магнитное сопротивление невелико. Длина участков пути по материалу заготовки благодаря близкому расположению разноименных полюсов индуктора тоже имеет малые значения, а магнитная проницаемость на этих участках $\mu = (500 \div 1000)\mu_0$. По названным причинам падение магнитодвижущей силы на пути от одного полюса индуктора к другому имеет небольшую величину и в рабочем зазоре удается создать высокие значение магнитной индукции. Магнитно-абразивный порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора.

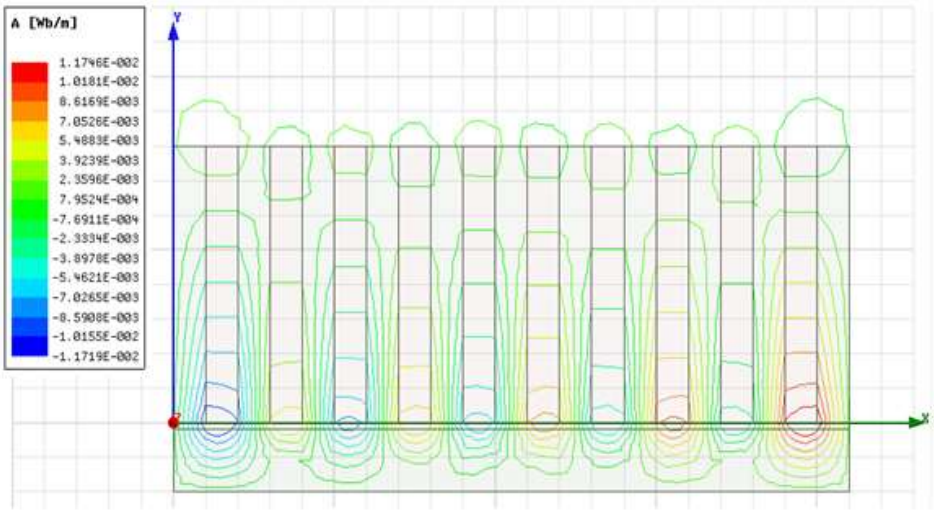


Рисунок 3 – Картина силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

Измерение магнитной индукции при обработке ферромагнитной заготовки с удовлетворительной для практики точностью можно измерять как на рабочей поверхности индуктора (рисунок 4), так и на поверхности заготовки (рисунок 5).

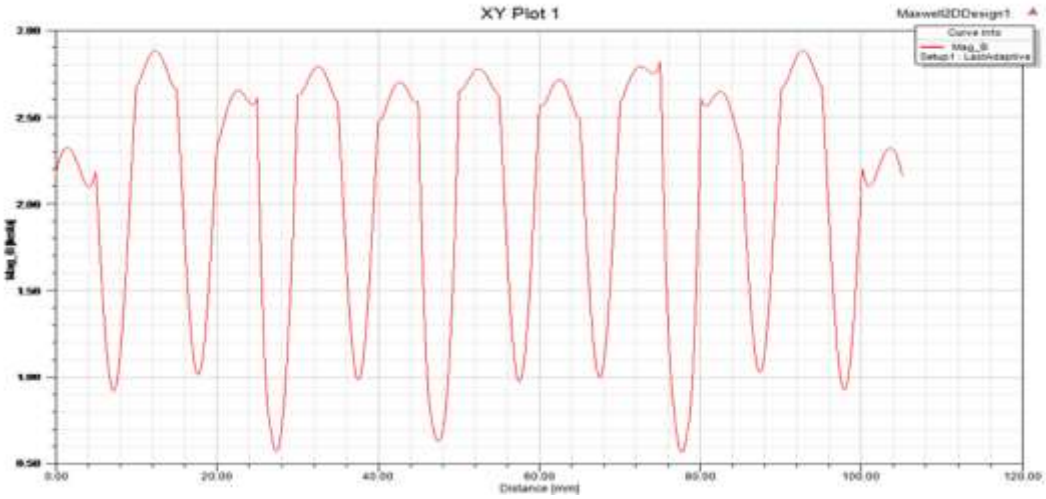


Рисунок 4 – Магнитная индукция на рабочей поверхности индуктора при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

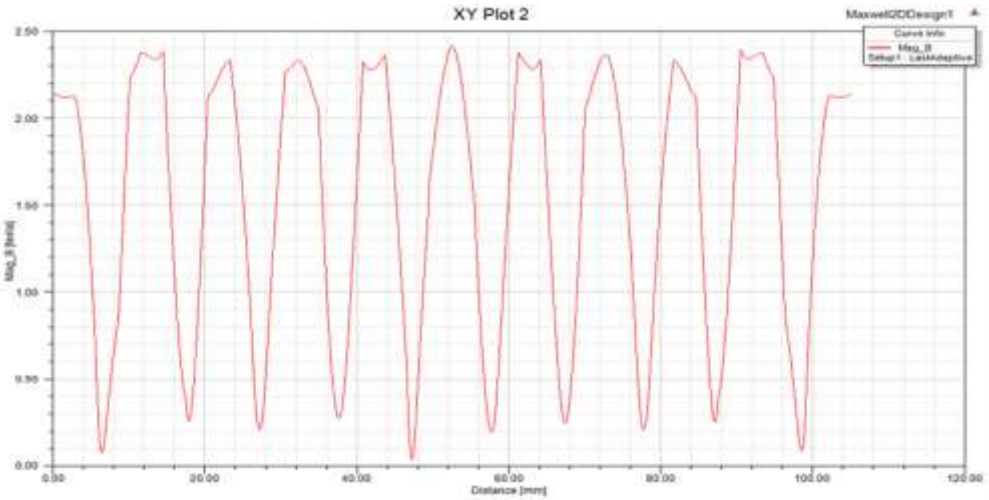


Рисунок 5 – Магнитная индукция на поверхности ферромагнитной заготовки при магнитно-абразивной обработке

Результаты моделирования

При полировании магнитным индуктором ферромагнитной заготовки картина магнитной индукции поля имеет вид, изображенный на рисунке 6.

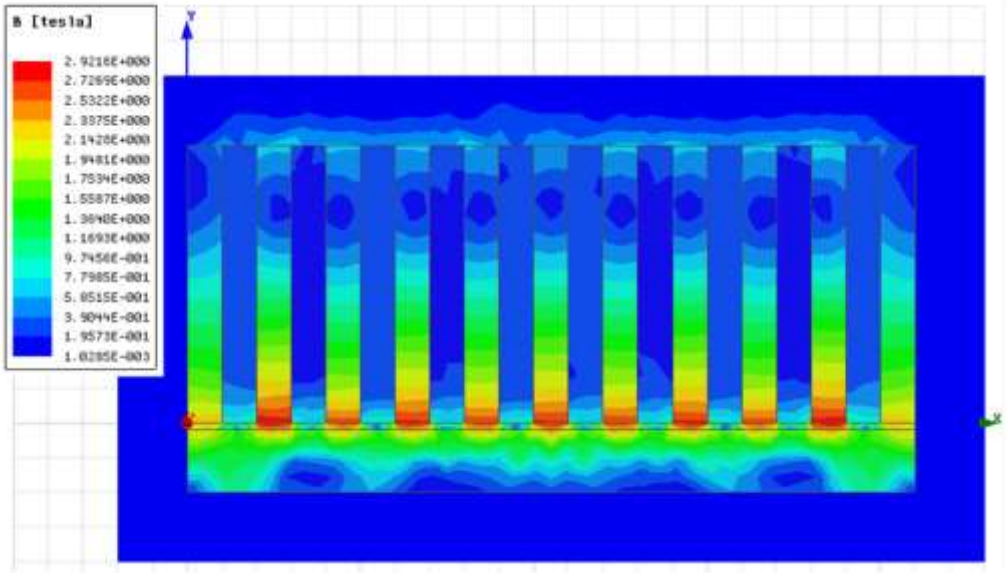


Рисунок 6 – Картина магнитной индукции поля при магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки

При полировании немагнитной заготовки картина силовых линий поля показана на рисунке 7. Силовые линии проходят от одного полюса индуктора к другому преимущественно вдоль рабочего зазора под магнитом, концентрируясь у боковых кромок стальных магнитопроводов. Из-за этого расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора. Длина участка пути силовых линий существенно влияет на проводимость этого участка и соответственно – на падение магнитодвижущей силы.

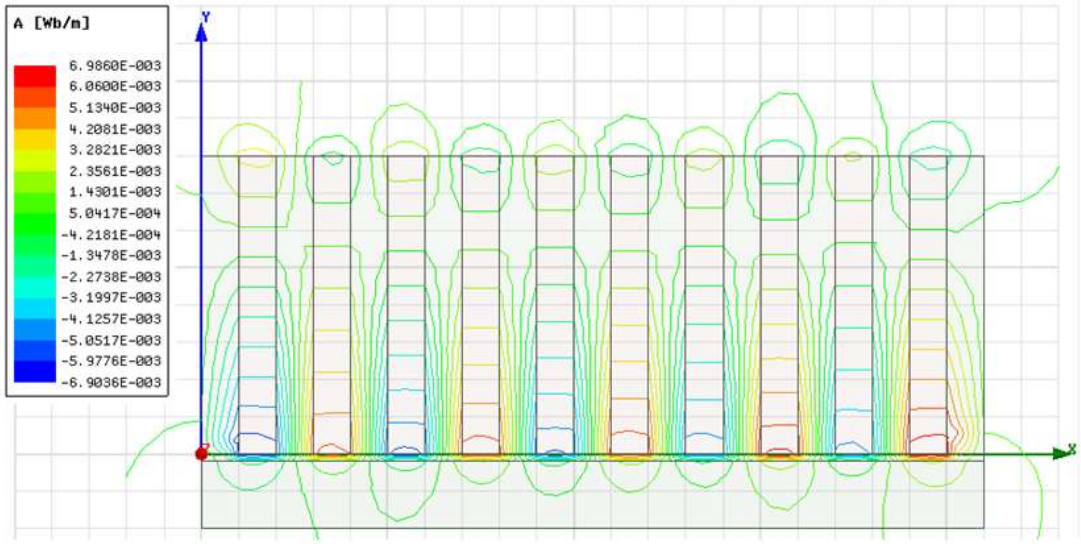


Рисунок 7 – Картина силовых линий поля при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

Измерение магнитной индукции в этом случае должно производиться на рабочей поверхности магнитного индуктора (рисунок 8).

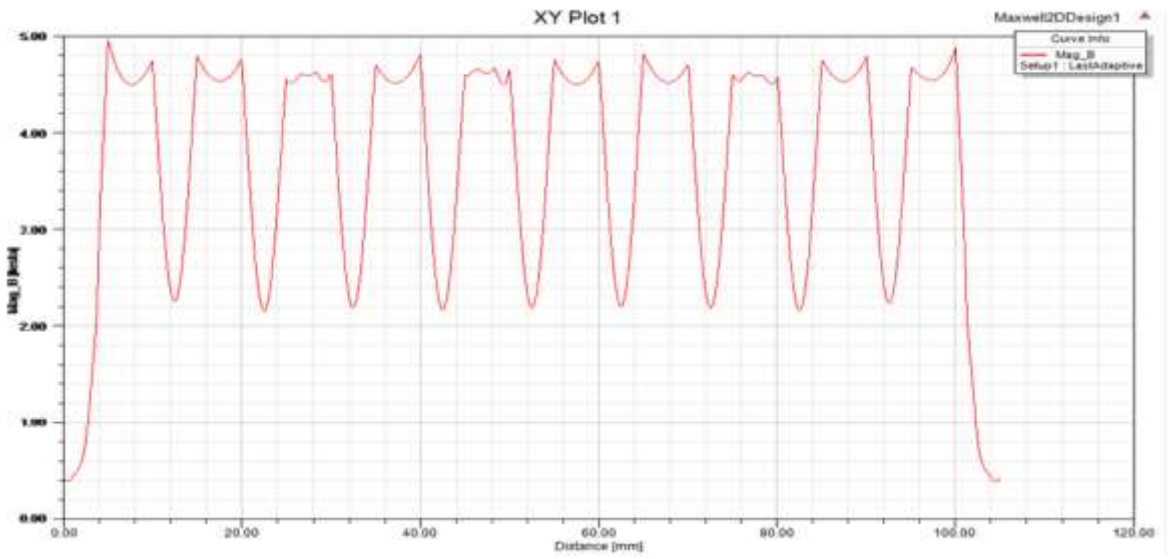


Рисунок 8 – Магнитная индукция на рабочей поверхности индуктора
при магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки

Поскольку наличие или отсутствие немагнитной заготовки не влияет на силовые линии, измерение магнитной индукции можно выполнять без заготовки, но толщина слоя порошка на рабочей поверхности индуктора должна соответствовать выбранному значению рабочего зазора.

При полировании немагнитной заготовки картина магнитной индукции поля имеет вид, изображенный на рисунке 9.Исследования показали [7] возможность расчета магнитной индукции в рабочем зазоре между индуктором на постоянных магнитах и ферромагнитными и немагнитными заготовками с плоскими обрабатываемыми поверхностями в среде Ansys.

Изменить величину и распределение магнитной индукции можно, если регулировать магнитное сопротивление на пути силовых линий [8], или изменять долю силовых линий, направленных в рабочий зазор, в общем потоке силовых линий, созданном постоянным магнитом.

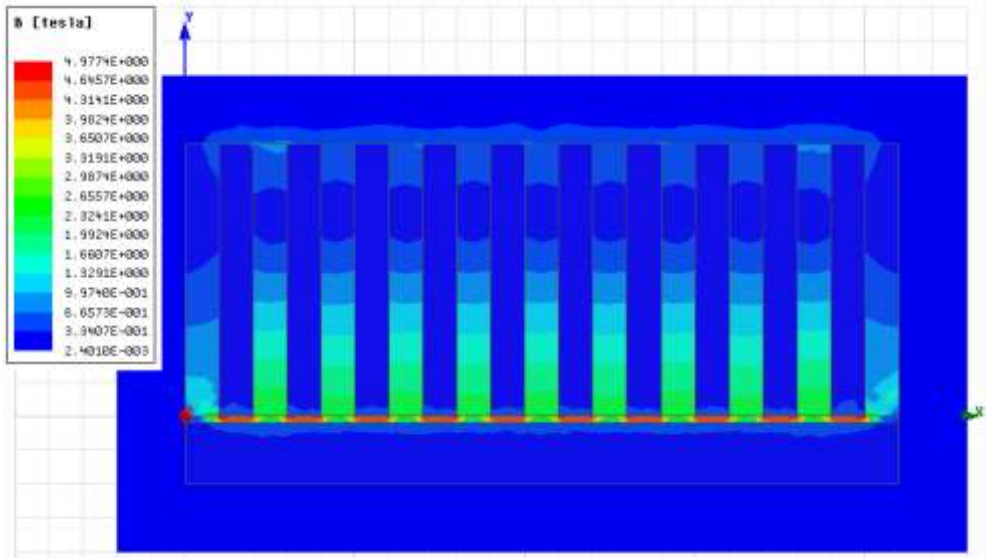


Рисунок 9 – Картина магнитной индукции поля при магнитно-абразивной обработке
немагнитной заготовки

Выводы

В результате работы была рассчитана магнитная индукция в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке плоских поверхностей заготовок из ферромагнитных и немагнитных материалов индуктором на постоянных магнитах [9].

Также расчеты показали распределение магнитно-абразивного порошка [10] в рабочем зазоре, в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При магнитно-абразивной обработке ферромагнитной заготовки порошок в рабочем зазоре концентрируется в зонах с наибольшей плотностью силовых линий – под полюсами индуктора. При магнитно-абразивной обработке немагнитной заготовки расположение магнитно-абразивного порошка в рабочем зазоре оказывается иным, чем при полировании ферромагнитных заготовок: порошок концентрируется под магнитами, а не под полюсами индуктора.

Список литературы

1. Татаркин, Е. Ю. Совершенствование технологических процессов изготовления деталей с помощью методики функционально-стоимостного анализа / Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков, С. С. Просеков // Ползуновский вестник. - 2016. - №3. - С. 57-62.

2. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.

3. Леонов, С. Л. Автоматическое регулирование рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственного сложных поверхностей / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков // Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении», Новосибирск, 2014. - С. 162-166.

4. Сакулевич, Ф. Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф. Ю. Сакулевич. – Минск: Наука и техника, 1981. – 328 с.

5. Иконников, А. М. Конструирование оснастки для магнитно-абразивного полирования путем имитационного моделирования / А. М. Иконников, В. С. Силивакин, Р. В. Гребеньков // Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы», Рубцовск, 2013. - С. 80-82.

6. Baron, Y. Characterizationofthe Magnetic Abrasive Finishing Methodand Its Applicationto Deburring / Y. Baron, S. Ko., J. Park // Key Engineering Materials. – 2005. – P. 291–296.

7. Татаркин, Е. Ю. Методытворчества: учеб. пособие / Е. Ю. Татаркин, А. М. Марков, А. А. Ситников. – Барнаул: Изд-воАлтГТУ, 1998. – 84 с.

8. Леонов, С. Л. Особенности применения метода конечных элементов при моделировании магнитного поля индуктора на постоянных магнитах в процессе магнитно – абразивной обработки / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, А. Кулавник, Р. В. Гребеньков // Сборник трудов VIII международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении (ИНМАШ-2017)», Изд-во НГТУ, Новосибирск, 28-30 сентября 2017. – С. 140-145.

9. Приходько, С. П. Магнитно-абразивное полирование индукторами на постоянных магнитах / С. П. Приходько, Ю. М. Барон // Автотракторное электрооборудование. – 1983. – № 5. – С. 11-14.

10. Оликер, В Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки износостойких покрытий/ В. Е. Оликер. – М.: Металлургия, 1990. – 175 с.

CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE MAGNETIC FIELD IN THE WORKING LIMIT FOR MAGNETIC-ABRASIVE TREATMENT OF THE INDUCTOR ON CONSTANT MAGNETS

Ikonnikov A.M. PhD (Engineering), Associate Professor
Cherdancev A.O. Post-graduate Student
Prosekov S.S., Graduate Student

Ikonnikov A.M., Cherdancev A.O, Prosekov S.S.,

656038, Barnaul, Lenin Ave., 46
PolzunovAltai State Technical University, Barnaul, Russian Federation

Abstract

The authors describe the method of calculating the magnetic induction for magnetic abrasive machining of flat surfaces by an inducer on permanent magnets. The magnetic system is designed and designed in the ANSYS environment. The magnetic system of an inductor with permanent magnets is one, at least two, arranged one above the other block, composed of separate magnetic cells. Each block consists of alternately arranged magnets and steel magnetic cores, the magnets being arranged so that their identical poles in each two adjacent cells face each other. As a result of the work, the magnetic induction in the working gap was calculated for magnetically abrasive machining of flat surfaces of billets from ferromagnetic and nonmagnetic materials by an inducer on permanent magnets. The calculations also showed the distribution of the magnetically abrasive powder in the working gap, depending on the material of the workpiece being processed. When magnetic-abrasive processing of a ferromagnetic billet powder in the working gap is concentrated in the zones with the greatest density of lines of force - under the poles of the inductor. When magnetically abrasive processing of a non-magnetic workpiece, the location of the mag- net-abrasive powder in the working gap is different from that of polishing ferromagnetic blanks: the powder is concentrated under the magnets, and not under the poles of the inductor.

Keywords: magnetic abrasive treatment, magnetic induction, power line, flat surface, magnetic inductor, permanent magnet, magnetic core, ferromagnetic billet, non-magnetic billet, working gap, magnetic abrasive powder.

УДК 338.512

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА К УПРАВЛЕНИЮ ЗАТРАТАМИ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

РОМАШЕВ А.Н.[1], канд. техн. наук, доцент,
СЕВЕРОВА М.О. [2], канд. экон наук, доцент,
РОМАШЕВА М.А. [2], аспирант
([1]БТИ АлтГТУ, г. Бийск, Россия,
[2]Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск, Россия)

Ромашев А.Н., Северова М.О., Ромашева М.А.

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова»
630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук 191,
Сибирский государственный университет путей сообщения,
e–mail: mrsi@bti.secna.ru
e–mail: smo@sibnet.ru
e–mail: mariya-romasheva@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются принципы организации производства в рамках системы менеджмента качества и их применение для формирования себестоимости услуг инфраструктуры железнодорожного транспорта. Наиболее прогрессивным методом системы менеджмента качества является процессный подход. Авторами предлагается алгоритм построения калькуляции на основе процессного подхода и в соответсвии с особенностями рассматриваемых вариантов работ.

Ключевые слова: процессно-ориентированный подход, особенности услуг, железнодорожный транспорт, калькуляция, затраты.

Введение

На современном этапе большое внимание уделяется стратегическому управлению и развитию предприятий. На первый план выходят проблемы прогнозирования кризисных явлений в экономике, определения их размера и характера последствий для предприятия. Кроме того, существенно возрастает роль планирования, в части стратегий выхода предприятия из кризиса с наименьшими затратами. В связи с вышесказанным ключевым аспектом организации производства становится отлаженность механизмов стратегического управления и постоянного совершенствования бизнес-процессов.

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» на данный момент является современным развитым транспортно - логистическим комплексом, который имеет стратегическое значение для Российской Федерации. Компания «РЖД» постоянно внедряет передовые механизмы управления производством для обеспечения бесперебойной хозяйственной деятельности промышленных предприятий, а также является доступным транспортом для миллионов граждан.

Достижение высоких коммерческих результатов деятельности компании ОАО «РЖД» невозможно без эффективного управления производством и реализацией продукции. Особо актуальным является вопрос эффективного учета затрат и определения экономически обоснованного уровня себестоимости услуг, оказываемых компанией.

В настоящее время одним их эффективных инструментов в управлении крупными компаниями выступает процессный подход. Главной особенностью процессного подхода к управлению организацией является то, что при постановке задач и оценке эффективности акцент с функциональных подразделений и элементов качества переносится на бизнес-процессы, то есть на процессы, создающие ценность для потребителя и организации. [1]

Процессный подход, как инструмент создания и совершенствования систем управления обладает высоким организационно-методическим потенциалом. Полноценное внедрение процессного подхода обеспечивает предприятию ряд возможностей и преимуществ. Он позволяет:

– развертывать корпоративные цели по всем процессам и субпроцессам вплоть до рабочих мест и управлять процессами по степени достижения поставленных целей;

– взаимно увязывать и согласовывать все процессы;

– строго обосновывать и выделять необходимые ресурсы;

– четко обосновывать структуры процессов, обеспечивая их адекватность корпоративным целям;

– реализовывать новое качество управления предприятием, основанное на прозрачности механизма функционирования и управления процессами, и получать на этой основе дополнительные возможности постоянного совершенствования. [2]

Процессный подход универсален. Иными словами, с помощью процессного подхода можно организовывать и отлаживать не только менеджмент качества, но и любой составляющей бизнеса, а также работу предприятия в целом.

Универсальность процессного подхода может быть использована для построения интегрированных систем менеджмента применительно к близким по идеологии областям и направлениям деятельности. Сами процессы менеджмента применительно к любой области могут быть объектом применения процессного подхода.

В настоящее время применение процессного подхода не только к управлению компанией в целом, но и в частности к управлению затратами считается одним из важнейших факторов достижения экономической стабильности компании. [3]

Рассмотрим принципы применения процессного подхода к управлению затратами на примере предприятий путевого комплекса инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Декомпозиция затрат в рамках применения процессного подхода дает возможность сгруппировать похожие производственные процессы и укрупнить их. Для того чтобы составить калькуляцию стоимости текущего содержания участка инфраструктуры с учетом всех производимых на нем видов работ необходимо выделить основные производственные процессы, производящиеся в процессе текущего содержания пути. В связи с этим можно составить укрупненные калькуляции, представляющие затраты по определенному укрупненному виду работ, варьирующиеся в зависимости от характеристик участка инфраструктуры. В хозяйстве пути работы, выполняемые по технолого-нормировочным картам можно сгруппировать в следующие группы такие как:

– работы по шпалам,

– работы по рельсам и скреплениям,

– работы по балласту.

– работы по снего-водо-пескоборьбе

Калькуляции затрат по основным видам работ с расчётом нескольких вариантов для конкретных характеристик позволят рассчитывать бюджет затрат для любого предприятия в зависимости от характеристик пути входящего в его состав.

Для этой цели вместе с процессно-ориентированным подходом предлагается применение метода калькуляции затрат, исходящего из особенностей продукции и услуг (в данном случае характеристик пути) [4].

При исчислении затрат с учетом особенностей продуктов и услуг затраты распределяют по видам деятельности и процессам для того, чтобы дифференцировать их по продуктам и

услугам. Распределение затрат и стоимости исходя из того, какое влияние оказывают характеристики продукта/услуги на процесс, — наиболее эффективный инструмент точного распределения затрат. Последовательность выполнения метода калькуляции затрат, исходящего из особенностей продукции и услуг представлена на рис.1.

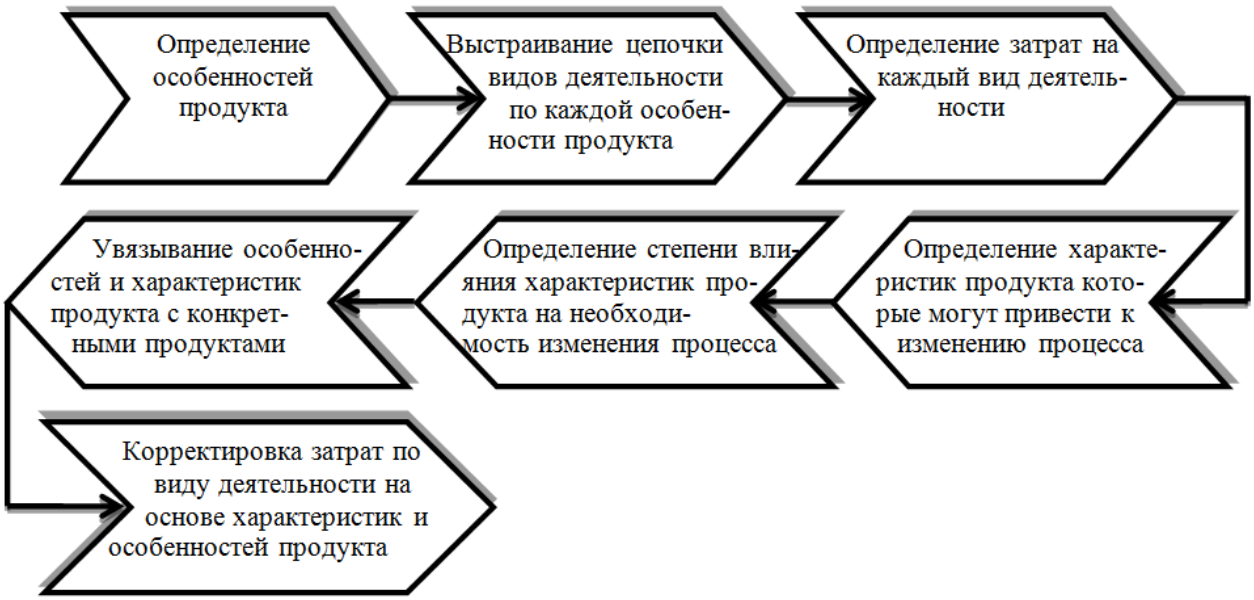


Рисунок 1– Последовательность выполнения метода калькуляции затрат, исходящего из особенностей продукции и услуг

Изначально необходимо сгруппировать производственные процессы в соответствии с укрупненными видами работ. На предприятии путевого хозяйства для расчета бюджета затрат применяется 775 технолого-нормировочных карт в соответствии с производственными процессами и различными вариациями характеристик объектов инфраструктуры. Данные производственные процессы можно объединить в следующие укрупненные группы см. рис 2.

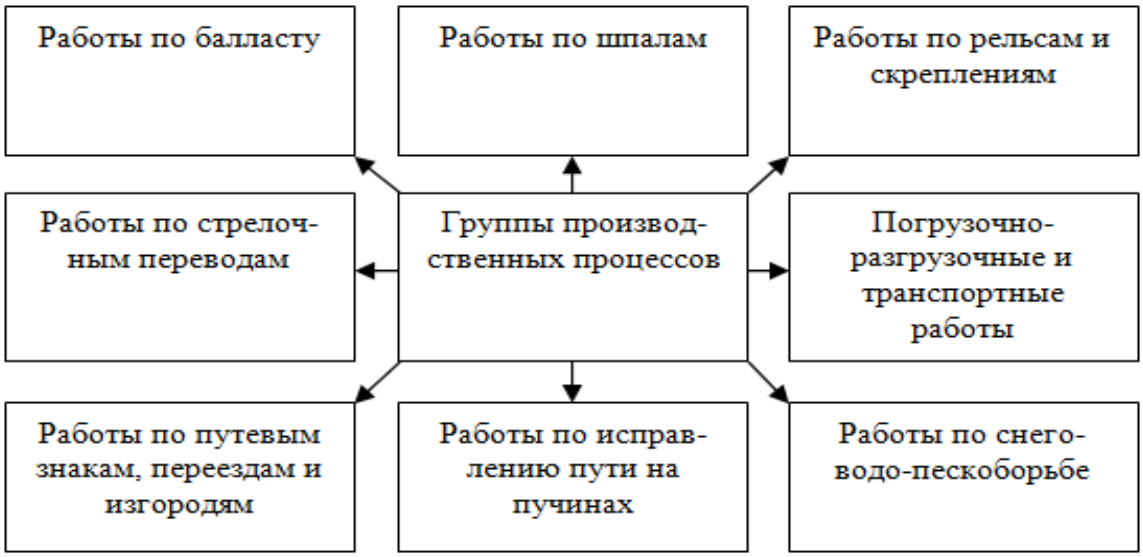


Рисунок 2– Группы производственных процессов

На следующем этапе рассматривая каждый укрупненный вид работ можно применить метод калькуляции затрат, исходящий из особенностей продукции и услуг для того чтобы рассчитать затраты в зависимости от вариаций продукта.

Ниже представлена пошаговая методика расчета затрат с учетом особенностей продукта или услуги на примере работ по смене шпал. Исходя из группировки производственных процессов, к работам по смене шпал мы отнесли 55 технолого-нормировочных карт.

Первым шагом применения данной методики является определение особенностей продукта. В нашем примере с работами по смене шпал важные характеристики объектов пути включают в себя тип шпал, тип балласта, тип скрепления, а также место: перегон или станция.

Вторым шагом является выстраивание цепочки видов деятельности по каждой особенности (характеристике) продукта (подкатегории пути).

При выполнении первого шага, когда этапы процесса перестают варьироваться, следует прекратить разбивать особенности продукта на составные части. Выделение особенностей продукта предполагает выстраивание уникальной цепочки или пошагового регламента. На данном этапе важно лишь увидеть этапы видов деятельности, несмотря на то, что разные продукты и услуги могут иметь разные физические характеристики, из-за которых может потребоваться разное время работы.

В нашем примере рассматривая работы по смене шпал можно выделить процессы необходимые для выполнения смены деревянных шпал, но совершенно не требующиеся при смене железобетонных шпал.

Третий шаг состоит в определении затрат на каждый вид деятельности. На этом этапе анализируется вид деятельности для расчета затрат по виду деятельности на единицу продукции. В нашем примере затраты, связанные со сменой деревянных шпал состоят из заработной платы рабочих, отчислений на социальные нужды, расходов на материалы, и прочих расходов.

Необходимо учитывать, что затраты по виду деятельности представляют собой среднюю величину затрат на основе фактической производительности. Эти затраты не являются инженерным технологическим стандартом, и совсем не обязательно отражают высокую производительность работы.

Четвертым шагом является определение характеристик продукта, которые могут привести к изменению процесса. На этом этапе определяются характеристики продукта, влияющие на изменение процесса смены шпал.

Пятый шаг - это определение степени влияния характеристик продукта на необходимость изменения процесса.

На этом этапе определяются потери производства, связанные с каждой из характеристик продукта. В данном примере потери производства на процессе определяются в процентном соотношении, затем затраты по каждой характеристике процесса корректируются на величину потерь.

Шестой шаг данной методики – это увязывание особенностей и характеристик продукта с конкретными продуктами.

На этом этапе ранее выявленные характеристики и особенности продуктов увязываются с продуктами. Каждый уникальный продукт оценивается на предмет выявления у него особых характеристик и особенностей.

Седьмым шагом является корректировка затрат по виду деятельности на основе характеристик и особенностей продукта. Последним этапом является расчет затрат на продукт. Все виды деятельности, необходимые для производства продукта, проистекают из особенностей продукта. На этом этапе создается ведомость видов деятельности. Затем для каждого вида деятельности берется средняя величина затрат, которая затем корректируется исходя из характеристик продукта. Затем все затраты суммируют для получения затрат на производство продукта.

Рассмотрев все варианты особенностей процесса смены шпал можно составить матрицу вариантов и рассчитать затраты по всем вариациям процесса. Для каждого варианта необходимо рассмотреть цепочку видов деятельности и рассчитать затраты на каждый из вариантов процесса.

Рассмотрев все вариации процесса смены шпал можно выделить 30 вариантов в зависимости от различных характеристик пути, балласта, скреплений и т.д. Для данных 30

вариаций существует 4 вариантов цепочки видов деятельности, входящих в процесс производства. Данные цепочки представлены на рис. 3.

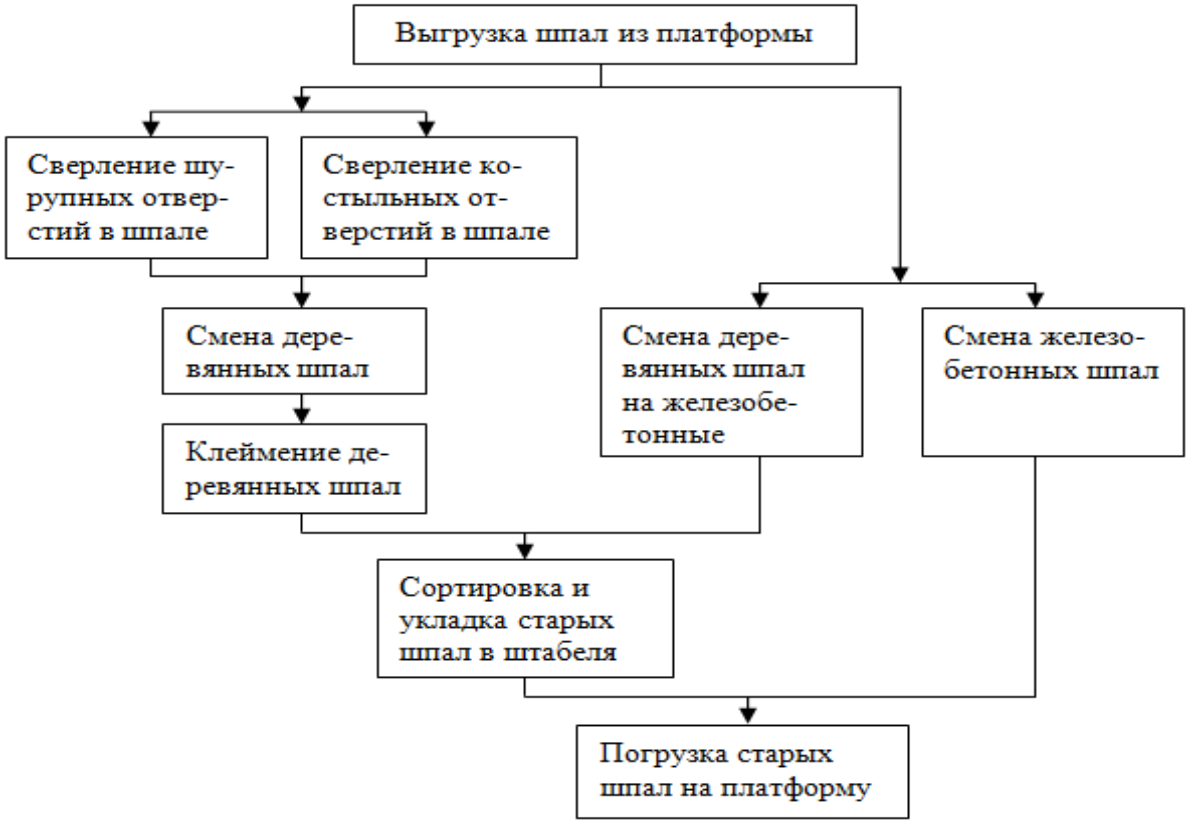


Рисунок 3– Цепочка видов деятельности входящих в процесс производства

Далее для того чтобы рассчитать затраты на каждый из вариантов процесса необходимо рассчитать затраты на дополнительные виды деятельности, входящие в цепочку, такие как сверление отверстий, клеймение шпал, сортировка и укладка шпал в штабеля.

В данном примере к каждому из 30 вариаций процесса смены шпал соответствует одна из четырех цепочек видов деятельности. Итоговая калькуляция затрат на процесс смены шпал в соответствии с различными характеристиками пути рассчитывается в разрезе 30 вариаций. Такие подробные калькуляции затрат по основным видам работ могут позволить рассчитывать бюджет затрат для любого предприятия в зависимости от характеристик пути входящего в его состав.

Выводы

В заключение, хотелось бы подчеркнуть, что составление подробных калькуляций затрат в разрезе основных производственных процессов по видам работ, производимых на текущем содержании пути, могут позволить рассчитывать бюджет затрат для любого предприятия инфраструктуры в зависимости от характеристик пути входящего в его состав.

В свою очередь, сама цель внедрения данной методики — это совершенствование системы калькулирования затрат по перевозочным видам деятельности. Если же рассматривать возможности решения смежных задач предприятий железнодорожного транспорта, то важно отметить, что расчет детализированных калькуляций предполагает декомпозицию самих затрат до конкретного места их возникновения – участка, километра. Это может быть полезным для определения стоимости жизненного цикла одного километра пути, выявления участков пути при назначении капитальных ремонтов, а также стоимости содержания объекта инфраструктуры, как для внутреннего пользования, так и для внешних контрагентов.

Таким образом, рассматриваемый механизм является примером внедрения процессного подхода к управлению затратами в условиях стратегии минимизации затрат, и становится

эффективным инструментом управления расходами. Он имеет широкий прикладной характер при решении целого ряда приоритетных задач компании.

Список литературы

1. Северова М.О., Сурикова Е.А., Ромашева М.А., Применение принципов процессного подхода при разработке и анализе бюджета затрат предприятий железнодорожного транспорта// Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего востока. – 2016. – №3-4, с. 50- 53.

2. Кане М. М., Иванов Б. В., Корешков В. Н., Схиртладзе А. Г. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: Учебное пособие. — СПб.: Питер, 2008. — 560 с.

3. Бюджетирование на железнодорожном транспорте: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н.П. Терёшина, Л.В. Шкурина и др., Под ред. Н.П. Терёшиной, Л.В. Шкурина – М.: УМЦ ЖДТ, 2010.

4. Бримсон Джеймс. Процессно-ориентированное бюджетирование. Внедрение нового инструмента управления стоимостью компании / Джеймс Бримсон, Джон Антос, при участии Джея Коллинза; пер. с англ. В.Д. Горюновой; под общ. ред. В.В. Неудачина. – Москва: Вершина, 2007. – 336с.

APPLICATION OF QUALITY MANAGEMENT TOOLS TO COST MANAGEMENT BY THE EXAMPLE OF RAILWAY TRANSPORT ENTERPRISES

Romashev A.N. PhD (Engineering), Associate Professor,
Severova M.O. PhD (Economic), Associate Professor,
Romasheva M.A. Post-graduate Student

Romashev A.N., Severova M.O., Romasheva M.A.

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
27 Trofimova st., Biysk, Altai region, 659305,Russian Federation
Siberian State Transport University, 191 D. Kovalchuk st.,
Novosibirsk, 630049, Russian Federation

Abstract

The article considers the principles of production organization within the quality management system and their application for the formation of the cost price of railway transport infrastructure services. The most progressive method of the quality management system is the process approach. The authors propose the calculation algorithm on the basis of the process approach and in accordance with the features of producs and services.

Keywords: process-oriented approach, features of services, railway transport, calculation, costs.

УДК 621.914

ЛЕЗВИЙНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЗАКАЛЁННОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ТВЁРДОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

СЕДИНИН И.Н.[1,2] канд. техн. наук, инженер-технолог,
МАКАРОВ В.Ф.[1], докт. техн. наук, проф.,
КРОХИН А.Н.[2] канд. техн. наук, зам. гл. технолог.
([1]ПермНИПУ, г. Пермь, Россия,
[2]АО «ОДК-СТАР», г. Пермь, Россия)

Сединин И. Н., Макаров В.Ф., Крохин А.Н.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Россия, г. Пермь, 614990, Комсомольский проспект, д. 29
АО «ОДК-СТАР», Россия, г. Пермь,
614033, ул. Куйбышева, д.140а/1
e-mail: SedininIgor@rambler.ru
e-mail: makarovv@pstu.ru
e-mail: krokhin@list.ru

Анотация

Приведен краткий анализ авиационной промышленности России. Обозначены основные проблемы в сфере авиационного производства, а именно механической обработке. Указаны материалы, применяемые при изготовлении деталей на предприятии АО «ОДК-СТАР». Обозначен один из применяемых материалов – коррозионно-стойкая сталь, которая после термической обработки имеет высокую твёрдость. Указана последовательность окончательной механической обработки закалённой стали. Определены проблемы, возникающие при фрезеровании и шлифовании деталей. Выполнен анализ литературы по лезвийной обработке закалённых сталей. Для эффективного процесса резания выбран наиболее рациональный материал режущей части инструмента. Установлены причины отклонений от конструкторской документации и основные недостатки существующего технологического процесса. Предложена разработка и внедрение метода обработки «Твердое фрезерование». Определены: оборудование, производитель, тип и материал режущего инструмента, теоретические режимы резания и вид агрегатного состояния смазки в зоне резания. Сформулированы цели работы.

Ключевые слова: лезвийная механическая обработка, закалённая сталь, термическая обработка, качество обрабатываемой поверхности, сверхтвёрдый материал, кубический нитрид бора, твёрдое фрезерование, режимы резания.

К основным требованиям авиационной промышленности относят необходимость использования новейших технологий, высокопроизводительного прогрессивного оборудования, поддержки исследовательских центров, наличие в числе работников только высококвалифицированных специалистов.

Проблемами авиационной промышленности России, в сфере механо-сборочного производства, являются медленное обновление и модернизация существующего металлообрабатывающего оборудования, недостаточный объём внедрения новых видов и методов обработки с применением прогрессивного оборудования и оснастки, невысокий уровень производительности труда, качество изделий достигается путём применения дополнительных операций.

Цель исследований заключается в разработке метода торцевого фрезерования деталей из закалённой стали на основе рационального выбора режимов резания,

обеспечивающих финишное качество поверхности, применяя высокопроизводительное прогрессивное оборудование и режущий инструмент российского производства. Объединение операций с высвобождением оборудования и рабочих. Определение максимально эффективных СОТС (смазочно-охлаждающих технологических средств).

Сегодня на авиационном машиностроительном предприятии АО «ОДК-СТАР», помимо материалов на основе алюминия, изготавливаются детали из закалённой стали, которые устанавливаются на агрегаты дозирования топлива комплексной электронно-гидромеханической системы автоматического управления, так же изготавливаются пресс-формы. Материал закалённой стали в основном состоит из коррозионно-стойкой стали мартенситного класса марки 95Х18-Ш-б [1].

Заготовки из стали 95Х18-Ш-б проходят стадию предварительной механической обработки, с последующей термической обработкой. После чего свойства материала имеют: твердость 56÷60 HRC (по методу Роквелла), теплостойкость до 500°С и микротвёрдость при t=20°Сдо 10 ГПа (гигапаскаль).

Окончательная обработка происходит в следующей последовательности операций: Фрезерование → Транспортировка → Промывка → Транспортировка → Шлифование.

Оборудование, используемое при фрезеровании - станок консольно-фрезерный вертикальный 6Р10.

Режущий инструмент Корейской фирмы «Taegu Tec»[2].

Торцевая фреза: обозначение TFM90AP 780-27R-17, рабочий диаметр 80 мм, высота 50 мм, правое исполнение, 7 пластин, внутренний подвод СОТС.

Сменные пластины: обозначение APKT 1705 PER-EM, форма прямоугольник, размеры 18,5х10,7х5,56 мм, режущая кромка EM – скругленная фаска, радиус вершины 0,8 мм, задний угол 11°, материал ТС (твёрдый сплав) TT9080c мультислойным PVD-покрытием, крепление винт М4, для чистовой обработки.

Режимы резания: скорость V_c=50 м/мин, подача f_z=0,06 мм/зуб, глубина a_p=0,25 мм, в зону резания подается СОТС в жидком агрегатном состоянии.

Оборудование, используемое при шлифовании - станок плоскошлифовальный 3Г71.

При выполнении операции «Фрезерование» возникают проблемы в обеспечении требований КД (конструкторской документации): качество поверхности, допуск плоскостности, точность размеров. Параметр шероховатости после обработки поверхности составляет Ra=3,2 мкм.

После выполнения операции «Шлифование» параметр шероховатости составляет Ra≤0,4 мкм, а также другие параметры соответствуют КД. Но при этом возникают дефекты: микротрещины, прижоги, цвета побежалости, свидетельствующие об изменении физико-механических свойств поверхностного слоя и снижении выносливости деталей.

Проведён анализ литературных источников – диссертаций по теме исследования, научно-исследовательских работ, публикаций отечественных и зарубежных авторов, относящихся к тематике исследований в области эффективной лезвийной обработки материалов из закалённых сталей.

На основе данной информации установлены причины отклонений указанных операций. При фрезеровании отсутствует необходимая жёсткость системы СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь); применяемый режущий инструмент из ТС имеет недостаточную теплостойкость до 1000°С и микротвёрдость при t=20°Сдо 22 ГПа, при оптимальном соотношении микротвёрдости инструментального и обрабатываемого материалов в пределах 1 к 4÷6 единицам. При шлифовании возникает повышенная температура в зоне контакта шлифовального круга с деталью.

Главным недостатком указанных технологических процессов является повышенный объём времени и себестоимость изготовления деталей.

Используя литературу установлено, что наиболее рациональным материалом режущей части инструмента для данного вида обработки являются синтетические СТМ (сверхтвёрдые

материалы). Согласно приводимым данным работ, основными СТМ, применяемыми в лезвийной обработке материалов из закалённых сталей, являются сплавы на основе КНБ (кубического нитрида бора), который содержит 43,6% бора и 56,4% азота.

Механические свойства КНБ отличаются высокой теплостойкостью до 1300°С, микротвёрдостью при t=20°Сдо 90 ГПа и слабым химическим взаимодействием с железом, что даёт преимущество перед алмазом уступая ему только в твёрдости. Отсюда следует, что инструмент из КНБ по механическим свойствам превосходит инструмент из ТС. Данные свойства КНБ позволяют увеличить производительность обработки детали, снижают тепловую и силовую напряженность процесса резания, улучшают качество поверхности и соответственно исключают необходимость последующей абразивной обработки.

Главными факторами для оптимальных режимов резания материалами из КНБ являются: технические возможности оборудования, величина снимаемого припуска и наличие ударных нагрузок в процессе резания.

Для смазки зоны резания при использовании КНБ возможно применение СОТС в газообразном, пластичном или твердом агрегатном состоянии. Применение СОТС в жидком агрегатном состоянии, особенно в прерывистой обработке, такой как фрезерование, противопоказано. Это обусловлено тем, что в процессе резания при попадании СОЖ (смазочно-охлаждающей жидкости) на режущую часть пластины происходит критический перепад температур, что приводит к образованию термических трещин и последующему быстрому разрушению пластины.

Подведя итоги по окончательной механической обработке деталей, обозначенным недостаткам, причинам отклонений от КД, а также информации из литературы о преимуществе лезвийных режущих материалов из КНБ над ТС, предлагается объединить основные операции «Фрезерование» и «Шлифование» в одну – «Твёрдое фрезерование».

«Твёрдое фрезерование» – это лезвийная обработка стальных деталей высокой твердости (свыше 45 HRC), позволяющая достичь высокого качества поверхности и точности размеров.

Для операции «Твёрдое фрезерование» предлагается применить существующее на предприятии прогрессивное оборудование - вертикально фрезерный станок Emcomill E600 (Австрия). Его технические характеристики: перемещение по трём координатам, диапазон оборотов до 10000 об/мин, мощность привода 13 кВт, крутящий момент 83 Нм, повышенной точности, с ЧПУ (числовым программным управлением).

При выборе режущего инструмента для «Твёрдого фрезерования» в первую очередь обратим внимание на мировых лидеров. В производстве лезвийного инструмента главную позицию занимает шведская компания – «Sandvik Coromant», которая за свои 76 лет существования получила огромный опыт в изготовлении инструмента и обработке различных видов материала. Поэтому её инструмент в дальнейшем будет принят за эталон. Так же, согласно действующей государственной программе импортозамещения, проведён анализ инструмента российского производства. Определено 3 предприятия, изготавливающих требуемый режущий инструмент с механическим креплением пластин и сменные неперетачиваемые режущие пластины из КНБ: «Микробор Композит» г. Москва, «Завод Композит» г. Санкт-Петербург, «Вириал» г. Санкт-Петербург.

Подберём режущий инструмент шведской компании «Sandvik Coromant», заранее указав, что весь инструмент её является индивидуальным (собственный стандарт размеров) и не может быть совмещен с другими производителями.

Торцевая фреза «Sandvik Coromant» обозначение CoroMillR245-080Q27-12H[3]: рабочий диаметр 80 мм, высота 50 мм, угол в плане 45°, правое исполнение, 8 пластин.

Сменные пластины «Sandvik Coromant» обозначение R245-12 T3 E сплав CB50[3]: форма квадрат, размер 13,4x13,4x3,97 мм, радиус вершины 1,5 мм, задний боковой угол 20°, тип пластины с отверстием, материал основания ТС, режущая часть верхний слой сорт КНБ для чистовой обработки с ударом.

Режимы резания [3]: скорость V_c=175…190 м/мин, подача f_z=0,07…0,021 мм/зуб, глубина a_p=0,1…0,3 мм.

При подборе режущего инструмента российского производства определен тип фрезы, которая обеспечит постановку сменных пластин разных производителей.

Торцевая фреза «Микробор Композит» обозначение FM45SC124 D80-32-6 S[4]: рабочий диаметр 80 мм, высота 50 мм, угол в плане 45°, правое исполнение, 6 пластин.

Сменные пластины «Микробор Композит» обозначение SCMA 120412 S01025N-B035-MBR сплав 5025MC[4]: форма квадрат, размер 12,7x12,7x4,76 мм, радиус вершины 1,2 мм, задний боковой угол 7°, тип пластины с отверстием, режущая кромка скругленная с фаской размером 0,25 мм, направление резания нейтральное, материал основания ТС, режущая часть 2 напайные кромки с длиной угла 3,5 мм, материал сорт КНБ для чистовой обработки с ударом, покрытие кромки титан алюминий нитрид, микротвердость 30÷33 ГПа, максимальная рабочая температура - 1000°.

Режимы резания [4]: скорость V_c=70…200 м/мин, подача f_z=0,01…0,04 мм/зуб, глубина a_p=0,1…0,3 мм.

Сменные пластины «Завод Композит» обозначение SCMA 120412 сплав К03[5]: форма квадрат, размер 12,7x12,7x4,76 мм, радиус вершины 1,2 мм, задний боковой угол 7°, тип пластины с отверстием, материал основания ТС, режущая часть 1 напайная кромка, материал сорт КНБ Исмит, для чистовой обработки.

Режимы резания [5]: скорость V_c=40…70 м/мин, подача f_z=0,005…0,01 мм/зуб, глубина a_p=0,2…0,4 мм.

Сменные пластины «Вириал» обозначение SNMA 120412 сплав К07[6]: форма квадрат, размер 12,7x12,7x4,76 мм, радиус вершины 1,2 мм, задний боковой угол 0°, тип пластины с отверстием, материал основания ТС, режущая часть 1 напайная кромка, материал сорт КНБ К07, для чистовой обработки.

Режимы резания [6]: скорость V_c=150…300 м/мин, подача f_z=0,003…0,01 мм/зуб, глубина a_p=0,3 мм.

Определение возможности использования СОТС с указанными режущими инструментами, а также вид его агрегатного состояния, будет проводиться во время экспериментальных исследований.

Так же после получения результатов практических исследований будет проведена сравнительная характеристика существующей технологической оснастки с предлагаемой, после этого выбраны лучшие образцы инструмента.

Целью внедрения «Твёрдого фрезерования» является: обеспечение соответствия деталей КД; объединение операций с высвобождением оборудования и рабочих; удешевление процесса утилизации стружки от фрезерования по сравнению с отходами после шлифования, сокращение времени на окончательную обработку деталей в 2 раза; исследование физических процессов (образование и распределение тепла), протекающих в зоне резания при использовании пластин из КНБ различных сплавов; разработка рекомендаций по оптимальным условиям и режимам резания; определение максимально эффективных средств СОТС; разработка математической модели процесса резания на базе универсальной программной системы конечно-элементного анализа –ANSYS, применение режущего инструмента российского производства.

Результаты работы могут использоваться на различных машиностроительных предприятиях, для внедрения «Твердого фрезерования», с целью снижения себестоимости изготовления деталей.

Список литературы

1. Зубченко А.С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2003. С. 273.

2. Каталог: Фрезерный инструмент. TaeguTec / Russian version «TaeguTec LTD», 2016. 288 с.

3. Каталог: Вращающиеся инструменты. Фрезерование. Sandvik Coromant / Россия ООО "Сандвик", 2012. 359 с.

4. Каталог: Металлорежущий инструмент. Microbor / ООО «МИКРОБОР КОМПОЗИТ» Москва, 2017. С. 95 – 136.

5. Каталог: Металлорежущий инструмент. ЗАО «Завод Композит» Санкт-Петербург, 2016. С. 2 – 42.

6. Каталог: Сменные многогранные пластины из кубического нитрида бора. VIRIAL / ООО «Вириал» Санкт-Петербург, 2005. 11 с.

7. Бойм Н.Г. Типовые технологические процессы механической обработки однотипных деталей инструментом из эльбора и других сверхтвёрдых материалов. – М.: Оргстанкинпром, 1977. 131 с.

8. Жедь В.П. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами, и их применение. – М.: Машиностроение, 1987. 320 с.

9. Карюк Г.Г. Высокопроизводительные инструменты из гексанита-Р / Г.Г. Карюк, А.В. Бочко, О.И. Мойсеенко, В.К. Сидоренко. – К.: Наукова думка, 1986. 136 с.

10. Косовский В.Л. Справочник фрезеровщика. – М.: Высшая школа; Издательский центр "Академия", 2001. 400 с.

11. Лещинер Я.А. Лезвийные инструменты из сверхтвёрдых материалов. – К.: Техника, 1981. 120 с.

12. Лысанов В.С. Эльбор в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1978. 280 с.

13. Новиков Н.В. Лезвийный инструмент из сверхтвёрдых материалов. Справочник /Н.П. Винников, А.И. Грабченко, Э.И. Гриценко, и др. – К.: Техника, 1988. 118 с.

BLADE PROCESSING OF DETAILS FROM HARDENED STEEL BY METHOD OF SOLID MILLING

Sedinin I.N., PhD (Engineering), Engineer-technologist
Makarov V.F., D.Sc. (Engineering), Professor
Krokhin A.N.PhD (Engineering), deputy. Ch. technologist.

Sedinin I.N., Makarov V.F., Krokhin A.N.

Perm National Research Polytechnic University
Russia, Perm, 614990,Komsomolsky prospect, 29
JSC "ODK-STAR", 614033, Kuibyshev street, house 140a/1, Perm, Russia,

Abstract

A brief analysis of the Russian aviation industry is given. The main problems in the sphere of aviation production, namely, mechanical processing, are indicated. The materials used in the manufacture of parts at the enterprise JSC "ODK-STAR" are indicated. One of the materials used is a corrosion-resistant steel, which, after heat treatment, has a high hardness. The sequence of final machining of hardened steel is indicated. The problems arising at milling and grinding of details are certain. The literature on blade processing of hardened steels is analyzed. For the efficient cutting process, the most rational material of the cutting part of the tool is selected. The reasons for the deviations from the design documentation and the main drawbacks of the existing technological process are established. The development and implementation of the "Hard milling" processing method is proposed. The following are determined: the equipment, the manufacturer, the type and material of the cutting tool, the theoretical cutting regimes and the type of aggregate state of the lubricant in the cutting zone. The goals of the work are formulated.

Keywords: blade machining, hardened steel, heat treatment, quality of the machined surface, superhard material, cubic boron nitride, hard milling, cutting regimes.

***УДК* 621.787.6**

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

СЕМЕНОВА Ю.С.[1], канд. техн. наук, доцент,
ЖИВАГА А. А[1]., магистрант
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Живага А. А., Семенова Ю.С.
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: nastya-zhivaga@yandex.ru
e- mail: yu.semenova@corp.nstu.ru

Аннотация

Работа посвящена исследованию влияния режимов ультразвукового пластического деформирования на формирование топографии поверхности при обработке пластичных материалов. Рассчитаны режимы обработки, обеспечивающие формирование различных видов рельефа поверхности. Проведен анализ результатов исследования влияния режимов ультразвукового упрочнения на формирование микрорельефа, волнистости, а также на величину параметра шероховатости. Предложены пути дальнейших исследований по влиянию обработки на износостойкость и оценке упрочняющего эффекта от данной обработки.

Ключевые слова: ультразвуковое пластическое деформирование, микрорельеф, волнистость, шероховатость поверхности, пластичные материалы, качество поверхностного слоя.

Введение

Технология ультразвукового пластического деформирования (УЗДП) заключается в воздействии инструмента, колеблющегося с высокой интенсивностью, на обрабатываемую поверхность. Благодаря процессам, происходящим при УЗПД, открываются возможности формирования благоприятного для последующей эксплуатации напряженного состояния в поверхностном слое детали и формируется характерный микрорельеф [1]. Такие возможности позволяют использовать УЗДП для получения упрочняющего и чистового эффекта широкого класса деталей машин, работающих в различных условиях эксплуатации. Одним из показателей оценки эксплуатационных свойств поверхности является ее износостойкость.

В большинстве случаев обеспечение износостойкости деталей механизмов и машин осуществляется путем закаливания. Однако существуют материалы, которые невозможно упрочнить подобным образом. Так, известно, что в пищевой промышленности рекомендуется использовать нержавеющие стали аустенитного класса. Данный класс материалов не упрочняется закалкой и остается пластичным после термообработки. Однако рабочие поверхности деталей машин и механизмов из этих материалов также должны обладать износостойкостью. В связи с этим влияние режимов упрочняюще-чистовой ультразвуковой обработки на износостойкость пластичных материалов представляет особый интерес.

Режимные параметры обработки методом УЗПД определяют создание различных форм рельефа поверхности [1]. Например, обработка пластичных материалов на интенсивных режимах приводит к появлению волнистости. В работах [2,3] исследованы процессы волнообразования, и установлены технологические ограничения при назначении режимных параметров. Так, уменьшение статического усилия прижима деформирующего элемента, и

увеличение подачи инструмента приводит к уменьшению или полному исчезновению волн. Величины подачи и скорости определяют расстояние между соседними отпечатками в соответствующем направлении l_S и l_V при движении инструмента вдоль обрабатываемой поверхности (рис. 1).

Также следует отметить, что при определенном сочетании значений этих величин можно получить частично или полностью регулярный микрорельеф поверхности. Параметром, характеризующим получение регулярного или нерегулярного микрорельефа, является коэффициент перекрытия соседних отпечатков – отношение расстояния между отпечатками к диаметру единичного отпечатка. Эта величина не должна превышать $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

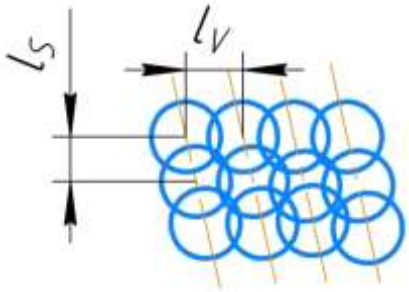


Рисунок 1 – Микрорельеф, формируемый при УЗПД

На формирование регулярного микрорельефа так же влияет исходное состояние обрабатываемой поверхности. В работе [4] предъявлены ограничения по шероховатости, полученной на предшествующей обработке, которая не должна превышать критического значения, зависящего от свойств материала. Иначе, на обрабатываемой поверхности возможно появление следов от предшествующей обработки.

Таким образом, УЗПД направлено на одновременное достижение упрочняющего эффекта при обеспечении требуемой топографии поверхности.

Целью данной работы является исследование влияния режимов УЗПД на состояние поверхности обработанных деталей из пластичных материалов. Для достижения цели необходимо подготовить образцы, назначить режимы обработки, обеспечивающие различные состояния поверхностного слоя, оценить полученный микрорельеф.

Материалы, оборудование и методика экспериментального исследования

Для проведения эксперимента образцы подверглись обработке методом УЗПД. Обработка методом УЗПД производилась на деталях, диаметром 50 мм. В качестве модельного материала выбрана незакаленная сталь 45. Выбор такого материла, обуславливается тем, что этот материал является наиболее показательным для производства деталей механизмов и машин.

Перед назначением режимов обработки, была измерена твердость образцов. Измерения проводились на твердомере ТК-2, под нагрузкой 60 кгс. Для обеспечения достоверности результатов измерений на образцах проводилось 5 измерений. Среднее значение твердости составило 174 НВ.

Таблица 1Режимы для УЗДП

Параметр	Значение	
	Вариант 1	Вариант 2
частота колебаний, f	22 кГц	22 кГц
статическое усилие, $F_{ст}$	196,85 Н	176,85 Н
амплитуда, 2А	20 мкм	20 мкм
подача, S	0,26 мм/об	0,16 мм/об
скорость вращения детали, V	283 м/мин	283 м/мин

В зависимости от свойств обрабатываемого материала и различных заданных характеристик микрорельефа поверхности, были выбраны режимы УЗПД (таблица 1). Режимы подбирались таким образом, чтобы в первом варианте обеспечивалась волнистость поверхности, а во втором варианте гладкий микрорельеф. Известно, что на формирование микрорельефа влияют такие параметры как $F_{ст}$ и S, поэтому варьировалось значение этих параметров [5].

Обработка проводилась на установке, созданной на базе токарно-винторезного станка 1А616. В данной установке применяется ультразвуковой стержневой магнитострикционный преобразователь. Переменный ток с необходимой частотой обеспечивается ультразвуковым генератором ИЛ 10-0.1 [6].

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что после обработки на режимах (вариант 1, таблица 1) на поверхности детали наблюдаются ожидаемая волнистость (рис. 2 3). При обработке на режимах (вариант 2, таблица 1) была получена гладкая поверхность (рис. 2 2).

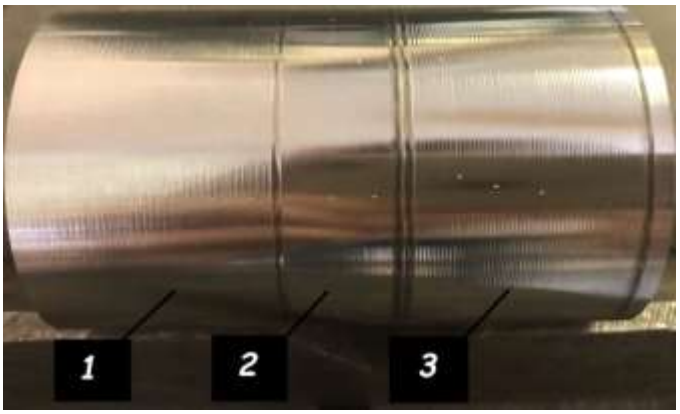


Рисунок 2 - Образец 1) обработка точением – исходная поверхность; 2) обработка методом УЗПД на режимах «вариант 2»; 3) обработка методом УЗПД на режимах «вариант 1»

Шероховатость обработанных поверхностей измерялась на профилографе профилометре модели 252 (рис.3). Среднее значение шероховатости на исходной поверхности образца, обработанного точением, составило Ra 1,44 мкм. После применения ультразвуковой обработки на режимах «варианта 1», был, достигнут параметр шероховатости Ra 1,26 мкм, а после обработки на режимах «вариант 2» шероховатость составила 0,68 мкм.

Рисунок 3 – Профилограф-профилометр модели 252

На рисунке 4 представлена профилограмма поверхности после обработки УЗДП, которая подтверждает что при завышенном значении статического усилия и минимальной подачи, на пластичном материале будут возникать волны.

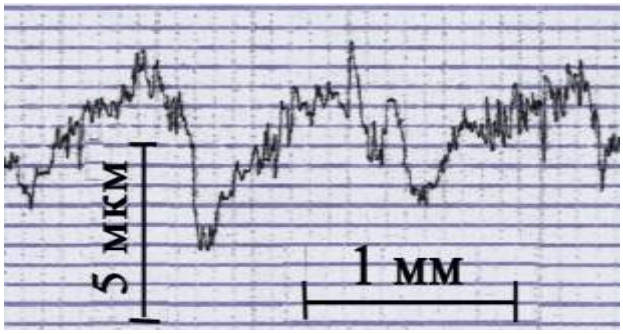


Рисунок 4 - Профилограмма поверхности с волнистостью

Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что эффект обработки методом УЗПД на выбранных режимах заключается в снижении уровня шероховатости, а также подтвердили, что изменение режимов обработки свыше допустимых приводит к появлению волн.

Дальнейшие исследования планируется посвятить проведению испытаний образцов на износостойкость и выявлению закономерностей влияния изменения режимов УЗПД на интенсивность изнашивания обработанных поверхностей.

Для того чтобы оценить упрочняющий эффект от данной обработки, необходимо изготовить поперечные микрошлифы. Измерить микротвердость, по характеру изменения микротвердости определить глубину упрочненного слоя.

Список литературы

1. Семенова Ю. С., Третьяков М. А., Еремина А. С. Особенности формирования геометрии поверхности при ультразвуковом поверхностном деформировании пластичных материалов // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 9 Всерос. науч.-практ. конф., 16 марта 2011 г. – Новосибирск. 2011. – С. 82–85

2. Семенова Ю. С., Рахимянов Х. М. Исследование процессов волнообразования при обработке металлов и сплавов ультразвуковым пластическим деформированием // Инновации в машиностроении: материалы I Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск. 2010. - С. 103-105

3. Рахимянов Х. М., Семенова Ю. С. Формирование морфологии поверхности в процессе ультразвукового пластического деформирования деталей машин =Deformed surface morphology generation during ultrasonic plastic forming // Упрочняющие технологии и покрытия. 2010. - № 10. – С. 20-23

4. Рахимянов Х. М., Семенова Ю. С. Взаимосвязь кинематических и деформационных параметров ультразвукового пластического деформирования с геометрическими параметрами формируемого микрорельефа = Kinematic and deformation parameters correlation with the geometric parameters of microrelief formed by ultrasonic surface hardening // Упрочняющие технологии и покрытия. 2016. - № 2 (134). - С. 16-19

5. Рахимянов Х. М., Рахимянов К. Х., Семенова Ю. С., Еремина А. С. Теоретическое обоснование области режимных параметров ультразвукового деформирования для обеспечения чистового и упрочняющего эффектов в обработке металлических материалов // Системы. Методы. Технологии. 2015. - № 4 (28). – С. 55-61

6. Рахимянов Х. М., Семенова Ю. С., Третьяков М. А. Установка для ультразвукового пластического деформирования по токарной схеме// Наука. Технологии. Инновации

//Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых в 7-ми частях, Новосибирск. 2009. Часть 3. С. 44-46

INFLUENCE OF ULTRASONIC SURFACE HARDENING MODE ON THE SURFACE RELIEF OF PARTS MADE OF PLIABLE MATERIALS

Semenova Yu. S., PhD (Engineering), Associate Professor,
Zhivaga A. A., Graduate student

Semenova Yu. S., Zhivaga A. A.

Novosibirsk State Technical University,
20 Prospect K. Marks, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The work is devoted to the study of the effect of ultrasonic surface hardening mode on the formation of surface topography in the processing of pliable materials. Processing mode parameters that ensure the formation of various types of surface relief are calculated. The analysis of the investigation of the effect of ultrasonic processing modes on the formation of the microrelief, waviness, and also on the value of the roughness parameter is carried out. The ways of further research on the effect of processing on wear resistance and on the evaluation of the strengthening effect of the processing are suggested.

Keywords: ultrasonic surface hardening, microrelief, waviness, surface roughness, pliable materials, quality of the surface layer.

УДК 621.74

ВЫБОР ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

СЕМЕНОВА Ю.С.[1], канд. техн. наук, доцент,
ИВАНКОВА Е.Е.[1], магистрант
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Иванкова Е.Е., Семенова Ю.С.

630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e – mail: katya.ivankova.1995@mail.ru
e- mail: yu.semenova@corp.nstu.ru

Аннотация

В работе доказана необходимость применения методов виртуального моделирования на этапе проектирования процесса литья. Изучены результаты исследовательских работ по моделированию процесса заливки металла с целью поиска подходящего программного обеспечения. В результате литературного анализа работ, описывающих применение известных программ, произведен выбор программного пакета, отвечающего выбранным критериям. Показаны перспективы дальнейшей работы по совершенствованию технологического процесса литья под давлением путем варьирования режимных параметров и геометрических параметров литейной формы при помощи моделирования процесса литья в выбранном программном продукте.

Ключевые слова: литье под давлением, виртуальное моделирование, режимные параметры, программный комплекс ANSYS, метод конечных элементов, кристаллизация расплава.

Введение

Одним из методов изготовления заготовок конструкций сложной конфигурации является метод литья под давлением. Данный метод позволяет получить высокую точность и чистоту поверхности отливки, что дает возможность исключить последующую механическую обработку. Однако при изготовлении заготовок сложной формы существует вероятность возникновения дефектов, появление которых трудно предусмотреть на этапе проектирования технологического процесса литья. Так, при изготовлении корпусных деталей (Рисунок 1), получаемых методом литья под давлением, в процессе механической обработки отливок вскрылись внутренние дефекты (газовые раковины), недопустимые в изделии.

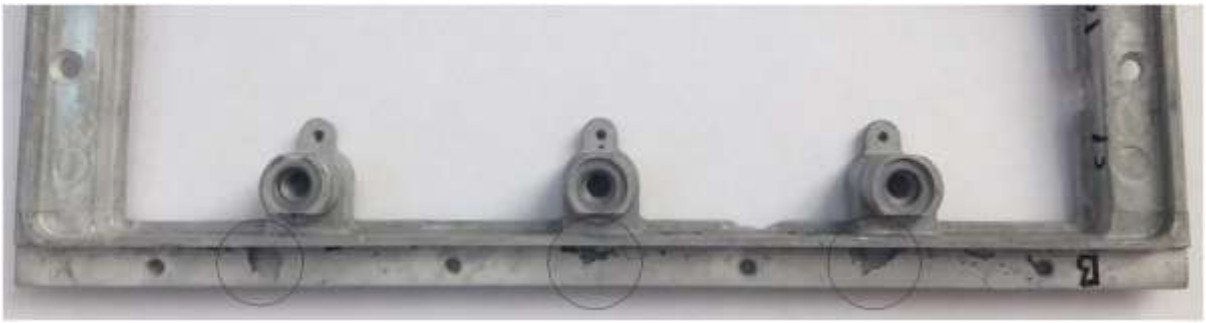


Рисунок 1 – Дефекты отливки

Использование виртуального моделирования на этапе проектирования технологического процесса литья позволяет избежать длительных и дорогостоящих натурных

экспериментов. Отработка конструкции литейной пресс-формы и температурно-временных параметров ведется не на реальных дорогостоящих плавках, а в виртуальном пространстве компьютерной среды. Применение системы компьютерного моделирования литейных процессов обеспечивает снижение брака и расходов на отработку технологии, позволяет обеспечить высокий уровень свойств отливки.

На сегодняшний момент существует множество программных продуктов для моделирования технологического процесса литья. В данной статье рассмотрены и проанализированы различные программные продукты, предназначенные для решения поставленной задачи.

Целью данной работы является подбор программного обеспечения для виртуального моделирования технологического процесса литья, которое удовлетворяло бы требуемым характеристикам.

Описание теоретических или экспериментальных исследований

Формирование свойств отливки зависит от совокупности теплофизических, геометрических и физико-химических факторов взаимодействия отливки с формой. Программное моделирование позволяет на стадии проектирования создавать технологи производства качественной отливки. В настоящее время насчитывается множество систем автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП): ProCast, ANSYS, SolidCast и пр. С их помощью можно провести расчет технологии по всем этапам: от заливки и кристаллизации с образованием усадочных дефектов и напряжений, до выбивки, обрезки литников и последующей термообработки для полного контролирования остаточных напряжений в готовом изделии.

Эти программы предлагают решение следующих задач:

– оптимизация режимов процесса заливки и затвердевания сплава;

– расчет пресс-форм;

– оптимизация литниковой системы;

– прогнозирование микро и макроструктуры, механических свойств отливок;

– минимизация остаточных напряжений и деформаций;

– тепловой расчет пресс-форм.

Выбор программного обеспечения осуществлен по следующим критериям:

1. Стоимость программного продукта;

2. Функциональность;

3. Удобство в использовании;

4. Совместимость с CAD-системами, на которые имеется лицензия в НГТУ (Компас, SolidWorks).

В результате анализа работ по виртуальному моделированию процессов литья [1-5, 7 - 9], было установлено, что наилучшим программным обеспечением, предназначенных для решения поставленной задачи является комплекс ANSYS. Его преимуществами является:

1. Дружественный интерфейс;

2. Широта области применения на различных предприятиях машиностроительной отрасли;

3. Точность инженерных расчетов;

4. Производительность программного обеспечения.

Комплекс ANSYS является одним из наиболее популярных и мощных систем – комплексов, предназначенных для автоматизированной разработки.

ANSYS Workbench - платформа, объединяющая все инструменты инженерного моделирования программного продукта ANSYS.

Для моделирования процесса заливки металла и его кристаллизации в форме используются модули: ANSYS FLUENT; ANSYS CFX.

Данные модули обладают несколькими существенными отличиями, несмотря на схожие черты. Оба модуля основаны на методе контрольных объемов, дающем высокую точность, что позволяет применять эти продукты для решения широкого круга инженерных задач. Основные отличия состоят в способе интегрирования уравнений течения жидкостей и в стратегиях решения уравнений [6]. В настоящий момент сказать какой из данных модулей больше подходит для решения поставленной задачи возможности нет. Только после того, как будет проведено моделирование в обоих программах можно будет сделать выбор.

Из-за большого числа факторов, влияющих на качество выходного изделия необходим повышенный контроль процесса кристаллизации расплава в форме. Хорошо известно, что служебные свойства литого изделия определяются характеристиками его макроскопического кристаллического строения. В программном комплексе ANSYSесть инструменты для моделирования процесса кристаллизации расплава в форме.

В научных статьях серией расчетов установлены температурно-временные условия литейного процесса, снижающие вероятность образования брака в отливке. В программном комплексе ANSYSвходными параметрами, влияющими на кристаллизацию расплава, являются:

1. Материал детали (его свойства представлены в библиотеке программного продукта, специально их задавать не нужно);
2. Температура заливаемого расплава 650-680°С;
3. Температура окружающей среды 25°С;
4. Скорость входного потока 10 – 50 м/с;
5. Конфигурация отливки.

На выходе получают такие параметры как:

– время затвердевания расплава в форме;
– равномерность остывания расплава в форме;
– равномерность заливки металла.

Результаты и обсуждение

По моделированию технологического процесса литья в программном комплексе ANSYSизвестны такие работы, как [7-8]. В данных работах представлены результаты расчета теплообмена в установке при литье, позволяющие оценить динамику изменения теплового состояния элементов конструкции. Анализ статей по виртуальному моделированию процесса литья позволил получить представление о том, какими методами возможно производить моделирование и выбрать наиболее подходящий продукт. Для работы с данным продуктом установлены необходимые характеристики для задания входных параметров при проведении расчетов, показано, какие параметры будут получены на выходе. Варьируя технологические параметры литья предполагается получить наилучшее сочетание условий заливки, которое позволит избежать появление брака в отливках.

Выводы

Программные комплексы, предназначенные для виртуального моделирования процессов литья, являются полезным инструментом для обеспечения качественной продукции на этапе проектирования процесса ее изготовления.

В дальнейшей работе планируется создание 3D модели пресс-формы для литья под давлением с последующим моделированием технологического процесса в программном продуктеANSYS. Планируется провести анализ таких процессов, как остывание металла в форме, его кристаллизацию и усадку. Смоделировать фазовые и агрегатные превращения в материале. В результате исследований будут установлены необходимые зоны и интенсивность отвода теплоты от элементов конструкции литейной пресс-формы. Таким образом, будет предложена новая конструкция литейной пресс-формы для литья под давлением. В сочетании с выбранными режимами она позволит получать бездефектные отливки.

Список литературы

1. Применение CAE-систем «Полигон» и ANSYS при моделировании литейных и деформационных процессов для кокильной отливки типа «кольцо»/ Давыдов А.Н., Вялов Б.В., Утянкин А.В.// Литейщик России. 2007. №2. С. 25-27.
2. Компьютерное моделирование литой детали «Рама боковая» с учетом усадочной пористости/ Огородникова О.М., Мартыненко С.В., Проничев И.М.// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. №2. С.36-40.
3. Моделирование процессов литья под давлением алюминиевых сплавов/ Е.И. Марукович, И.Л. Захаров, А.М. Брановицкий, Д.В. Довнар// Литье и металлургия 2 (38). 2006. С.124-127.
4. Поиск путей устранения литейных дефектов в отливках средствами виртуального моделирования процессов литья/ Унагаев Е.И., Осипов С.А. // Вестник ИрГТУ. 2013. №12 (83). С. 111-116.
5. Особенности автоматизированного проектирования технологии изготовления отливок литьем под давлением/ Марширов И.В., Марширов В.В., Мустафин Г.А., Назаров С.В., Беспалов Ю.А., Новоселов А.С., Нефедов А.С.//Ползуновский альманах. 2017. Т.5. №4. С. 85 - 88.
6. ANSYS CFX-Solver Theory Guide: Release 13.0 // ANSYS. Inc. – 2010. – 390 p.
7. Компьютерное моделирование и оптимизация процесса литья слитков платины/ СкуратовА.П., МаховД.И., ПавловЕ.А.// Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1. 2014. С. 96-102.
8. Математическое моделирование процесса литья деталей газотурбинных двигателей/ Дубровская А.С., Донгаузер К.А., Труфанов Н.А.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 14, №4 (5). 2012. С.1368 – 1371.
9. Применение CAD-систем при моделировании тепловых процессов в установке непрерывного литья и прессования цветных металлов/ Скуратов А.П., Горохов Ю.В., Потапенко А.С.// Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах. 2016. С.154-158.

SELECTION OF SOFTWARE FOR VIRTUAL MODELING OF CASTING TECHNOLOGICAL PROCESSES

Semenova Yu.S., PhD (Engineering), Associate Professor,
Ivankova E.E., Graduate student,

Ivankova E.E.,Semenova Yu.S.

Novosibirsk State Technical University,
630073, Prospekt K.Marks, 20, Novosibirsk, Russian Federation

Abstract

The necessity of application of virtual modeling methods at the stage of casting process designing is proved in the work. The research results on modeling the process of metal casting are studied to find the appropriate software. Due to the literary analysis of the works describing application of the known programs, the choice of the software package meeting the selected criteria is made. Prospects of further work on improvement of technological process of die casting by variatingthe operating parameters and geometrical parameters of a mold by means of modeling of process in the selected software product are shown.

Keywords: die casting, virtual simulation, operating parameters, ANSYS software complex, finite element method, melt crystallization.

УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ГРАВИРОВАНИИ

БАЛАШОВ А.В.[1]канд. техн. наук, доцент
СОЛОМИН. Д.Е. [1]магистрант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Балашов А.В., Соломин Д.Е.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: bavagtu@mail.ru
e – mail: student_ktm31_11@mail.ru

Аннотация

Целью данной статьи является показать, как влияет путь и условия резания на режущий инструмент при гравировании. Описаны этапы проведения эксперимента по изучению зависимости размерного износа режущего инструмента от пути резания. Выявлены зависимости размерного износа режущего инструмента от пути резания при гравировании без применения смазочно-охлаждающей жидкости и с применением смазочно-охлаждающей жидкости. Проведенные исследования износа твердосплавного инструмента представляют интерес для решения вопроса обрабатываемости резанием труднообрабатываемых буквенно-цифровых надписей на деталях машин и приборах.

Ключевые слова: Размерный износ, путь резания, гравер, резание, гравирование.

Введение

Размерный износ является одной из причин, вызывающих погрешности обработки. В любых условиях при резании наблюдается износ инструмента, который всегда приводит к изменению размеров обрабатываемого изделия.

Предельный износ инструмента приводит к необходимости его замены, что связано с перерывами в технологическом процессе. Однако задолго до полного затупления инструмента, когда он является еще вполне работоспособным, приходится в ряде случаев учитывать постоянный размерный износ инструмента и принимать специальные меры, для компенсации изменения размеров обрабатываемых деталей.

Описание исследований

Проведены поисковые эксперименты по гравированию полос длиной 50 мм, на заготовке из стали 45. Были проведены две серии экспериментов: 1 серия - без смазочно - охлаждающей жидкости; 2 серия – со смазочно - охлаждающей жидкостью.

Гравирование производилось на фрезерно-гравировальном станке Lynx 3D-020, гравером из твердого сплава, диаметром D2 = 3,125 мм, углом A = $7{,}5^0$, размером T = 0,1 мм(рисунки 1 и2). Гравирование выполнялось с подачей, *S=5 мм/мин*, частотой вращения шпинделя, $n=24000\ мин^{-1}$, глубиной резания *t=0,3 мм*.

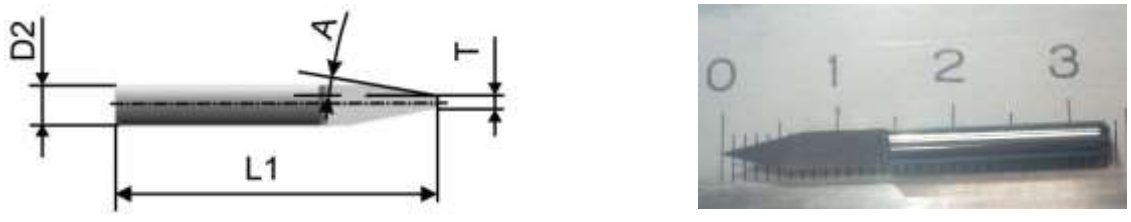


Рисунок 1 – Гравер

Перед каждым проходом производили замер гравера на электронном микрометре МКЦ 25-50 мм. (рисунок 4).

Рисунок 2 – Фрезерно-гравировальный станок Lynx 3D-020

Рисунок 3 - Измерение длины гравера на микрометре

Результаты и обсуждение

Первая серия экспериментов. Без применения смазочно-охлаждающей жидкости.

Было произведено 4 полных прохода, длиной 50 мм и один длиной 2 мм, после которого произошла поломка гравера. Данные полученные в ходе проведения эксперимента занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Размерный износ инструмента при гравировании без применения СОЖ

Номер прохода	Путь резания, мм	Длина гравера	Размерный износ, мм
0	0	31,86	0
1	50	31,845	0,015
2	100	31,827	0,033
3	150	31,815	0,045
4	200	31,807	0,053
5	202	Поломка гравера	

На основании полученных данных выявлена зависимость износа гравера от длины пройденного пути (рисунок 4).

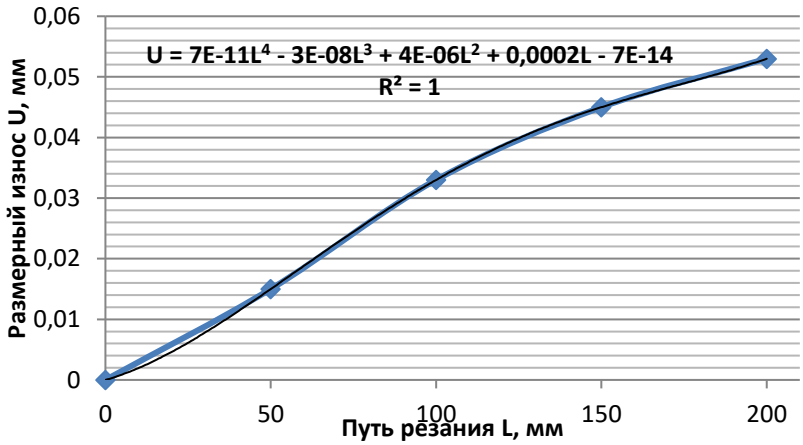


Рисунок 4 – Зависимость износа гравера от пути резания

Вторая серия экспериментов. Гравирование со смазочно - охлаждающей жидкостью. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовалось масло индустриальное И60 (рисунок 5).

Рисунок 5 – Гравирование в масляной пленке

Было выполнено 23 прохода по 50 мм и один проход по 20 мм, после которого произошла поломка гравера. Данные о эксперименте представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Размерный износ инструмента при гравировании в масляной ванне

№ прохода	Путь резания, мм	Длина гравера, мм	Размерный износ, мм
1	0	31,98	0
2	50	31,967	0,013
3	100	31,954	0,026
4	150	31,942	0,038
5	200	31,94	0,04
6	250	31,938	0,042
7	300	31,936	0,044
8	350	31,933	0,047
9	400	31,931	0,049
10	450	31,928	0,052
11	500	31,923	0,057
12	550	31,912	0,068
13	600	31,908	0,072
14	650	31,897	0,083
15	700	31,887	0,093
16	750	31,879	0,101
17	800	31,874	0,106
18	850	31,87	0,11
19	900	31,86	0,12
20	950	31,858	0,122
21	1000	31,853	0,127
22	1050	31,851	0,129
23	1100	31,837	0,143
24	1150	31,829	0,151
25	1170	Поломка гравера	

На основании полученных данных выявлена зависимость износа гравера от длины пройденного пути (рисунок 6).

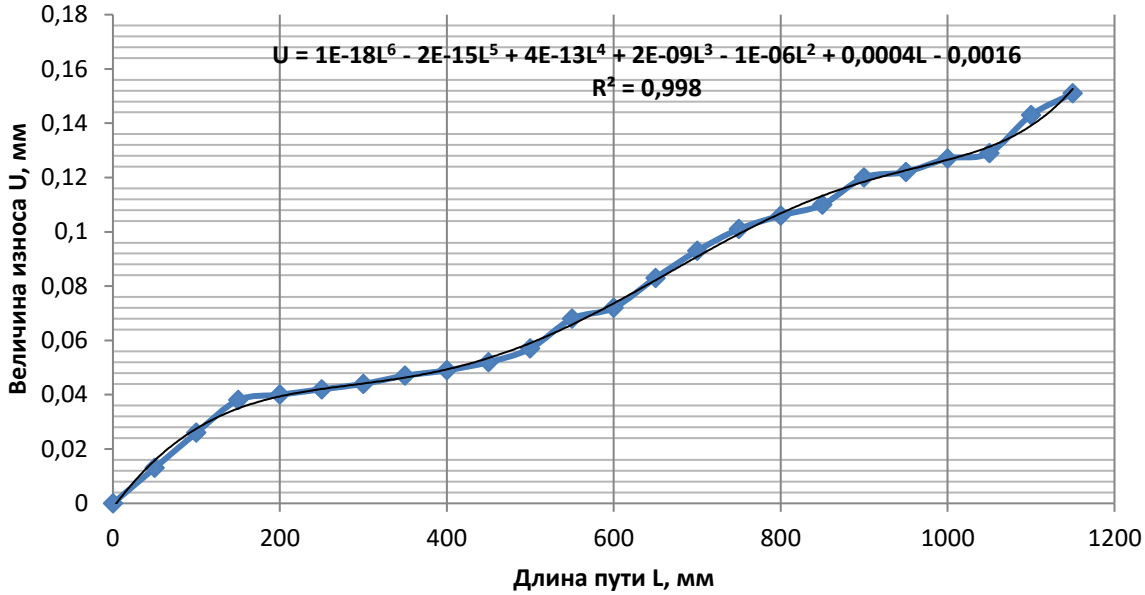


Рисунок 15 – Зависимость размерного износа гравера от пути резания

Анализ зависимости размерного износа гравера от пути резания показал, что на пути резания от 0 до 200 мм наблюдается участок приработки. Повышенный темп износа объясняется высоким начальным контактным давлением ввиду малой величины площади контакта. При увеличении площадки контакта темп износа уменьшается. Путь резания от 200 мм до 1000 мм соответствует периоду нормального износа, он характеризуется стабилизацией микрогеометрии инструмента. Путь резания от 1000 до 1170 мм характеризуется катастрофическим износом.

Выводы

1. Определена зависимость износа режущего инструмента от пути резания при гравировании стальной детали без применения смазочно-охлаждающей жидкости. Стойкость гравера составила 202 мм.
2. Определена зависимость износа режущего инструмента от пути резания при гравировании стальной детали в масляной ванне. Стойкость гравера составила 1170 мм.
3. Установлено, что гравирование в масляной ванне увеличивает стойкость гравера в 6 раз.
4. Проведенные исследования износа твердосплавного инструмента представляют интерес для решения вопроса обрабатываемости резанием труднообрабатываемых буквенно-цифровых надписей на деталях машин и приборах.

Список литературы

1. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов: Учебник для машиностроительных и приборостроительных спец. вузов.—М.: Высш. шк., 1985,— 304 с, ил.
2. https://vunivere.ru/work20247.

STUDY OF THE WEAR OF THE CUTTING TOOL IN ENGRAVING

BalashovA.V., PhD (Engineering), Associate Professor
Solomin D. E., Graduate student

Balashov A.V., Solomin D. E.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

The purpose of this article is to show how the path and cutting conditions affect the cutting tool during engraving. The stages of the experiment to study the dependence of the dimensional wear of the cutting tool on the cutting path are described. Dependences of dimensional wear of the cutting tool on the cutting path during engraving without the use of cutting fluid and with the use of cutting fluid are revealed. The conducted researches of wear of the carbide tool are of interest for the solution of a question of machinability by cutting of difficult-to-process alphanumeric inscriptions on details of cars and devices.

Keywords: Dimensional wear, cutting way, engraver, cutting, experiment, engraving

УДК 539.4:620.178.4:539.422

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

ТАТАРИНЦЕВ В.А.[1], канд. техн. наук, доцент,
ТОЛСТОШЕЕВ А.К.[1], канд. техн. наук, доцент
([1]Брянский ГТУ, г. Брянск, Россия)

Татаринцев В.А., Толстошеев А.К.

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
Брянский государственный технический университет
e-mail: v_a_t52@mail.ru

Аннотация

Исследованы различные виды и режимы термической обработки ряда литых конструкционных сталей, применяемых для изготовления деталей в транспортном машиностроении. Показано, что высокими показателями прочностных свойств и сопротивления усталости при регулярном и блочном режимах нагружения обладают отливки после применения различных видов термоциклической обработки. Выбор вида и режима термической обработки обусловлен условиями технического применения литой детали в эксплуатации.

Ключевые слова: литая сталь, термическая обработка, прочностные характеристики, сопротивление усталости, разрушение, микроструктура, техническое применение.

Введение

В настоящее время для изготовления деталей в транспортном машиностроении применяют литые конструкционные стали 20Л, 20ГЛ, 20ГТЛ, 20ГФЛ, 25Л, 35ГЛ, 30НМФЛ и др. По существующим различным техническим условиям после литья эти отливки подвергают в основном двум методам термообработки – нормализации и закалки с высоким отпуском (улучшению). Эти методы термообработки увеличивают в целом конструкционную прочность деталей и являются основными методами, повышающими их прочность и пластичность. Однако, для повышения этих свойств литые заготовки редко подвергают другим, более современным и более эффективным методам термообработки. В работе В.К. Федюнина [1] широко и подробно описаны методы термоциклической обработки (ТЦО) конструкционных сталей. Ряд авторов [2-4] так же придают большое значение этому методу повышения комплекса механических свойств материалов. Однако, для литых сталей метод ТЦО пока не нашел широкого применения.

Целью настоящей работы являются экспериментальные исследования возможности повышения прочностных свойств отливок, применяемых в транспортном машиностроении (в частности в вагоностроении), для изготовления деталей – корпусов автосцепок и поглощающих аппаратов, тяговых хомутов, надрессорных балок и боковых рам тележек грузовых вагонов путём применения различных методов термообработки.

Описание экспериментальных исследований

В исследованиях кроме нормализации и улучшения применяли режимы ТЦО литых сталей. Сравнение полученных результатов показало, что методы ТЦО литых сталей в большей степени, чем нормализация, а иногда и улучшение, увеличивают комплекс механических свойств сталей. Экспериментальные работы [4, 5] производили как на стандартных образцах, так и на натуральных отливках в производственных условиях АО «ПО

«Бежицкая сталь» и ОАО «Ирмаш». Химический состав исследуемых сталей представлен в табл. 1.

В настоящее время все отливки из сталей 20Л, 25Л подвергаются нормализации от температуры 880...920^{0}С, а отливки из остальных сталей (20ГЛ, 20ГТЛ, 2ГФЛ, 35ГЛ и 30НМФЛ) подвергаются нормализации также от температуры 880...920 ºС и высокому отпуску при 600 ºС.

Таблица 1 Химический состав литых сталей

№ п/п	Марка стали	Химический состав								
		C	Mn	Si	Ni	Mo	V	Ti	S	P
1	20Л	0,24	0,70	0,22	-	-	-	-	0,021	0,021
2	20ГЛ	0,25	1,44	0,29	-	-	-	-	0,022	0,022
3	20ГТЛ	0,23	1,27	0,31	-	-	-	0,02	0,019	0,021
4	20ГФЛ	0,22	1,30	0,39	-	-	0,08	-	0,020	0,023
5	25Л	0,26	0,52	0,32	-	-	-	-	0,041	0,035
6	35ГЛ	0,32	1,30	0,28	-	-	-	-	0,036	0,038
7	30НМФЛ	0,28	0,60	0,33	1,10	0,48	0,28	-	0,035	0,026

Комплекс механических свойств и структура обеспечивают требования ГОСТ 22703-2012, однако величина зерна составляет 5...7 баллов, что не исчерпывает возможностей сталей по еще большему увеличению предела текучести и вязкости сталей. Кроме того, ряд машиностроительных деталей (звездочки, полушестерни) из сталей 25Л и 35ГЛ изготовляются методом литья по газифицируемым (выжигаемым) моделям. Механическая обработка резанием данных деталей затруднена в связи с образованием науглероженных поверхностей из-за особенностей метода: модельный комплект изготавливается из пенополистирола и засыпается в специальные опоки формовочным песком. При заполнении формы жидким металлом модельный комплект сгорает, а его место заполняется поступающим в форму жидким металлом. Однако, в процессе заливки, кристаллизации и охлаждения поверхности отливок насыщаются углеродом. Чем больше масса модельного комплекта, тем в большей степени идет процесс науглероживания и в отливках массой 10...20 кг глубина науглероженного слоя с очень высоким содержанием углерода (2,5...3,5%) достигает 4...5 мм. Поэтому структура сердцевины отливок представляет собой круглые феррит-перлитные зерна, а науглероженный слой – цементитно-ледебуритную структуру. Наиболее эффективным видом термической обработки для обезуглероживания отливок, полученных методом литья по газифицируемым моделям, является ТЦО. По сравнению с другими видами термической обработки (полный отжиг, высокотемпературный отжиг, нормализация с высоким отпуском) ТЦО позволяет полностью (или почти полностью) устранить поверхностный науглероженный слой с высокой твердостью, образующийся в стальных отливках при литье по газифицируемым моделям, и при этом не допустить обезуглероживания поверхности отливки, как при других видах термической обработки [6].

После проведения экспериментальных исследований способов термообработки как образцов, так и натурных отливок в качестве оптимальных приняты следующие режимы термообработки:

Режим № 1. «Маятниковая» термоциклическая обработка: 5 циклов 790...600 ºС, на последнем цикле охлаждение в воде от 600 ºС. Этому режиму подвергаются образцы из сталей 20ГЛ, 20ГФЛ при выборе ТЦО для деталей вагоностроения.

Режим № 2. «Маятниковая» ТЦО: 5 циклов 790 ºС...600 ºС, на последнем цикле охлаждение на воздухе. Режим применяется при выборе ТЦО как для отливок вагоностроения, так и машиностроения: стали 20Л, 20ГФЛ, 20ГТЛ, 35ГЛ, 25Л.

Режим № 3. Улучшение. Закалка от 920 ºС в воде, отпуск 600 ºС. Этому режиму подвергаются образцы и детали из стали 20ГЛ для отливок корпуса автосцепки грузового вагона.

Режим № 4. «Ступенчатая» ТЦО 4 цикла: нагрев до 800 ºС, охлаждение до 600 ºС; нагрев до 820ºС – охлаждение до 600 ºС; нагрев до 780 ºС – охлаждение до 600 ºС (2 цикла); охлаждение на воздухе. По этому режиму обрабатывались образцы из стали 20ГЛ при выборе термообработки отливок для вагонного производства и стали 25Л для деталей экскаваторов.

Режим №5. Нормализация при температуре 880...920 ºС и высокий отпуск при 580...620 ºС. Этому режиму подвергались отливки из стали 30НМФЛ массой 11т («Шабот»).

Режим № 6. Нормализация при температуре 880...920 ºС и ТЦО – 3 цикла: 600...800 ºС, последнее охлаждение в печи до 400 ºС, затем на воздухе. Этот режим термообработки с применением ТЦО для массивной отливки из стали 30НМФЛ («Шабот»).

Режим № 7. Высокотемпературная нормализация и «ступенчатая» ТЦО: нормализация при 1000...1100 ºС, и ТЦО: 1080→730→840→600→790→600→790→600 ºС, охлаждение от 600 ºС на воздухе. Это режим для науглероженных отливок из сталей 25Л и 35ГЛ, полученных по газифицированным моделям.

Режим № 8. «Стандартная» нормализация отливок при температуре 880...920 ºС и охлаждение на воздухе до комнатной температуры. Этому режиму подвергались образцы из стали марок 20Л, 20ГЛ, 20ГТЛ, 20ГФЛ, широко применяемых для отливки деталей автосцепки и тележки грузовых вагонов.

Для проведения экспериментальных исследований от каждой плавки указанных сталей отбирали пробы – трефы и термообрабатывали их вместе с отливками, а затем изготавливали из них круглые стандартные пятикратные образцы диаметром 10 мм и испытывали на растяжение. Квадратные образцы 10×10 мм с U-образной выточкой на глубину 2 мм испытывали на маятниковом копре на ударную вязкость. Из всех партий заготовок для вагоностроения вытачивали усталостные круглые образцы диаметром в рабочей части 8 мм с кольцевой выточкой радиусом 2 мм. Циклические испытания выполняли на усталостном стенде с программным устройством при консольном изгибе образца с вращением (симметричный цикл). Испытывали по 10...15 образцов каждой серии для получения кривых усталости.

Для определения микроструктуры сталей после различных режимов термообработки изготавливали микрошлифы из разрушенных образцов и исследовали их на оптическом микроскопе «Neophot-2» при различной степени увеличения. Испытания на ударную вязкость при температуре -60 ºС производилась в герметичном криостате в спиртовой смеси с «сухим льдом». Значения ударной вязкости определяли на маятниковом копре КМ-30А. Полученные результаты фиксировали отдельно – для отливок вагоностроения и для отливок транспортного машиностроения. Особенности совместного влияния эксплуатационных факторов (асимметрии цикла переменных напряжений, циклических перегрузок, влаги) на процесс разрушения литых сталей, применяемых при производстве литых корпусов трубопроводной арматуры, в широком аспекте исследованы методами планирования эксперимента в работе [7].

Результаты и обсуждение

Отметим, что в связи с различными требованиями, предъявляемыми к отливкам вагоностроения (рамы, балки, корпуса автосцепки и т.д.) и экскаваторостроения (звездочки, полушестерни и т.д.) применялись различные методы термообработки и испытаний. Так для отливок экскаваторов применялись в основном режимы № 5–8, для отливок вагонов – режимы № 1–4. Свойства сталей в зависимости от вида термообработки представлены в табл. 2.

Металлографический анализ исследуемых сталей показал, что микроструктура сталей 20ГЛ и 20ГФЛ после нормализации – ферритно-перлитная смесь, содержащая 65–75% феррита со средней величиной зерна (номер зерна по шкале G ГОСТ 5639–82) G8 (рис. 1 а).Структура

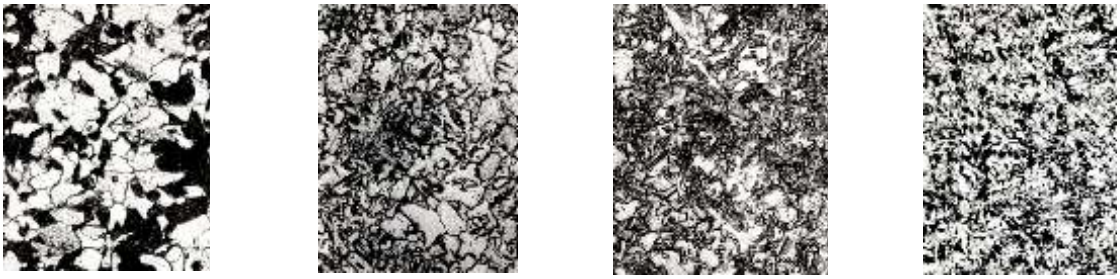
сталей после ТЦО по режиму 1 – мелкодисперсная смесь сорбитообразного перлита и феррита, упорядоченного углеродом.

Таблица 2–Свойства сталей в зависимости от вида термообработки

№ п/п	Механические свойства	Марка стали	Виды термообработки		
			Нормализация и высокий. отпуск	Нормализация и ТЦО (сталь 30НМФЛ)	Ступенчатая ТЦО
1	Предел прочности, $\sigma_в$, МПа	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	510 625 585	- - 580	515 620 -
2	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	305 370 390	- - 395	320 385 -
3	Твердость, НВ	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	149 179 187	- - 179	149 179 -
4	Относительное удлинение, δ%	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	21,0 15,5 14,5	- - 23,5	28,5 21,0 -
5	Относительное сужение, φ%	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	44,5 38,0 45,5	- - 55,0	56,5 52,0 -
6	Ударная вязкость при +20°С, KCU, Дж/см²	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	85 60 65	- - 125	160 120 -
7	Ударная вязкость при -60°С, KCU, Дж/см²	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	25 20 25	- - 42	46 41 -
8	Температура перехода пластичность - хрупкость °С (KCU =40Дж/см²)	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	-30(39) -20(43) -30(41)	- - -60(42)	-60(46) -60(41) -
9	Отношение $T_{хр}/\sigma_т$	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	-0,1 -0,06 -0,05	- - -0,15	-0,19 -0,16 -
10	Величина зерна, балл	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	5-6 5-6 6-7	- - 9-10	9-10 9-10 -
11	Длительность процесса, час	25Л 35ГЛ 30НМФЛ	14,0 14,0 30,0	- - 23,0	10,0 10,0 -

Примечание. В п. 8 в скобках указаны значения ударной вязкости в Дж/см² при указанных температурах.

Цементит перлита – зернистый (глобулярный), размер глобулей составляют 1…3 мкм. Величина зерна структуры – G11, а содержание феррита в структуре около 20 % (рис.1 б). После улучшения структура представлена сорбитом с участками феррита, занимающими 20 % площади шлифа. Расстояние между пластинами цементита сорбита – 0,6…1,5 мкм, толщина пластин – 0,3…0,8 мкм, размеры ферритного промежутка – 0,6…1,0 мкм; величина зерна – G10 (рис.1 в).



а) *б)* *в)* *г)*

Рисунок 1. Микроструктура стали 20 ГЛ (×100):
а – нормализация; *б* – ТЦО по режиму 1; *в* – улучшение; *г* – ТЦО по режиму 2

Структуры стали после ТЦО по режимам 2 и 3 схожи и содержат примерно равное относительное количество феррита (соответственно 55 и 45 %) в ферритно-перлитной смеси с цементитом пластинчатой и зернистой формы. Величина зерна – G9, форма равновесная. Перлит располагается по границам ферритовых зерен. В структуре после ТЦО по режиму 4 границы зерен более округленные и в перлите превалирует зернистый цементит над пластинчатым, что, по-видимому, привело к увеличению долговечности по сравнению с ТЦО по режиму 2 (рис.1*г*). В структуре стали 20ГФЛ после нормализации, кроме ферритно–перлитной смеси, присутствуют карбонитриды ванадия диаметром 0,02–0,04 мкм на расстоянии 0,45…0,75 мкм друг от друга, способствующие упрочнению структуры феррита и повышению механических свойств и характеристик сопротивления усталостному разрушению.

Выводы

1. В результате выполненных исследований разработаны технологические процессы термической обработки литых сталей, включающие «маятниковую» и «ступенчатую» ТЦО, а также нормализацию и последующую ТЦО.

2. Экспериментально показано, что предложенные методы термообработки существенно улучшают комплекс механических характеристик литых сталей: усталостная прочность возрастает на 15...20 %; пластичность увеличивается на 25...85 %; ударная вязкость – на 20...60 %; порог хладноломкости снижается на 20...30 ºС; длительность процесса сокращается в 1,5...2,0 раза.

3. Показано, что исследованные режимы термической обработки формируют в литой стали микроструктуру, состав и параметры которой оказывают существенное влияние на механические свойства и сопротивление усталостному разрушению при регулярных и блочных режимах нагружения с малоцикловыми перегрузками. При этом определяющее значение имеют доля твердых структурных фаз, их форма и размеры. С увеличением доли перлита в структуре и измельчением зерна в изломе образца увеличивается доля бороздчатого рельефа в сочетании с квазисколом на завершающих стадиях развития трещины

Список литературы

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка: технология, структура и свойства металлических материалов. Л.: ИПМ АН СССР, 1991. – 309 с.

2. Югай С.С., Закирова М.Г., Абляз Т. Р. Диспергирование низкоуглеродистой мартенситной стали методом интенсивной термоциклической обработки // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 4(5). С. 1347–1350.

3. Огневой В.Я., Гурьев А.М., Огневая Г.Л. Термоциклическая обработка литых сталей для автосцепных устройств грузовых вагонов // Ползуновский альманах. 2008. №3, С. 33–34.

4. Татаринцев В.А., Толстошеев А.К., Гришанов П.А. Влияние микроструктуры на статическую и циклическую прочность литых сталей для несущих деталей вагонов // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. № 12. С. 20–25.

5. Tatarintsev V.A., Shlyushenkov A.P. Effect of structural parameters on the fatigue failure of cast steels in loading with low-cycle overloads // Strength of Materials, 1991. Т. 23. № 7. P. 775–782.

6. Хайдоров А.Д., Кондратьев С.Ю. Формирование структуры стальных отливок, полученных методом литья по газифицируемым моделям, при последующей термической обработке // Заготовительные производства в машиностроении, 2014. № 12. С. 3–9.

7. Татаринцев.В.А., Толстошеев А.К.Влияние эксплуатационных факторов на циклическую трещиностойкость сталей литых корпусов запорной арматуры // Современные наукоёмкие технологии. Региональноеприложение, 2014. № 1(37). С. 102–107.

EVALUATION OF THE STRENGTH PROPERTIES OF CAST STEELS AFTER DIFFERENT TYPES OF HEAT TREATMENT

Tatarintsev V.A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Tolstosheyev A.K., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,

Tatarintsev V.A., Tolstosheyev A.K.

Bryansk State Technical University,
7, 50 let Oktyabrya Boulevard, Bryansk, 241035, Russian Federation

Abstract

The article explores various types and modes of heat treatment of a number of cast structural steels used for manufacturing parts in transport engineering. It shows that the castings after the application of various types of thermocycling treatment have high indicators of strength properties and fatigue resistance under regular and block loading modes. The choice of the type and mode of heat treatment is determined by the conditions of the technical application of the cast part in operation.

Keywords: cast steel, heat treatment, strength characteristics, fatigue resistance, destruction, microstructure, technical application.

УДК 621.9.047

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ВОЛЬФРАМО – КОБАЛЬТОВЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

РАХИМЯНОВ Х.М. [1]*, докт. техн. наук, профессор,*
ВАСИЛЕВСКАЯ С.И. [1]*, ассистент*
ДЖАВАДОВА С.В. [1]*, магистрант*
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Рахимянов Х.М., Василевская С.И., Джавадова С.В.

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
Новосибирский государственный технический университет
e-mail: x.raximyanov@corp.nstu.ru
e-mail: vasilevskay@corp.nstu.ru
e-mail: dzhavadova1995@list.ru

Аннотация

Твердый сплав ВК 8 относится к классу труднообрабатываемых материалов, формообразование деталей из которых механическим резанием представляет определенные трудности. Поэтому для обработки данного класса материалов перспективными представляются электрофизические методы, например, электроалмазное шлифование. Однако установлено, что применение электроалмазного шлифования при обработке внутренних поверхностей ограничено их размерами, в частности при формообразовании отверстий диаметром менее 1 мм. Для решения данной технологической задачи находит применение электрохимическая размерная обработка, основанная на локальном анодном растворении металла в проточном электролите. Для оценки возможности обработки отверстий в деталях, выполненных из вольфрамо – кобальтового сплава ВК 8, в работе проведено изучение его анодного поведения в условиях электрохимической обработки. Анализ результатов поляризационных исследований анодного поведения исследуемого сплава дает основание утверждать, что при обработке в водных электролитах нейтральных солей характерно проявление как стадий активного растворения, так и стадий пассивации. Выявлены причины пассивации анодной поверхности при электрохимической обработке исследуемого материала в электролитах NaCl, Na_2SO_4, $NaNO_3$ и NH_4NO_3 с концентрациями 5%, 10% и 15%.

Ключевые слова: твердый сплав ВК8, электролиты на основе нейтральных солей, анодное растворение, электрохимическая обработка, потенциодинамический метод, трехэлектродная ячейка.

Введение

Твердые сплавы широко используются не только как инструментальные, но и в качестве конструкционных материалов. Однако существуют определенные трудности в обработке, связанные с высокой прочностью твердого сплава. Для формообразования деталей из данного материала, в настоящее время используются электрофизические технологии, представителями которых являются электроэрозионная и электрохимическая обработки. Эффективно развиваются технологии, основанные на комбинировании электрофизических процессов, например, электроалмазное шлифование плоских, наружных и внутренних поверхностей [1 – 3]. Электроалмазное шлифование представляет собой сочетание одновременно действующих процессов – анодного растворения и шлифования зернами алмазного круга. Однако, применение электроалмазного шлифования при обработке внутренних поверхностей ограничено их размерами. Зачастую в деталях различного эксплуатационного назначения

требуется создание отверстий малого диаметра (менее 1 мм). Для решения данной технологической задачи представляется перспективным использование электрохимической обработки. В работах [4 – 6] показана возможность электрохимической прошивки отверстий малого диаметра в цветных металлах и конструкционных сталях, в том числе и легированных. Для формообразования отверстий малого диаметра в твердосплавных деталях с использованием электрохимической обработки необходимо оценить анодное поведение материала.

Описание экспериментальных исследований

При исследовании анодного растворения металлов и сплавов в условиях электрохимической обработки классическим является метод поляризационных кривых [7]. Данный метод заключается в развертке потенциала с заданной скоростью с одновременной регистрацией тока в электрохимической системе.

Для исследования анодного поведения вольфрамо– кобальтового сплава использовалась экспериментальная установка, схема которой представлена на (рис. 1). Установка состоит из емкости для электролита (1), съемной крышки (2), потенциостата – гальваностата модели «ElinsP – 20X» (3) и персонального компьютера (4). В крышке (2) (рис. 2) закреплены вспомогательный электрод (катод) (5), выполненный в виде медного кольца, платиновый электрод сравнения (6). Исследуемый образец (7) имеет площадь поперечного сечения равную 2 мм^2. Зазор между исследуемым образцом и электродом сравнения составлял 0,1 мм и выставлялся с помощью щупа.

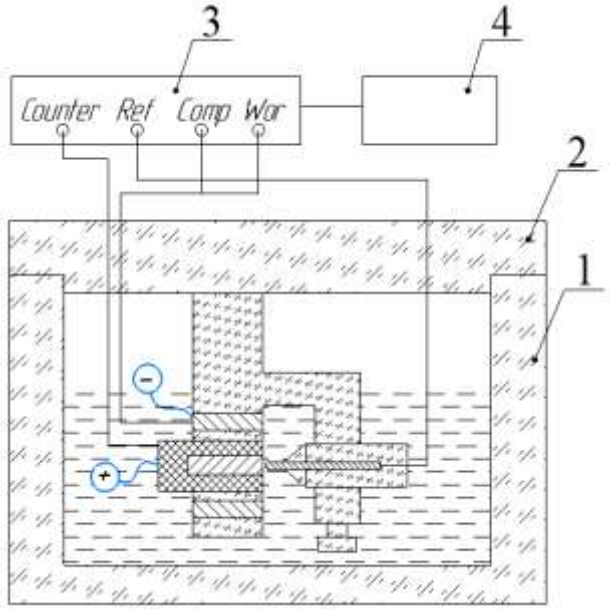


Рисунок 1–Схема экспериментальной установки для проведения поляризационных исследований

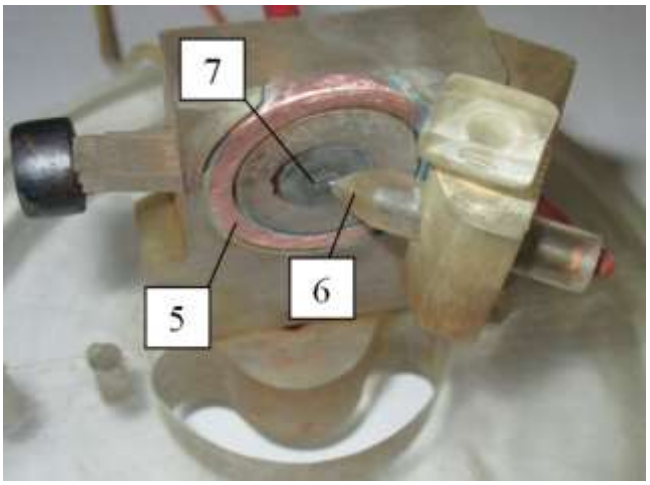


Рисунок 2– Внешний вид крышки трехэлектродной электрохимической ячейки

Важным этапом для реализации электрохимической обработки является правильный выбор электролита. Электролит в процессе электрохимической обработки является рабочей средой, в которой содержатся токопроводящие ионы, обеспечивающие процесс анодного растворения обрабатываемого материала. Подбор анионного и катионного состава электролита для электрохимической обработки металлов и сплавов осуществлялся с учетом перечисленных ниже условий [8 – 11].

1. Анионный состав электролита должен обеспечивать эффективное протекание на обрабатываемом материале реакции анодного растворения. Для осуществления этого необходимо, чтобы электролиты, содержащие анионы, обладали высокими значениями

положительных стандартных потенциалов (+φ_0). К таким анионам следует отнести NO_3^- (φ_0 = 0,83 В), Cl^- (φ_0 = 1,36 В), SO_4^{-2} (φ_0 = 2,01 В) [8].

2. Катионный состав электролита не должен приводить к осаждению металлических катионов на поверхности вспомогательного электрода (катода). Данное условие соблюдается при наибольших значениях отрицательного потенциала (-φ_0), в частности катиона калия K^+ (φ_0 = - 2,92 В) и натрия Na^+ (φ_0 = - 2,71 В) [8]. Принимая во внимание эти условия для исследований были выбраны электролиты на основе нейтральных солей $NaNO_3$ (ГОСТ 828 – 77), NaCl (ГОСТ 4233 – 77), Na_2SO_4(ГОСТ 4166 – 76) и NH_4NO_3(ГОСТ 2 – 2013).

Следует отметить, что выбранные электролиты обладают высокой степенью растворимости в воде, обеспечивая получение растворов в широком диапазоне концентраций. В качестве материала исследований анодного поведения использовался широко распространенный в группе вольфрамо – кобальтовых сплавов – сплав ВК 8 (ГОСТ 3882 – 74).

Результаты и обсуждения

Результаты исследований анодного поведения твердого сплава ВК8 в растворах нейтральных солей хлористого натрия (NaCl), сернокислого натрия (Na_2SO_4) азотнокислого натрия ($NaNO_3$) и азотнокислого аммония (NH_4NO_3) с концентрациями 5%; 10% и 15%, представлены на рис. 3.

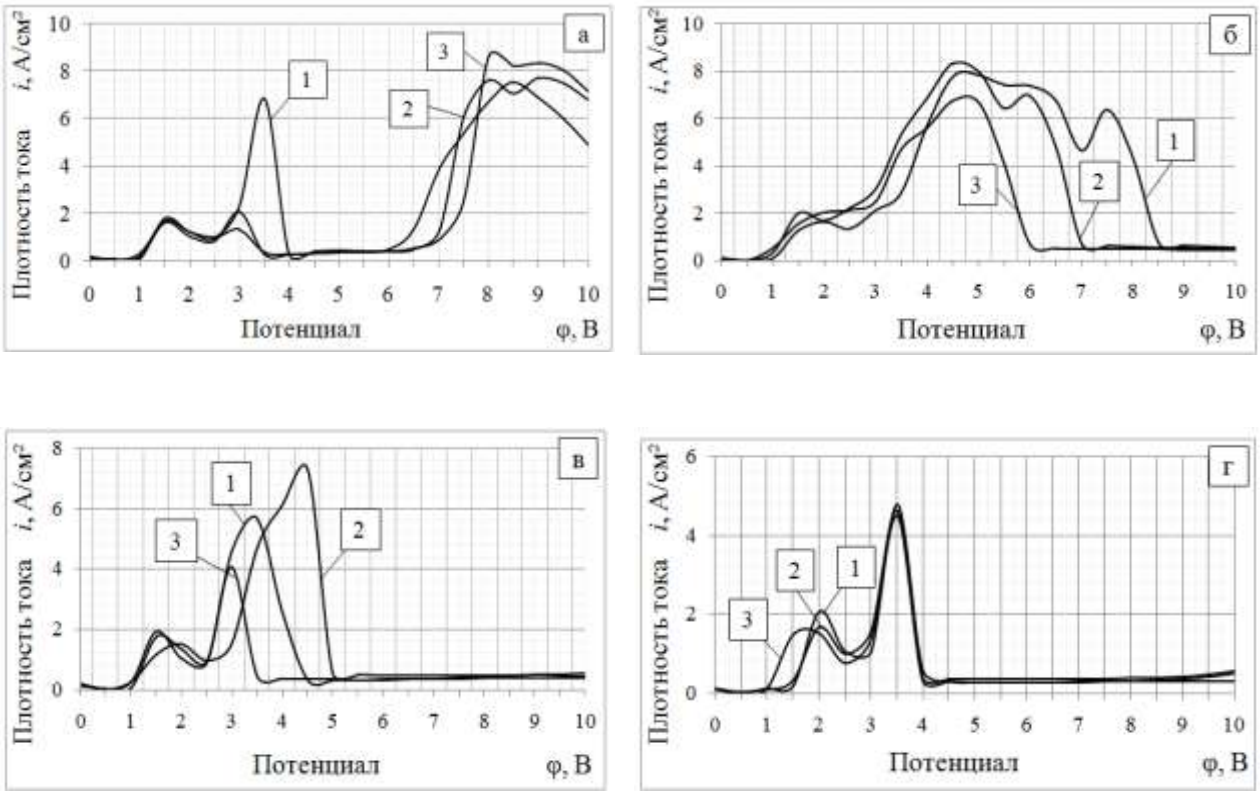


Рисунок 3 –. Поляризационные кривые анодного поведения твердого сплава ВК8 в растворах нейтральных солей: а – хлористого натрия; б – сернокислого натрия; в – азотнокислого натрия; г – азотнокислого аммония: 1 – 5%; 2 – 10%; 3 – 15%

Анализ результатов поляризационных исследований анодного поведения твердого сплава ВК8 дает основание утверждать, что при электрохимической обработке во всех электролитах присутствуют как стадии активного растворения, когда увеличение потенциала сопровождается ростом плотности тока, так и стадии пассивации, приводящие к торможению скорости анодного растворения. Для всех применяемых электролитов общим является то, что первоначальное анодное растворение материала происходит в диапазоне потенциалов от 0 В до 1,5 В, что объясняется растворением кобальтовой составляющей сплава. Растворение

сопровождается образованием гидроокиси $Co(OH)_2$[12]. Максимальная плотность тока на этом участке достигается ~ 2 А/см^2.

Дальнейшее увеличение потенциала до 2,5 В ведет к снижению плотности тока до 0,5 А/см^2. Это позволяет утверждать, что обрабатываемый материал перешел в пассивное состояние, характеризуемое замедлением процесса анодного растворения. Вероятно, причиной пассивации является образование на поверхности обрабатываемого сплава окисла в виде соединения Co_3O_4 [12], представляющее собой белую пленку из продуктов анодного растворения. По мере увеличения потенциала от 2,5 В до 3,5 В визуально наблюдается изменение структуры и толщины пленки.

Пленка утолщается и разрыхляется, что приводит к ее срыву с поверхности анода. Вероятно, удаление пленки в отмеченном интервале значений потенциала происходит за счет активного газовыделения кислорода. Плотность тока, достигаемая в этом диапазоне потенциалов значительно выше, чем на первом участке активации.

Следующее увеличение значений потенциалов приводит к тому, что обрабатываемый материал покрывается достаточно плотной слоистой пленкой, что вновь приводит к снижению плотности тока до 0,5 А/см^2. Подобная картина наблюдается во всех четырех электролитах, но при разных значениях областей потенциалов. В электролитах азотнокислого аммония (рис. 3, г; кривые 1 – 3), азотнокислого натрия (рис. 3, в; кривая 1) и хлористого натрия (рис. 3, а; кривая 1) диапазон значений потенциалов составляет от 3,5 В до 4 В. В растворе хлористого натрия (рис. 3, а; кривые 2 и 3), а также в азотнокислом натрии (рис. 3, в; кривая 3) от 3 В до 3,5 В и в азотнокислом натрии (рис. 3, в; кривая 2) от 4,5 В до 5 В.

При обработке твердого сплава ВК 8 в электролите сернокислого натрия (рис. 3, б; кривые 1 – 3) наблюдается несколько иная картина. Чем выше концентрация электролита, тем область образования плотной слоистой пленки происходит в узких диапазонах значений потенциалов. Так кривая 1 (рис. 3, б) от 4,5 В до 8,5 В; кривая 2 (рис. 3, б) от 4,5 В до 7 В и соответственно кривая 3 (рис. 3, б) от 4,5 В до 6 В. Таким образом, при обработке данного материала в этом электролите область окончательного процесса торможения анодного растворения будет изменяться с увеличением концентрации электролита (рис. 3, б – кривая 1 от 8,5 В до 10 В; кривая 2 от 7 В до 10 В и кривая 3 от 6 В до 10 В). В азотнокислом натрии (рис. 3, в; кривые 1 – 3) и аммонии (рис. 3, г; кривые 1 – 3) окончательная пассивация сплава наступает от 4 В до 10 В. В растворе хлористого натрия (рис. 3, а; кривые 1 – 3) от 3,5 в до 6В.

Следует отметить, что при обработке данного сплава в электролите хлористого натрия (рис. 3, а; кривые 1 – 3) на участке значений потенциалов от 6 В до 8 В наблюдается область вторичной активации с повышением плотности тока до 8,5 А/см^2. Вероятно это можно объяснить тем, что основным механизмом депассивации анодной поверхности в диапазоне этих значений потенциалов является разрушающее действие на плотную слоистую пленку газообразного хлора, что подтверждается резким запахом хлора в процессе обработки. Затем вновь наблюдается снижение плотности тока.

Выводы

В результате экспериментальных исследований установлено, что при исследовании анодного поведения вольфрамо – кобальтового сплава ВК 8 в условиях электрохимической обработки возникают пассивационные ограничения, связанные с образованием окисных пленок на обрабатываемой поверхности, а также адсорбционных явлений, определяющих диффузионные ограничения. Последние можно, устранить, если обеспечить движение электролита в межэлектродном зазоре. Формообразование отверстий малого диаметра в твердосплавных деталях с использованием электрохимической обработки потребует поиска решений по устранению пассивационных ограничений.

Список литературы

1. Рахимянов Х.М., Красильников Б.А., Рахимянов К.Х. Точность формообразования при электроалмазной прорезке пазов в аморфных и нанокристаллических сплавах // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2006. - № 2. – С. 32 – 33.

2. Рахимянов Х.М., Рахимянов К.Х., Гаар Н.П. Активация анодного растворения аморфных и нанокристаллических сплавов непрерывным обновлением поверхности // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2010. - № 1. – С. 35 – 38.

3. Рахимянов Х.М., Красильников Б.А., Янпольский В.В. Повышение производительности процесса электроалмазного шлифования быстрорежущих сталей // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2006. - № 4. – С. 7 – 8.

4. Рахимянов Х.М., Василевская С.И. Технологические возможности электрохимической обработки отверстий неподвижным катодом – инструментом // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. - № 2. – С. 12 – 20. – doi:10.17212/1994 – 6309 – 2016 – 2 – 12 – 20.

5. Рахимянов Х.М., Леонтьев И.А., Василевская С.И. Технологические перспективы комбинирования электроэрозионных и электрохимических процессов в обработке отверстий малого диаметра // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2016. - № 10 (64). – С.7 – 13.

6. Рахимянов Х.М., Василевская С.И. Особенности формообразования малых отверстий в меди при электрохимической обработке в водных хлоридных растворах // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2017. - № 2 (75). – С. 6 – 16. – doi:10.17212/1994 – 6309 – 2017 – 2 – 6 – 16.

7. Фрейман Л.И., Макаров В.А., Брыскин И.Е. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите // Под ред. Я.М. Колотыркина. – Л.: Химия, 1972. – 240 с.

8. Никольский Б.П. Справочник химика: Том 3. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы. Часть 2. – М.: 2013. – 517 с.

9. Вишницкий А.Л., Ясногородский И.З., Григорчук И.П. Электрохимическая и электромеханическая обработка металлов. – Л.: «Машиностроение», 1971. – 212 с.

10. Рахимянов Х.М., Василевская С.И. Выбор электролитов для электрохимической обработки отверстий малого диаметра в меди. // Наукоемкие технологии в машиностроении. 2017. - № 4(70). – С. 17 – 24.

11. Рахимянов Х.М., Василевская С.И., Журавлева А.В. Подбор анионного состава электролита для прошивки малых отверстий в меди // В сборнике: Инновации в машиностроении сборник трудов VIII Международной научно – практической конференции. – 2017. – С. 126 – 131.

12. Филимоненко В.Н., Крейчман Б.М., Исхакова Г.А. Морфология поверхности анодно – поляризованного сплава WC – Co в активном и пассивном состояниях // Электрохимическая размерная обработка металлов. – «Штиинца», 1974. – 144 с.

INVESTIGATION OF ANODIC BEHAVIOR OF TUNGSTEN – COBALT ALLOYS DURING THE ELECTROCHEMICAL PROCESSING

Rakhimyanov Kh.M., D.Sc. (Engineering), Professor,
Vasilevskaya S.I., Assistant,
Dzhavadova S.V., Graduate student,

Rakhimyanov Kh.M., Vasilevskaya S.I., Dzhavadova S.V.

Novosibirsk State Technical University,
630073 Prospect K. Marx, 20, Novosibirsk, Russia

Abstract

The hard alloy VC 8 refers to the class of hard materials, forming parts of which mechanical cutting presents certain difficulties. Therefore, for the processing of this class of materials are promising electrophysical methods, for example, electro-oil grinding. However, it is established that the use of electro-oil grinding in the processing of internal surfaces is limited by their size, in

particular when forming holes with a diameter of less than 1 mm. For the solution of the given technological problem the electrochemical dimensional processing based on local anodic dissolution of metal in flowing electrolyte finds application. To assess the possibility of processing holes in parts made of tungsten – cobalt alloy VC 8, the research of its anodic behavior in electrochemical processing. The analysis of the results of polarization research of anodic behavior of the investigated alloy gives grounds to assert that the processing of neutral salts in aqueous electrolytes is characterized by the manifestation of both the stages of active dissolution and passivation stages. Identify the causes of passivation of the anodic surface during electrochemical processing of the test material in the electrolytes NaCl, Na_2SO_4, $NaNO_3$ and NH_4NO_3 concentrations 5%, 10% and 15%.

Keywords: hard alloy VC 8, electrolytes based on neutral salts, anodic dissolution, electrochemical processing, potentiodynamic method, three-electrode cell.

УДК 621.98.043

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ ДНА И ПРИДОННОГО УЧАСТКА ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫТЯЖКИ С УТОНЕНИЕМ

ВЕРЕЩАГИН П.В.[1], канд. техн. наук, доцент
КОЛЕСНИКОВ Д.Ю.[1], студент
([1]БТИ филиал АлтГТУ, г. Бийск ,Россия)

Верещагин П.В., КолесниковД.Ю.

6593005, г.Бийск, ул.Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: vpv@bti.secna.ru
e-mail: tommoson01@mail.ru

Аннотация

Производство патронов и гильз стрелкового оружия является массовым. Поэтому основные проблемы такого производства расход материала и износ инструментов. Рациональный выбор заготовки для производства гильзы определяет, как расход материла, так и влияет на износ инструментов. Технологический процесс изготовления гильз базируется на получении заготовки вырубкой из листа. Операциями листовой штамповки формируется изделие. Слишком большая толщина листа увеличивает количество операций вытяжки. Излишняя толщина заготовки затрудняет проведение операций штамповки дна. Маленькая толщина заготовки не позволит сформировать дно изделия при штамповке дна, для этого не хватит металла. Более точное определение объема заготовки и минимально достаточной толщины листа повысит стойкость вытяжных и штамповочных инструментов, обеспечит формирование дна гильзы.

Ключевые слова: вытяжка с утонением, заготовка гильзы, производство патронов и гильз, патроны и гильзы, листовая штамповка.

Введение

В штамповочном производстве основным правилом определения объема заготовки является равенство объемов готовой детали и заготовки с учетом припусков на технологические потери, такие как обязательные обрезки и угар на термических операциях [1].

Базовой технологической схемой для производства гильз является многократная вытяжка с утонением стенок и последующие операции объемной штамповки донного участка, обжима дульцевой части изделия. При такой схеме технологического процесса важным оказывается не только правильный выбор объема заготовки, но рациональная толщина заготовки. Слишком большая толщина заготовки увеличивает количество операций вытяжки или сильно затрудняет их, так как утоняется стенка от начальной завышенной толщины заготовки. Кроме этого излишняя толщина заготовки осложнит проведение операций штамповки дна, так как потребуется перемещать излишки металла в стенки изделия, что требует очень больших усилий, снижает стойкость инструментов на операции. Слишком маленькая толщина заготовки не позволит сформировать дно изделия при выполнении штамповки, для этого не хватит металла донной части. Таким образом, при выборе толщины заготовки для изготовления гильзы следует выбирать минимально возможную толщину листа из стандартного ряда, обеспечивающую формирование фигурной донной части изделия. Для выполнения этого условия следует потребовать равенства объемов нижней (придонной) части

готового изделия и полуфабриката последней вытяжки, после которой производится формирование донного участка гильзы.

Цель исследования: совершенствование аналитического метода проектирования заготовки гильзы.

Задачи исследования:

1. Геометрический анализ придонного участка гильзы и разработка аналитического метода определения объема заготовки.

2. Экспериментальное исследование формы дна полуфабрикатов гильз реального производства.

3. Сравнительный анализ теоретически прогнозируемых и действительных форм дна и придонного участка гильз стрелкового оружия.

Теория и методы

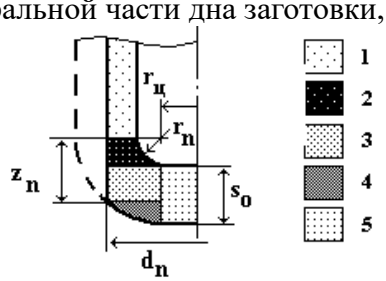
Выбор заготовки разбивается на два этапа:

первый этап, определить объем готового изделия, назначить припуски на технологические потери и вычислить объем заготовки;

второй этап, из условия равенства объемов придонных участков готового изделия и последней вытяжки определить толщину заготовки, определить диаметр заготовки для вырубки.

Объем изделия с учетом технологических потерь в дальнейшем используем для определения диаметра рондоли, но до этого следует подобрать толщину заготовки [2,3].

Дно полуфабриката после последней вытяжки имеет сложную наружную поверхность, включающую в себя сферический участок сопряжения дна и стенки, а также плоский участок в центральной части дна заготовки, рисунок 1.



1 – конический участок
2 – радиусный участок
3 – дно (кольцевой участок)
4 – дно (сферический участок)
5 – дно (цилиндрический участок)

Рисунок 1 – Элементарные участки последней вытяжки

Теоретически объем придонного участка полуфабриката последней вытяжки зависит лишь от двух параметров радиуса сопряжения и толщины исходной заготовки, которая и является искомой минимизируемой величиной. Поэтому при подборе толщины заготовки задаются толщиной заготовки, и проводят расчеты с минимально и максимально возможным радиусом сопряжения. Если оба рассчитанных значений объема оказываются больше или меньше объема придонного участка гильзы, тогда либо уменьшают, либо увеличивают толщину заготовки. В противном случае уточняют радиус сопряжения, пока не выполнится условие равенства объемов придонных участков.

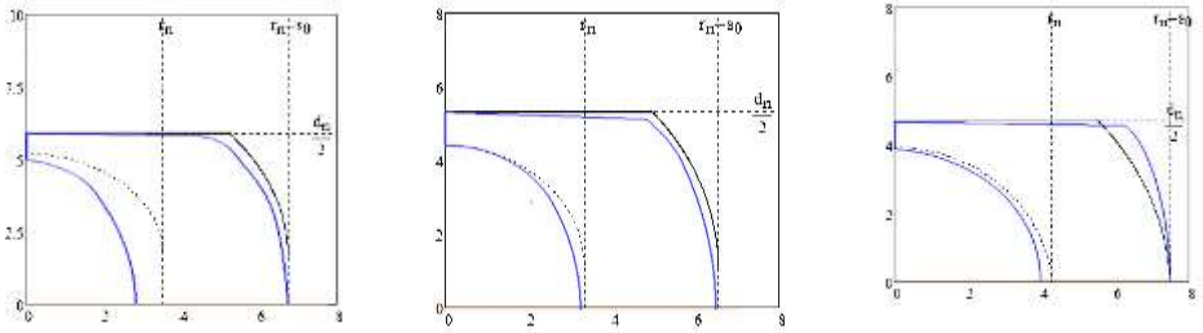
Было сделано предположение - внутренняя поверхность дна полностью соответствует форме пуансона. Наружная поверхность дна отличается от теоретической схемы, описанной выше, так как имеется большая свободная поверхность, и течение ее не задается жестко инструментом. Поэтому необходимы исследования по определению формы наружной поверхности дна и разработка математической модели, описывающей изменение ее формы.

Для достижение поставленной цели определены следующие шаги: исследовать профиль среза полуфабриката последней вытяжки калибров 5,45х39, 7,62х39 и 7,62х54R; сравнить геометрические параметры дна и придонного участка реальных полуфабрикатов с геометрией изделий, форма которых предсказана аналитически; оценить отклонение объёмов реальных образцов и объемов полуфабрикатов теоретически предсказанных.

Рабочая гипотеза: наружный профиль полуфабриката последней вытяжки формируется на стадии свёртки (1 вытяжки) [4].

Для проверки этой гипотезы были разрезаны вдоль центральной оси полуфабрикаты последней вытяжки патронов 5,45х39, 7,62х39 и 7,62х54R, рис. 2. Измерялись толщина дна относительно внутреннего профиля пуансона, и фиксировалась форма наружной поверхности, рис. 3.

Рисунок 2 – Полуфабрикаты последней вытяжки.



7,62X54R 7,62X39 5,45X39

Синий профиль — реальное изделие

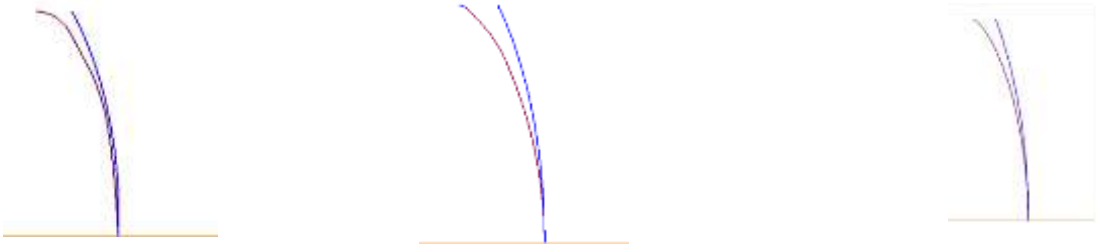
Черный профиль— предполагаемый теоретически

Рисунок 3 —Наложение контуров полуфабрикатов последней вытяжки.

Результаты и обсуждение

При анализе объёма полуфабрикатов последней вытяжки средняя погрешность составила в 9 %, это обусловлено тем, что дно имеет профиль близкий к эллипсу, не повторяет в точности внутренний профиль дна, с учетом толщины заготовки, как было принято при построении аналитической модели.

Измеренная по нормали от профиля пуансона толщина дна, в среднем для трёх образцов, достигает отклонения в 7,3 % от толщины листового проката. Это говорит о стягивании части металла дна в стенки в процессе вытяжки.



7,62X54R 7,62X39 5,45X39

Красная линия – профиль дна последней вытяжки.

Синяя линия – профиль дна свёртки

Рисунок 4 – Сравнение наружных поверхностей свёртки и последней вытяжки

Сравнение наружных профилей дна полуфабрикатов последней вытяжки показало, что наружный профиль полуфабриката последней вытяжки формируется еще на операции свёртка. Отклонение формы дна после свертки и после последней вытяжки в среднем составляет 6 %, рис. 4. Это подтверждает принятую гипотезу: наружный профиль полуфабриката последней вытяжки формируется на стадии свёртки.

Вывод

Методика аналитического расчёта позволяет получать достаточно достоверные значения, при условии корректировки учитывающей уменьшении толщины дна в процессе многооперационной вытяжки. Следует обратить внимание на то, что дно имеет сложный профиль в области сферического участка и представляет собой эллипсоид, форма которого в основном задаётся на этапе свёртки заготовки и сохраняется с малыми изменениями до последней вытяжки. Толщина дна уменьшается до 7,3 % от начальной толщины заготовки из-за многократных вытяжек, которые «стягивают» металл из дна в стенки заготовки.

Список литературы

1. Верещагин П.В., Колесников Д.Ю. Рациональное проектирование заготовок патронно-гильзового производства/Верещагин П.В., Колесников Д.Ю. // Перспективы создания и применения конденсированных высокоэнергетических материалов -Бийск: «Общероссийское литературное сообщество» 2016. -251. -С 212-215.

2. Верещагин П.В. Беспалов Д.В. Разработка охотничьего патрона с улучшенными характеристиками 6,5 GRENDEL/ Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 9-й Всеросс. научн. -практ. конф / под ред. д.т.н., профессора А.Г. Овчаренко. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн.ун-та, 2015. – 333с.-С. 100-102.

3. Верещагин П.В., Беспалов Д.В. Способ определения формы и размеров заготовок для производства гильз с минимальным количеством вытяжных операций / Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 9-й Всеросс. научно-практ. конф / под ред. д.т.н. профессора А.Г. Овчаренко. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн.ун-та, 2015. – 333с.-С. 102-106.

4. Верещагин П.В., Колесников Д.Ю. Исследование процесса изменения формы дна и придонного участка полуфабрикатов вытяжки с утонением стенок/ Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы X Всеросс. научн-практ. конф. с междун. участием. – Бийск: Изд-во Алт.гос.техн.ун-та, 2017. – С. 286–290.

STUDY OF THE CHANGE THE SHAPE OF THE BOTTOM OF THE CARTRIDGE CASE IN DEEP DRAWING

Vereshchagin P.V. PhD (Engineering), Associate Professor,
Kolesnikov D.Yu. Student

Vereshchagin P.V., Kolesnikov D.Yu.

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
27 Trofimova st., Biysk, Altai region, 659305,Russian Federation

Abstract

The production of cartridges for small arms is massive. Therefore, the main problems of such production are material consumption and tool wear. The rational choice of the billet for production determines how the material consumption, and affects the wear and tear of tools. The technological process of manufacturing the shells is based on obtaining the workpiece by blanking out the sheet. Sheet metal forming operations form the product. Too much sheet thickness increases the number of drawing operations. Excessive thickness of the workpiece makes it difficult to perform bottom shaping operations. The small thickness of the workpiece will not allow the formation of the bottom of the product when forming the bottom, for this there is not enough metal. A more accurate determination of the volume of the workpiece and the minimum sufficient thickness of the sheet will increase the durability of the drawing and molding tools, and will ensure the formation of the bottom of the cartridges case.

Keywords: Deep drawing, blanking, production of cartridges and cartridges case, sheet punching.

УДК 623.455.2

ВЛИЯНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАССЕИВАНИЕ ПУЛЬ

ВЕРЕЩАГИН П.В.[1], канд. техн. наук, доцент
САМАРИН Р.А.[1], студент
([1]БТИ(филиал) АлтГТУ, г. Бийск, Россия)

Верещагин П.В., Самарин Р.А.

6593005, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: vpv@bti.secna.ru
e-mail: renat_samarin@mail.com

Аннотация

В данном исследовании рассматривается вращательное движение пули на траектории и его влияние результаты стрельбы. Точность и рассевание пуль при стрельбе определяет эффективность действия патрона по цели. На рассеивание пуль влияют большое количество факторов. Баллистические факторы, это давление и импульс пороха, начальная скорость. Конструктивные характеристики, это форма головной части, вес, положение цента тяжести и центра сопротивления воздуха пули. Технологические погрешности изготовления, это смещение центра тяжести пули относительно продольной и экваториальной осей, колебания массы пули, веса заряда, усилия извлечения пули. Свойства оружия, правильное положение пули в канале ствола, воздействие ствола на снаряд в момент его вылета. В статье приведены методики, математические модели и результаты теоретических исследований влияния конструктивных особенностей пуль и нестабильности технологических факторов изготовления и сборки пуль стрелкового оружия на рассеивание и точность стрельбы.

Ключевые слова: технология производства патронов, технология производства пуль, проектирование пуль, рассеивание при стрельбе.

Введение

При использовании нарезного стрелкового оружия неизбежно, из-за большого количества статистически влияющих факторов на полет пули возникает рассевание, снижается точность. Рассевание, это распределение по вероятностному закону точек попадания пуль вблизи центра рассевания. Точность, это совпадение точки прицеливания и центра рассевания, средней точки попадания. Точность и рассевание пуль при стрельбе определяет эффективность действия патрона по цели. На рассеивание пуль влияют большое количество факторов. Баллистические факторы, это давление и импульс пороха, начальная скорость. Конструктивные характеристики, это форма головной части, вес, положение цента тяжести и центра сопротивления воздуха пули. Технологические погрешности изготовления, это смещение центра тяжести пули относительно продольной и экваториальной осей, колебания массы пули, веса заряда, усилия извлечения пули. Свойства оружия, правильное положение пули в канале ствола, воздействие ствола на снаряд в момент его вылета.

Цель работы: произвести сравнительный теоретический анализ влияния конструктивных особенностей пуль и нестабильности технологических факторов изготовления и сборки пуль стрелкового оружия на рассеивание и точность стрельбы.

Задачи исследования:

1. Разработать и реализовать математическую модель определения массовых и динамических характеристик пуль стрелкового оружия стабилизируемых вращением.

2. Разработать и реализовать математические модели определения влияния на рассевание положения центров тяжести и сопротивления воздуха, смещения центра тяжести снаряда относительно его продольной оси.

3. Произвести оценку влияния каждого из исследованных факторов.

Теория и методы

При движении стабилизированной вращением пули она испытывает сложное пространственное поступательное и вращательное движение.

Вращательное движение пули на траектории координатах Эйлера представляет собой сумму трех вращательных движений: скорости вращения снаряда вокруг центральной оси ω; скорости нутации δ′, скорости вращения снаряда оси вокруг вектора скорости; скорости прецессии ν′, скорости вращения плоскости сопротивления.

В координатах Крылова вращательное движение складывается из: вращения вокруг продольной оси снаряда ω; вращения вокруг двух взаимно перпендикулярных осей перпендикулярных вектору скорости, ось Y совпадает с направление подъемной силы, δy′ и δz′.

В полете на снаряд действует сопротивление воздуха R, приложенное в центре сопротивления пули, сила тяжести, приложенная в центре тяжести снаряда, рисунок 1. Горизонтальная проекция силы сопротивления определяет силу лобового сопротивления RT, а вертикальная ее проекция подъемную силу RN.. Характерные размеры снаряда представлены на рисунке 2.

Опрокидывающий момент:

$$M = d^2 h \cdot 1000 \cdot \Delta(y) \frac{\rho_0}{\rho_0^{\text{ст}}} v^2 K_M \left(\frac{v}{a}\right) f_M(\delta)$$

Здесь $\Delta(y)$ - функция плотности воздуха от высоты траектории; $\rho_0^{\text{ст}}$ - плотность стандартной атмосферы; ρ_0 - плотность в точке вылета; $K_M\left(\frac{v}{a}\right)$ - опытная функция, коэффициент опрокидывающего момента; v - скорость полета снаряда; a - скорость звука, 340 м/с; $f_M(\delta)$ - опытная функция влияния угла нутации.

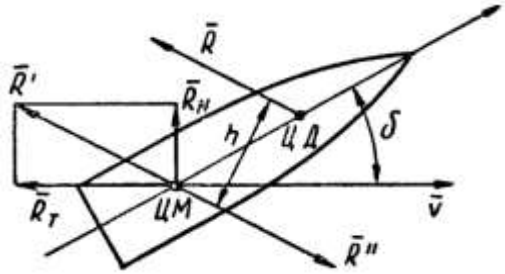


Рисунок 1 - Силы действующие на снаряд в полете

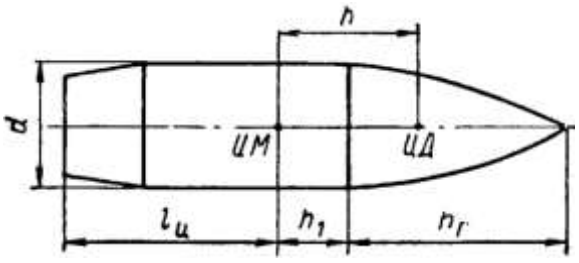


Рисунок 2 - Характерные геометрические размеры снаряда

Плечо опрокидывающего момента:

$$h = \frac{V - A_{\text{Д}} l_{\text{Ц}}}{d^2}$$

Здесь V - объем пули; $A_{\text{Д}}$- площадь дна пули; $l_{\text{Ц}}$ - расстояние от дна до центра тяжести пули.

Демпфирующий момент зависит от угловой скорости поворота снаряда в направлениях перпендикулярных вектору скорости снаряда и от его длины:

$$M_D = dl^2 \cdot 1000 \cdot \Delta(y) \frac{\rho_0}{\rho_0^{\text{ст}}} v K_D \left(\frac{v}{a}\right) \dot{\delta}_{yz}$$

Здесь $K_D\left(\frac{v}{a}\right) \approx (0{,}60 \div 0{,}85) \cdot 10^{-4}$ - коэффициент влияние углового поворота снаряда; $\dot{\delta}_{yz}$ - угловая скорость вращения вокруг осей перпендикулярных скорости движения снаряда.

Момент поверхностного трения определяется длиной снаряда и серостью его вращения относительно продольной оси ω:

$$M_\Gamma = d^2 l \cdot 1000 \cdot \Delta(y) \frac{\rho_0}{\rho_0^{\text{ст}}} v K_\Gamma \left(\frac{v}{a}\right) \omega$$

Здесь $K_\Gamma \left(\frac{v}{a}\right) \approx 2 \cdot 10^{-5}$ - коэффициент затрат на трение вращающегося корпуса снаряда; ω- угловая скорость вращения снаряда относительно продольной оси.

Сила лобового сопротивления:

$$R_T = id^2 \cdot 1000 \cdot \Delta(y) \frac{\rho_0}{\rho_0^{\text{ст}}} v^2 K_T \left(\frac{v}{a}\right) (1 + \alpha_T \delta^2)$$

Здесь i- коэффициент формы пули; $K_T \left(\frac{v}{a}\right)$ - опытный коэффициент; $\alpha_\text{Т}$ - опытный коэффициент учитывающий влияние угла нутации на лобовое сопротивление.

Подъемная сила:

$$R_N = d \cdot l \cdot 1000 \cdot \Delta(y) \frac{\rho_0}{\rho_0^{\text{ст}}} v^2 K_N \left(\frac{v}{a}\right) \delta (1 + \alpha_N \delta^2)$$

Здесь l - длина пули; $K_N \left(\frac{v}{a}\right)$и α_N - опытные функции.

Система уравнений Эйлера, для условий, когда на вращение снаряда действует только прокидывающий момент:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}(\omega + \dot{\nu} \cdot cos(\delta)) = 0 \\ \dfrac{d}{dt}[J_A(\omega + \dot{\nu} \cdot cos(\delta)) cos(\delta) + J_B \dot{\nu} \cdot sin^2(\delta)] = 0 \\ J_B \cdot \ddot{\delta} + J_A(\omega + \dot{\nu} \cdot cos(\delta)) \dot{\nu} \cdot sin(\delta) - J_B \dot{\nu}^2 \cdot sin^2(\delta) cos(\delta) = M \end{cases}$$

Здесь $\dot{\nu}$ - скорость прецессии; J_A - полярный момент инерции снаряда; J_B - экваториальный момент инерции снаряда; $\ddot{\delta}$- вторая производная угла нутации по времени *t*.

Для устойчивых снарядов выполнятся условие $\sigma > 0$. Зависимость, характеризующая изменение угла нутации устойчивого снаряда:

$$\delta = \frac{\dot{\delta}_0}{\alpha\sqrt{\sigma}} sin\left(\alpha\sqrt{\sigma} t\right)$$

Функция описывает колебательное движение с ограниченной амплитудой δ_max и периодом колебаний T_δ:

$$\delta_{max} = \frac{\dot{\delta}_0}{\alpha\sqrt{\sigma}}, \; T_\delta = \frac{\pi}{\alpha\sqrt{\sigma}}$$

Здесь $\dot{\delta}_0$ - начальная скорость нутации, появляется при несовпадении геометрической оси снаряда или оси динамического равновесия пули и оси канала ствола, рисунок 4.

Угловая скорость прецессии снаряда в канале ствола равна угловой скорости вращения относительно продольной оси $\dot{\nu} = \omega$.

В момент вылета из канала ствола начальная скорость нутации определится начальной скоростью вращения и углом ε - отклонением оси снаряда от оси канала ствола:

$$\dot{\delta}_0 = \omega_0 \varepsilon \cdot cos(\varepsilon) \approx \omega_0 \varepsilon$$

Отклонение оси снаряда от оси канала ствола преобразуется в начальный угол нутации $\delta_0 = \varepsilon$.

Начальная угловая скорость вращения относительно продольной оси:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{\eta d} v_0$$

Здесь η - шаг нарезов; v_0 - начальная скорость снаряда.

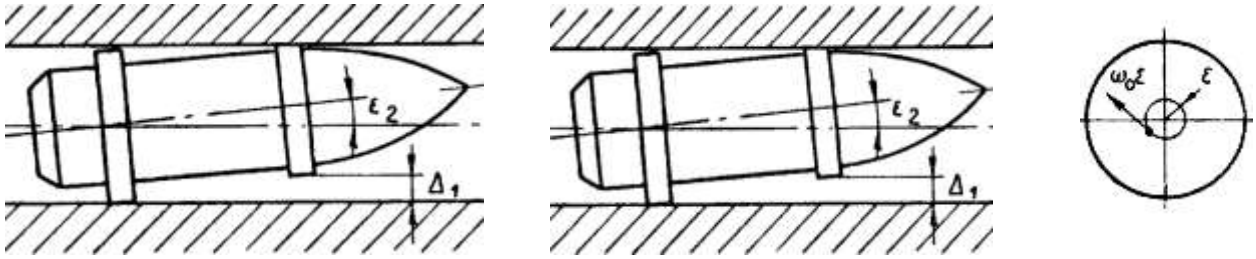


Рисунок 4 - Движение снаряда в кале ствола

Величина угла прецессии при постоянной скорости прецессии равной α определится $\nu = \nu_0 + \alpha t$. При переменной скорости прецессии интегрированием по времени полета.

Результаты и обсуждение

На рисунке 6 представлено нутационное движение пули, на рисунке 7 прецессионное движение. Анализ рисунков показывает, что при отсутствии начального угла нутации скорость прецессии постоянна, а нутационное движение носит периодический колебательный характер.

Данные рисунков 5 и 6 представлены для оболочечной пули охотничьего патрона 7,62х39. В расчетах дополнительно учтено снижение скорости полета снаряда за счет сил лобового сопротивления и уменьшение скорости вращения снаряда за счет потерь на трение. Изменение скоростей полета и вращения аппроксимировано функциями:

$$v = v_0 e^{-k_v t} \text{ и } \omega = \omega_0 e^{-k_v t}$$

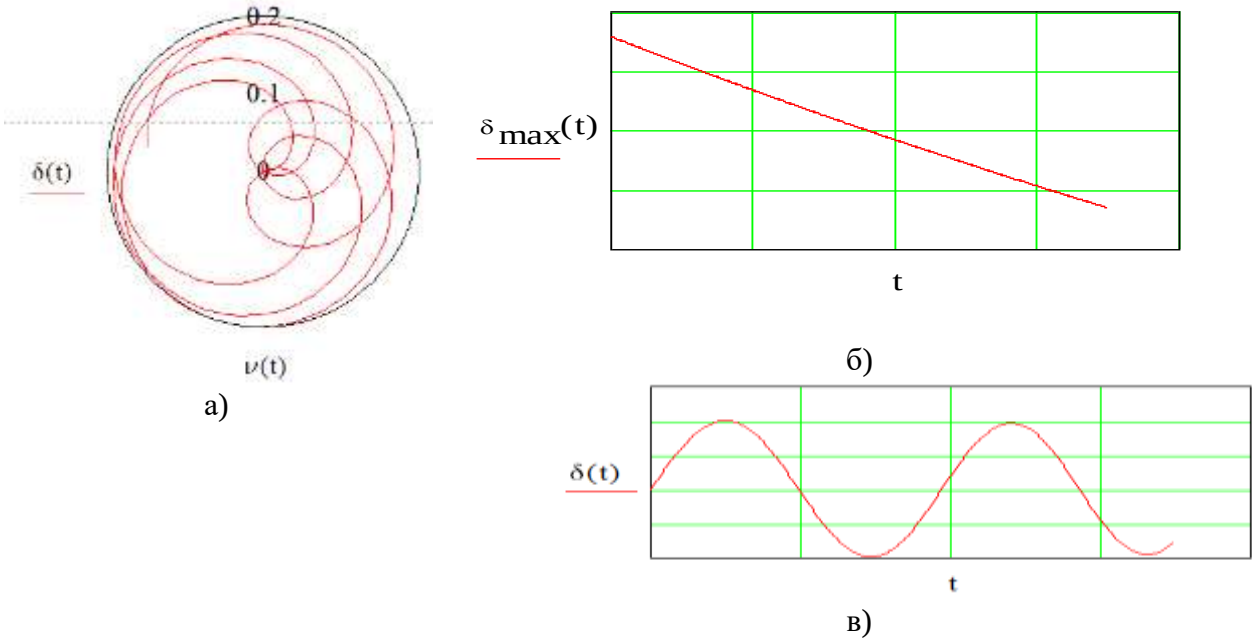
Здесь k_v - коэффициент снижения скорости, получался подбором известному закону изменения скорости на траектории;$k_v = 0{,}6$ - коэффициент уменьшения скорости вращения снаряда, принят по рекомендациям Чурбанова Е.В. При постоянной скорости полета и скорости вращения амплитуда угла нутации не уменьшается.

Наибольший угол нутации при малых углах бросания приближенно равен:

$$\delta_{MAX} = B_1 + B_2$$

Изменение угла нутации во времени:

$$\delta = \sqrt{{\delta_y}^2 + {\delta_z}^2}$$

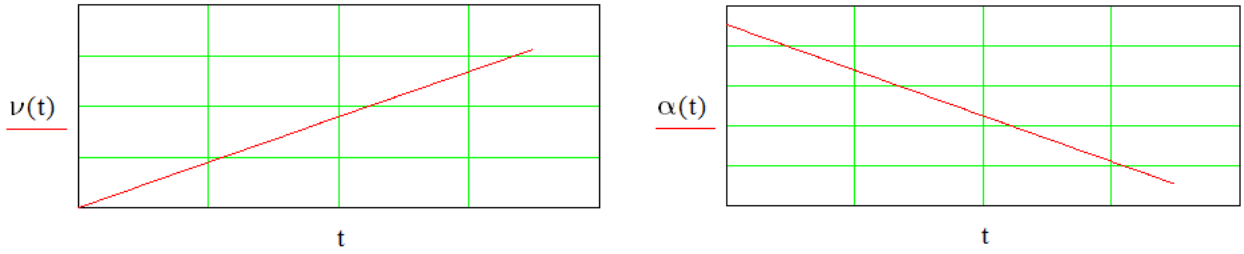


а)

б)

в)

а) Изменение угла нутации в полярных координатах
б) Изменение амплитуды угла нутации во времени
в) Изменение угла нутации во времени
Рисунок 5 - Нутационное движение пули



а) Угол прецессии от времени б) Скорость прецессии от времени

Рисунок 6 – Прецессионное движение пули

Характер вращательного движения оси пули иллюстрируется рисунком 7.

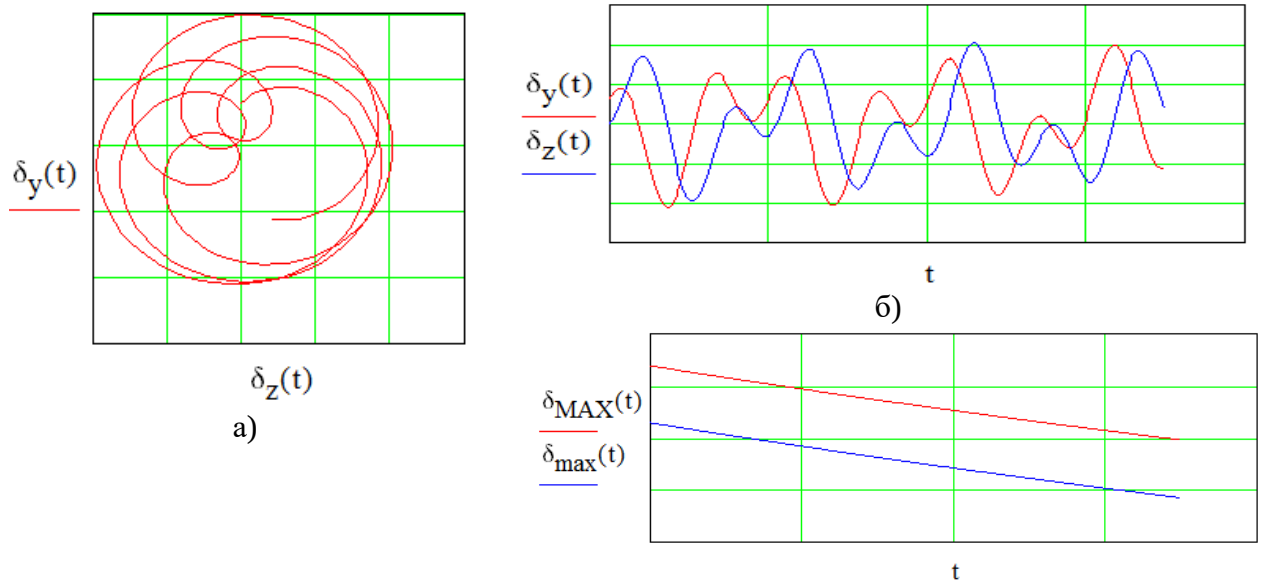
Как следует из рисунка 8, вращательное движение оси снаряда перестает быть колебательным, центр вращения не лежит на касательной к траектории, центр тяжести пули движется на некотором удалении от вектора скорости, угол нутации не обращается в ноль.

Как следует из рисунка 9, скорость прецессии при начальном угле нутации испытывает периодические, почти разрывные уменьшения скорости до отрицательных значений. Это делает график изменения угла прецессии зигзагообразным.

Сложное вращательное движение снаряда формирует разброс траекторий по дальности стрельбы, высоте траектории и боковом отклонении.

Понижение траектории боковое перемещение определяется силой тяжести и подъемной силой.

Влияние нутационно-прецессиионного движения на траекторию пули иллюстрируется рисунком 10.



а)

б)

в)

Рисунок 7 – Нутационное движение оси пули в координатах Крылова
а) Движение нутации в координатах Крылова
б) Вращательное движение относительно осей Y и Z
в) Амплитуды нутации при наличии начального угла нутации линия δ_{MAX}
и без начального угла нутации δ_{max}, по Эйлеру

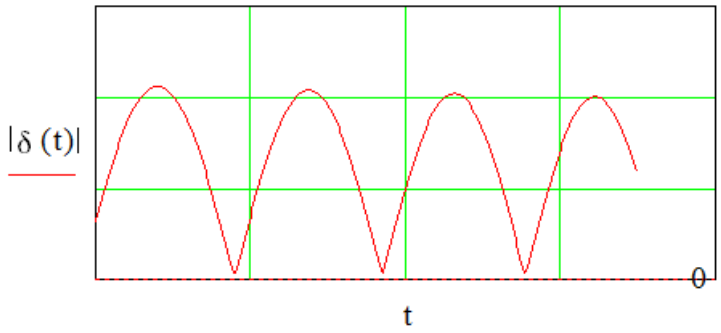


Рисунок 8 – Изменение модуля угла нутации во времени

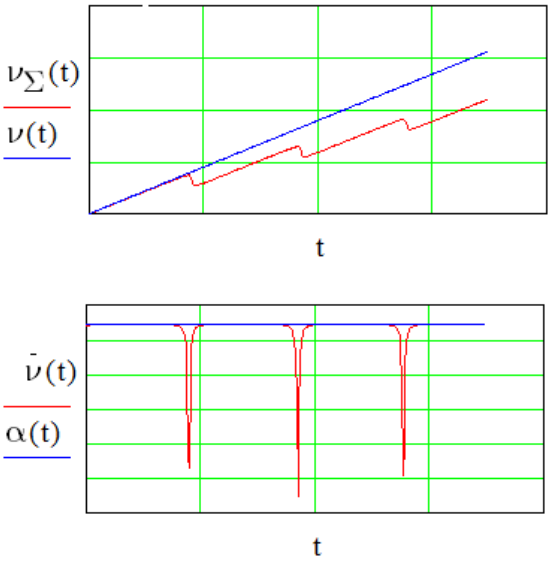


Рисунок 9 – Угол и скорость прецессии от времени полета, соответственно, ν_Σ и $\dot{\nu}$ с начальным углом нутации; ν и α без начального угла нутации.

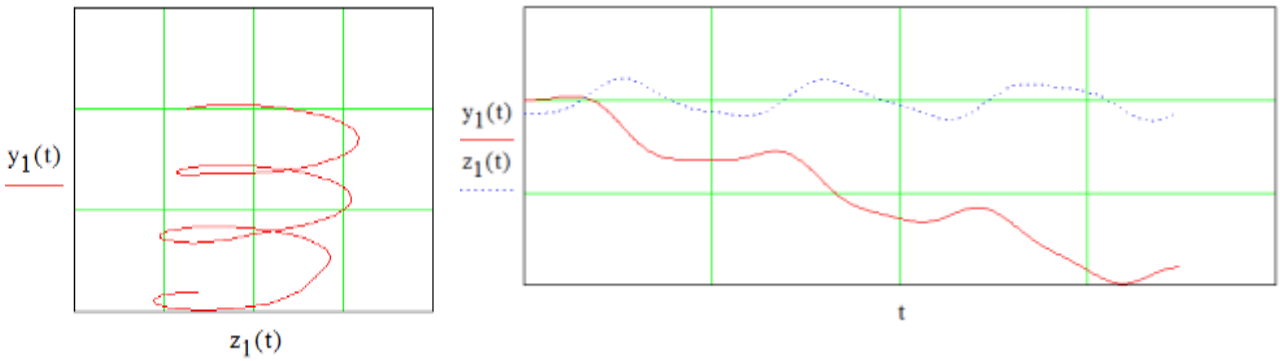


Рисунок 10 – Движение вращающейся пули с начальным углом и скоростью нутации
а) Понижение траектории и боковые перемещения относительно вектора скорости
б) Вертикальное боковое перемещение во времени

Как следует из данных рисунка 10, движение пули на траектории имеет сложный колебательный характер. Траектория понижается, но снижение идет по периодическому закону, с локальными подъемами. В боковом направлении движение тоже периодическое, пуля вращается вокруг вектора скорости с ограниченной амплитудой, при этом наблюдается смещение центральной оси вправо, в направлении основного вращательного движения пули.

Выводы

Таким образом, на рассеивание при стрельбе оказывают влияние как конструктивные характеристики боеприпаса, а именно положение центров тяжести и сопротивления воздуха, так и технологические погрешности его изготовления, а именно смещение центра тяжести снаряда относительно его продольной оси. Также на рассеивание влияют характеристики и свойства оружия, правильное положение пули в канале ствола, воздействие ствола на снаряд в момент его вылета. Наибольшее влияние на рассеивание оказывает положение центра тяжести пули, как по продольной оси боеприпаса, так и смещение его в боковом направлении.

Список литературы

1. Верещагин П.В., Беспалов Д.В. Разработка охотничьего патрона с улучшенными характеристиками 6,5 GRENDEL / Управление качеством образования, продукции и окружающей среды: материалы 9-й Всеросс. научно-практ. конф / под ред. д.т.н., профессора А.Г. Овчаренко. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. – 333с.-С. 100-102.

2. Верещагин П.В., Самарин Р.А. Исследование влияния баллистических и технологических факторов на рассеивание пуль стрелкового оружия/ Перспективы создания и применения конденсированных высокоэнергетических материалов: материалы докладов VI Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых. – Бийск: РОАК ОООП «Общероссийское литературное сообщество», – 2016. – С. 216–222.

INFLUENCE OF BALLISTIC AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DISPERSION OF BULLETS

Vereshchagin P.V. PhD (Engineering), Associate Professor,
Samarin R.A.Student

Vereshchagin P.V., Samarin R.A.

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
27 Trofimova st., Biysk, Altai region, 659305, Russian Federation

Abstract

In this study, the rotational motion of a bullet on a trajectory and its effect on the results of firing are considered. The accuracy and dissection of bullets during firing determines the effectiveness of the action of the cartridge on the target. The dispersion of bullets is influenced by a large number of factors. Ballistic factors, this is the pressure and momentum of gunpowder, the initial speed. Constructive characteristics are the shape of the head part, the weight, the position of the cent of gravity and the center of resistance of the bullet air. Technological manufacturing errors are the displacement of the center of gravity of the bullet with respect to the longitudinal and equatorial axes, the fluctuations in the mass of the bullet, the weight of the charge, and the bullet extraction force. The properties of the weapon, the correct position of the bullet in the barrel channel, the impact of the barrel on the projectile at the time of its launch. Methods, mathematical models and results of theoretical studies of the influence of structural features of bullets and instability of technological factors of manufacturing and assembling bullets of small arms on scattering and accuracy of fire are given in the article.

Keywords: Cartridge production technology, bullet manufacturing technology, bullet design, shooting dispersion.

УДК 620.113

ДИАГНОСТИКА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПОДХОДОВ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ

ВЕРЕЩАГИНА А.С.[1], канд.техн. наук, доцент
ВЕРЕЩАГИН В.Ю.[2], ст. преподаватель,
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия
[2]НГПУ, г., Новосибирск, Россия)

Верещагина А.С., Верещагин В.Ю.

Новосибирский государственный технический университет,
630073, Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20.
e-mail: vereshhagina@corp.nstu.ru
Новосибирский государственный педагогический университет
630126, Новосибирск, ул. Вилюйская, 28.
E-mail: klirickv@gmail.com

Аннотация

В работе рассматриваются пути повышения качества обработанной поверхности за счет диагностики состояния технологической системы резания. Эффективная система диагностики состояния технологической системы может быть разработана на основе теории нелинейной динамики. При проведении исследования установлены зависимости информационной энтропии и фрактальной размерности сигнала виброакустической эмиссии с аналогичными характеристиками профилограмм обработанной поверхности. Выявлена тесная корреляционная связь данных характеристик с шероховатостью обработанной поверхности.

Ключевые слова: шероховатость поверхности, виброакустическая эмиссия, информационная энтропия, фрактальная размерность

Введение

В современном производстве большая часть деталей сложной формы изготавливается преимущественно механической обработкой, при этом обеспечивается высокая точность, а также производительность.

Основными факторами, влияющими на выходные показатели процесса резания (точность обработки, качество обработанной поверхности), являются упругие деформации технологической системы, находящейся под силовым воздействием, влияющие на устойчивость процесса резания.

Одним из важных направлений повышения качества обработки при резании в автоматизированном производстве является диагностика его выходных параметров.

В настоящее время широкое использование средств вычислительной техники, применяемых в современном станочном оборудовании (станках с ЧПУ), позволяет управлять выходными параметрами процесса резании на основе фундаментальных подходов к устойчивости сложных систем [1, 2]. К числу фундаментальных подходов по исследованию устойчивости сложных систем относится теория синергетики и её направление нелинейная динамика.

Важным достоинством нелинейной динамики является то, что она позволяет проводить количественную оценку характера движения сложных систем в реальном времени, их организованность в фазовом пространстве по фрактальной размерности и информационной энтропии регулярных и хаотических аттракторов.

В этой связи, исследования взаимосвязи устойчивости процесса резания с выходными параметрами механообработки, диагностика и управление ими на основе нелинейной динамики является актуальной задачей в теории резания материалов [4].

Экспериментальные исследования

Хаотичность процесса резания напрямую влияет на качество обработанной поверхности, а значит, на этой зависимости может быть создана эффективная система диагностики технологической системы механообработки. На рис. 1. приведена схема такой системы, представленной в виде графа.

Достоверным методом определения значения шероховатости поверхности в настоящее время является измерение параметров профилометром по окончанию процесса механической обработки. Однако это неприемлемо для целей диагностики технологической системы. Для этой цели удобно использовать сигналы виброакустической эмиссии (ВАЭ), зафиксированные непосредственно в процессе механообработки (рис.1). В ходе экспериментальных исследований было доказано, что и по профилю обработанной поверхности, и по осциллограмме сигнала ВАЭ можно рассчитать показатели нелинейной динамики, такие как фрактальная размерность и информационная энтропия. Причем данные показатели обоих сигналов (профилограмма обработанной поверхности и осциллограмма ВАЭ) тесно коррелируют между собой. Следовательно, для целей диагностики состояния технологической системы можно пойти следующим путем: записать осциллограмму сигнала ВАЭ, рассчитать его показатели, оценить хаотичность динамики процесса резания, сделать предположение о шероховатости

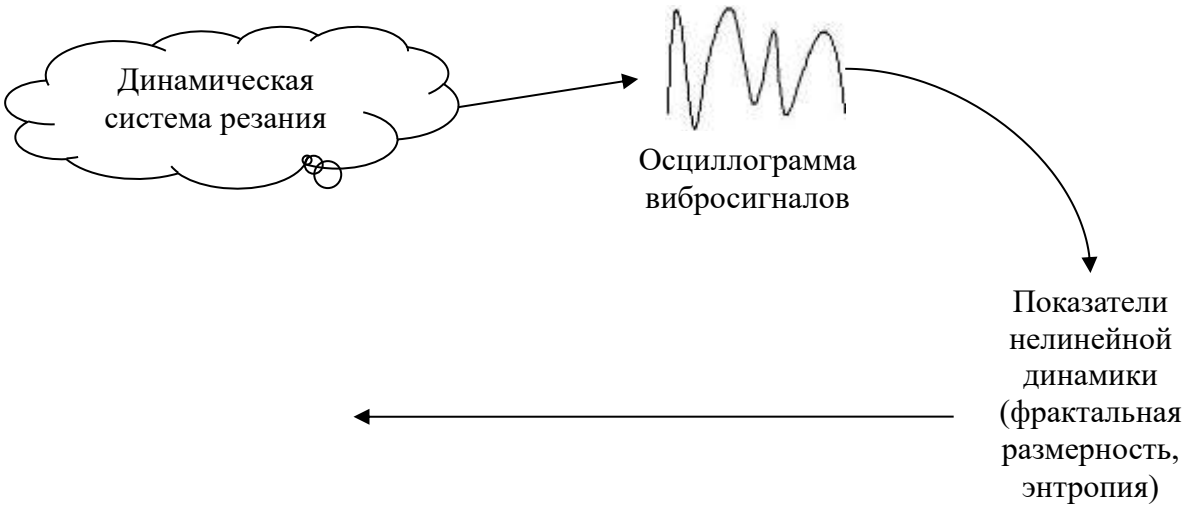


Рисунок 1–. Схема диагностики технологической системы механообработки

Для проведения экспериментальных исследований был создан стенд на основе станка 1К62. Стенд включает в себя: заготовку, закрепленную в центрах, резец, с закрепленными на нем датчиками (акселерометры) в двух взаимно перпендикулярных направлениях, усилитель высокочастотных сигналов, цифровой осциллограф, подключенный через интерфейс шины ISA к PCIBM.

Действие экспериментальной установки для снятия виброакустической эмиссии основано на излучении резцом в процессе точения заготовки высокочастотных колебаний, и преобразования возникающих при этом механических колебаний резца в изменение электрического сигнала, пропорционального этим колебаниям.

Результаты и обсуждение

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают наличие тесной корреляционной связи между числовыми значениями фрактальной размерности и информационной энтропии, вычисленных по профилограмме и осциллограмме.

Информационная энтропия определялась путем нахождения предела[3]:

$$H(X) = -\lim_{N\to\infty} \sum_{i}^{N} \frac{m_i}{M} \ln \frac{m_i}{M},$$

где N – количество участков квантования; m_i–количество точек, попавших в i-ый интервал.

Фрактальная размерность вычисляется по формуле:

$$D_0(X_i) = \lim_{\rho_{k_j}\to 0} \frac{\log P(X_i, \rho_{k_j})}{\log \rho_{k_j}},$$

где ρ_{k_j} - множество; X_i – точки i-го множества.

Коэффициент корреляции функций $R_a = f(V)$ и D_0 (ВАЭ)= $f(V)$ для стали У8 получился равным 0,991 (рис. 2), а для стали 45 – 0,846.

Коэффициент корреляции между информационной энтропией для стали 45 составляет 0,963, а для стали У8 – 0,868 (рис.3).

Зависимость фрактальной размерности и информационной энтропии сигнала ВАЭ от скорости обработки для стали 45 представлены на рис. 4, рис. 5.

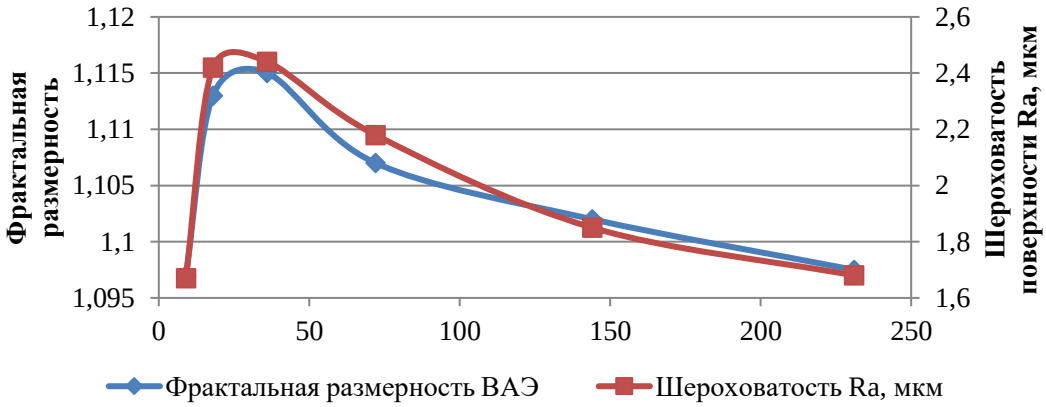


Рисунок 2–. Зависимость фрактальной размерности ВАЭ и шероховатости поверхности от скорости резания для стали У8, резец Т15К6, S = 0,11 мм/об

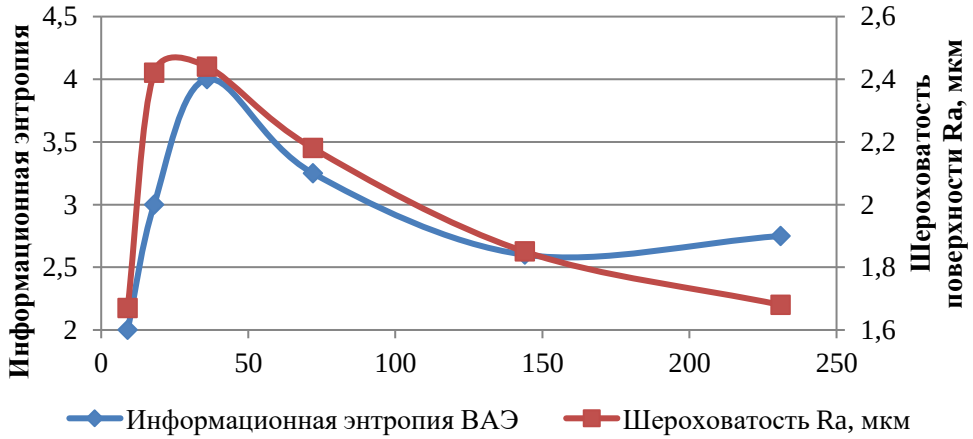


Рисунок 3–. Зависимость информационной энтропии ВАЭ и шероховатости поверхности от скорости резания для стали У8, резец Т15К6, s = 0,11 мм/об

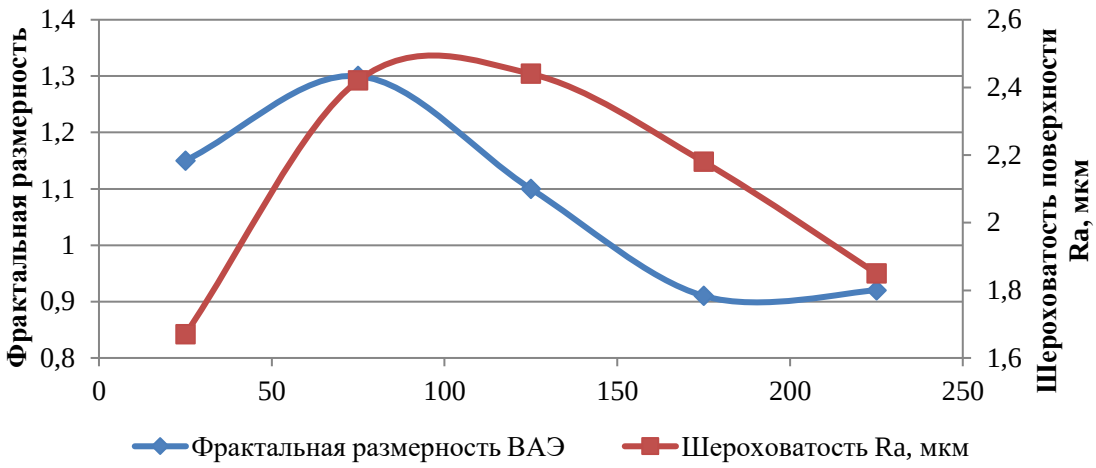


Рисунок 4 –. Зависимость фрактальной размерности сигнала ВАЭ и шероховатости поверхности от скорости резания для стали 45

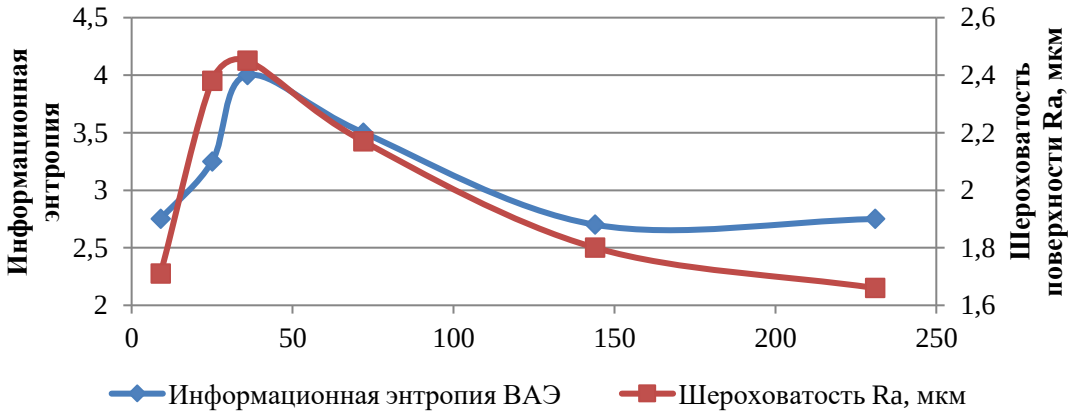


Рисунок 5–. Зависимость информационной энтропии сигнала ВАЭ и шероховатости поверхности от скорости резания для стали 45

Выводы

Выявлена тесная корреляция между шероховатостью поверхности, сигналами виброакустической эмиссии и информационными характеристиками формообразования. Поэтому параметры (D_0, H_1) могут служить диагностирующими признаками при оценке шероховатости поверхностного слоя в процессе резания. Установленная связь шероховатости с информационными характеристиками позволяет определить оптимальную скорость резания $V_{опт}$, где шероховатость R_a является минимальной

Список литературы

1. Верещагина А.С. Управление качеством обработанной поверхности на основе нелинейной динамики [Текст] / А.С. Верещагина, Е.Г. Кравченко, В.Ю. Верещагин // БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (25-26 сентября 2015 года) редкол.: Разумов М.С. (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск, 2015. 309–311 с.

2. Верещагина А.С. Диагностика и управление процессом завивания стружки при лезвийной обработке углеродистых сталей [Текст] / А.С. Верещагина, Е.Г. Кравченко, В.Ю. Верещагин // БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции (25-26 сентября 2015 года) редкол.: Разумов М.С. (отв. редактор); Юго-Западный гос. ун-т, Курск, 2015. 45–48 с.

3. Кабалдин Ю.Г. Фрактальный подход к оценке хаотической динамики в технологических системах обработки резанием / Ю.Г. Кабалдин, С.В. Серый, М.А. Сердцев // Нелинейная динамика, фракталы и нейронные сети в управлении технологическими системами // Сб. статей под ред. докт. техн. наук, проф. Кабалдина Ю.Г. – Владивосток: Дальнаука, 2001.- С. 161 – 164.

4. Кабалдин, Ю.Г. Синергетика. Управление процессами механообработки в автоматизированном производстве/ Ю.Г. Кабалдин, А.М. Шпилев. – Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комс.-на-Амуре гос. техн. ун-та, 1997. – 260 с.

SURFACE ROUGHNESS DIAGNOSTICS BASED ON NONLINEAR DYNAMICS APPROACHES

Vereshchagina A. S., PhD (Engineering), Associate Professor
VereschaginV.Yu.Senior Lecture

Vereshchagina A. S., VereschaginV.Yu

Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, K. Marks Avenue, 20.
Novosibirsk State Pedagogical University, 630126, Novosibirsk, Viluiskaya, 28.

Abstract

The paper considers ways to improve the quality of the treated surface by diagnosing the state of the technological cutting system. An effective system for diagnosing the state of a technological system can be developed on the basis of the theory of nonlinear dynamics. During the research, the dependencies of the information entropy and the fractal dimension of the vibro-acoustic emission signal with the analogous characteristics of the profilograms of the treated surface were established. A close correlation was found between these characteristics and the roughness of the treated surface.

Keywords: surface roughness, vibro-acoustic emission, information entropy, fractal dimension

УДК 617.57:62-2

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ПРОТЕЗ КИСТИ РУКИ НА ОСНОВЕ ГИДРОПРИВОДА

ГЛАДЫЩУК А.А.[1]магистрант
НЕКРАСОВ В.Н.[1], канд. техн. наук, доцент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Гладыщук А.А., Некрасов В.Н.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: alisa1289@yandex.ru
e-mail: sla44@mail.ru

Аннотация

Представлена принципиальная схема протеза кисти руки, позволяющая взаимодействовать с предметами и выполнять мелкую моторику. Рассмотрены составные элементы протеза, осуществляющие силовую подвижность кисти и пальцев. Приведены основные технические характеристики гидропривода.

Ключевые слова: протез, гидропривод, конструкция

Введение

Ежегодно на территории РФ более 8 000 людей нуждаются в протезировании в результате травм и врожденных патологий верхних конечностей. Одним из наиболее частых решений в данной ситуации является протезирование косметическим или тяговым протезом, которые не позволяют вернуть функции утраченной руки. Человек, утративший конечность, в обязательном порядке проходит медико-социальную экспертизу. Одновременно с установлением группы инвалидности для каждого разрабатывается программа социальной реабилитации. Реабилитация предполагает использование в первую очередь технических средств, способствующих возвращению человека к труду. Все протезы конечностей входят в обязательный перечень таких технических средств.

Существующие на рынке функциональные протезы, обладают высокой стоимостью и труднодоступны на территории РФ. Работа направлена на создание отечественного функционального протеза верхней конечности, отличающегося доступностью без потери качественных характеристик.

Описание теоретических исследований

В предлагаемой работе, решается несколько технических задач:

– разработать протез максимально похожий на человеческую руку: натуральный внешний вид; натуральные движения; низкий уровень шумов, создаваемых протезом;

– разработать следящего гидропривода малых размеров;

– создать простую и естественную систему управления.

Конструкция протеза предполагает совместную согласованную работу нескольких элементов расположенных в общем корпусе, имитирующем кисть руки. Ключевым элементом протеза является гидропривод, обеспечивающий подвижность кисти в целом и каждого пальца в отдельности. Для разрабатываемого протеза, выбран пластинчатый поворотный гидродвигатель (рис. 1). Конструкция двигателя хорошо согласуется с естественными движениями руки и пальцев, обеспечивая их сгибание и разгибание.

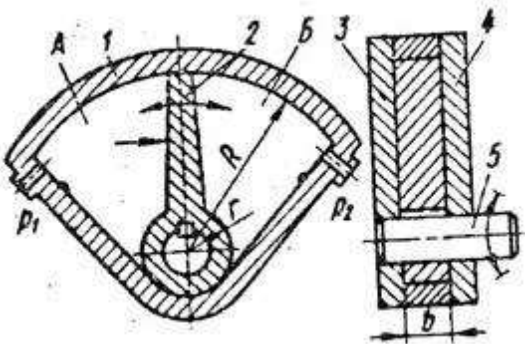
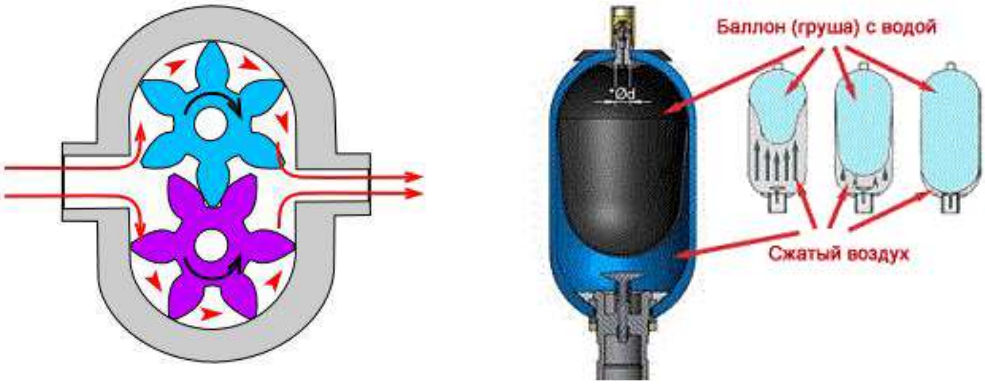


Рисунок 1 – Гидродвигатель для протеза руки.

Гидродвигатель состоит из корпуса 1, пластины 2, вала 5, и боковых крышек 3 и 4. пластина жестко соединена с валом; пластина делит гидродвигатель на две камеры, образованные рабочими поверхностями боковых крышек и пластины. Привод работает следующим образом: при подводе жидкости в камеру А пластина 2 с валом 5 поворачивается по часовой стрелке под действием создаваемого крутящего момента. Одновременно с поворотом пластина вытесняет рабочую жидкость из камеры Б в сливную линию. При подводе рабочей жидкости в камеру Б пластина и вал поворачиваются против стрелки.

Протез оснащен электронной платой управления, создающей управляющие сигналы и принимающей сигналы обратной связи. Распределение гидравлического давления обеспечивается золотниковой системой клапанов, управляемых платой. Давление в системе создается и поддерживается с помощью шестеренчатого насоса (рис. 2а) и гидроаккумулятора (рис. 2б). Насос обладает компактными размерами и способен развивать высокое давление. Использование гидроаккумулятора даёт ряд преимуществ: снижение потребления энергии до 50 %, питание системы при аварийном отключении, уравновешивание сил и нагрузок, гашение гидроударов, увеличение срока службы насоса. Питание элементов протеза выполняет электрический аккумулятор, снабжающий постоянным током энергопотребители.



а) б)

Рисунок 2 – Элементы для создания и поддержания давления в гидравлической магистрали: а – шестеренчатый насос; б – гидроаккумулятор.

Поворотный гидродвигатель устанавливается на плату управления с потенциометром для определения угла наклона пластины гидродвигателя. Плата управления подаёт сигнал на шаговый электродвигатель, который перемещая золотниковый гидрораспределитель создает избыточное давление в камере гидродвигателя, тем самым перемещая пластину. При достижении заданного угла, на электродвигатель поступает управляющий сигнал для перемещения золотника в нейтральное положения, перерывая поступление жидкости в камеры поворотного гидродвигателя.

В нижней части кисти устанавливается шестеренчатый гидронасос (рис. 3) производительностью 30л/ч. и создающий давление жидкости 15-20 бар. В средней части установлен гидроаккумулятор, при снижении давления в котором, происходит нагнетание жидкости насосом. Гидроаккумулятор имеет объем около 0.025л, достаточный для выполнения

полной работы 10 гидроприводам. Из гидроаккумулятора жидкость поступает в гидропривод передающий крутящий момент на шестерни подвижных частей протеза. После гидропривода жидкость поступает в резервуар.

Для изготовления протеза используются современные технологии 3D-печати и металлообработки. В конструкции протеза должны быть установлены надежные двигатели и датчики ведущих производителей. Приемная гильза для протеза должна изготавливаться индивидуально под травму пользователя. Сильная сторона такого механизма — возможность контролировать усилие. При выполнении хвата пользователь сам определяет силу сжатия, скорость и может почувствовать сопротивление, когда кисть/крюк упирается в предмет и не может продолжать сдавливание. При длительной практике ношения, пользователи демонстрируют возможности манипуляции различными предметами — могут писать, пользоваться ножом и вилкой, играть в теннис, зажигать спички, переносить груз и т.п.

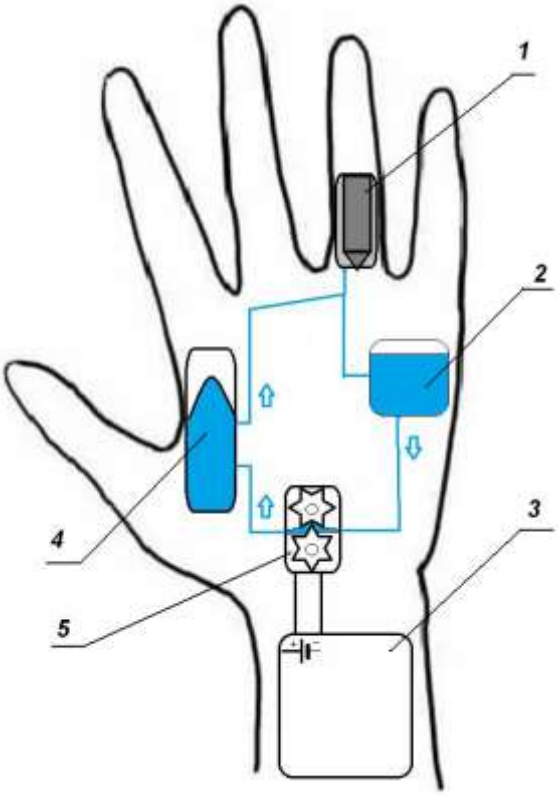


Рисунок 3 – Конструкция протеза кисти руки. 1 – гидродвигатель с платой управления; 2 – резервуар с рабочей жидкостью; 3 – аккумулятор; 4 – гидроаккумулятор; 5 – насос.

У разработанной конструкции протеза можно выделить ряд преимуществ:

– высокая удельная мощность гидропривода. Данный параметр у гидравлических приводов в 3...5 раз выше, чем у электрических;

– относительно просто обеспечивается возможность бесступенчатого регулирования скорости выходного звена гидропривода;

– высокое быстродействие гидропривода. Момент инерции гидромоторав 5... 10 раз меньше соответствующего момента инерции электродвигателя;

– высокий коэффициент усиления гидроусилителей по мощности;

– сравнительная простота осуществления технологических операций, а также возможность простого и надежного предохранения элементов гидропривода от перегрузок;

– гидропривод во время работы не создаёт паразитных вибраций, а так же достаточно бесшумен.

Выводы

У предлагаемой конструкции протеза нет прямых аналогов, а косвенными можно считать бионические протезы как зарубежных, так и отечественных производителей. Их объединяет главный недостаток: большие вибрации (а, следовательно, шумы), малая грузоподъемность и высокая стоимость. Существуют протезы с невысокой ценой, но поскольку они работают от импульсов, поступающих из мозга, вживить чип остаётся дорогостоящей операцией.

Разрабатываемые гидроприводы при своих размерах 15х20х10 мм, могут создавать усилия 30 кг/кв.см. В имеющихся аналогах протеза применяются электрические сервоприводы, которые при схожих размерах создают усилия до 4 кг/кв.см. Также применение данной технологии позволит увеличить время автономной работы до трёх суток, в то время как действующие аналоги –до одних суток.

Список литературы

1. Ашкенази А.И. Хирургия кистевого сустава- М.: Медицина 1990.

2. Травматология и ортопедия. Руководство./ Под редакцией Ю.Г Шапошникова. М.: Медицина 1997. Т-I-II-III.

3. http://forefoot.ru/press/news/zhurnal-sovremennaja-travmatologija/

4. http://www.cito-vestnik.ru/jour

ROBOTIC ARM PROSTHESIS ON THE BASIS OF A HYDRAULIC ACTUATOR

Gladychuk A.A., Graduate student
Nekrasov V.N., PhD (Engineering), Associate Professor

Gladychuk A.A., Nekrasov V.N.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

The basic scheme of the prosthesis of the hand is presented, allowing to interact with objects and perform fine motor skills. The composite elements of the prosthesis, which exercise the power mobility of the hand and fingers, are considered. The main technical characteristics of the hydraulic drive are given.

Keywords: prosthesis, hydraulic drive, construction

УДК 621.9.08

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СТАЛИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА

КОМАРОВ Д.А.[1] магистрант
НЕКРАСОВ В.Н.[1] канд. техн. наук, доцент
ЧЕРДАНЦЕВ А.О.[1] аспирант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Комаров Д.А., Некрасов В.Н., Черданцев А.О.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: komapob.den@mail.ru
e-mail: sla44@mail.ru
e-mail: hypertigr@mail.ru@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты исследования в области автоматизации контроля качества рондолей в процессе производства из стали специального назначения. Разработана методика выявления дефектов на поверхности рондоли позволяющая автоматизировано принять решение о годности заготовки на основе цифрового изображения. Разработано программное обеспечение реализующее методику и генерирующее управляющие команды для механизмов, отделяющих брак от годных заготовок. Предложено устройство контроля качества рондолей и исключения из потока брака.

Ключевые слова: автоматизация, оптический контроль, методика, программное обеспечение

Введение

В связи с ростом номенклатуры изделий предприятие нуждается в большом объеме поставляемых материалов. Поэтому отсутствует возможность контроля материала в 100% количестве. При входном контроле нет возможности провести сплошной контроль в связи с большим объемом. Поэтому в основном металл с дефектом выявляют в цехах, уже на этапе производства. В 2017 году было забраковано порядка 43 тонн металла. В 2018 году уже за 2 месяце было выявлено около 39 тонн материала с дефектами. В связи с этим идет претензионная работа с изготовителем, которая может затянуться более чем на год.

Автоматизированный контроль заготовок позволит уменьшить количество брака в готовом изделии.

В связи с этим, целью работы является сокращение количества брака в готовом изделии. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ видов видимых дефектов заготовки в виде рондоли;
2. Разработать методику выявления видимых дефектов на основе графического анализа изображения заготовки;
3. Разработать алгоритмическое и программное обеспечение оценки заготовки на наличие дефектов.
4. Спроектировать аппаратно-программный комплекс определения и отсечения брака

Дефекты, встречающиеся на поверхности заготовок, могут иметь различный характер и причины возникновения. Условно их можно разделить на 3 основные группы:

Расслоение металла (Рис 1). Причиной данного дефекта является появление пор в месте кристаллизации вследствие нарушения технологии при производстве стали. Также к причинам

возникновения дефекта можно отнести недостаточно удаленную усадочную раковину, газовые пузыри, высокую окисленность металла и его загрязненность различными неметаллическими включениями. Расслоение может быть обнаружено лишь при дальнейшей обработки либо ультразвуковым контролем. Расслоение повлияет на характеристики изделия в готовом виде. Стенки гильзы будут меньше допустимого.

Рисунок 1 – Расслоение металла на заготовке.

1 Вкатанные металлические частицы (Рис 2). Данный дефект наблюдается в меньшем количестве, чем расслоение, но также является недопустимым дефектом металла. На данном изображении (рис. 2) дефект является только визуальным и не повлияет на характеристики готового изделия.

Рисунок 2 – Вкатанные металлические частицы.

2 Отпечаток (рис. 3). Причиной данного дефекта является кусочек материала на прилипший к прокатному валу в процессе изготовления ленты на заводе изготовителе, который в последствии оставляет отпечаток на ленте. Отпечаток по государственным стандартам является допустимым в определенных пределах (т.е. глубина должна быть не больше ½ от предельного отклонения по толщине в нашем случае это 0.05мм.).

Так же данный дефект может повлиять на готовое изделие т.к. толщина стенки гильзы в месте отпечатка будет меньшей в последствии при выстреле может произойти прорыв газов.

В настоящее время на производстве практикуют следующие методы контроля заготовки, как правило в виде ленты:

1) На заводе изготовителе заготовки проводят ультразвуковой контроль, результатом являются протоколы, в которых указано место и расстояние с дефектом от края ленты. Затем уже на заводе потребителе в процессе работы с лентой счетчик считает расстояние от начала рулона. Рабочий, опираясь на протокол, переводит продукцию в соответствующую тару.

2) Работник с зеркалом, установленным под разматываемой лентой наблюдает за поверхностями ленты и в случае появления дефекта переводит поток в тару с браком. Данный метод на производстве является сложно выполнимым, поэтому существует возможность появления дефекта материала в готовой гильзе, а иногда и в патроне. Оба метода показывают

низкую надежность, зависят от человеческого фактора и допускают большое количество брака в изделии.

Рисунок 3 – Отпечаток

В работе предлагается автоматизировать контроль заготовок в виде рондоли. Контроль производится после операции фосфатирования, так как до этого процесса на ленте присутствует консервационная жидкость на основе масла, что может негативно повлиять на результат контроля заготовки. После фосфатирования поверхность рондоли становится чистой, что в последствии благоприятно сказывается на контроле. Само устройство (рис. 4) включает в себя цифровые фотокамеры 1,2, дополнительное освещение3,7, переворачивающий механизм, устройство для вывода рондолей с дефектом 4,9,8,5, транспортный механизм. Для анализа цифрового изображения, выявления дефектных зон и оценки качества рондолей, разработана методика, позволяющая автоматизировано принять решение о годности заготовки на основе цифрового изображения. На основе методики построен алгоритм и создано программное обеспечение.

Работает устройство следующим образом: под фотокамеру 1 транспортным устройством подается рондоль, камера фиксирует поверхность в виде изображения и передает на анализирующее устройство. С помощью программного обеспечения изображение преобразуется (рис. 5), монохромизируется, производится отсечение лишних данных, не попадающих в зону интереса. Затем производится расчет среднего значения яркости пикселей изображений. Рассчитывается дисперсия яркости пикселей из окрестности вокруг анализируемого пикселя. Далее производится нормализация значения дисперсии адекватного сопоставления данных. выявляются дефектные областей с дисперсией большей чем величина порога. После производится оценка годности заготовки по выявленным дефектным областям.

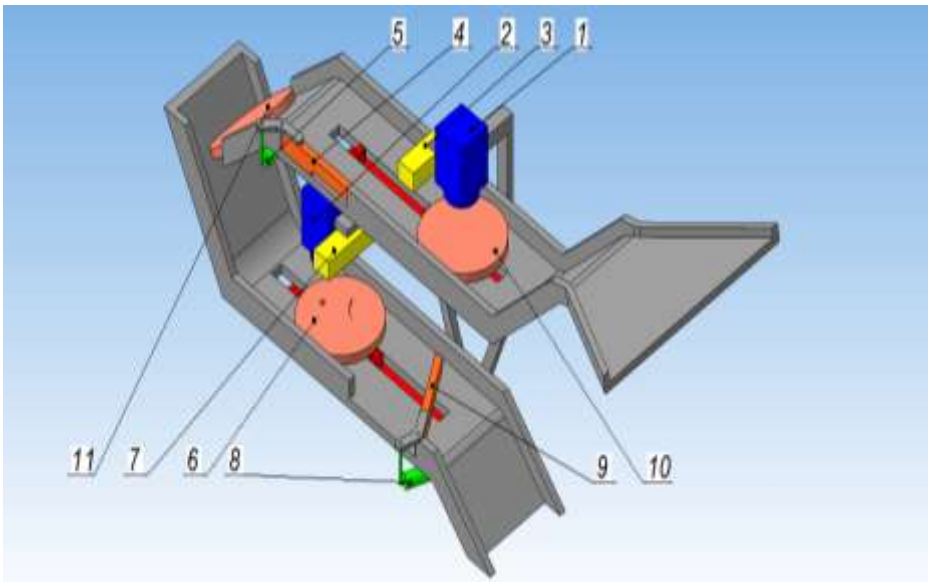


Рисунок 4 Устройство контроля качества заготовок.

После обработки изображения устройство принимает решение о пропуске рондоли на дальнейший контроль либо с помощью устройства вывода 4 вывести дефектную рондоль из потока. Далее заготовка переворачивается и направляется под фотокамеру 2 и проводятся те же операции с другой стороной рондоли. В случае соответствия рондоли качественной заготовки, она попадает в дальнейший производственный процесс.

а б в

Рисунок 5 – Преобразование изображения рондоли: а – исходное изображение рондоли; б – монохромизация; в – выявленные дефектные зоны.

Выводы

Выполненный анализ дефектов, встречающихся на поверхности рондолей позволил разработать методику оценки годности заготовок. Устройства определения дефектов на поверхности заготовки используемых на предприятии отличаются низкой точностью, производительностью и присутствием человеческого фактора. Разработанный программно-аппаратный комплекс определения и отсечения брака позволит снизить количество бракованных готовых изделий, исключить влияние человеческого фактора, выполнять контроль качества 100 % рондолей.

Список литературы

1. Справочник по технологии патронного производства: в 2 т. Т.2 / Под ред. Н.П. Агеева; Балт. гос. техн. ун-т. -СПб., 2011. — 345 с.

AUTOMATION OF QUALITY CONTROL OF TRAINING FROM THE STEEL OF SPECIAL PURPOSE IN THE PRODUCTION PROCESS

Komarov D.A., Graduate student
Nekrasov V.N., PhD (Engineering), Associate Professor
Cherdatsev A.O. Post-graduate student

Komarov D.A., Nekrasov V.N., Cherdatsev A.O.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

Results of research in the field of automation of quality control of rondols in the process of production from special steel are presented. A technique for detecting defects on the surface of the rondoli has been developed, which makes it possible to automatically decide on the suitability of the workpiece on the basis of a digital image. A software is developed that implements the methodology and generates control commands for the mechanisms separating the marriage from the suitable blanks. A device for controlling the quality of the rondolei of exclusion from the reject stream is proposed.

Keywords: automation, optical control, methodology, software.

УДК 621.9.042

АНАЛИЗ СИЛ И МОМЕНТОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЖЕКТОРНОЕ СВЕРЛО И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

МУРАДОВ Т.И.[1], магистрант,
ХОМЕНКО В.А.[1], докт. техн. наук, профессор,
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Мурадов Т.И., Хоменко В.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: timmur0@mail.ru

Аннотация

Сверление эжекторными сверлами, являясь одним из способов глубокого сверления, отличается от других его видов принципом подвода СОЖ и отвода стружки, а также конструкцией инструмента. Определяющим фактором при эжекторном сверлении является стабильность процесса резания и образования транспортабельной стружки, которые зависят от: формы и размеров стружколомающих элементов на передней поверхности режущих элементов сверлильной головки; режимов резания, скорости резания и подачи; скорости протекания СОЖ. Расчет сил и моментов, действующих на эжекторное сверло и его отдельные элементы, необходим для проектирования самого инструмента, правильного выбора станка и расчета его оснастки, а также для назначения оптимальных режимов резания.

Ключевые слова: сверление, эжекция, расчет сил.

Введение

Одной из наиболее важных и сложных в машиностроении является проблема обработки глубоких и точных отверстий. В этой связи все большее распространение получают прогрессивные методы глубокого сверления, основанные на внешнем подводе СОЖ и внутреннем отводе стружки, к которым относится эжекторное сверление. Основной особенностью этого метода является внутренний повод СОЖ, который осуществляется через зазор между трубчатым стеблем и вставленной в него тонкостенной трубкой, и внутренний отвод стружки за счет эффекта эжекции – всасывания во внутреннюю полость трубки путем создания разряжения. Большая жесткость стебля обеспечивает возможность высокопроизводительного сверления с большими подачами. Вместе с тем эжекторная система требует меньшего количества СОЖ и более низкого давления, что позволяет работать без громоздких маслоприемников и емкостей.

Эжекторное сверление повышает производительность в 2...3 раза по сравнению со сверлением спиральными сверлами, обеспечивая при этом несомненно меньшие уводы (до 0,1 мм на метр). Оно обеспечивает более высокую точность, позволяет отказаться от последующих переходов по обработке отверстия. По имеющимся данным [1-6], эжекторное сверление может обеспечить следующие параметры:

точность выполнения диаметра — H10 (и точнее);

параметр шероховатости поверхности Ra< 2,5 мкм (по стали);

увод оси на 100 мм глубины сверления, мм — 0,01... 0,051 при S = 0,15...0,25 мм/об, V = 100 м/мин;

производительность, мм/мин — до 300.

Успешность применения эжекторного сверления в значительной степени зависит от его конструкции и централизованного снабжения потребителей комплектом эжекторного инструмента [7].

Целью работы является исследование сил и моментов, действующих на эжекторное сверло и его элементы.

Задачи необходимые для достижения поставленной цели:

1 Рассмотрение схемы сил, действующих на рабочую часть эжекторного инструмента;

2 Аналитическими методами произвести расчет сил резания и крутящих моментов, действующих на эжекторное сверло и его элементы.

Теория и методы

Определение величин сил, действующих на каждый из режущих и направляющих элементов сверлильной головки, необходимо для расчетов эжекторного сверла на прочность, жесткость и устойчивость. Для рассмотрения принята базовая конструкция трехрезцовой сверлильной головки (рисунок 1).

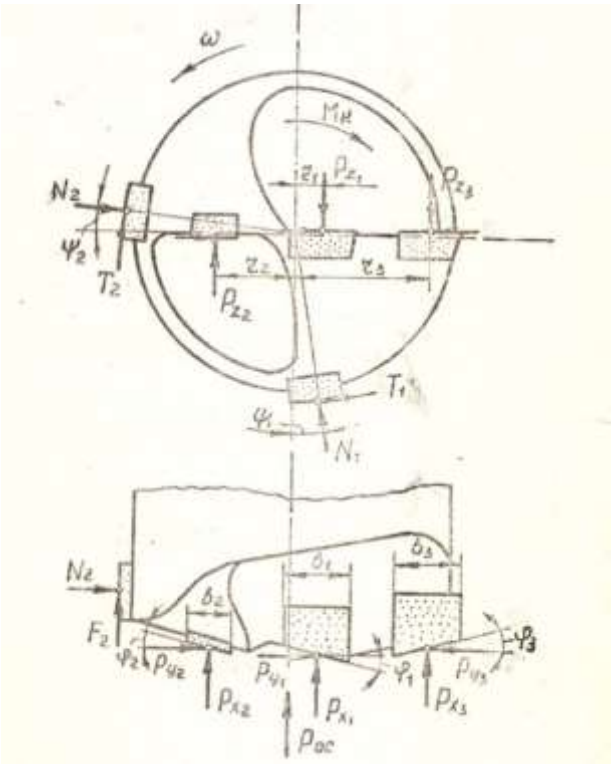


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на рабочую часть эжекторного сверла

На рабочую часть трех резцового эжекторного сверла, действует система сил (рисунок 1), включающая: осевые: P_{x1}, P_{x2}, P_{x3};радиальные: P_{y1}, P_{y2}, P_{y3} и тангенциальные: P_{z1}, P_{z2}, P_{z3}; составляющие сил резания на режущих элементах: осевые: F_1, F_2; тангенциальные T_1, T_2 и нормальные N_1, N_2; составляющие реакций опор на базовых направляющих, а также крутящий момент M_kи осевая сила P_{oc}на стебле.

Данная система сил является лишь частью более сложной пространственной схемы сил и моментов, действующих на пространственную систему «инструмент - стебель», эта общая схема дополнительно включает реакции опор Хи Y, величина и расположение которых определяется способом закрепления стебля. Согласно правилам механики, для рассматриваемой пространственной схемы, можно составить шесть уравнений равновесия статики. Однако, как показали специальные исследования [8], влияние реакций стебля на загрузку базовой направляющей при относительно малом диаметре инструмента сравнительно невелико и в практических расчетах может не учитываться. Поэтому в целях упрощения

расчетов в дальнейшем используются лишь четыре уравнения (1.1, 1.2, 1.3, 1.4), в которых реакция в закреплении стебля не учитывается (X=Y=0).

$$\sum Pxi = 0; Px1 + Px2 + Px3 + F1 + F2 - Poc = 0; (1.1)$$

$$\sum Pyi = 0; Py1 + Py2 - Py3 - N1\sin\psi 1 + T1\cos\psi 1 + N2\cos\psi 2 + T2\sin\psi 2 = 0; (1.2)$$

$$\sum Pzi = 0; -Pz1 + Pz2 - Pz3 + N1\cos\psi 1 - T1\sin\psi 1 - N2\sin\psi 2 + T2\cos\psi 2 = 0; (1.3)$$

$$\sum Mx = 0; Pz1 * r1 + Pz2 * r2 + Pz3 * r3 + T1 * \frac{D}{2} + T2 * \frac{D}{2} - Mk = 0; (1.4)$$

Из решения системы уравнений 1.2 и 1.3 получены следующие зависимости для расчета нормальных сил на базовых направляющих.

$$N1 = \frac{Pz(\cos\psi 2 + \mu\sin\psi 2) + Py(\sin\psi 2 - \mu\cos\psi 2)}{\cos(\psi 1 + \psi 2)} (1.5)$$

$$N2 = \frac{Pz(\sin\psi 1 + \mu\cos\psi 1) + Py(\cos\psi 1 - \mu\sin\psi 1)}{\cos(\psi 1 + \psi 2)} (1.6)$$

Из уравнения 1.1 получена зависимость для расчета осевой силы, нагружающей инструмент и стебель

$$Poc = Px1 + Px2 + Px3 + F1 + F2. \quad (1.7)$$

Как видно из полученного выражения, величина осевой силы представляет сумму осевых составляющих сил резания и сил трения направляющих. Представляя значения осевых составляющих сил трения направляющих $F1 = \mu_{F1}N1$ и $F2 = \mu_{F2}N2$ и полагая $\mu_{F1} = \mu_{F2} = \mu_F$, получаем

$$Poc = Px1 + Px2 + Px3 + \mu_F(N1 + N2). \quad (1.8)$$

Из уравнения 1.4 получена зависимость для расчета крутящего момента, нагружающего инструмент и стебель,

$$Mk = Pz1 * r1 + Pz2 * r2 + Pz3 * r3 + \frac{D}{2}(T1 + T2). \quad (1.9)$$

Подставляя значения тангегнциальных составляющих сил трения направляющих $T1 = \mu_{T1}N1$и $T2 = \mu_{T2}N2$и полагая, что $\mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_T$, получим

$$Mk = Pz1 * r1 + Pz2 * r2 + Pz3 * r3 + \frac{D}{2}\mu_T(N1 + N2). \quad (1.10)$$

Результаты и обсуждения

Как видно из полученного уравнения, крутящий момент, как и осевая сила, представляет сумму двух групп факторов, первая из которых определяется силами резания, а вторая силами трения направляющих элементов, что является основной особенностью инструментов одностороннего резания, к которым относятся эжекторные сверла.

Из рассмотренных формул следует, что трение направляющих существенно влияет на энерго – силовые параметры при сверлении эжекторными сверлами. Поэтому при их проектировании необходимо учитывать загрузку направляющих, которая определяется их угловым положением (Ψ) относительно режущих лезвий, а также соотношением между радиальной и тангенциальной составляющими силы резания (рисунок 1).

Выводы

При обработке отверстий инструментами одностороннего резания, к которым относятся и эжекторные сверла, может иметь место потеря ими устойчивости в плоскости, перпендикулярной оси. Потеря поперечной устойчивости выражается в отрыве одной из направляющих от своей базы (стенок отверстия), что приводит к врезанию периферийной режущей кромки в обрабатываемую поверхность и снижению качества обработки. Поэтому

при конструировании сверлильных головок необходимо производить расчет коэффициента устойчивости, равного отношению суммы моментов всех сил относительно направляющих, которые прижимают, к сумме моментов, которые отрывают одну из базовых направляющих от поверхности отверстия. Это отношение зависит от соотношения составляющих сил резания, а также взаимного расположения режущих и направляющих элементов, и должно быть больше единицы.

Список литературы

1. Уткин, Н. Ф. Обработка глубоких отверстий / Н. Ф. Уткин, Ю. И. Кижняев, С. К. Плужников [и др.] ; под общ.ред. Н. Ф. Уткина. — Л. : Машиностроение, Ленингр. от-ние, 1988. — 269 с.

2. Серебреницкий,П.П. Краткий справочник технолога машиностроителя/ П.П.Серебреницкий.— СПб.: Политехника, 2007.— 952с.

3. Кирсанов, С. В. Инструменты для обработки точных отверстий / С. В. Кирсанов, В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. И. Кокарев. — М. : Машиностроение, 2003. — 330 с.

4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, нормы износа и расхода инструмента для глубокого сверления и растачивания (сверлами одностороннего резания диаметром 3...30мм, сверлами одностороннего резания с внутренним и эжекторным отводом стружки диаметром 20...60 мм, расточными головками диаметром 50...125 мм) / НИИ информации по машиностроению. — М. : 1984. — 80 с.

5. Каталог фирмы ABSandvikCoromant. — 2011. — Режим доступа: http://www.sandvik.com.

6. Каталог фирмы Botek. — 2011. — Режим доступа: http://www. botek.de.

7. ЗвонцовИ.Ф., Серебреницкий П.П., Схиртладзе А.Г. Технологии сверления глубоких отверстий: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2013. — 496 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальнаялитература).

8. Дятчин Н.И. Исследование работы направляющих элементов инструментов одностороннего резания, применяющихся для обработки отверстий. Канд. дисс. Томск, 1980, 175 с.

INVESTIGATION OF ENERGY SUPPLY METHODS FOR REMOTE AND SPARSELY POPULATED SETTLEMENTS OF THE COUNTRY

Muradov T.I., Graduate student,
Homenko V.A., D.Sc. (Engineering), Professor

Muradov T.I., Homenko V.A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

Calculation of the forces and moments acting on the ejector drill and its individual elements is necessary for designing the tool itself, choosing the right machine and calculating its tooling, and for assigning optimal cutting conditions. Determination of the force values acting on each of the cutting and guiding elements of the drilling head is necessary for calculating the ejector drill for strength, rigidity and stability. For consideration, the basic design of a three-cut drill head. From the considered formulas it follows that the friction of the guides significantly affects the energy-power parameters when drilling with ejector drills. Therefore, when designing them, it is necessary to take into account the loading of the guides, which is determined by their angular position relative to the cutting blades, and also by the ratio between the radial and tangential components of the cutting force.

Keywords: drilling, ejection, calculation of forces.

УДК 621.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ КОЛЕСНЫХ ПАР С БУКСОВЫМИ УЗЛАМИ

ПАШКОВА Е. А.[1], студент
МОЗГОВОЙ Н. И.[1], канд. техн. наук, доцент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Пашкова Е.А., Мозговой Н.И.

658038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
e-mail.ru: nick_3@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты исследований сборки колесных пар с буксовыми узлами. Опыт сборки и эксплуатации буксовых узлов показал, что главной причиной выхода их из строя (отказа) является поочередное затягивание всех болтов торцевого крепления, что значительно замедляет процесс сборки буксового узла и приводит к неравномерному затягиванию болтов. Момент затяжки каждого болта должен находиться в пределах от 230,0 до 250,0 Н·м. В результате эксплуатации может происходить ослабление болтов и даже обламывание головок болтов. Внедрение 4-х шпиндельной системы завинчивания с активным контролем позволит снизить трудоемкость операции по сборке узлов, повысить производительность и при этом обеспечить равномерную затяжку болтов с контролируемым моментом.

Ключевые слова: колесная пара, буксовый узел, корпус буксы, торцевое крепление, болты, осевая нагрузка, момент затяжки, переналаживаемая 4-х шпиндельная система.

Введение

АО «Алтайвагон» является одним из крупнейших в России заводов по производству железнодорожного грузового подвижного состава.

Колесная пара является одной из главных частей вагона подвижного состава АО «Алтайвагон» [1]. Она направляет движение по рельсовому пути и воспринимает все нагрузки, передающиеся от вагона на рельсы и обратно. Колесная пара состоит из оси, двух колес, укрепленных на ней и двух буксовых узлов.

Буксовый узел – элемент колесной пары, предназначенный для передачи нагрузки от тележки, состоящий из корпуса буксы, соединенных между собой крепительной и смотровой крышками, подшипников, элементов торцевого крепления, уплотнений и смазки [2]. Торцевое крепление осуществляется тарельчатой шайбой, которую закрепляют четырьмя болтами М20 (рисунок 1).

Опыт сборки и эксплуатации буксовых узлов показал, что главными причинами выхода их из строя (отказа) являются допускаемые нарушения технологии при сборке элементов в буксовый узел. А именно, на предприятии осуществляется поочередное затягивание всех болтов торцевого крепления, что значительно замедляет процесс сборки буксового узла и приводит к неравномерному затягиванию болтов. В результате чего происходит неравномерное распределение осевой нагрузки на подшипник, что приводит к неправильной работе буксового узла и в последствии к выходу его из строя.

Цель исследования: обеспечение одновременного и равномерного момента затягивания болтов.

Задачи исследования:

1 Анализ условий сборки и процесса эксплуатации буксового узла.

2 Построение математической модели, учитывающей влияние неравномерного момента затяжки болтов на процент брака при эксплуатации.

3 Разработка и выбор технологической оснастки для равномерной затяжки болтов.

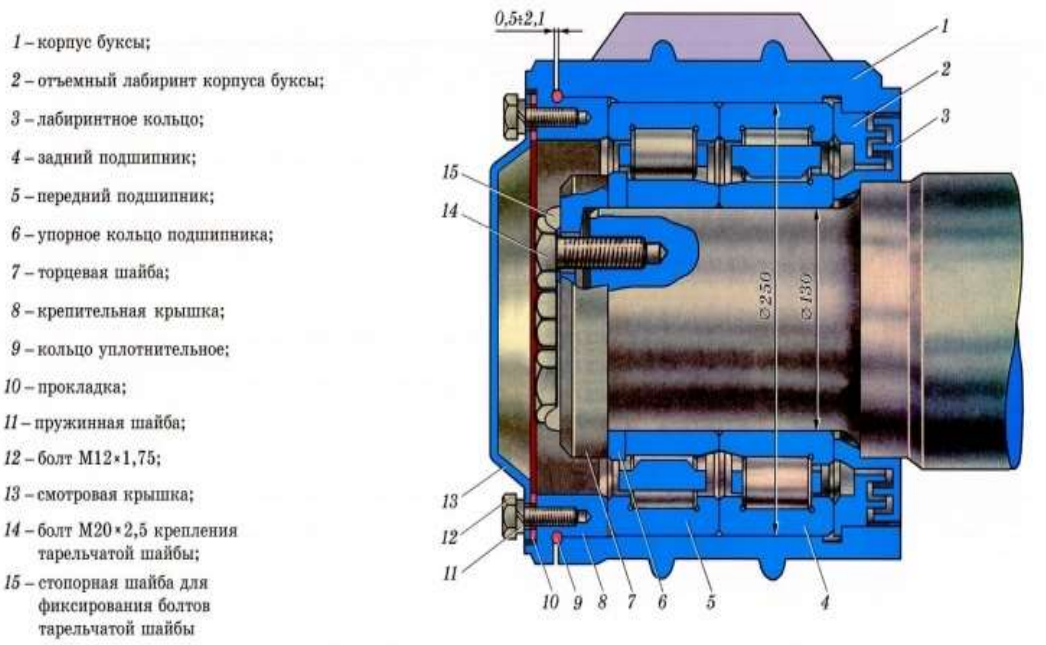


Рисунок 1 – Буксовый узел современного вагона

Описание теоретических исследований

Одним из ответственных моментов при сборке буксового узла является затягивание болтов торцевого крепления, которое должно быть равномерным, на заводе их закручивание производят пневмогайковертом, а итоговое затягивание осуществляют динамометрическим ключом по схеме 1-2-3-4-3-4-2-1. Одним из основных требований буксовых узлов по обеспечению технических условий (ТУ) является строгий контроль момента затяжки каждого болта, который должен находиться в пределах от 230,0 до 250,0 Н·м (от 23,4 до 25,5 кг·м). В случае несоответствия требованиям производится демонтаж болтового крепления буксовых узлов [3].

При нарушении схемы затяжки возможен перекос торцевого крепления, приводящий к неправильной работе подшипников, вызывающий нагрев буксового узла [4]. В результате эксплуатации может происходить ослабление болтов и даже обламывание головок болтов (рисунок 2).

Рисунок 2 – Излом головок болтов

Для предотвращения перекоса торцевого крепления необходимо внедрение одновременной автоматической затяжки всех болтов. Это обеспечит равномерную затяжку болтов с заданным усилием. Для этого рассчитаем действующую силу затяжки на один болт и рассмотрим влияние равномерного и неравномерного действия силы на подшипник.

Расчет осевого усиления затяжки болта

Момент сил в резьбе определяется по формуле [5]:

$$T_P = F_{зат}\frac{d_2}{2}tg(\psi + \varphi'), \quad (1)$$

T_P– преодолевающий момент сил в резьбе;

$F_{зат}$ – осевое усиление затяжки;

d_2 – средний диаметр резьбы;

ψ – угол подъема резьбы;

φ' – приведенный угол трения.

Момент находится в пределах от 230,0 до 250,0 Н·м (от 23,4 до 25,5 кг·м), выразим из формулы 1 осевое усиление затяжки:

$$F_{зат} = \frac{2T_P}{d_2 tg(\psi+\varphi')}, \quad (2)$$

$$\psi = \text{arctg}\frac{P}{\pi d_2}, \quad (3)$$

P – шаг резьбы;

$$\psi = \text{arctg}\frac{2{,}5}{\pi 18{,}376} = 2{,}479,$$

$$\varphi' = \text{arctg}\frac{f_p}{cos\frac{a}{2}}, \quad (4)$$

$f_p -$ коэффициент трения;

$a -$ угол профиля резьбы;

$$\varphi' = \text{arctg}\frac{0{,}15}{cos\frac{60}{2}} = 9{,}827,$$

$$F_{зат} = \frac{2 \cdot 250}{0{,}018376 \cdot tg(2{,}479 + 9{,}826)} = 125000\text{Н},$$

$$F_{зат} = \frac{2 \cdot 230}{0{,}018376 \cdot tg(2{,}479 + 9{,}826)} = 115000\text{Н}.$$

Для внедрения одновременной автоматической затяжки всех болтов построим 3D-модель (рисунок 3) в программе Autodesk Inventor Professional с приложением рассчитанных сил (рисунок 4-7).

Рисунок 3 – Колесная пара с буксовыми узлами

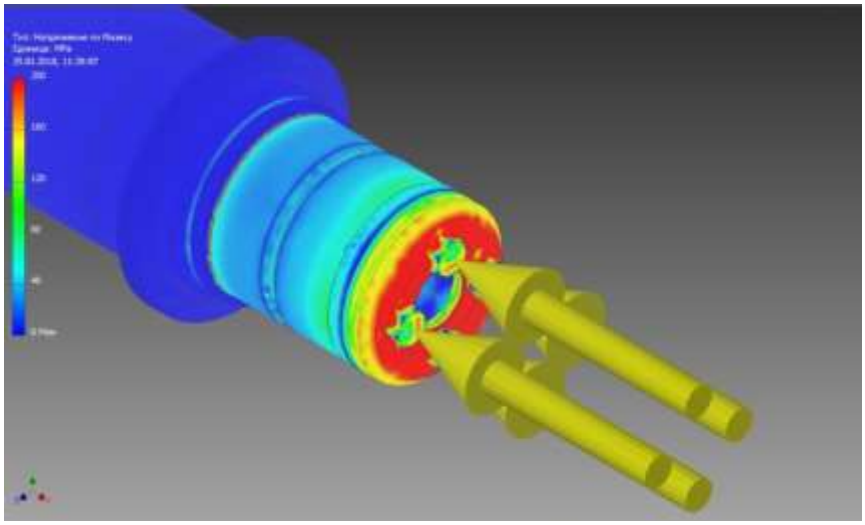


Рисунок 4 – Распределение напряжений при равномерной затяжке болтов

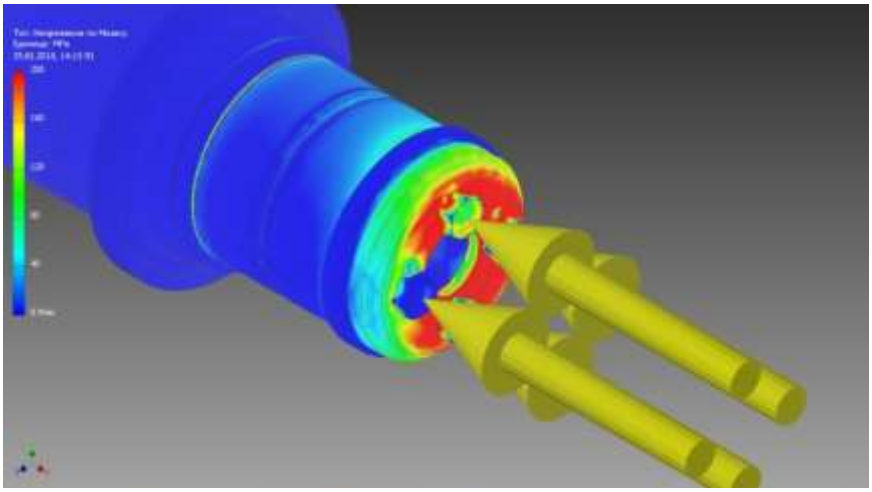


Рисунок 5 – Распределение напряжений при неравномерной затяжке болтов,
1 болт недозатянут

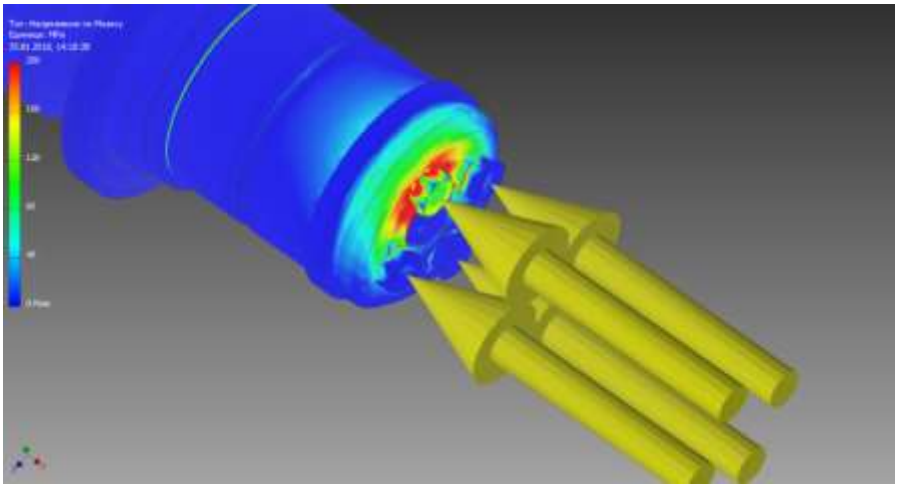


Рисунок 6 – Распределение напряжений при неравномерной затяжке болтов,
3 болта недозатянуты

Анализ полученных данных в программе Autodesk Inventor Professional подтверждает, что лишь равномерное затягивание болтов торцевого крепления обеспечивает долговечность узла и конструкции в целом. А при неравномерном затягивании болтов торцевого крепления происходит их ослабление. В следствии чего происходит перекос подшипников, который вызывает повышенный нагрев корпуса буксы. Это является признаком неправильной работы буксовых узлов, требующего отцепки вагона.

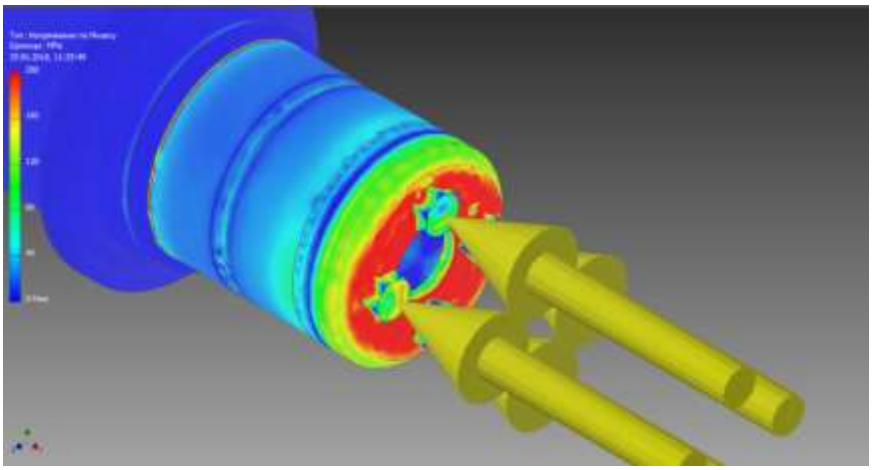


Рисунок 7 – Распределение напряжений при неравномерной затяжке болтов,
2 болта недозатянуты

Результаты и обсуждение

Проведенные расчеты и построенные с приложением сил 3D-модели позволили осуществить подбор оборудования, которое в дальнейшем будет использоваться для затяжки болтов. В качестве рекомендаций было предложено использовать четырехшпиндельную переналаживаемую систему завинчивания с активным контролем, которая обеспечивает одновременное затягивание 4 (или 3) болтов для крепления буксовых узлов колесных пар вагонов. При этом снижается трудоемкость операции по сборке узлов и повышается производительность и выполняется условие равномерной затяжки болтов с контролируемым моментом. Внедрение установки на производство позволит с экономить время и уменьшить количество рекламаций, которые включают в себя: стоимость ремонта, время простоя вагонов, зарплату и командировочные рекламационщиков.

Рисунок 8 – 4-х шпиндельный блок горизонтального исполнения

Описание системы:

Переналаживаемая 4-х шпиндельная система завинчивания с активным контролем представляет собой один шкаф управления с 4-мя контроллерами серии INSIGHT (рисунок 8), один 4-х шпиндельный блок горизонтального исполнения, пружинный балансир с грузовым блоком, систему подачи воздуха к пневмоприводу 4-х шпиндельного блока, рельсовую систему, соединительные кабели, компьютер для программирования контроллеров с комплектом программного обеспечения и комплект сопроводительной и рабочей документации.

С помощью простого функционально-блочного программирования контроллеров системы можно установить любую последовательность затяжки, менять скорость вращения, реверсировать, контролировать угол, момент и реализовать любой известный способ затяжки резьбовых соединений. Частота вращения шпинделей системы регулируется в широких пределах, что дает возможность производить навинчивание и предварительную затяжку с высокой частотой вращения, а окончательную затяжку с низкой частотой вращения. При это происходит минимизация погрешности, связанной с динамической составляющей момента затяжки. Система имеет защиту от короткого замыкания, по току, по напряжению, от перегрева электродвигателя, а основные сбои системы можно посмотреть на дисплее контроллера в виде кодов ошибок.

Вывод

Внедрение 4-х шпиндельной системы завинчивания с активным контролем на одном из крупнейших в России заводов по производству железнодорожного грузового подвижного состава АО «Алтайвагон» позволит снизить трудоемкость операции по сборке узлов, повысить производительность и при этом обеспечить равномерную затяжку болтов с контролируемым моментом.

Список литературы

1. Алтайвагон: [электронный ресурс]. Барнаул, 2001-2017. URL: http://altaivagon.ru/produkciya/vogonostroenie/krytye_vagony/11280.

2. Скиба И.Ф. Вагоны. 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1979. 303 с.

3. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм).

4. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрщику вагонов) ЦВ-ЦЛ-408.

5. Решетов Д.Н. Детали машин, М.: Машиностроение, 1989. 496 с.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF ASSEMBLY OF WHEELSETS WITH AXLE-BOX NODES

Pashkova E.A., Student,
Mozgovoy N.I., PhD (Engineering), Associate Professor

Pashkova E.A., Mozgovoy N.I.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

The results of studies of the Assembly of wheel pairs with axle boxes of the nodes. Experience in the Assembly and operation of axle-box assemblies showed that the main cause of their failure (refusal) is the alternate tightening all the bolts of the mechanical fasteners, which significantly slows down the process of Assembly of axle unit and leads to uneven tightening of bolts. The tightening torque of each bolt should be in the range of up to 250,0 - 230,0 Н·m. as a result of the operation may loosen the bolts and even the breaking of the bolt heads. The introduction of a 4-spindle screwing system with active control will reduce the complexity of Assembly operations, increase productivity and ensure uniform tightening of bolts with controlled torque.

Keywords:a pair of wheels, axle equipment, axle box housing, face mount, bolts, axial load, torque, adjustable 4 spindle.

УДК 621.9.02

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ В ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

ОВЧАРЕНКО А.Г. [1]*, докт. техн. наук, профессор*
РОМАШЕВ А.Н. [1]*, канд. техн. наук, доцент,*
СМИРНОВ В.В. [1]*, канд. техн. наук, доцент,*
ФИРСОВ А.М., [1] *канд. техн. наук, доцент,*
([1]БТИ АлтГТУ, г. Бийск, Россия)

Ромашев А.Н., Овчаренко А.Г., Смирнов В.В., Фирсов А.М.

659305, Алтайский край, г. Бийск, ул. Трофимова, 27,
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова»
e – mail: alniro@yandex.ru

Аннотация

Получение профиля фасонного резца, соответствующего проекции детали на плоскость передней поверхности резца, точность вычисления линейных размеров до 0,001 мкм и до 0,01” для угловых размеров обеспечивает использование САПР при проектировании фасонных резцов. Кроме того, позволяет оптимизировать некоторые этапы геометрических построений и исключить математические расчеты, что позволяет снизить вероятность появления ошибок. Сокращает сроки подготовки производства и дает возможность снизить себестоимость выпускаемой продукции.

Ключевые слова: профилирование фасонных резцов, узловые точки контура режущей кромки, коррекционный расчет.

Введение

Определение профиля фасонных резцов возможно графическим и аналитическим методами.

Графическое профилирование значительно проще и нагляднее аналитического. Основным средством определения профиля резца при использовании графического метода является расчетная схема, выполненная с высокой точностью. Основные размеры фасонного инструмента получаются путем измерения размеров на схеме и их последующего пересчета с учетом принятого масштаба. Основной недостаток графического метода проектирования заложен в его природе – точность результатов проектирования определяется точностью выполненных построений. Вместе с тем, при правильно выбранном масштабе изображения и тщательно выполненном построении графические методы построения в большинстве случаев обеспечивают достаточную для практики точность расчета. Увеличить точность построения можно за счет использования современных систем автоматизированного проектирования типа AUTOCAD, INVENTOR, КОМПАС и др. При использовании таковых следует реализовать определенный алгоритм проектирования, что и является отличительной особенностью, проявляющейся при автоматизации проектирования фасонных резцов и других сложнопрофильных режущих инструментов.

Алгоритм проектирования фасонных резцов:

1. Подготовка чертежа детали к проектированию инструмента.

На данном этапе, назначаются допуски на размеры (в случае если они не указаны на чертеже) и составляется расчетная схема детали (вычисляются, так называемые, серединные размеры). Так же определяется наличие дополнительного лезвия подрезки для снятия фаски и

облегчения работы отрезного резца. С учетом полученных данных строится твердотельная модель расчетной схемы детали.

2. Выбор инструмента.

В зависимости от требований, предъявляемых к детали и условий производства, выбирается тип фасонного резца: призматический, круглый. А также, тип заточки (имеется в виду наличие или отсутствие угла наклона режущей кромки λ).

3. Определение углов режущей части.

Определяются передний и задний углы, углы поднутрений (для обработки участков перпендикулярных оси вращения детали, если таковые имеются). Осуществляется проверка переменной величины заднего угла.

4. Определение габаритных и присоединительных размеров резца.

В зависимости от глубины фасонного профиля, исходя из условий обеспечения прочности и жесткости, определяются конструктивные размеры резца.

5. Коррекционный расчет профиля резца.

Коррекционный расчет направлен на то, чтобы получить требуемый профиль режущей кромки резца, который будет отличаться от профиля детали в ее осевом сечении из-за наличия переднего угла $\boldsymbol{\gamma}$ и угла боковой заточки (в случае если угол $\boldsymbol{\lambda \neq 0}$).

При использовании САПР коррекционный расчет профиля резца значительно упрощается. Достаточно использования методов начертательной геометрии (графический метод) для получения профиля резца с точностью до 0,001 мкм – для линейных и до 0,01” – для угловых размеров. Коррекционный расчет сводится к тому, чтобы в пространстве, в статической системе координат, определить положение плоскости передней поверхности резца и проекцию детали на данную плоскость, которая будет являться контуром режущей кромки фасонного резца.

Существенным отличием при проектировании круглых и призматических резцов является то, что круглый резец получается вращением профиля вокруг оси, отстоящей от основной плоскости через базовую точку или линию на величину $\boldsymbol{h}$ (высота подъема оси резца над осью вращения заготовки), а призматический резец получается за счет выдавливания его профиля вдоль наклонной образующей. Эти действия направлены на то, чтобы получить требуемую величину заднего угла, обеспечив тем самым условия необходимые для протекания процесса резания.

Для получения расчета резца применяется, как сказано выше, графический метод, откорректированный относительно возможностей современных САПР. Сущность метода заключается в следующем:

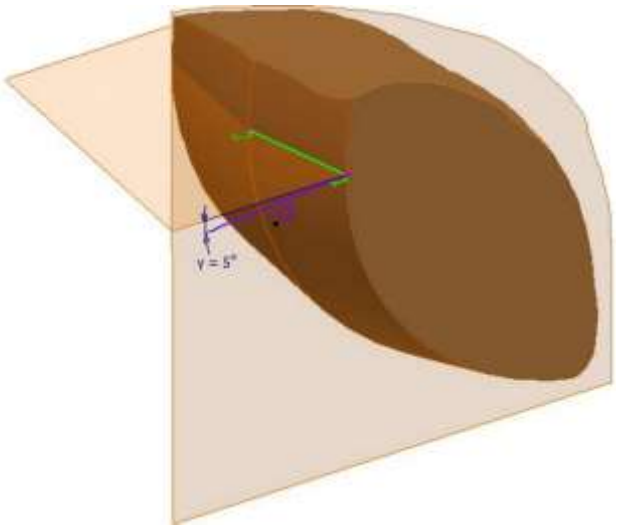


Рисунок 1 – След передней поверхности.

а) На заранее подготовленной, по расчетной схеме, модели детали выбирается базовая точка 1 соответствующая наименьшему диаметру детали.

б) Через базовую точку 1 под углом γ к основной плоскости (рис.1) проводится прямая ***a*** (след передней поверхности).

в) При наличии боковой заточки резца (угол λ≠0) на основную плоскость проецируется образующая конического участка.

г) Через прямую ***a*** и образующую конического участка (при λ≠0); или через прямую ***a*** и базовую точку 1 параллельно оси вращения детали (при λ=0), проводится плоскость. Данная плоскость является плоскостью передней поверхности резца (рис.2).

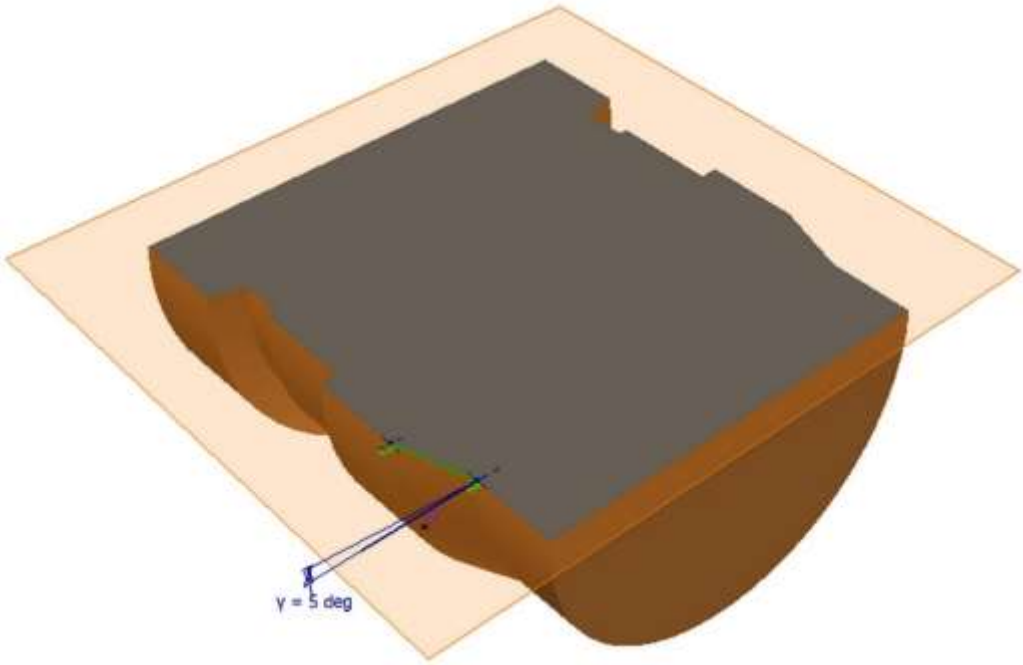


Рисунок 2 –. Плоскость передней поверхности.

д) Контур, образованный пересечением плоскости передней поверхности с поверхностью детали будет являться контуром режущей кромки фасонного резца.

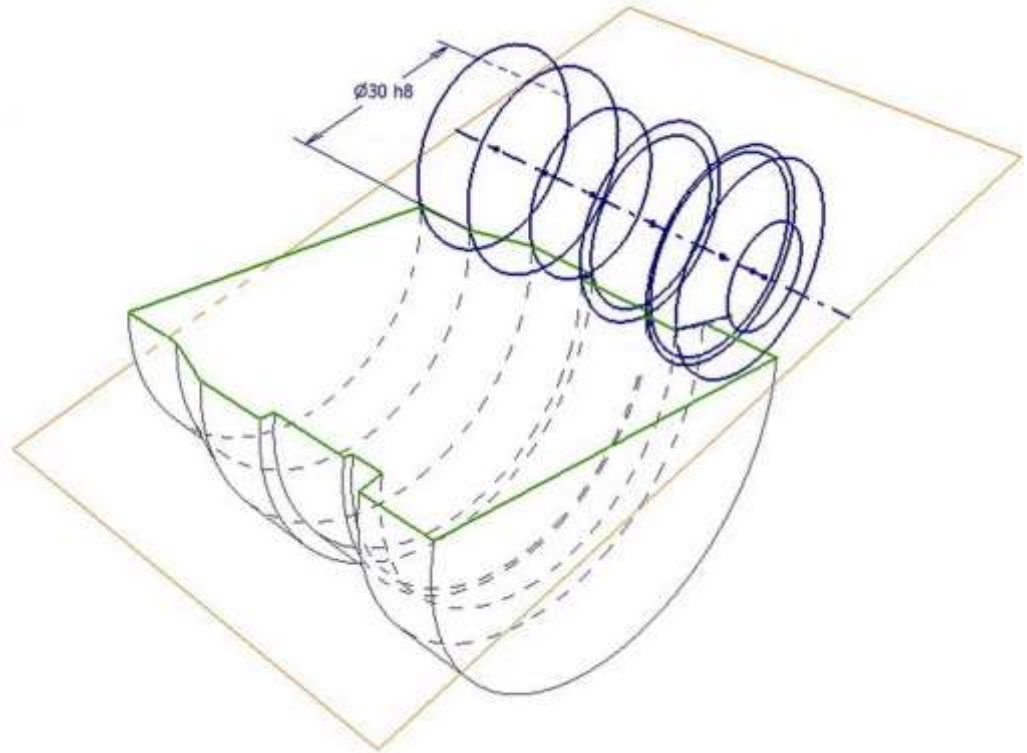


Рисунок 3 – Построения в координатной плоскости.

е) Строится профиль передней поверхности (для призматического резца); через базовую точку 1 под углом α к фронтальной плоскости проводится прямая, вдоль которой протягивается профиль передней поверхности, тем самым определяется твердотельная модель призматического фасонного резца.

ж) Через базовую точку 1, параллельно оси вращения детали, под углом α к горизонтали проводится координатная плоскость, в которой строится ось вращения круглого фасонного резца.

з) Через узловые точки контура режущей кромки, перпендикулярно оси вращения детали, проводятся вертикальные плоскости.

и) В вертикальных плоскостях, с центрами, лежащими на оси вращения резца, строятся окружности (рис.3) так, чтобы узловые точки профиля резца принадлежали окружностям, лежащим в соответствующих плоскостях. Тем самым определяется пространственная геометрия круглого фасонного резца.

к) Для определения профиля резца в осевом сечении (сечение координатной плоскостью) определяются точки пересечения окружностей (пункт и) с координатной плоскостью; через найденные точки проводится контур, определяющий профиль осевого сечения резца.

л) Профиль осевого сечения поворачивается вокруг оси вращения инструмента.

м) На полученной процедурой вращения заготовке создается вырез определяющий лезвие резца, и создаются присоединительные отверстия. Тем самым окончательно определяя твердотельную модель круглого фасонного резца (рис.4).

Рисунок 4 – Твердотельная модель круглого фасонного резца.

6. Назначение допусков на размеры профиля резца.

Осуществляется расчет допусков на высотные, продольные и угловые размеры профиля резца.

7. Оформление рабочего чертежа резца.

На рабочем чертеже размещается необходимое для простановки всех размеров и полного раскрытия конструкции количество проекций, дополнительных разрезов и видов. Профиль резца задается высотными и продольными размерами, проставленными от выбранных баз, а также, размерами, характеризующими заточку резца. Размеры проставляются с полученными в результате расчета допустимыми отклонениями. Присоединительные размеры выбираются в соответствии с нормативами. Габаритные и другие свободные размеры выполняются для фасонного инструмента обычно по 10 квалитету точности.

В технических требованиях указываются: марка материала резца, твердость его режущей части и державки и данные для маркировки.

Выводы

При использовании современных САПР и оборудования с ЧПУ, в условиях единичного производства фасонного инструмента, оформление рабочего чертежа резца, при наличии его модели, не является необходимым этапом подготовки его производства. Так как процесс написания управляющих программ автоматизирован, наличия твердотельной модели достаточно для изготовления фасонного резца. Что существенно снижает сроки подготовки производства: как фасонного инструмента, так и изделий, при изготовлении которых этот инструмент будет использован.

Предложенный метод графического профилирования с применением 3D-построений повышает наглядность и точность процесса.

DESIGN OF SHAPED CUTTERS IN THE GRAPHICAL ENVIRONMENT

Ovcharenko A.G., D.Sc. (Engineering), Professor
Romashev A.N., PhD (Engineering), Associate Professor,
Smirnov V.V., PhD (Engineering), Associate Professor,
Firsov A.M., PhD (Engineering), Associate Professor,

Ovcharenko A.G., Romashev A.N., Smirnov V.V., Firsov A.M.

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
27 Trofimova St., Biysk, Altai region, 659305, Russian Federation

Abstract

Receiving a profile of the shaped cutter corresponding to a detail projection to the plane of a front surface of a cutter the accuracy of calculation of the linear sizes up to 0,001 microns and to 0,01" for the angular sizes provides use of a CAD at design of shaped cutters. Besides allows to optimize some stages of geometrical constructions and to exclude mathematical calculations that allow reducing probability of emergence of mistakes. Reduces terms of preparation of production and gives the chance to reduce cost value of products.

Keywords: profiling of shaped cutters, nodal points of a contour of the cutting edge, correctional calculation.

УДК 669.58

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПРИ ТЕРМОДИФФУЗИОННОМ ЦИНКОВАНИИ В ПОРОШКОВЫХ НАСЫЩАЮЩИХ СРЕДАХ

СИТКЕВИЧ М.В. [1]*, докт. техн. наук, профессор,*
БУЛОЙЧИК И.А. [1]*, науч. сотр.*
([1]БНТУ, г. Минск, Беларусь)

Ситкевич М.В., Булойчик И.А.

220013, г. Минск, пр. Независимости, 65,
Белорусский национальный технический университет
e–mail: ilya.by@gmail.com,
e–mail: sitkevich_v@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты исследования технологий токов высокой частоты (ТВЧ) на предмет возможности использования индукционного нагрева в качестве источника тепла для формирования антикоррозионных покрытий и диффузионных слоев на основе цинка. Представлены особенности формирования цинковых диффузионных слоев в условиях воздействия электромагнитного поля. Определены наиболее перспективные области использования предлагаемых технологий с учетом номенклатуры обрабатываемых изделий.

Ключевые слова: цинк, индукционная обработка, диффузия, коррозионная стойкость, диффузионный слой

Введение

Много исследований выполнено по применению индукционного нагрева для диффузионного насыщения [1-4]. Установлено, что при индукционном нагреве в десятки и сотни раз сокращается длительность диффузионной обработки. Так в работе [5] экспериментально доказано, что применение нагрева ТВЧ для интенсификации процессов диффузионного хромирования из порошков на основе железа в расплавах солей увеличивает скорость образования термодиффузионных слоев по сравнению с широко распространенным хромированием в печи в 4 - 15 раз.

Однако, данные технологии все еще не получили широкого практического применения. Связано с отсутствием данных по исследованию таких процессов для конкретных изделий и применяемых для индукционной закалки сталей. Не изучена кинетика роста и особенностей строения диффузионных слоев, формируемых при кратковременных выдержках до 30 секунд, при которых в максимальной степени реализуются преимущества скоростного индукционного нагрева. Не разработаны достаточно простые и надежные приемы и устройства для осуществления процессов диффузионного насыщения в условиях производства на машиностроительных предприятиях. Тем не менее, потенциальные возможности диффузионного насыщения в плане интенсификации ХТО оцениваются достаточно высоко, что обусловлено сокращением в десятки и сотни раз длительности насыщения, увеличением производительности труда, улучшением эксплуатационных характеристик полученных материалов, а также простотой технологических операций, исключением доступа кислорода к изделию в процессе насыщения и уменьшением энергозатрат [6].

Перспективным является использование индукционного нагрева при реализации технологий термодиффузионного цинковании в порошковых насыщающих средах. При данном способе цинкования значительные энергозатраты тратятся на прогрев садки с

порошковой насыщающей смесью, а также самой реторты, что снижает эффективность технологий такого типа в условиях больших объемов производств.

Теоретическая часть

Реализация принципа индукционного нагрева в ряде процессов цинкования, представляет перспективу с точки зрения создания высокоэффективных, энергосберегающих и экологически безопасных технологий защиты металлов от коррозии. Использование способа диффузионного цинкования в электромагнитном поле подходит для широкой номенклатуры обрабатываемых изделий при сохранении качества защитного покрытия. В то время, как традиционные технологии цинкования в расплавах не обеспечивают в ряде случаев требуемого уровня эксплуатационных характеристик формируемого на изделии покрытия. Связано это с различием в фазовом составе диффузионных слоев, формируемых на изделии.

Принципиальной особенностью способа термодиффузионного цинкования в электромагнитном поле является целенаправленное создание значительного температурного градиента с его убыванием вглубь шихты. Более высокая, в сравнении с радиационным нагревом, температура вблизи поверхности цинкуемых изделий обеспечивает более сильное "расшатывание" кристаллической решетки железа в исходном металле изделия и кристаллической решетки цинка в насыщающей смеси [6]. В результате чего, возникают быстропротекающие двухсторонние процессы диффузии железа в цинк и цинка в железо с образованием интерметаллических соединений. Процесс формирования интерметаллидов резко ускоряется за счет воздействия индукционных токов. При этом, сформированный цинковый слой имеет гомогенизированную структуру и не содержит хрупкую столбчатого вида ς-фазу [6].

В сравнение с классическими методами формирования защитных покрытий на основе цинка, технологии термодиффузионного цинкования в электромагнитном поле обеспечивают:

– нанесение ультрадисперсных защитных покрытий повышенной коррозионной стойкости и механической прочности;

– получение по всей покрываемой площади равномерного гомогенизированного покрытия требуемой стойкости к коррозии, жаростойкости, ударной вязкости и твердости с высоким сопротивлением абразивному износу;

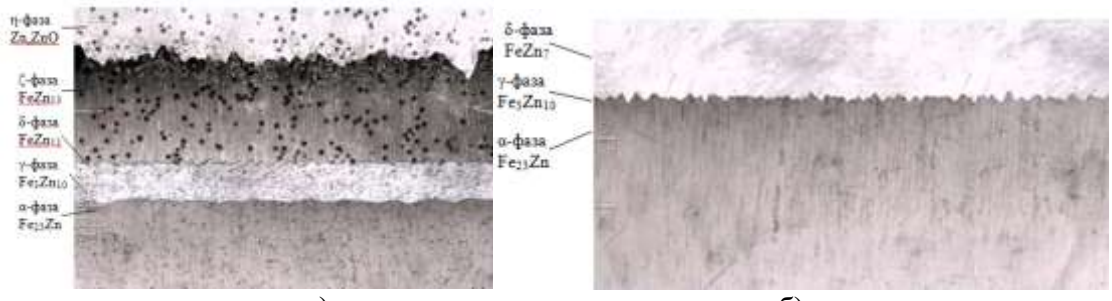
– получение диффузионного слоя в широком интервале толщин (от 6 до 300 мкм);

– восстановление защитного покрывного слоя в случае его повреждения;

– увеличение срока эксплуатации изделий по сравнению с ресурсом работы изделий, покрытых традиционным способом термодиффузионного цинкования;

– сохранение при цинковании резьбовых соединений геометрии, профиля и диаметра резьбы;

– сокращение вредных выбросов в окружающую среду.



а) б)

Рисунок 1 – Сравнение цинковых диффузионных слоев, полученных при цинковании в расплавах (горячее цинкование) (а) и цинковании в электромагнитном поле с применением индукционного нагрева (б) [6]

Определяющим фактором вышеуказанных преимуществ является значительное отличие структуры обсуждаемых слоев. На рисунке 1 (а, б) приведено сравнение структур

защитных слоев, получаемых при цинковании в расплавах и при диффузионном цинковании в электромагнитном поле с использованием токов высокой частоты.

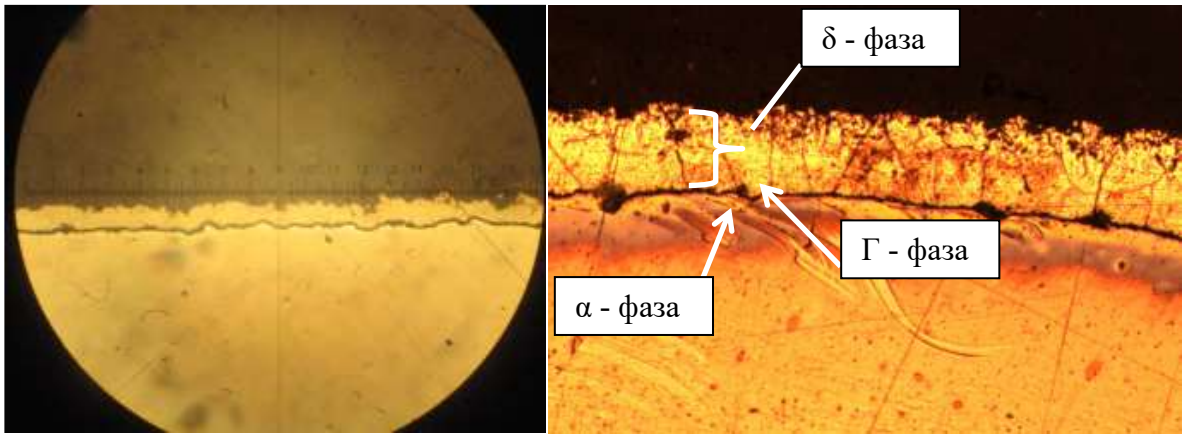
Согласно данным источника [6], преимущество технологий диффузионного цинкования с применением индукционного нагрева заключается в возможности формирования на изделии цинкового диффузионного слоя с более высокими эксплуатационными свойствами (микротвердость, истираемость, плотность и коррозионная стойкость) в сравнении с диффузионными слоями, формируемыми при цинковании в расплавах.

Используемая в настоящем исследовании для процесса диффузионного цинкования установка, представленная на рисунке 2, обеспечивает преобразование трехфазного электрического сигнала промышленной частоты 50 Гц в однофазный частотой в диапазоне 10,0 – 70,0 кГц.

Рисунок 2 – Внешний вид установки для диффузионного цинкования в электромагнитном поле

Результаты и обсуждение

Полученные экспериментальные образцы с цинковыми диффузионными слоями, представлены на рисунке 2 (а, б).



а б

Рисунок 2 – Образцы с цинковыми диффузионными слоями ((а) – шлиф не травлен, (б) – шлиф травлен), сформированными в условиях нагрева токами высокой частоты. Толщина диффузионного слоя - 30 мкм, (а) - Х 200, (б) – Х 400.

Подобранный экспериментальный режим цинкования, позволяет сократить время обработки деталей на 25 минут. Общее время циклического нагрева составило 4,5 минуты (Рисунок 3).

Для сравнения, при использовании стандартной технологии термодиффузионного цинкования с применением печного нагрева при 420 °С и применением вращающегося тигля с

аналогичными параметрами, требовалось порядка 30 минут для получения цинкового диффузионного слоя аналогичной толщины в 30 мкм.

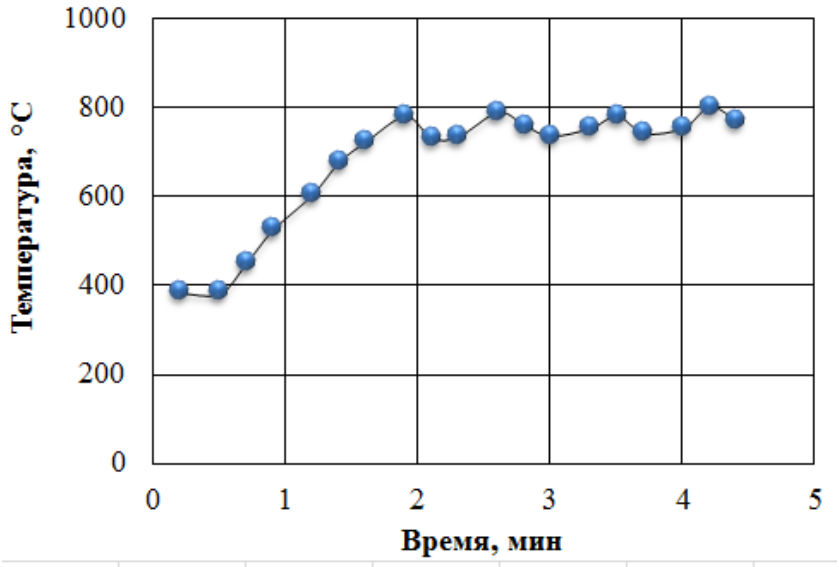


Рисунок 3 – Температурный режим нагрева тигля при цинковании
в электромагнитном поле при частоте в 60 000 Гц.

Технологической особенностью реализации процесса индукционного термодиффузионного цинкования в сравнении со стандартными процессами ТДЦ является использование циклического нагрева обрабатываемых деталей до температур (порядка 700 - 800 °С), существенно превышающих температуры стандартных режимов реализации процессов ТДЦ. Используемая для процесса индукционного цинкования реторта была изготовлена из нержавеющей стали, а нагрев тигля с порошковой насыщающей смесью и образцами производили в циклическом режиме с целью предотвращения оплавления цинкового порошка при вращении контейнера, а так же его перемещении параллельно плоскости индуктора. (Рисунок 4).

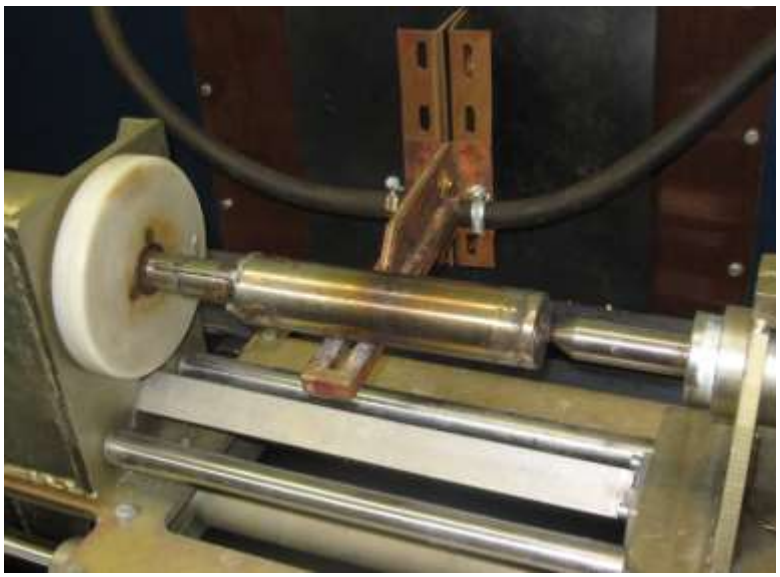


Рисунок 4 – Схема установки тигля из нержавеющей стали во время процесса диффузионного цинкования с горизонтальным перемещением относительно плоскости индуктора.

Выводы

Термодиффузионное цинкование с применением индукционного нагрева (ТДЦЭ) имеет ряд преимуществ, связанных как с производительностью применяемого способа нагрева, обеспечивающего меньшие энергозатраты, так и с особенностями формируемого на изделии диффузионного слоя, обладающего более высокими эксплуатационными характеристиками в сравнении с покрытиями, наносимыми традиционными методами цинкования. В сравнение с традиционными способами формирования цинковых интерметаллидных диффузионных слоев ТДЦЭ позволяет формировать цинковые диффузионные слои с преимущественным формированием δ-фазы в поверхностной зоне насыщаемого изделия, обладающей наиболее выгодной совокупностью эксплуатационных характеристик (сочетание параметром микротвердости, пластичности и коррозионной стойкости).

С учетом того, что значительную часть продукции, подлежащей цинкованию составляют конструкционные материалы, большая часть которых представлена длинномерными изделиями (стальные перекрытия, элементы дорожных ограждений, трубы различного сортамента), применение установок индукционного нагрева с использованием шликерных обмазок представляет актуальную альтернативу традиционным процессам цинкования в расплавах цинка. Перспективное направление в решении данной проблемы представляют процессы газотермического напыления (ГТН) в совокупности с последующей термообработкой с целью образования диффузионных интерметаллидных слоев, за счет чего происходит повышение эксплуатационные характеристик изделий. Следует отметить, что предпочтение следует отдать индукционному нагреву, как наименее энергоемкому способу нагрева металла в сравнении с печным нагревом.

Подобранный лабораторный режим обработки деталей с применением нагрева токами высокой частоты, позволяющий сократить время обработки изделий в сравнение со стандартными режимами с использованием печного нагрева.

Список литературы

1. Ляхович Л.С., Беляев В.И. Азотирование стали с нагревом токами высокой частоты. Минск: изд-во Мин. образ. БССР, 1961. - 45 с.

2. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов: Монография / Кидин И.Н. [и др.] - М.: Металлургия, 1978. - 320 с.

3. Гурченко П.С., Шипко А.А. Цементация шаровых пальцев автомобиля МАЗ при индукционном нагреве в атмосфере природного газа. // Автомобильная промышленность, № 3, 1985

4. Гурченко П.С., Шипко А.А., Панич Г.Г. Исследование процесса нитроцементации при индукционном нагреве. // Пути дальнейшего повышения надежности, долговечности и конкурентоспособности автомобильной техники, выпускаемой в объединении "БелавтоМАЗ". Мн.: 1984, с. 83-85.

5. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat [Электронный ресурс] / Термодиффузионное хромирование порошковых материалов на основе железа с применением нагрева токами высокой частоты. Режим доступа: http://www.dissercat.com/content/termodiffuzionnoe-khromirovanie-poroshkovykh-materialov-na-osnove-zheleza-s-primeneniem-nagr#ixzz4BRwvabgK Дата доступа: 08.05.16

6. ОАО "ВИАСМ" [Электронный ресурс] / Новый способ нанесения защитных покрытий. Режим доступа: http://www.viasm.ru/novyi_sposob.htm Дата доступа: 13.03.16

THE PERSPECTIVE OF INDUCTION HEATING APPLICATION IN THE SHERARDIZING TECHNOLOGIES OF OBTAINING ZINC ANTICORROSIVE LAYERS USING POWDER MIXTURES MATERIALS

Sitkevich M.V., D.Sc. (Engineering), Professor,
Buloichyk I.A., Research assistant

Sitkevich M.V., Buloichyk I.A.

Belarusian National Technical University,
220013, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti ave., 65;

Abstract

The perspectives of induction heat treatment implementing into the sherardizing technologies with the aim to form anticorrosive diffusion layer are discussed in the article. It is shown that using induction technologies as a heating source gives an energy advantage comparing to conventional methods of heat treatment. The article reveals some peculiarities of zinc diffusion layer formation under the influence of induction electromagnetic fields along with description of the most perspective areas for zinc induction technology application and types of details that should be treated using this technology.

Keywords: zinc, induction heat treatment, diffusion, corrosion resistance, diffusion layer

УДК 621.791.05: 620.179

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ТЭС С РАЗНОЙ МИКРОПОВРЕЖДЕННОСТЬЮ

АБАБКОВ Н.В. [1], канд. техн. наук, доцент
СМИРНОВ А.Н. [1], докт. техн. наук, профессор
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Абабков Н. В., Смирнов А.Н.

650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
e-mail: n.ababkov@rambler.ru

Аннотация

В работе проведено исследование образцов металла поврежденных паропроводов спектрально-акустическим методом контроля. В частности, исследованы образец не имеющие повреждений, образцы с трещинами ползучести и образцы с выявленной различной микроповрежденностью. Все образцы изготовлены из стали 12Х1МФ и имеют разную наработку. Построены графические зависимости акустических характеристик от балла микроповрежденности. Установлены значения акустических характеристик, соответствующие максимальному, дефектному баллу микроповрежденности образцов металла паропроводов, изготовленных из стали 12Х1МФ.

Ключевые слова: Спектрально-акустический метод, балл микроповрежденности, длительно работающий металл, сварные соединения, теплоустойчивые стали, паропроводы.

Введение

С каждым годом процент теплоэнергетического оборудования, отработавшего свой расчетный срок (парковый ресурс) только увеличивается. Известно, что металл длительно работающего оборудования имеет микродефекты, которые появляются по механизмам ползучести и коррозионно-термической усталости вследствие сложных условий эксплуатации [3].

В связи с этим, с одной стороны, необходимо обеспечивать точную оценку текущего состояния металла, в том числе наличие микродефектов, а также остаточного ресурса оборудования. Существующий в настоящее время подход к проблеме оценки, в том числе проведение экспертизы промышленной безопасности, не во всех случаях позволяет с достаточной степенью точности говорить о фактическом состоянии металла. Это объясняется и устаревшей нормативно-технической базой (расчетные алгоритмы оценки состояния (работоспособности) и ресурса) и недостаточно чувствительными физическими методами контроля, не позволяющими выявлять микродефекты (микропоры или микроповрежденность) [1–3].

При продолжительной эксплуатации паропроводов из стали 12Х1МФ, работающих при высокой температуре, происходят глубокие структурные изменения, что приводит к снижению прочностных характеристик, в частности длительной прочности. Одновременно в металле по границам зерен зарождаются поры, которые по мере протекания процесса ползучести превращаются сначала в микро, а затем и в макротрещины. Закономерности образования пор в условиях ползучести достаточно полно освещены в работах [3, 4]. Порообразованию в этом процессе, приводящему к разупрочнению, сопутствует еще множество других факторов, упрочняющих металл. В некоторых случаях процессы упрочнения в длительно работавшем металле труб из хромомолибденованадиевых сталей вследствие дисперсионного твердения,

торможения движения дислокаций, полигонизации превалируют над процессами разупрочнения из-за обеднения твердого раствора легирующими элементами, коагуляции карбидов, рекристаллизации, порообразования и др. В результате этих сложных процессов, протекающих при старении под длительным воздействием высоких температур и напряжений, уровень длительной прочности снижается.

На рис. 1 показан характер накопления повреждаемости в процессе ползучести длительно работавшего металла паропроводов. Наиболее трудным является определение момента, когда начинается интенсивный необратимый процесс развития микроповрежденности, приводящий к разрушению металла.

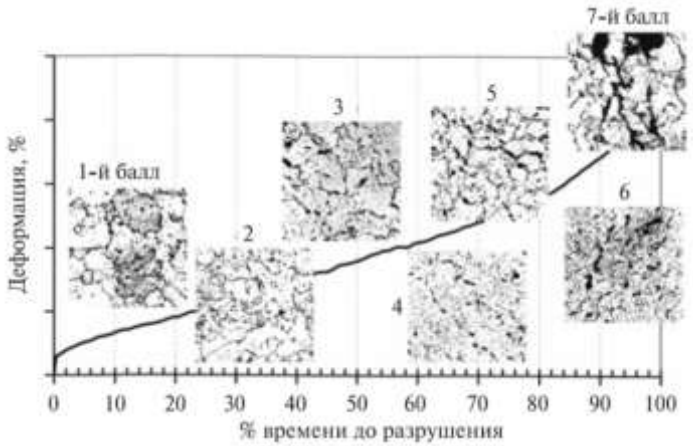


Рисунок 1 – Характер накопления повреждаемости по мере исчерпания ресурса эксплуатации

В настоящее время чувствительность приборов традиционных методов неразрушающего контроля позволяет обнаруживать микроповрежденность лишь с 4 балла. Для обнаружения микроповрежденности 1, 2 и 3 баллов необходимо использовать приборы с большей чувствительностью.

Одним из наиболее перспективных методов контроля состояния металла сварных соединений, основного металла и выявления несплошностей в настоящее время считается акустический метод. Ранее авторами [5–8] было установлено, что спектрально-акустический метод контроля является чувствительным методом оценки локальных полей внутренних напряжений и параметров микроструктуры (плотности дислокаций, кривизны-кручения кристаллической решетки и т.д.). Кроме того, акустические характеристики имеют связь с механическими свойствами материалов. Это позволяет судить о механических свойствах материала. Авторами [9, 10] предложены комплексные критерии степени поврежденности металла в относительных единицах.

Таким образом, цель настоящей работы заключалась в установлении значений акустических характеристик, соответствующих максимальному, дефектному баллу микроповрежденности образцов металла паропроводов, изготовленных из стали 12Х1МФ.

Материалы и методика экспериментальных исследований

Авторами были проведены исследования состояния образцов металла прямые участки со сварными стыками главных паропроводов, гибы пароперепускных труб от выходных коллекторов конвективного пароперегревателя IV ступени в паросборную камеру котла, изготовленные из стали 12Х1МФ и которые эксплуатировались на разных ГРЭС и ТЭЦ Кемеровской области (таблица 1).

Исследование проводилось при помощи измерительно-вычислительного комплекса «АСТРОН». Были проведены прецизионные измерения времени распространения (задержек) и отношения размахов ультразвуковых импульсов (коэффициент затухания), распространяющихся в материале исследуемого объекта («АСТРОН») с помощью 4 МГц датчика поверхностных акустических волн. Для этого были подготовлены зоны контроля на

поверхности образцов. После этого были сделаны замеры вышеперечисленных параметров, с расположением датчиков вдоль и поперек относительно центральной оси гибов и паропроводов.

Таблица 1

Общие характеристики исследуемых образцов

№ п/п	Объект	Параметры эксплуатации	Величина зерна	Балл микроповрежденности	Дефекты
1.	Прямой участок со сварным стыком №23 нитки «А» главного паропровода блока №1; Ø325,0×43,0	T = 545 °C, P = 140 кгс/см^2 Наработка: 342 820 ч.	№8	Iп (не выявлена)	Отсутствуют
2.	Гиб №16 пароперепускной трубы от выходных коллекторов конвективного пароперегревателя IV ступени в паросборную камеру котла №5; Ø133,0×17,0	T = 555 °C, P = 140 кгс/см^2 Наработка: 182 621 ч.	№8	6-7	Трещина на наружной поверхности протяженностью 50 мм, несквозная, глубина 6,5–7,0 мм
3.	Гиб и прямой участок гиба со сварным соединением паропровода котла ст. №10; Ø325,0×24,0	T = 540 °C, P = 140 кгс/см^2 Наработка: 175 354 ч.	№8	Iп (не выявлена)	Отсутствуют
4.	Гиб пароперепускной трубы №6 от выходных коллекторов конвективного пароперегревателя IV ступени в паросборную камеру котла; 133,0×17,0	T = 555 °C, P = 140 кгс/см^2 Наработка: 230 000 ч.	№7	6-7	Трещина на наружной поверхности протяженностью 140 мм, сквозная
5.	Гиб пароперепускной трубы от выходных коллекторов конвективного пароперегревателя IV ступени в паросборную камеру котла; 133,0×17,0	T = 555 °C, P = 140 кгс/см^2 Без наработки	№1	Iп (не выявлена)	Отсутствуют
6.	Труба поверхности нагрева с ошиповкой	T = 540 °C, P = 140 кгс/см^2 Наработка: 205 626 ч.	№3-4	2–3	Микропоры

Результаты и их обсуждение

Установлено, что наличие микроповрежденности основного металла и металла сварных соединений оборудования, изготовленного из стали 12Х1МФ приводит к уменьшению времени задержки поверхностной акустической волны и в ряде случаев даже к усилению принятого сигнала.

На наш взгляд, это объясняется тем, что размер микропор весьма мал и заполнены они газом. Поверхностная акустическая волна, как известно, может огибать препятствия либо отражаться от них, либо постепенно затухать. Нам видится, что ПАВ проходит через поры и газ, который в них содержится. Так как скорость движения волны в газовой среде больше, чем в металлической, то и время задержки в металле с микропорами будет меньше, чем в металле без микропор.

Таким образом, получены следующие экспериментальные значения, подтверждающие нашу гипотезу. Для исходного состояния металла при контроле датчиком ПАВ на 4 МГц время задержки составляет 4650±4 нс, при микроповрежденности, соответствующей 3–4 баллу, время задержки составляет 4635±3 нс, при микроповрежденности, соответствующей 5 баллу – 4623±3 нс. Для металла, в котором поры начали сливаться в микротрещину (6-7 балл), установлено увеличение времени задержки ПАВ до 4720±10 нс (рис. 2).

Об усилении принятого сигнала можно судить по размаху его амплитуды. Для исходного состояния металла при контроле датчиком ПАВ на 4 МГц размах амплитуды принятого сигнала поверхностной акустической волны составляет 245±40 мм-1, при микроповрежденности, соответствующей 3–4 баллу, размах амплитуды может составлять 284±33 мм-1, при микроповрежденности, соответствующей 6–7 баллу – 346±35 мм-1. Для металла, в котором поры начали сливаться в микротрещину, установлено уменьшение размаха амплитуды принятого сигнала ПАВ до 121±12 мм-1.

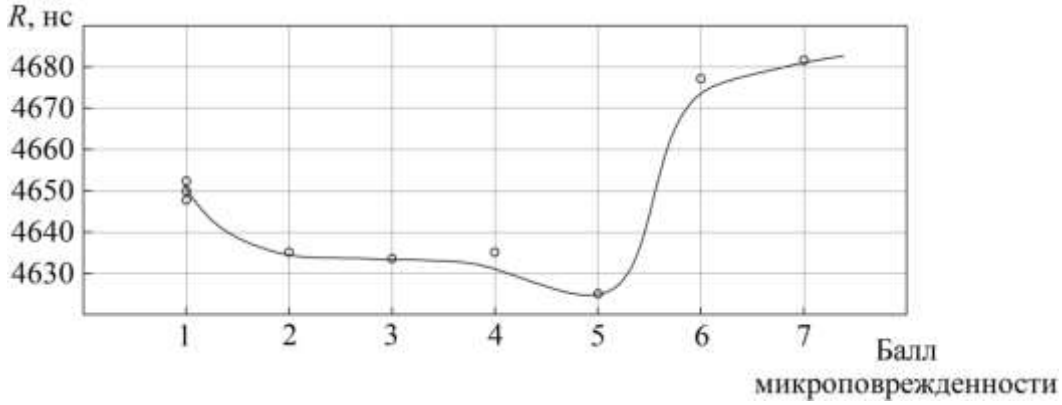


Рисунок2 – Зависимости значений времени задержки поверхностных акустических волн – R, нс от балла микроповрежденности

Таким образом, спектрально-акустический метод контроля может использоваться для оценки микроповрежденности металла длительно работающих объектов ТЭС.

Выводы

1. Проведено исследование образцов металла поврежденных паропроводов акустическими и магнитными методами. Исследованы образец не имеющие повреждений, образцы с трещинами ползучести и образцы с выявленной микроповрежденности.

2. Установлены значения акустических и магнитных характеристик, соответствующие максимальному, дефектному баллу микроповрежденности образцов металла паропроводов, изготовленных из стали 12Х1МФ.

3. Установлено, что наличие микроповрежденности основного металла и металла сварных соединений оборудования, изготовленного из стали 12Х1МФ приводит к уменьшению времени задержки поверхностной акустической волны и в ряде случаев даже к усилению принятого сигнала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение №14-09-00724 и гранта Президента РФ для поддержки молодых кандидатов наук, МК-1341.2017.8.

Список литературы

1. ОСТ 34-70-960-96. Металл паросилового оборудования электростанций. Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации.
2. Злепко, В. Ф. Влияние восстановительной термической обработки на свойства стали 12Х1МФ / В. Ф. Злепко, К. Р. Линкевич, Т. А. Швецова Теплоэнергетика. – 2001. – № 6. – С. 68–70.
3. Попов А. Б. Сохранение работоспособности паропроводов с помощью проведения частичной восстановительной термообработки / Теплоэнергетика. 2002. – № 5. – С. 60–62.
4. Алешин, Н. П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений: Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 368с.
5. Бугай, Н. В. Работоспособность и долговечность металла энергетического оборудования [Текст] / Н. В. Бугай, Т. Г. Березина, И. И. Трунин. – М., Энергоатомиздат, 1994. – 272 с.
6. Смирнов, А. Н. Критерии оценки технического состояния длительно работающего металла оборудования ТЭС на основе акустической структуроскопии / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, В. В. Муравьев и др.// Дефектоскопия. – 2015. – № 2.– С. 44–51.
7. Козлов, Э. В. Субструктура, границы зерен и микротрещины в длительно работающем металле / Э.В. Козлов, А.Н. Смирнов, Н.А. Конева, Н.А. Попова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2005. – №4. – С. 34–39.
8. Смирнов, А. Н. Внутренние поля напряжений и характер и субструктуры в длительно-работающем металле технических устройств опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 7. – С. 35–37.
9. Смирнов, А. Н. Структурная поврежденность сталей и ее оценка спектрально-акустическим и электронно-микроскопическим методами // Контроль. Диагностика. – 2004. – № 4. – С. 13–18.
10. Смирнов, А. Н. Разрушение и диагностика металлов / А. Н. Смирнов, В. В. Муравьев, Н. В. Абабков. – Москва-Кемерово: Инновационное машиностроение. 2016. – 479 с.

THE ANALYSIS OF ACOUSTIC CHARACTERISTICS IN METAL OF LONG WORKING TPP OBJECTS WITH DIFFERENT MICRODAMAGES

Ababkov N. V., PhD (Engineering), Associate Professor
Smirnov A. N., D. Sc. (Engineering), Professor

Ababkov N.V., Smirnov A.N.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
28 str. Vesennyaya, 650000, Kemerovo, Russian Federation

Abstract

Investigation of metal samples of damaged steam pipelines by the spectral-acoustic control method was carried out in the work. In particular, a sample without damages, specimens with creep cracks and samples with various microdamages revealed were investigated. All samples are made of 12H1MF steel and have different operating time. Graphic dependencies of acoustic characteristics on the score of microdamage are constructed. The values of the acoustic characteristics corresponding to the maximum, defective score of microdamages of metal samples of steam lines made of 12H1MF steel are established.

Keywords: Spectral-acoustic method, score of microdamages, long working metal, welds, heat-resistant steel, steam lines.

УДК 621.92(07)

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

ПЕРЕВЕРЗЕВ П.П.[1], доктор техн. наук, профессор
АКИНЦЕВА А.В.[1]ст. преподаватель
АЛСИГАР М.К.[1]
([1]ЮУрГУ, г. Челябинск, Россия)

Переверзев П.П., Акинцева А.В., Алсигар М.К.

454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76
Южно-Уральский государственный университет,
e-mail: pereversevpp@susu.ru
e-mail: akintsevaav@susu.ru
e-mail: masar8937@gmail.com

Аннотация

Для повышения качества и надежности управляющих программ для станков с ЧПУ предлагается использовать цифровой двойник, который выполняет виртуальное тестирование заданного цикла шлифования на возможность появления брака при различных сочетаниях переменных технологических факторов. Виртуальное тестирование цифрового двойника ведется путем моделирования процесса съема металла при шлифовании в течение всего цикла обработки партии деталей при различных сочетаниях переменных технологических факторов, изменяющихся в заданных диапазонах их варьирования. В качестве математического метода оптимизации при расчете оптимальной траектории цикла управления радиальной подачей предложено использовать метод динамического программирования (МДП). Представленная в статье методология применения синтеза технологий цифрового двойника и МДП на этапе подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет гарантировать максимальную производительность проектируемой операции шлифования при обеспечении заданного качества обрабатываемой поверхности с учетом переменных условий обработки, варьирующихся в заданных пределах.

Ключевые слова: цифровой двойник, метод динамического программирования, цикл, круглое шлифование с продольной подачей.

Для повышения качества и надежности управляющих программ для станков с ЧПУ предлагается использовать цифровой двойник (ЦД), который выполняет виртуальное тестирование заданного цикла шлифования на возможность появление брака при каком-то сочетании переменных технологических факторов. Виртуальное тестирование ЦД ведется путем моделирования процесса съема припуска при шлифовании в течение всего цикла обработки партии деталей при различных сочетаниях переменных технологических факторов, изменяющихся в заданных диапазонах их варьирования. После каждого тестирования, по результатам виртуального моделирования, делается прогноз о точности обработки и качестве обработанной поверхности в конце цикла шлифования. Если по результатам моделирования получается брак (например, по точности обработки), то фиксируются значения переменных факторов, при которых будет брак на операции. В отчете цифрового двойника по результатам испытаний указывается, при каких значениях переменных технологических факторов возможно появление брака и какого вида. Если какой-то показатель качества будет вне заданных допустимых пределов, то цикл подачи должен корректироваться с учетом выявленных условий возникновения брака.

Для проектирования оптимального цикла шлифования, путем расчета оптимальной траектории цикла изменения радиальной подачи, предложен метод динамического программирования (МДП), используемый при решении классической транспортной задачи, в которой задана сеть дорог с промежуточными станциями, на которой надо найти оптимальную траекторию передвижения транспорта. Предложенная в статье методология применения синтеза технологий цифрового двойника и МДП на этапе подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет гарантировать максимальную производительность операции шлифования при обеспечении заданного качества обрабатываемой поверхности при переменных условиях обработки, варьирующихся в заданных пределах.

Вопросам теории проектирования оптимальных циклов обработки для станков с ЧПУ уделяется недостаточное внимание. Подавляющее число исследователей изучают частные стороны проблемы проектирования оптимальных управляющих траекторий [1-9]. Наибольшее внимание уделено моделированию силы резания и моделированию технологических ограничений (по точности, шероховатости, дефектному слою, износу и стойкости инструмента), влияющих на производительность операций. Итогом таких исследований являются частные рекомендации по режимам резания для лимитированного числа ограничений в узком диапазоне их варьирования. Очень мало представлено работ, направленных на повышение качества проектирования оптимальных циклов шлифования с точки зрения их устойчивости к переменным условиям обработки, существующих в реальных круглошлифовальных операциях, выполняемых на станках с ЧПУ.

Таким образом, несмотря на огромную теоретическую и практическую базу в области проектирования оптимальных циклов круглого шлифования, до сих пор не решена задача проектирования оптимальных циклов шлифования, которые бы обеспечивали максимальную производительность операции и стабильность выполнения требований чертежа по точности и качеству при любых самых неблагоприятных сочетаниях переменных условий шлифования.

Обработка партии деталей на операции круглого шлифования, выполняемой на станке с ЧПУ ведется с применением заданного в управляющей программе автоматического цикла изменения радиальной подачи. Параметры цикла шлифования постоянны при любых переменных условиях обработки партии деталей, к которым относятся затупление зерен круга, колебание припуска, колебание исходного радиального биения заготовки, размерный износ шлифовального круга и снижение скорости резания, переменная жесткость технологической системы в разных сечениях обрабатываемой поверхности, колебание параметров характеристика шлифовального круга, погрешность срабатывания прибора активного контроля, стойкость круга между правками. Каждый переменный фактор изменяется в определенном диапазоне варьирования, который можно определить тремя значениями: минимальное, среднее и максимальное. В процессе обработки партии деталей возможно любое сочетание значений переменных факторов. Количество сочетаний переменных факторов даже при трех значениях каждого, измеряется сотнями. При этом цикл шлифования остается неизменным при любом совокупном сочетании переменных факторов, что обуславливает колебание точности обработки и других параметров качества шлифуемой поверхности.

В тоже время, при проектировании оптимального цикла шлифования проверка хода по технологическим ограничениям ведется при детерминированных условиях шлифования без учета изменения условий шлифования при разных значениях переменных технологических факторов. Поскольку количество различных сочетаний переменных факторов очень большое, то это обстоятельство делает невозможным делать проверку ограничений целевой функции по всему массиву сочетаний переменных факторов из-за недопустимо большого увеличения времени на оптимизацию, которое понадобится для проектирования оптимального цикла шлифования, а также чрезмерного усложнения системы оптимизации цикла.

Поэтому оптимальный цикл шлифования, который спроектирован на основе усредненных детерминированных условий шлифования, обладает относительно низкой надежностью и устойчивостью к воздействию переменных технологических факторов на

точность обработки и обеспечение других параметров качества. Следовательно, приведенная выше методика проектирования оптимального цикла шлифования не учитывает непредвиденных ситуаций, связанных с нестабильными условиями шлифования (затуплением зерен круга, колебанием припуска или исходного радиального биения заготовки и др.), что приводит к появлению брака на операции.

Для проектирования оптимального цикла шлифования, устойчивого к совокупному воздействию различных переменных технологических факторов, необходим синтез системы диагностики цикла шлифования на устойчивость и системы проектирования оптимального цикла.

При разработке системы диагностики на устойчивость цикла шлифования к совокупному воздействию постоянно меняющихся переменных факторов, возникающих при обработке партии деталей, применена концепция «цифрового двойника» (ЦД). В рамках этой концепции на основании виртуального тестирования цикла шлифования разработана системная модель ЦД, которая предназначена для:

– предотвращения брака и причин его возникновения на операции круглого шлифования;

– повышения надежности и устойчивости цикла шлифования к совокупному воздействию переменных факторов;

– обеспечения полной автоматизации проектирования управляющей программы на этапе расчета и программирования режимов резания;

– прогнозирования колебания точности, шероховатости, твердости HRC обрабатываемой поверхности после обработки партии деталей;

– фиксации массива переменных факторов, при которых возникают условий получения каждого вида брака;

– формирования массива ограничений целевой функции по переменным условиям шлифования для системы оптимизации цикла;

– автоматической передачи массива ограничений целевой функции по переменным условиям шлифования в систему оптимизации цикла;

– автоматической загрузки тестируемого цикла в систему диагностики;

– автоматического завершения диагностики цикла шлифования.

Разработанная система ЦД обеспечивает синтез системы диагностики и системы оптимизации по следующему алгоритму (рис. 1) [10-12]:

1) проектируется первая версия оптимального цикла шлифования на основе усредненных постоянных условий шлифования с проверкой ограничений при этих условиях;

2) оптимальный цикл шлифования передается в систему диагностики цикла;

3) генерируется массив сочетаний переменных факторов;

4) производится диагностика оптимального цикла шлифования при всех вариантах, заданных массивом сочетаний переменных факторов. В процессе диагностики производится тестирование оптимального цикла путем моделирования процесса шлифования в течение всего цикла обработки при сотнях вариантах различных сочетаний переменных технологических факторов (сформированных в пункте 3 алгоритма), изменяющихся в заданных диапазонах их варьирования. После каждого тестирования оцениваются расчетные значения точности обработки, шероховатость, твердость поверхности HRC и другие заданные показатели качества;

5) выявляются все виды брака и условия его возникновения. Если брака нет, то осуществляется переход в пункт 9 данного алгоритма;

6) формирование массива дополнительных ограничений целевой функции на основе выявленных условий возникновения брака;

7) передача дополнительных ограничений целевой функции в систему проектирования оптимального цикла шлифования;

8) оптимизация цикла шлифования с дополнительным массивом ограничений целевой функции. Производится переход в пункт 2 этого алгоритма;

9) формирование отчета и документация по проектированию оптимального цикла шлифования;

10) передача данных по оптимальному циклу шлифования в систему проектирования управляющей программы для станка с ЧПУ.

Таким образом, разработана система проектирования оптимальных циклов с повышенной надежностью и устойчивостью к переменным условиям шлифования.

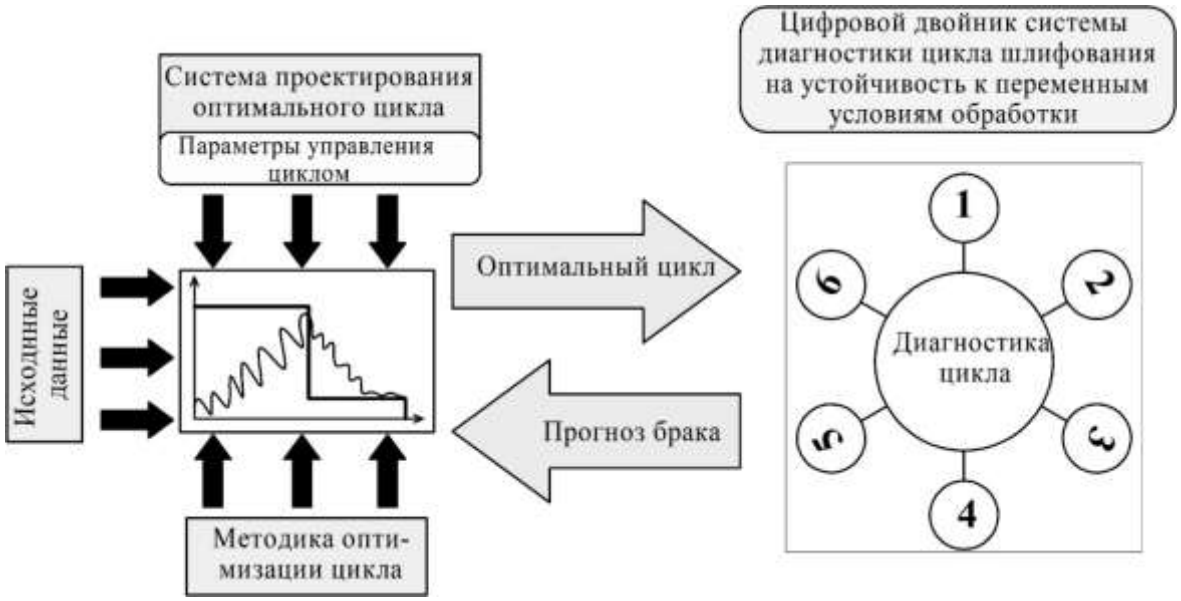


Рисунок 1. Схема взаимодействия системы оптимизации цикла МДП с цифровым двойником системы тестирования цикла: 1 – предотвращение брака; 2 – повышение надежности цикла шлифовании; 3 – прогнозирование точности и качества обработки; 4 – формирование ограничений для переменных условий; 5 – генерация переменных условий шлифовании;6 – тестирование цикла; 7 – диагностика цикла

Выводы

Применение цифрового двойника при прогнозировании надежности управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет повысить устойчивость показателей качества и точности. Представленная в статье методология применения синтеза технологий цифрового двойника и МДП на этапе подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ позволяет гарантировать максимальную производительность проектируемой операции шлифования при обеспечении заданного качества обрабатываемой поверхности с учетом переменных условий обработки, варьирующихся в заданных пределах.

Список литературы

1. Horiuchi, O. Computer simulations of cylindrical plunge grinding – Influence of work stiffness on grinding accuracy / O. Horiuchi, T. Shibata // Key Engineering Materials. – 2007. – Vol. 329. – P. 51–56. DOI 10.4028/0-87849-416-2.51

2. Nathan, R.D. Intelligent estimation of burning limits to aid in cylindrical grinding cycle planning / R.D. Nathan, L. Vijayaraghavan, R. Krishnamurthy // Heavy Vehicle Systems.– 2001. – Vol. 80. – P. 48–59.

3. Pimenov, D.Yu. Mathematical Modeling of Power Spent in Face Milling Taking into Consideration Tool Wear / D.Yu. Pimenov // Journal of Friction and Wear. – 2015. – Vol. 36, no.1. – P. 45–48. DOI: 10.3103/S1068366615010110

5. Новоселов, Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 286 с.

6. Дьяконов, А.А. Комплексное моделирование процесса плоского шлифования периферией круга / А.А. Дьяконов, Л.В. Шипулин // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2013. – №6 (24). – С. 14–18.

7. Салов, П.М. Управление перебегом круга при внутреннем шлифовании / П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, Д.П. Салова // Высокие технологии в машиностроении. – 2009. – №1. – С. 61-63.

8. Guzeev, V.I. Researching the CNC-Machine Stiffness Impact on the Grinding Cycle Design / Guzeev V.I., Nurkenov A.K. // Procedia Engineering. – 2016. – Vol. 150. – P. 815–820. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.118

9. Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.

10. Pereverzev, P.P. Mathematical Model for the Internal Grinding Process of a Non-circular Hole Machining / P.P. Pereverzev, A.V. Akintseva // Procedia Engineerin. – 2016. – Vol. 150. – P. 1118-1123. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.223

11. Pereverzev, P.P. Model of Cutting Force While Managing Two Regime Parameters in the Process of Internal Grinding / P.P. Pereverzev, A.V. Akintseva // Procedia Engineerin. – 2016. – Vol. 150. – P. 1113-1117. doi:10.1016/j.proeng.2016.07.222

12. Переверзев, П.П., Моделирование процесса съема металла при внутреннем шлифовании с учетом особенностей кинематики резания/ П.П. Переверзев, А.В. Акинцева // СТИН. –2016 – №4 – С. 23-28.

THE USE OF DIGITAL TWIN FOR PREDICTING THE RELIABILITY TO CONTROL PROGRAMMING FOR CNC MACHINES

Pereverzev P.P., D.Sc. (Engineering), Professor
Akintseva A.V., Senior Lecture
Alsigar M.K.,

Pereverzev P.P., Akintseva A.V., Alsigar M.K.

454080, Russia, Chelyabinsk, Lenina Avenue, 76
South Ural State University (National Research University)

Abstract

To improve the quality, reliability and preparation of control programs for CNC machines, we proposed to use a digital twin (DT), which using simulation to improve design and virtual test of a given grinding operation cycle on the possibility of appearance of the appearance of of substandard manufacturing processes and products during production with some combination of technological factors. a virtual digital twin (DT) is carried out by modeling the removal of allowance which was formed in the course of grinding process throughout the cycle parts batch processing at various combinations of the variable technological processes and factors, understand that variation simply is the difference removal of allowance. For the purpose of optimal grinding cycle, using estimation of an optimal cycle path for radial in-feed change, a dynamic programming method (DPM) is proposed. The methodology of application of synthesis of a digital twin (DT) technology and a dynamic programming method DPM technology at the stage of preparation of control programs for numerical control machines (CNC), described in the article, allows to guarantee the maximal grinding process efficiency, also in- process quality assurance of the grinding process cycle while keeping the predefined quality of a treated surface at variable treatment conditions that may change within specified limits.

Keywords: a digital twin, a dynamic programming method, cycle, cylindrical grinding with traverse feed.

УДК 62-192

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ИЗВЕКОВ Ю. А.[1], канд. техн. наук, доцент,
НИКОНОВА Т. Г.[1], студентка
([1]МГТУ им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия)

Извеков Ю.А., Никонова Т.Г.

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
e – mail: yurij.izvekov@mail.ru
e – mail: nikonova19.t.g@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты теоретического исследования по совершенствованию методологии оценки качества технологического оборудования машиностроительных производств с точки зрения таких показателей, как безопасность, надежность, долговечность и экономичность. Переход на эти показатели проведен на основе конструкционного риск-анализа.

В неординарном подходе к решению задачи использован относительно новый аппарат конструкционного риск-анализа.

Теоретические выкладки выполнены на основе известных методов теории вероятности.

Приведен алгоритм оценки качества элементов, конструкций различного технологического оборудования машиностроительных производств.

Ключевые слова: показатели качества, технологическое оборудование, машиностроительные производства, конструкционный риск-анализ, безопасность, надежность, долговечность, экономические показатели, пики значений.

Введение

Оценка качества различного технологического оборудования машиностроительных производств была и остается достаточно актуальной задачей. Представляется важным и интересным решение задачи на основе конструкционного риск-анализа.

При оценке качества технологического оборудования на основе риск-анализа можем записать

$$К = f(Б, Н, Э), \qquad (1)$$

где К – качество объекта (элемента) технологического обрудования;

Б – показатели безопасности;

Н – показатели надежности и долговечности;

Э – экономические показатели.

Связать эти показатели авторы полагают в виде обобщающего условия анализа и управления качеством на основе риск-анализа следующим образом [1,2,3]:

$$R(t) = \sum_i P_i(t) * U_i(t) \le [R(t)] = \frac{R_c(t)}{n_R} = m_z Z(t); \qquad (2)$$

при его реализации следует учитывать следующее:

– под риском *R(t)* надо понимать сочетание вероятностей *P(t)* возникновения аварий и катастроф и ущербов *U(t)* от них;

– n_R – запас по рискам $(n_R \ge 1)$;

– $R_c(t)$ – критический риск;

– для достижения заданного уровня качества и управления им необходимо предусматривать комплексы мероприятий с затратами *Z(t),* связанными с формирующимися рисками *R(t);*

– m_Z - коэффициент эффективности затрат ($m_Z \geq 1$).

Будем вести единую методическую линию, увязанную с обобщающим условием безопасности и надежности и долговечности, экономических показателей как основных свойств качества.

Очевидно, что качество элемента (объекта) будет:

$$K(t) = \frac{1}{R(t)} = \frac{1}{\sum_i P_i(t) * U_i(t)} \geq [K(t)] = \frac{1}{[R(t)]} = \frac{n_R}{R_c(t)} = \frac{1}{m_z Z(t)}; \quad (3)$$

где [K(t)] – допускаемый уровень качества.

Вероятность возникновения аварий и катастроф технологического оборудования можем считать редкими катастрофическими событиями. Именно такие события играют особую роль в теории риска и безопасности. Они связаны с так называемой жесткой турбулентностью – возникновением редких пространственно-локализованных пиков гигантской амплитуды на турбулентном фоне [4].

При оценке качества технологического оборудования машиностроительных производств можно сделать переход на безопасность, надежность и долговечность, рассматривая в качестве реакции системы на длительно действующее входное возмущение процесс накопления деградационных эффектов в виде усталостных изменений в материале конструкций, а также дефектов. Такие процессы являются показателями и мерой рабочего (качественного) состояния конструкции, элемента технологического оборудования, определяя ее выходные параметры при длительной и тяжелой эксплуатации. В этом случае инженеры проводят наблюдения и обрабатывают их результаты или составляют и анализируют функциональные модели соответствующего физического процесса. При расчете таких показателей необходимо учитывать режимы работы системы с превышениями нагрузкой ее допускаемого уровня и систематическое повторение от начала эксплуатации конструкции до выхода ее из строя [5].

Рассматривая вероятность превышения функцией выхода системы критического уровня и учитывая ее не только при проектировании, но и эксплуатации технологического оборудования, возможно обеспечить наиболее надежную и долговечную конструкцию с достаточно высокой гарантией этих качественных показателей, тем самым увеличивая ее работоспособность и качество выпускаемой ею продукцию. Кроме этого, значительно снижаются затраты, что актуально всегда.

Такие превышения значения выходных параметров не являются характерными и связаны в каждом случае с пиками и предвестниками пиков в режимах нагружения, отклонениями в технологии производства или в прочностных характеристиках материала.

Исследуемой частью выхода из строя должны быть концентрированные накопленные повреждения в наиболее нагруженном участке конструкции.

Таким образом, оценка качества должна быть проведена с учетом риск-анализа пиков и предвестников пиков экстремальных значений случайной функции выше допустимого уровня.

Определим выражение для математического ожидания [6] числа пиков за некоторый промежуток времени Т:

$$\bar{n}\left(\frac{X^*(t)}{T}\right) = T\int_0^\infty x'(t)p[X^*(t), x'(t)]d[x'(t)], \quad (4)$$

где $x'(t)$ - скорость изменения X(t);

$X^*(t)$ - допускаемое значение случайной функции;

$p[X^*(t), x'(t)]$ - плотность распределения допускаемых значений случайной функции и скорости ее изменения.

Число пиков в единицу времени:

$$\bar{n}^*\left(X^*(t)\right) = \frac{\bar{n}\left(\frac{X^*(t)}{T}\right)}{T} = \int_0^\infty x'(t)p[X^*(t), x'(t)]d[x'(t)]. \qquad (5)$$

Определение вероятностных свойств потенциальных зон разрушения в виде совместной функции распределения вероятностей $f\left(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, l, K_c, K_{ce}, J_c\right)$ – напряжений, деформаций, коэффициентов интенсивностей представляет крайне сложную задачу. Рассмотрим упрощенную постановку задачи в предположении статистической независимости базисных переменных. В этом случае вместо указанной функции можно рассмотреть отдельные функции: $f\left(\sigma_{ij}\right)$ или $f\left(\varepsilon_{ij}\right), f(l), f(K_c), f(J_c)$.

Для определения вероятностных свойств полей напряжения и деформации в общем случае необходимо решить стохастическую краевую задачу о напряженно-деформированном состояний элемента конструкции при случайной нагрузке q(t). Решение заключается в получении корреляционных и спектральных функций напряжения и деформации при заданных корреляционных и спектральных функциях нагрузок и комплексного коэффициента передачи элемента.

Для нормального стационарного процесса значения случайных функций и скорость их изменения являются величинами независимыми и некоррелированными:

$$p(X^*, x') = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_{x'}} e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} e^{\frac{\left(x'\right)^2}{2\sigma_{x'}^2}}, \qquad (6)$$

где $\sigma_{x'}^2$ - дисперсия скорости изменения случайной функции;

σ_x^2 - дисперсия допускаемых значений случайной функции.

Подставим (6) в (5):

$$\bar{n}^*\left(X^*(t)\right) = \int_0^\infty x'(t)\frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_{x'}} e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} e^{\frac{\left(x'\right)^2}{2\sigma_{x'}^2}} d[x'(t)] = \frac{\sigma_{x'}^2}{2\pi\sigma_x\sigma_x'} e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} \int_0^\infty d\left[e^{\frac{\left(x'\right)^2}{2\sigma_{x'}^2}}\right]. \qquad (7)$$

Найдем вероятность выхода из строя системы за время T (с учетом закона распределения пиков амплитуд нагрузки за допустимый уровень) в следующем виде:

$$n^*(X^*) \approx P\left(x > \frac{X^*}{T}\right) \approx \frac{T}{2\pi} * \frac{\sigma_{x'}^1}{\sigma_x} e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} \int_0^\infty d\left[e^{\frac{\left(x'\right)^2}{2\sigma_{x'}^2}}\right]. \qquad (8)$$

Выразив σ_x *и* σ_x' через спектральную плотность процесса:

$\sigma_x^2 = \int_0^\infty \Phi_x(\omega)\, d\omega$ и $\sigma_{x'}^2 = \int_0^\infty \omega^2 \Phi_x(\omega)\, d\omega$.

Тогда (8) принимает вид:

$$n^*(X^*) \approx P\left(x > \frac{X^*}{T}\right) \approx \frac{T}{2\pi} * \sqrt{\frac{\int_0^\infty \omega^2 \Phi_x(\omega)\, d\omega}{\int_0^\infty \Phi_x(\omega)\, d\omega}}\, e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\int_0^\infty \Phi_x(\omega)\, d\omega}} \int_0^\infty d\left[e^{\frac{\left(x'\right)^2}{2\int_0^\infty \omega^2 \Phi_x(\omega)\, d\omega}}\right]. \qquad (9)$$

Имея данные величинам σ_x *и* σ_x' процесса и принимая, что $\frac{\sigma_{x'}}{\sigma_x} = \omega_0$ – средняя частота узкополосного процесса, формула (9) будет:

$$n^*(X^*) \approx P\left(x > \frac{X^*}{T}\right) \approx \frac{T\omega_0}{2\pi} * e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\int_0^\infty \Phi_x(\omega)\, d\omega}} \int_0^\infty d\left[e^{\frac{\left(x'\right)^2}{2\int_0^\infty \omega^2 \Phi_x(\omega)\, d\omega}}\right]. \qquad (10)$$

Если рассматриваемая механическая система подвержена воздействию стационарных случайных нагрузок, перегрузки ее элементов (например, с возникновением напряжений выше предела текучести) зарождаются, когда она попадает в область околорезонансных колебаний.

При достижении области резонанса происходит интенсивный рост всех статистических и частотных характеристик процесса (амплитуд, величин перегрузки и среднего числа пиков

за допускаемый уровень), которые при определенных условиях могут достигать предельных значений и приводят к выходу системы из строя.

Конструкция должна работать вне этой так называемой пиковой области, а перегрузки, которые будут при этом будут находиться, ниже значений ее предельного состояния. Риск аварии или разрушения возможен только при условии накопления повреждений в конструкции после определенного времени эксплуатации.

В рассматриваемых конструкциях число пиков достаточно мало и их появление можно считать независимыми катастрофическими редкими событиями. Примем появление пиков амплитуд нагрузок за допускаемый уровень приближенно подчиняющимся закону $\chi^2 -$ распределения Пирсона, тогда вероятность того, что для стационарного прооцесса нагружения системы (8) за время T случайная функция превысит уровень X^*, будет:

$$n^*(X^*) \approx P\left(x > \frac{X^*}{T}\right) \approx \frac{T}{2\pi\psi(m_0)} \int_{v_0^*}^{\infty} v^{m_0-1} e^{-\frac{v^2}{2}} dv, \quad (11)$$

где v - параметр распределения Пирсона:

$$v = \frac{\sigma_{x'}^1}{\sigma_x} e^{-\frac{(X^*-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} \int_0^{\infty} d\left[e^{\frac{(x')^2}{2\sigma_{x'}^2}}\right].$$

$\psi(m_0)$ – нормировочная постоянная распределения:

$$\psi(m_0) = 2^{\frac{m_0-2}{2}} \Gamma\left(\frac{m_0}{2}\right);$$

v_0^* - нижний предел интегрирования, представляющий минимальное значение параметра распределения:

$$v_0^* = \frac{\sigma_{x_0'}^1}{\sigma_{x_0}} e^{-\frac{(X^*-\bar{x}_0)^2}{2\sigma_{x_0}^2}} \int_0^{\infty} d\left[e^{\frac{(x'_0)^2}{2\sigma_{x'_0}^2}}\right],$$

$x_0 -$ минимальное значение процесса;

$m_0 -$ параметр рапспределения, представляющий собой показатель кривой усталости или степени отказов системы.

Выводы

Таким образом, алгоритм нахождения вероятности аварий или катастроф рассматриваемых конструкций с целью оценки качества технологического оборудования может быть определен следующим порядком:

1) строится кривая функции системы и выявляются резонансные частоты случайного процесса нагружения по характерным пикам кривой и безопасные дорезонансные и послерезонансные частоты;

2) интервал работы системы T разбивается на несколько значений и по выражению (10) и уточненному (11) производится построение кривой надежности и ненадежности конструкции для нескольких частот процесса. При этом необходимо иметь значения спектральной плотности нагрузок на выход системы;

3) анализируется и устанавливается зависимость между сроком службы конструкции и вероятностью ее аварии или катастрофы, или вероятностью безотказной работы для выбранных частот случайного процесса нагружения.

Список литературы

1. Извеков Ю. А. Анализ техногенной безопасности кранового хозяйства России. // Современные наукоемкие технологии. - Москва, РАЕ, 2012. - № 12. С. 18-19.

2. Извеков Ю. А. Риск-анализ оборудования металлургических производств. Подход, концепция, анализ. Монография. - Saarbrucken, Deutschland. LAP Lambert, 2013. – 56 с.

3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х частях. // Ч.1. Основы анализа и регулирования безопасности: Научн. руковод. К.В. Фролов. – М.: МГФ «Знание», 2006. – 640 с: ил.

4. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.

5. Бирюков М. П. Динамика и прогнозирующий расчет механических систем. // «Вышэйшая школа». - Минск, 1980. – 189 с: ил.

6. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. – М., 1961.

ASSESSMENT OF QUALITY OF PROCESSING EQUIPMENT OF MACHINE-BUILDING PRODUCTIONS

Izvekov Y.A., PhD (Engineering), Associate Professor
Nikonova T.G., Student,

Izvekov Y.A., Nikonova T.G.

Nosov Magnitogorsk State Technical University,
Lenin Ave.38, 455000, Magnitogorsk, Russian Federation

Abstract

Results of a theoretical research on improvement of methodology of assessment of quality of processing equipment of machine-building productions from the point of view of such indicators as safety, reliability, durability and profitability are given. Transition to these indicators is carried out on the basis of constructional risk analysis.

In extraordinary approach to the solution of a task rather new device constructional risk analysis is used.

Theoretical calculations are executed on the basis of the known methods of probability theory.

The algorithm of assessment of quality of elements, designs of various processing equipment of machine-building productions is given.

Keywords: quality indicators, processing equipment, machine-building productions, constructional risk analysis, safety, reliability, durability, economic indicators, peaks of values.

УДК 621.9.06:678.5

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

МАРКОВ А. М.[1], доктор техн. наук, профессор,
ГАЙСТ С.В[1]. аспирант,
САЛМАН А.М.[1,2], аспирант
([1]АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия
[2]АлтГТУ Университет Ди-Кар, Ирак)

Марков А.М., Гайст С.В., Салман А.М.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail:sergei_gaist@mail.ru
e-mail: andmarkov@inbox.ru
e-mail: azharmansoor76@gmail.com

Аннотация

В статье рассматривается вопрос установления взаимосвязи между силой резания и эквивалентными напряжениями, возникающими при механической обработке композиционного материала, в частности стеклопластика. Для этого проведены исследования физики процесса резания на основе моделирования данного процесса методом конечных элементов и экспериментальные исследования.

Ключевые словая: сила резания, эквивалентные напряжения, композиционные материалы, механическая обработка, метод конечных элементов, параметры режимов резания.

Введение

В настоящее время композитные материалы находят широкое применение в различных отраслях промышленности: космическая и ракетная техника, авиа-, суда-, автомобилестроение и т.д. Это обусловлено рядом достоинств, присущих композитам, таких как высокие прочностные и упругие характеристики, стойкость к агрессивным химическим средам, низкие тепло- и электропроводность, кроме того, композиционные материалы обладают низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью и способностью работать в условиях сухого трения. К таким материалам относят стеклопластик, углепластик, боропластик и др. [1] Технологический процесс изготовления таких деталей может включать механическую обработку, в частности фрезерование, которое обеспечивает удаление литников, заусенцев, остающихся на заготовке после операций формообразования. Механическая обработка композиционных материалов имеет ряд особенностей (анизотропия, низкая теплопроводность, абразивное воздействие на режущий инструмент, высокие упругие характеристики обрабатываемого материала и т.д.) [2, 3, 4, 5] что затрудняет выбор режущего инструмента при проектировании операции механической обработки.

Описание теоретических или экспериментальных исследований

В настоящее время физика процесса резания композиционных материалов изучена еще недостаточно полно, что требует проведения дополнительных исследований, как правило связанных со значительными затратами материальных и временных ресурсов. Наиболее эффективно эта задача может быть решена с помощью моделирования, в частности, на основе метода конечных элементов.

Наиболее известной средой для моделирования процесса резания является программный комплекс Ansys. Однако, анализ работ, посвященных моделированию процесса резания в среде Ansys, выявил, что наиболее часто моделирование заканчивается получением эквивалентных напряжений, в то время как в литературе приводят данные о взаимосвязи силы резания и выходных параметров операции механической обработки (износ режущего инструмента, шероховатость обработанной поверхности, температуры в зоне резания и т.д.)

Таким образом, целью статьи является установление взаимосвязи между силой резания P и эквивалентными напряжениями $\sigma_{экв}$ для конкретных условий (физико-механические свойства композитного материала, режимы резания, конструкторско геометрические параметры режущего инструмента и т.д.). Для этого необходимо сравнить значения силы резания и эквивалентных напряжений, полученные для одних и тех же входных параметров. Исследования проводились на композитном материале «Стеклопластик косослойной продольно-поперечной намотки, изготовленного по СТП-003-2013», имеющем физико-механические свойства, описанные в [6].

Результаты и обсуждение

Значения эквивалентных напряжений в зависимости от входных параметров операции фрезерования (скорость резания, радиус при вершине режущего клина, глубина фрезерования) получено методом математического моделирования в виде:

$$\sigma_{экв} = A \cdot V^x \cdot R^y \cdot t^z \quad (1)$$

где t – глубина резания (мм); V – скорость резания (м/мин); R – радиус при вершине режущего клина; A, x, y, z – коэффициент и показатели степени.

Изменение входных параметров варьировались в пределах:

– скорость резания – $V_{\min} = 70$ мм/мин, $V_{\max} = 628$ мм/мин;

– радиус при вершине –R_{min}=0,05 мм, R_{max}=0,3 мм;

– глубина фрезерования – $t_{\min} = 0{,}5$, $t_{\max} = 1$.

Для сокращения числа опытов использована методика дробного факторного эксперимента 2^{K-P} , где P –дробность реплики. При P=1 число экспериментов сокращается в 2 раза, при P=2 - в 4 раза, при P=3 - в 8 раз и т.д. по степеням двойки.

Матрица планирования и результаты численного эксперимента 2^3 представлена в таблице 1. В соответствие с матрицей планирования в математическую модель задавались значения варьируемых параметров и производился расчет, далее определялись величины эквивалентных напряжений, которые в свою очередь заносились в таблицу.

Таблица 1. – Матрица планирования и результаты численного эксперимента

№	Варьируемые параметры			Контролируемый параметр
	V, м/мин	R, мм.	t, мм	σ, МПа
1	+	+	+	3529
2	+	+	-	1864
3	+	-	+	1359
4	+	-	-	1167
5	-	+	+	1248
6	-	+	-	821
7	-	-	+	560
8	-	-	-	321

Экспериментальные данные были обработаны на компьютере с помощью программного комплекса "Метод наименьших квадратов". В результате обработки результатов моделирования была получена степенная зависимость величины эквивалентных напряжений σ от скорости резания V, м/мин, радиус при вершине R, мм и глубины фрезерования t, мм:

$$\sigma_{экв} = 337{,}55 \cdot V^{0{,}45} \cdot R^{0{,}48} t^{0{,}86} \quad (2)$$

Для получения степенной зависимости силы резания от входных параметров были проведены экспериментальные исследования. Методика экспериментальных исследований описана в работе [7] Полученные значения силы резания, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Значение силы резания от входных параметров операции механической обработки стеклопластика

№	Варьируемые параметры			Контролируемый параметр
	V, м/мин	R, мм.	t, мм	F, Н
1	+	+	+	1652
2	+	+	-	836
3	+	-	+	607
4	+	-	-	359
5	-	+	+	736
6	-	+	-	286
7	-	-	+	154
8	-	-	-	98

После обработки экспериментальных данных в соответствии с матрицей планирования была получена математическая зависимость силы резания от режимов фрезерования:

$$P = 134{,}9 \cdot V^{0{,}51} \cdot R^{0{,}62} t^{0{,}93} \quad (3)$$

Сопоставив данные полученные при математическом моделировании и эксперименте (рисунок 1) получаем зависимость силы резания от эквивалентных напряжений.

$$P = 0{,}602 \cdot \sigma_{экв} - 104{,}5 \quad (4)$$

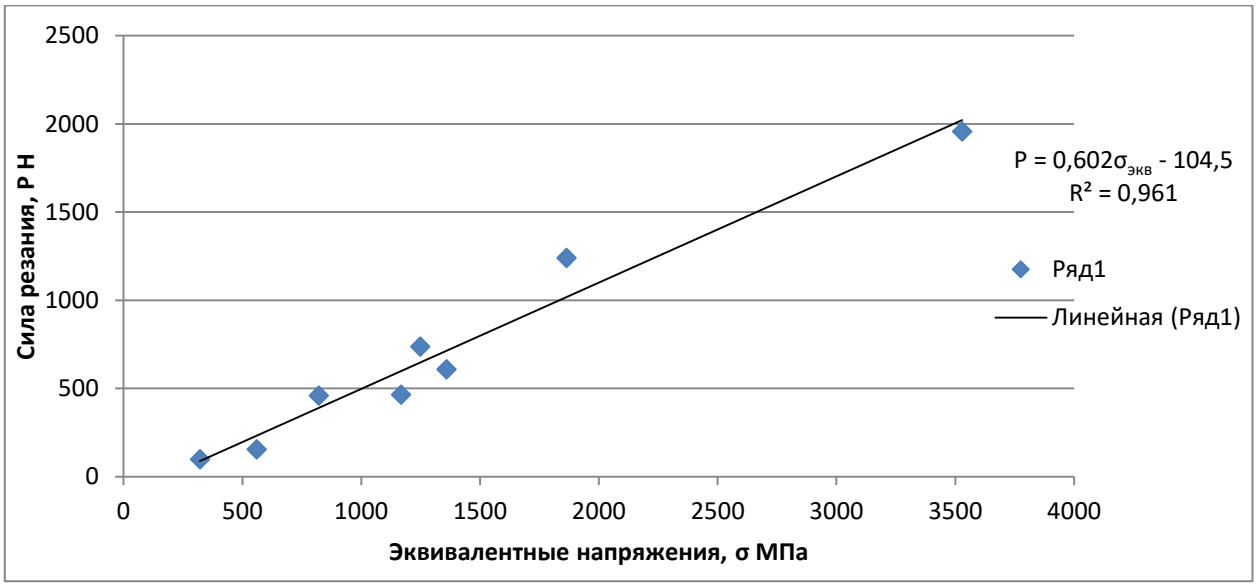


Рисунок 1 -

Выводы

Предложенная методика анализа значений эквивалентных напряжений и силы резания, полученных при одних условиях обработки, позволяет установить их взаимосвязь в виде линейной зависимости. Полученная зависимость может найти применение для моделирования процесса формирования выходных параметров операций фрезерования композиционных материалов.

Список литературы

1. Гайст С.В., Барсукова О.А. Особенности фрезерования заготовок из композиционных материалов (стеклопластика) // Педагогическое образование на Алтае. 2014. № 2. С. 193-194.
2. Обработка резанием полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / В.М. Ярославцев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 180, [4] с. : ил. ;
3. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 176 с., ил.;
4. Ширинкин В.В., Макаров В.Ф., Мешкас А.Е. Обзор международных исследований и изучение процесса стружкообразования при сверлении композиционных материалов.// В книге: Наукоёмкие технологии на современном этапе развития машиностроения Материалы VIII Международной научно-технической конференции. - 2016. С. 260-262.
5. Мозговой Н.И., Марков А.М., Мозговая Я.Г. Проектирование операций изготовления отверстий в деталях из стеклопластика // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 1. С. 45-49.
6. Гайст С.В., Катаева С.А., Марков А.М., Черданцев П.О., Лапенков Е.Ю. Исследование процесса фрезерования стеклопластик // Наукоёмкие технологии на современном этапе развития машиностроения Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2016. С. 42-48.
7. Марков А.М., Черданцев П.О., Гайст С.В., Черданцев А.О., Лапенков Е.Ю., Потапов И.С. Исследование силы резания при высокоскоростном фрезеровании композиционных материалов // Актуальные проблемы в машиностроении. 2017. Т. 4. № 4. С. 45-51.

METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL DETERMINATION OF CUTTING FORCES DURING MACHINING

Markov A.M., D.Sc. (Engineering), Professor
Gayst S.V., Post-graduate, assistant,
Salman A.M., postgraduate

Markov A.M., Gayst S.V., Salman A.M.

Polzunov Altai State Technical University,
46 Lenina avenue, Barnaul, Altai region, 656038, Russian Federation
Thi Qar University, Nasiriya, 64002, Republic of Iraq

Abstract

The article deals with the problem of establishing the relationship between the cutting force and the equivalent stresses arising during the mechanical processing of the composite material, in particular fiberglass. This requires additional studies of the physics of the cutting process, associated with the simulation of the process by the finite element method and experimental studies.

Keywords: Cutting force, equivalent stress, composite materials, machining, finite element method, parameters of cutting conditions.

УДК 389.63: 378.1.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫБОРА СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

БАЛАШОВ А.В. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
ЛУКАШ А.С. [1] *магистрант*
БОЛАТОВ А.Б., [2] *магистрант*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия
[2] *ГУ им. Шакарима г. Семей, Казахстан)*

Балашов А.В., Лукаш А.С., Болатов А.Б.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20а,
Государственный университет им. Шакарима города Семей
e-mail: bavagtu@mail.ru
e-mail: l.a.s.74@mail.ru
e-mail:aidosbolatov7@gmail.com

Аннотация

Рассмотрена методика выбора средств измерений. Представлена система управления базой данных средств измерений. Описан алгоритм выбора средств технологического оснащения операций и переходов контроля. Дан пример выбора средств измерений. Разработанное программное обеспечение позволяет расширять объем таблиц, а при необходимости дополнять базу данных другими средствами измерений. Использование базы данных позволяет автоматизировать выбор средств измерений. Разработанный алгоритм дает возможность на этапе технологической подготовке производства выбирать средства технологического оснащения операций и переходов контроля технических требований, предъявляемых к деталям.

Ключевые слова: средства измерений, система управления базой данных, алгоритм, программное обеспечение

Введение

По оценкам экспертов примерно 15% затрат общественного труда расходуется на проведение измерений [1, 2]. При рассмотрении схемы системы качества, в которую входит так называемая «петля качества», можно сделать вывод, что на измерение, контроль проведения испытаний и обследований затраты труда составляют такую же долю, как на производство продукции. При этом предъявляются высокие требования к обеспечению единства измерений, использованию стандартных методов измерения. Сокращению трудоемкости выбора средств измерений может способствовать использование алгоритмов хранения и выбора характеристик средств измерения из таблиц, имеющих значительные объёмы.

Описание теоретических исследований

Система управления базой данных (СУБД) представляет собой программное обеспечение, которое позволяет выбирать из таблицы информацию по заданным критериям:

контролируемый параметр (линейный, диаметральный, угловой размеры, шероховатость, отклонения формы, взаимного расположения поверхностей, др. параметры). Выходными параметрами является выбранное средство измерения заданного контролируемого параметра. Общий порядок выбора средств представлен на блок – схеме, изображенной на рисунке 1 [3]. Алгоритм предусматривает работу с базой данных, в которой содержится информация о наименовании, разрешающей способности, номере средства измерения и контролируемой детали, производственном участке.

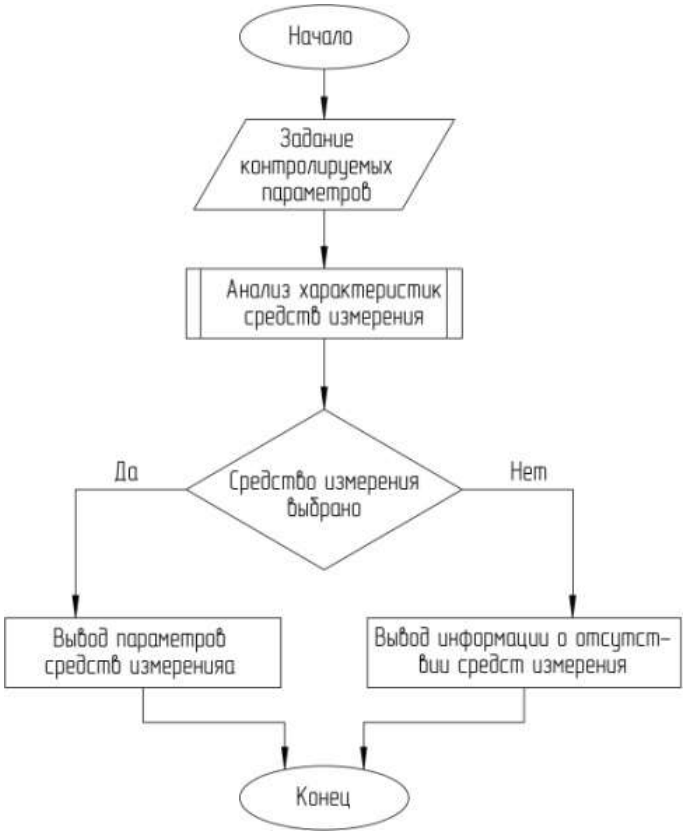


Рисунок 1 – Алгоритм выбора средств измерений

В среде таблиц процессора Excel разработан программа (СУБД) для выбора средств измерений по задаваемым контролируемым параметрам детали (рисунок 2)

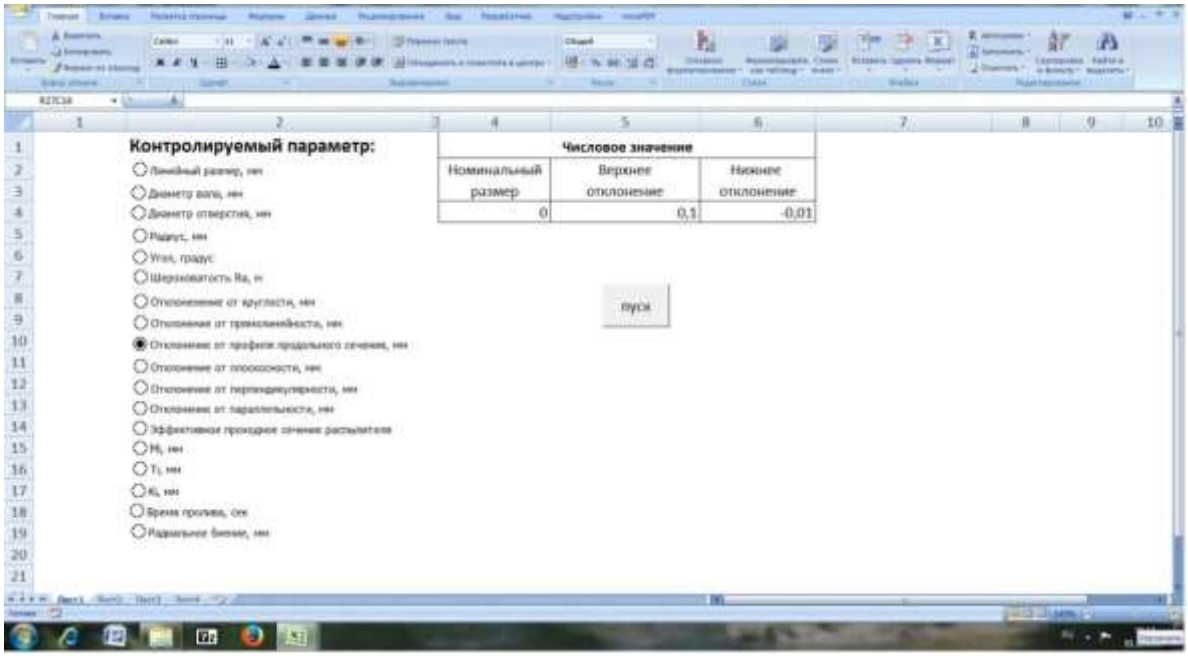


Рисунок 2 – Задание контролируемых параметров детали

При нажатии клавиши «Пуск», осуществляется поиск средств измерений из базы данных по заданным параметрам по разработанному макросу (рисунок 3). База данных представлена на листе 2 программы (рисунок 4).

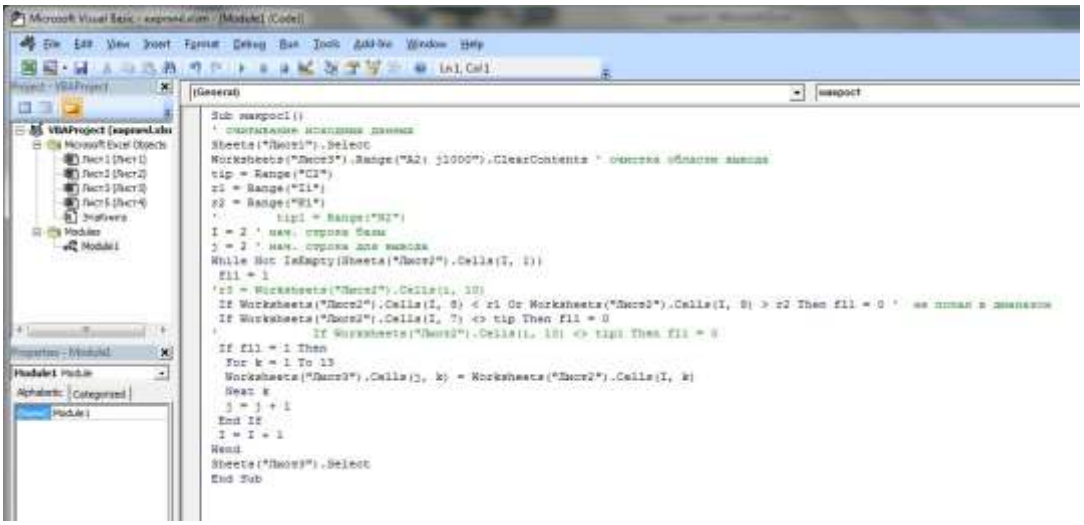


Рисунок 3 – Макрос СУБД средств измерений

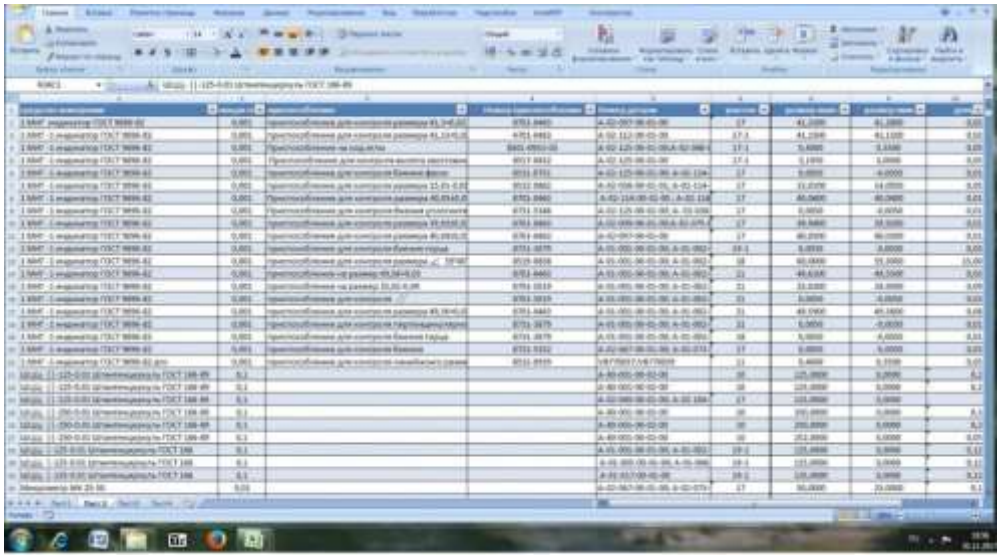
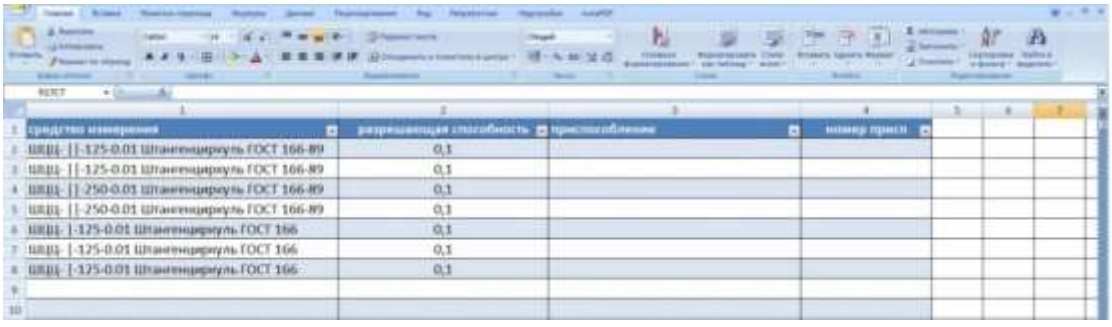


Рисунок 4 – Фрагмент базы данных средств измерения

Результат выводится в таблицу на третий лист программы, рисунок 5.



	1	2	3	4	5	6	7
1	средство измерения	разрешающая способность	приспособление	номер присл			
2	ШЦЦ-[]-125-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166-89	0,1					
3	ШЦЦ-[]-125-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166-89	0,1					
4	ШЦЦ-[]-250-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166-89	0,1					
5	ШЦЦ-[]-250-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166-89	0,1					
6	ШЦЦ-[]-125-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166	0,1					
7	ШЦЦ-[]-125-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166	0,1					
8	ШЦЦ-[]-125-0.01 Штангенциркуль ГОСТ 166	0,1					
9							
10							

Рисунок 5 – Фрагмент выходных параметров

Результаты и обсуждения

Разработанные алгоритм и СУБД использовалась для выбора средств измерений для кругло-шлифовальной операции изготовления вала отбора мощности дизельного двигателя Д-29 производства ОАО ХК «Барнаултрансмаш». Операционный эскиз приведен на рисунке 6.

Выбраны следующие средства измерения: калибр скоба ПР-НЕ Ø35-0,05; Микрометр МК50-1 ГОСТ 6507-90.

Выводы

Разработанное программное обеспечение позволяет расширять объем таблиц, а при необходимости дополнять базу данных другими средствами измерений.

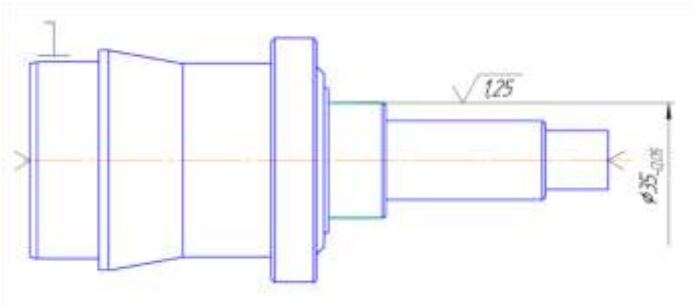


Рисунок 6 – Операционный эскиз

Использование базы данных позволяет автоматизировать выбор средств измерений.

Разработанный алгоритм дает возможность на этапе технологической подготовки производства выбирать средства технологического оснащения операций и переходов контроля технических требований, предъявляемых к детали.

Список литературы

1. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие для вузов/ А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря.- М.: Логос, 2003.- 536 с.

2. Выбор универсальных средств измерения линейных размеров: учебное пособие / В.Н. Бриш, А.Н. Сигов.- Вологда: ВоГТУ, 2008.- 64 с.

3. ЛукашА.С., Балашов А.В. Автоматизация выбора средств технологической оснастки. Молодежь - Барнаулу. Материалы VII-XIX городской науч.-пр. конференции молодых ученых / гл. ред. Ю.В. Анохин. – Часть XIX. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2018. С. 438-441.

AUTOMATION OF THE SELECTION OF THE MEANS OF EQUIPMENT

Balashov A.V., PhD (Engineering), Associate Professor
Lukash A.S., Graduate student
Bolatov A.B., Graduate student

Balashov A.V., Lukash A.S., Bolatov A.B.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation
Shakarim University
071412, 20a Glinka st, Semey, Kazakhstan,

Abstract

The procedure of the selection of the means of measurements is examined. Is represented control system of the base of data of the means of measurements. The algorithm of the selection of the means of the technological equipment of operations and passages of control is described. Dana an example of the selection of the means of measurements. Developed software makes it possible to enlarge the volume of tables, and to if necessary supplement the base of given by other means measurements. The use of a data base makes it possible to automate the selection of the means of measurements. The developed algorithm gives the possibility in the stage to the technological preparation for production to select the means of the technological equipment of operations and passages of the checking of the technical specifications, imposed on the components.

Keywords: the means of measurements, control system of the data base, algorithm, software.

УДК 621.9:681.3

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

КАЛАЧЕВ О. Н[1], канд. техн. наук., доцент
КАЛАЧЕВА Д. А[1]., магистрант
([1] ЯГТУ, г. Ярославль, Россия)

Калачев О.Н., Калачева Д.А.

150023, г. Ярославль, Московский просп., д. 88
Ярославский государственный технический университет
e-mail: KalachevON@ystu.ru

Аннотация

Рассматривается этапы и проблемы при формализации бизнес-процессов, действующих при конструкторско-технологической подготовке производства (КТПП) машиностроительного предприятия. При формировании модели бизнес-процессов используется методология и программное обеспечение ARIS. Электронное хранение текстовых и графических результатов проектирования, а также взаимодействие участников проекта организуется в системе ЛОЦМАН: PLM. Предложен шаблон схемы жизненного цикла объектов-документов КТПП, реализованный средствами модуля потока работ WorkFlow. Автоматически сформирован отчет по результатам запуска схемы потока работ.

Ключевые слова: конструкторско-технологическая подготовка производства, бизнес-процесс, жизненный цикл документа, PLM, ЛОЦМАН, WorkFlow.

Актуальной задачей современного предприятия является сокращение сроков и повышение качества конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) на основе комплексного внедрения современных информационных технологий. Синергетический эффект от параллельного, сетевого, распределенного проектирования возникает на основе применения PLM-систем, которые организуют санкционированный доступ проектировщикам к информации и их взаимодействие по сети, устраняют бумажный документооборот, поддерживают логическую и физическую целостность информации проекта, иерархию и распределение полномочий его участников, обеспечивают контроль за ходом его выполнения и т.п. Использование PLM-систем позволяет упорядочить работы ТПП путем организации обмена и преобразования информации систем CAD, CAPP и CAM[1].

Цепью исследования является решение комплекса задач по переходу на компьютерно-интегрированное взаимодействие конструкторских и технологических подразделений машиностроительного предприятия на основе использования программных продуктов компании АСКОН: ЛОЦМАН:PLM, КОМПАС-3D и САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ. Перспектива внедрения этого комплекса систем привлекала возможностью формирования на основе ЛОЦМАН: PLM единой базы данных конструкторско-технологического отдела (КТО). Предполагалось, что проектирование на основе накапливаемых в ЛОЦМАН: PLM электронных аналогов изделий и технологий их изготовления позволит не только ускорить подготовку производства, но и «слить знания» опытных специалистов предприятия. Ставилась также задача подготовки формализованной последовательности работ по КТПП с применением инструментальных средств модуля «потока работ» [2-5].

На первом этапе выполнялось изучение, описание и формализация действующих – «как есть» – информационных бизнес-процессов путем их графической интерпретации. С этой целью выяснялась роль каждого работника КТО, устанавливался владелец «процесса», собирались документы, руководящие указания, результаты проектирования, «события»,

запускающие бизнес-процессы проектирования и изготовления. В результате с использованием методологии и программного обеспечения ARIS (от англ. Architectureof Integrated Information Systems) на втором этапе исследования была разработана подробная схема-информационная модель (рисунок 1), оформленная программными средствами ARISи дополненная

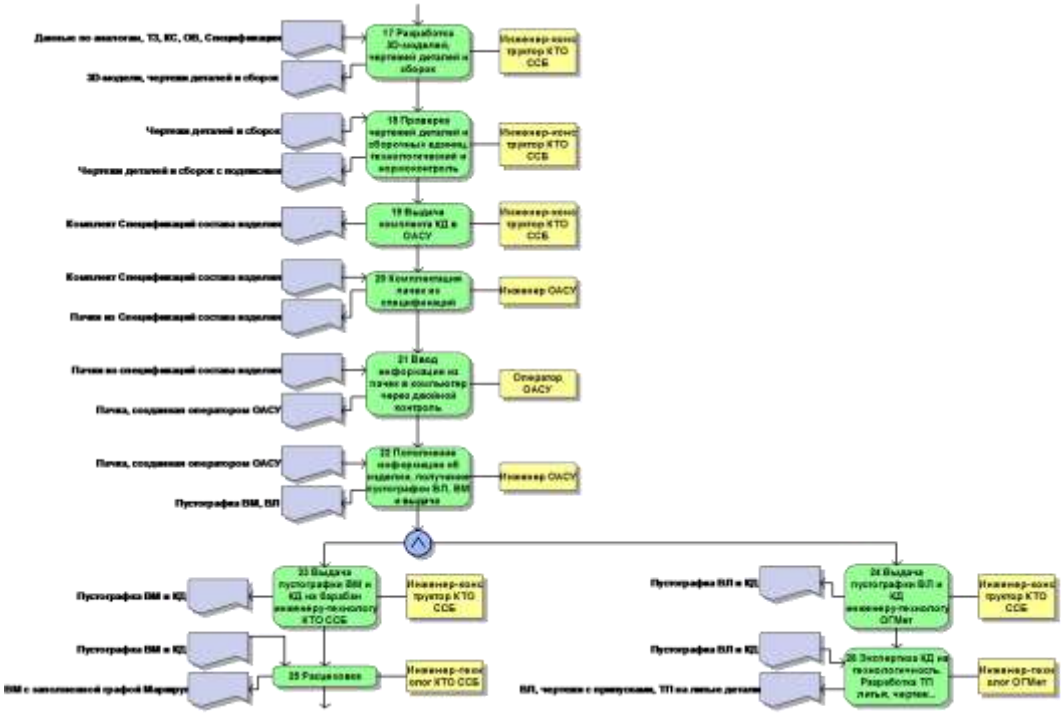


Рисунок 1 – Фрагмент схемы существующего бизнес-процесса

подробным описанием каждого блока (рисунок 2). Информационная модель наглядно показывает участников, события и процессы КТПП.

Блок 16

Функция. Проверка КС, ОВ, Спецификации и утверждение.

Владелец процесса. Начальник КТО ППО.

Вход. ТЗ, КС, ОВ, Спецификация.

ТЗ, КС, ОВ, Спецификация оформляются подписями в соответствии с РД ПЕШК-05.003-2002 и утверждаются начальником КТО ППО Трофимовым А.М.

Блок 17

Функция. Разработка 3D-моделей, чертежей деталей и сборок.

Владелец процесса. Инженер-конструктор КТО ССБ.

Вход. Данные по аналогам, ТЗ, КС, ОВ, Спецификация.

Выход. 3D-модели, чертежи деталей и сборок.

3D-модели, чертежи деталей и сборочных единиц (рисунки 2.28 – 2.30) разрабатываются инженером-конструктором КТО ССБ в программе Inventor и КОМПАС-3D в соответствии со спецификацией, ТЗ, КС, ОВ.

Блок 18

Функция. Проверка чертежей деталей и сборочных единиц, технологический и нормоконтроль.

Владелец процесса. Инженер-конструктор КТО ССБ.

Вход. Чертежи деталей и сборок.

Выход. Чертежи деталей и сборок с подписями.

Оформление чертежей подписями ведется в соответствии с РД ПЕШК-05.003-2002: проверяет ведущий конструктор КТО ССБ, руководитель проекта, технологический контроль осуществляет ведущий конструктор КТО ССБ и нормоконтроль – технолог КТО ССБ.

Рисунок 2 – Пример комментариев по каждому блоку

Параллельно выявлялись ключевые состояния объектов проектирования, представляющие этапы жизненного цикла различных документов (рисунок 3).

Рисунок 3 – Фрагмент схемы состояний объектов-документов

Подготовленная диаграмма стала основой для реинжиниринга бизнес-процессов с учетом внедрения электронного хранения информации и последующего формирования схемы жизненного цикла обобщённого объекта – набора состояний в терминах системы ЛОЦМАН: PLM.

С использованием формализованных результатов обследования сложившегося документооборота, были сформированы группы проектировщиков, которые наделялись соответствующими правами доступа к объекту информации и перевода его в следующее состояние (рисунок 4).

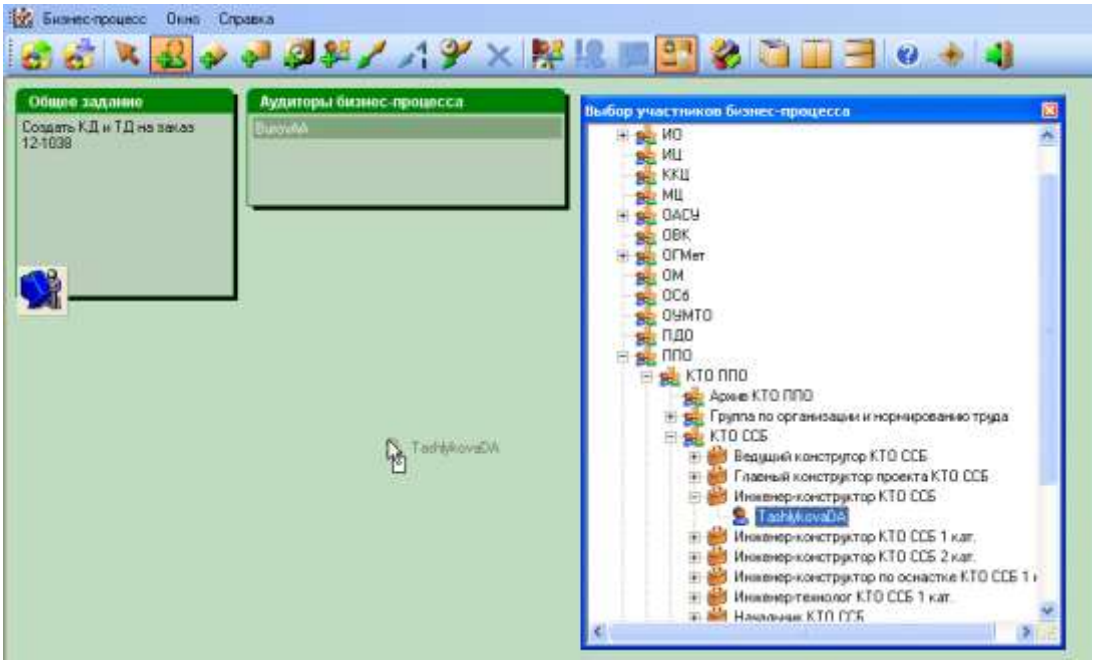


Рисунок 4 – Группы участников бизнес-процесса

На третьем этапе было подготовлено иерархическое дерево типового проекта, которое помимо обозначения и типовой пиктограммы каждой структурной единицы, визуально отображало уровень доступа и степень блокировки объекта, и его текущее состояние (рисунок 5). Были сохранены пиктограммы, поставляемые по умолчанию.

Выявленные состояния объектов, образующих дерево ЛОЦМАН: PLM, и их последовательность, а также выделенные каждому участнику проекта права доступа были зафиксированы инструментальными средствами настройки системы.

На четвертом этапе работ схема жизненного цикла была воплощена в виде построенного на экране шаблона-диаграммы модуля WorkFlow системы ЛОЦМАН:PLM(рисунок 6).

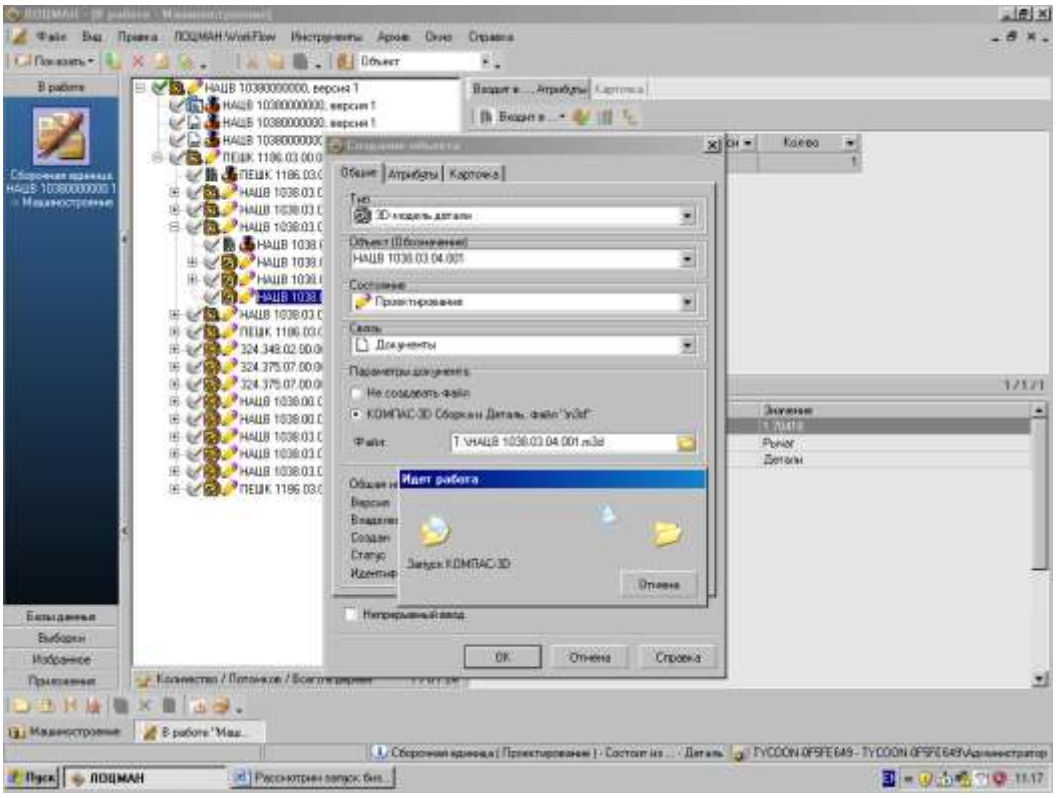


Рисунок 5 – Формирование дерева проекта

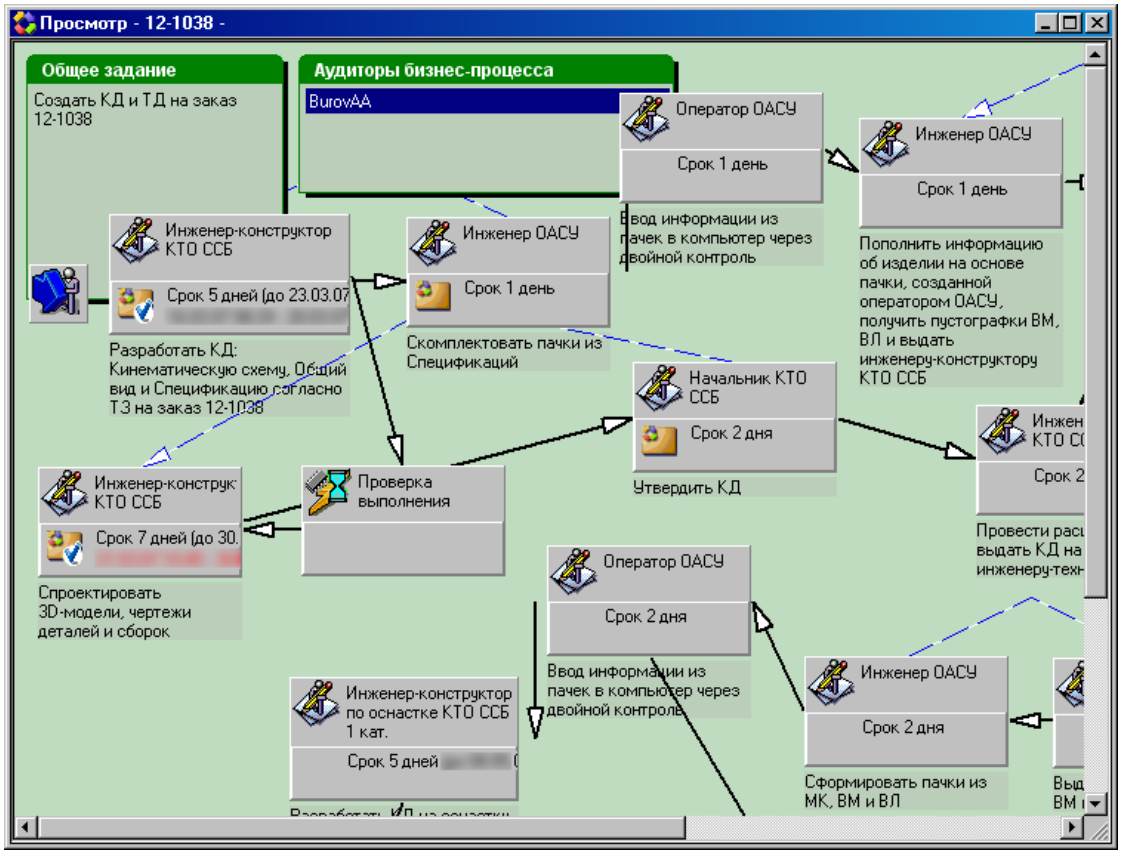


Рисунок 6 – Фрагмент шаблона в модуле потока работ системы ЛОЦМАН: PLM

На рисунке 6 представлен фрагмент разработанного и запущенного бизнес-процесса на экране руководителя, где каждому проектировщику назначается задание и устанавливается продолжительность его выполнения (рисунок 7).

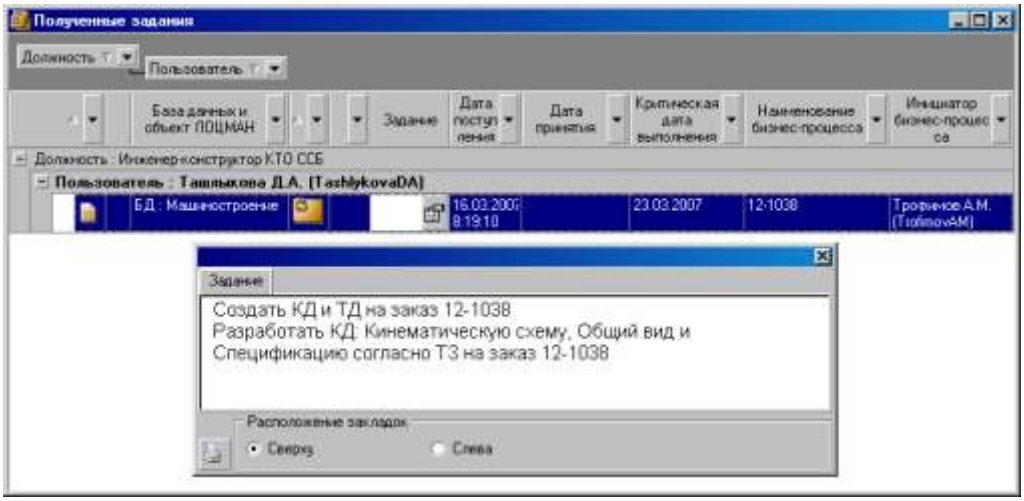


Рисунок 7 – Просмотр задания

Выполнив задание по созданию, например, конструкторской документации одной из сборочных единиц, конструктор переносит файлы в дерево ЛОЦМАН, изменяет состояние объекта проектирования и посылает уведомление о выполнении.

После утверждения руководителем назначенного задания, на диаграмме появляется отметка о выполнении этапа работ (см. рисунок 6). Следующему участнику бизнес-процесса автоматически приходит сообщение с заданием текущего этапа КТПП. Необходимую информацию он получает, обращаясь к дереву проекта в ЛОЦМАНЕ (рисунок 8).

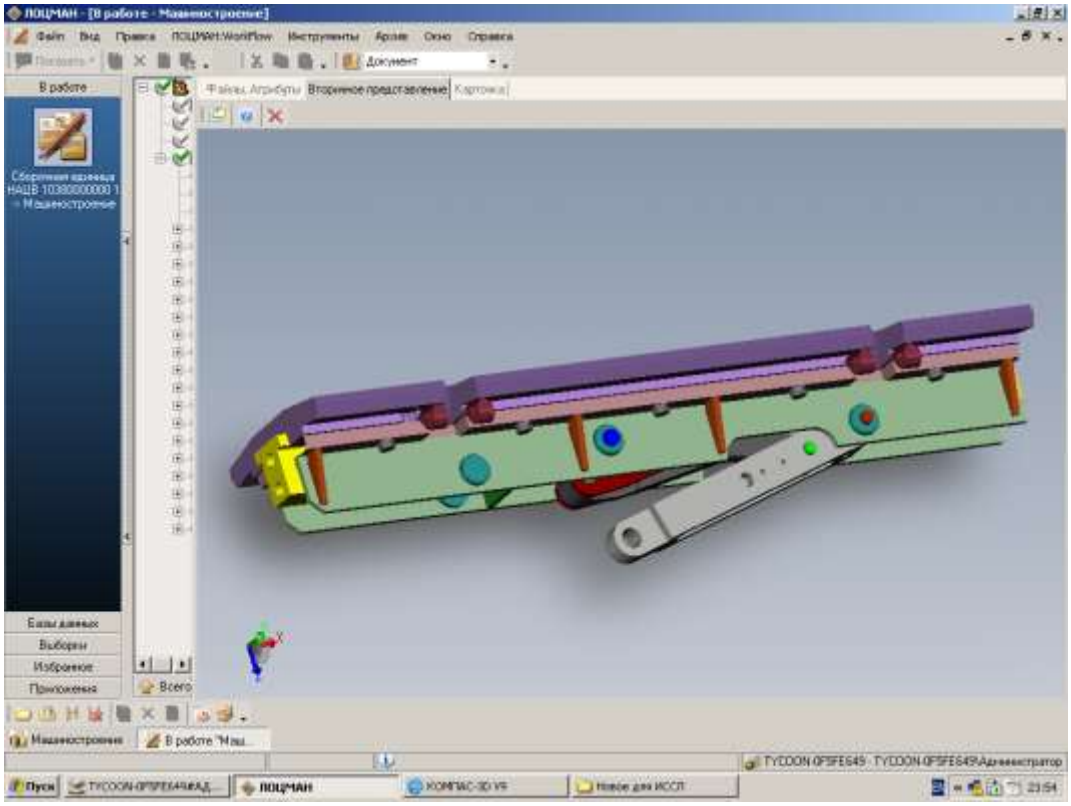


Рисунок 8 – Просмотр 3D-модели из дерева проекта

При этом3D-модели могут быть выполнены в разнородных CAD-системах [6], а участники бизнес-процесса могут обмениваться информацией по электронной почте.

Обобщённая информация о ходе выполнения КТПП фиксируется таблицей (рисунок 9).

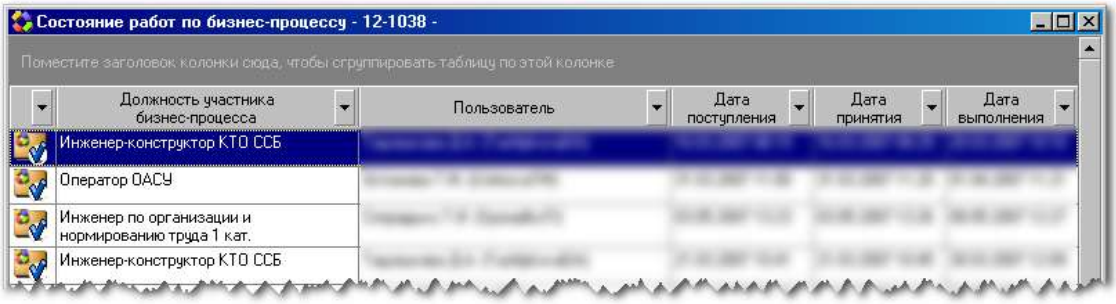


Рисунок 9 – Состояние работ по бизнес-проекту

Выводы

Таким образом, рассмотренные этапы цифрового реинжиниринга технического документооборота позволили интегрировать участников КТПП с помощью ЛОЦМАН: PLMи дать возможность руководителю в любой момент отслеживать состояние работ по проекту. Полностью отработанную диаграмму бизнес-процесса можно сохранить в виде шаблона для многократного использования. В перспективе наличие диаграмм WorkFlow позволяет выявить наиболее продолжительные этапы КТПП и перестроить существующий бизнес-процесс с целью сокращения сроков проектирования и изготовления изделий различных модификаций. Жесткий, документированный учет рабочего времени каждого проектировщика кардинально меняет отношение участников и систему оплаты труда.

Список литературы

1. Калачев, О.Н. К вопросу интеграции конструкторской и технологической информации в PDM-системе. Технологическое обеспечение качества машин и приборов: Сб. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. – Пенза, 2004. – С.153-156

2. Калачев, О.Н., Конинский И.А. Компьютерно-интегрированная подготовка механообрабатывающего производства с использованием разнородных CAD, CAPP, CAM-систем. ВестниК компьютерных и информационных технологий. М.: – 2005. – №4. – С.22-26

3. Калачев, О.Н Использование PDM-системы ЛОЦМАН в организации учебного процесса на кафедре технологии машиностроения. «Проблемы информатизации образования» (ТУЛАИНФОРМ-2008): материалы Всеросс. науч.–практ. конф. – Тула: изд-во ТулГУ, 2008. – С. 30-32

4. Калачев, О.Н Разработка структурной модели компьютерно-интегрированного учебно-методического комплекса для отслеживания образовательной деятельности студента на основе PDM-системы ЛОЦМАН:PLM. Материалы II Междун. научно-практической конф. «Перспективы развития систем среднего и высшего профессионального образования в современном обществе». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2009. – с. 72-74

5. Калачев, О.Н Опыт освоения CAD/CAM/CAPP/PLM-систем в учебном процессе по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Научные труды. – М., МАТИ, 2011. – С. 333-337.

6. Калачев, О.Н, Карулин А.В., Трошин В.А. Компьютерно-интегрированное проектирование в среде NX 7.5 при изготовлении литьевой оснастки в рамках учебного процесса на кафедре технологии машиностроения. CAD/CAM/CAE Observer. Рига: – 2011. – №8. – С. 77-82.

EXPERIENCE OF THE ORGANIZATION OF UNIFORM INFORMATION SPACES AT MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

Kalachev O.N. PhD (Engineering), Associate Professor
Kalacheva D. A. Graduate student

Kalachev O.N., Kalacheva D.A.

150023, Yaroslavl, Moskovsky Avenue, 88
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

Abstract

Is considered stages and problems at formalization of the business processes operating by the design-technology preparation of production (DTPP) of machine-building enterprise. When forming model of business processes the methodology and the software of ARIS is used. Electronic storage of text and graphic results of design and also interaction of participants of the project will be organized in the LOTSMAN:PLM system. The template of the scheme of life cycle of objects documents of KTPP realized by means of the module of a stream of works of WorkFlow is offered. The report on results of start of the scheme of a stream of works is automatically created.

Keywords: design-technology preparation of production, business process, life cycle of the document, PLM, LOTSMAN, WorkFlow.

УДК 621.9:681.3.001.66

ОБ УЧЕТЕ КОЛЕБАНИЯ ПРИПУСКОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ МЕХАНООБРАБОТКИ

КАЛАЧЕВ О. Н[1], канд. техн. наук, доцент
КАЛАЧЕВА Д. А[1]., магистрант
([1] ЯГТУ, г. Ярославль, Россия)

Калачев О.Н., Калачева Д.А.

150023, г. Ярославль, Московский просп., д. 88
Ярославский государственный технический университет
e-mail: KalachevON@ystu.ru

Аннотация

Рассматривается автоматизированный расчет технологических размеров механообработки на основе графовой модели. Выделяются две ветви алгоритма решения размерных цепей в зависимости от вида замыкающего звена: конструкторского размера или припуска. Усовершенствованный вариант компьютерной программы KON7 позволяет оценить колебания расчетных значений припусков. Анализ результатов расчета для деталей с большим числом составляющих звеньев цепей показывает, что достижение расчетных значений технологических размеров в производственных условиях будет определяться колебаниями припусков. Следовательно, использование метода max-minпри размерном анализе подобных деталей проблематично.

Ключевые слова: механообработка, расчет технологических размеров, допуск, припуск, размерная цепь, размерная схема, KON7 плюс

В известных работах Мордвинова и Иващенко [1], а также в работах автора [2-4] при автоматизированном расчете технологических размеров на основе графовой модели ставится задача вычисления технологических размеров такой точности, при соблюдении которой достигается заданная точность конструкторских размеров. В программе KON7[5]решение выявленных размерных цепей варианта технологического процесса (ТП) ведется по двум веткам алгоритма: отдельно для цепей с замыкающим звеном конструкторским размером и – минимальным припуском. При этом результаты расчета не предоставляют величину колебания припуска. Значение колебания припуска для оценки корректности расчета впервые качественно отмечено в работе [6]. Между тем, как показала практика размерных расчетов, этот параметр является своеобразным «компенсатором» возможности решения размерных цепей первого вида в условиях первичности трехмерного графического источника информации [7] и характеризует качество варианта размерной структуры проектируемого ТП.

Настоящая работа ставит задачу оценить количественно влияние величины припуска на производственные перспективы анализируемого варианта размерной структуры процесса механообработки изготавливаемой детали.

Необходимость оценки допуска на припуск привела к разработке новой версии программы KON7 с индексом «плюс». В новой программе, помимо других нововведений, формируется таблица колебаний припусков по каждой размерной цепи второго вида.

Рассмотрим особенности расчета по программе KON7 плюс [8] на примере достаточно емкой по числу конструкторских размеров детали типа «распредвал». Размерная схема и граф варианта ТП приведены на рисунках 1 и 2.

Как видно из фрагмента результатов расчета (рис. 3), для замыкающих звеньев вида «припуск» программно выявляются и формируются весьма «длинные» размерные цепи, и колебания припусков (рис. 4) чрезмерно велики. Несмотря на то, что точность

конструкторских размеров формально достигается при выдерживании рассчитанных допусков технологических размеров, при подобных колебаниях припусков не следует ожидать стабильной точности обработки.

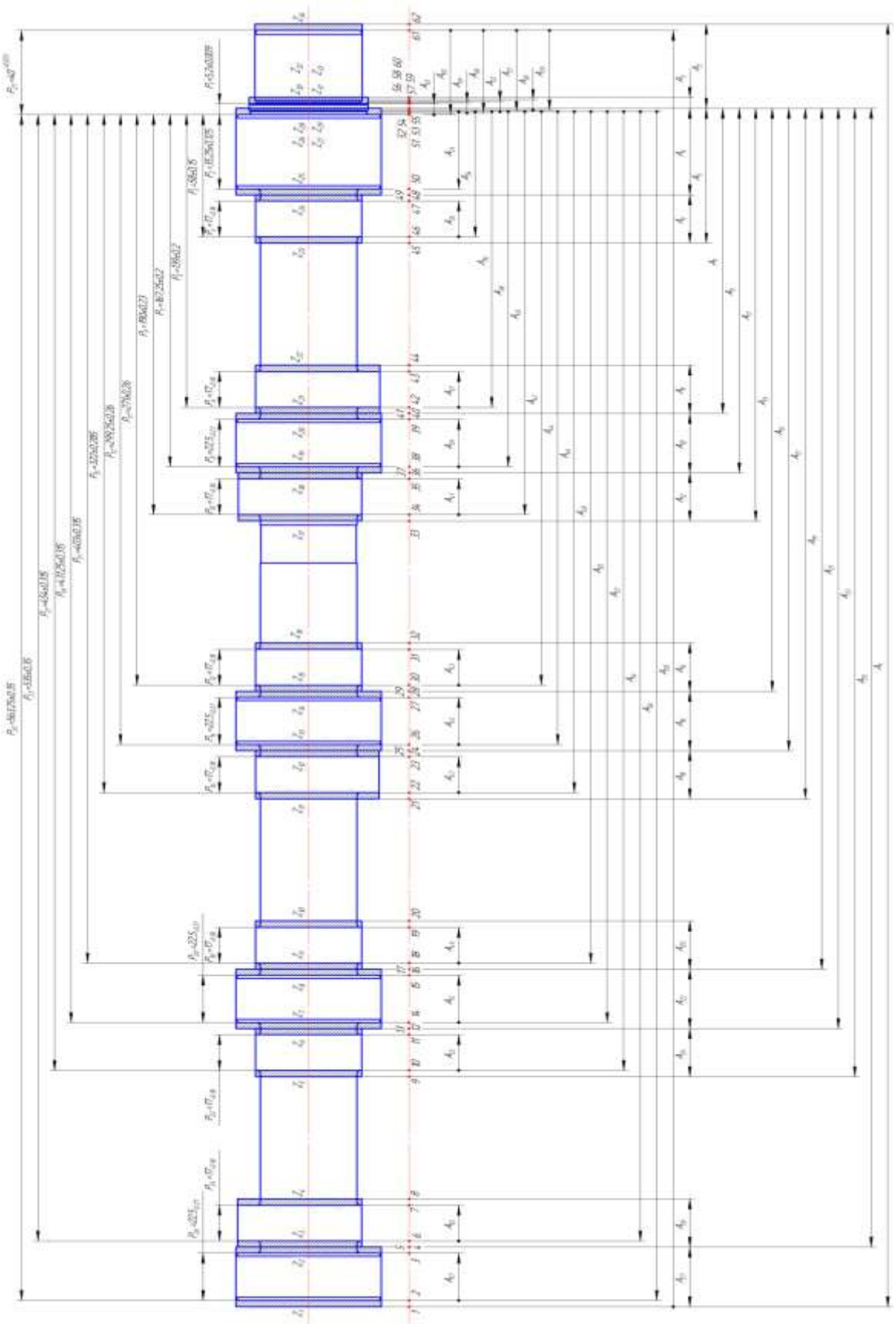


Рисунок 1 – Размерная схема варианта технологического процесса

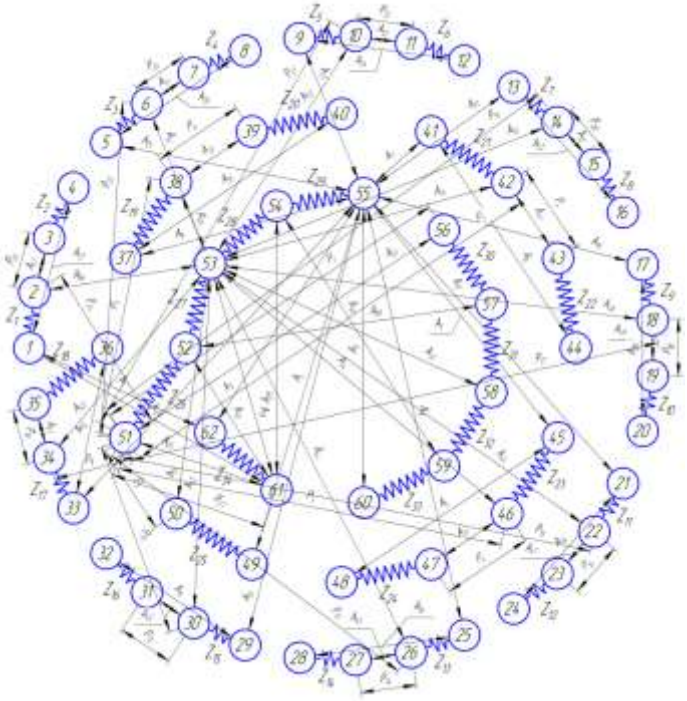


Рисунок 2 – Граф размерной структуры варианта технологического процесса

Таблица 4 - Баланс допусков в каждой размерной цепи

№ реш	Неизв звено	Номинал	Верхнее Нижнее	Запас точн.	Уравнения в символьной форме Баланс допусков
. . . . .					
51	A26	36.283	1.200 -0.800	0.000	Z4=-A2-A25-A28-A55+A1+A26+A31+A54 18.263=>2.000+6.000+1.800+0.084+6.000+2.000+0.100+0.280
52	A24	35.453	1.200 -0.800	0.000	Z6=-A2-A23-A28-A53+A1+A24+A31+A52 17.433=>2.000+5.200+1.800+0.084+6.000+2.000+0.100+0.250
53	A22	40.323	1.200 -0.800	0.000	Z8=-A2-A21-A28-A51+A1+A22+A31+A50 17.433=>2.000+5.200+1.800+0.084+6.000+2.000+0.100+0.250
54	A20	35.453	1.200 -0.800	0.000	Z10=-A2-A19-A28-A49+A1+A20+A31+A48 17.433=>2.000+5.200+1.800+0.084+6.000+2.000+0.100+0.250
55	A18	34.553	1.200 -0.800	0.000	Z12=-A2-A17-A28-A47+A1+A18+A31+A46 16.533=>2.000+4.300+1.800+0.084+6.000+2.000+0.100+0.250
56	A16	39.423	1.200 -0.800	0.000	Z14=-A2-A15-A28-A45+A1+A16+A31+A44 16.533=>2.000+4.300+1.800+0.084+6.000+2.000+0.100+0.250

Рисунок 3 – Фрагмент сформированных уравнений размерных цепей

Таблица 5 - Припуски последней обработки каждой поверхности детали

№пов	№Z	Zmin	Zmax	ДопускZ	Zmax/Zmin	Сумма допусков
42	48	0.900	13.960	13.060	15.511	
43	49	1.500	16.643	15.143	11.095	
46	50	1.500	14.019	12.519	9.346	
47	51	0.900	15.503	14.603	17.226	
50	52	0.900	12.899	11.999	14.333	
51	53	0.100	0.166	0.066	1.665	
56	57	0.100	0.225	0.125	2.250	
61	61	3.750	11.550	7.800	3.080	++++++++++++++++++

Рисунок 4 – Фрагмент рассчитанной информации по припускам

Следовательно, в данном случае придется выполнить анализ нескольких вариантов размерной структуры ТП, с использованием различных технологических и настроечных баз.

Таким образом, при размерных расчетах выбор размерной структуры варианта ТП зависит не только от формального завершения расчета по взаимосвязанным размерным цепям, но и от результатов анализа расчетных значений допусков на припуски, таблица которых выводится в версии программы KON7 плюс. Минимизация колебания припусков можно считать определяющим критерием производственной стабильности проектируемого ТП.

Список литературы

1. Масягин, В.Б. Методы автоматизации размерного анализа технологических процессов в России [Электронный ресурс] Methods of automation of the dimensional analysis of technological processes in Russia / В.Б. Масягин, А.В. Мухолзоев, С.Б. Шаимова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6, ч. 1. – [С. 44-49]. Режим доступа: http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10007659 http://elibrary.ru/item.asp?id=23769526

2. Калачёв, О.Н. Интерактивное моделирование размерных изменений заготовки при проектировании технологического процесса механообработки // Информационные технологии. 2001. № 2. С. 10–14, 58.

3. Калачёв, О.Н., Погорелов С.А. Автоматизация размерных расчетов на этапе проектирования технологического процесса механообработки // Вестник машиностроения. 2002. № 6. С. 54-58.

4. Калачев, О.Н., Богоявленский Н.В., Погорелов С.А. Графическое моделирование размерной структуры технологического процесса на электронном чертеже в среде AutoCAD// Вестник компьютерных и информационных технологий. М.: – 2012. - №5.– С.13-19.

5. Калачев, О.Н. Свидетельство о регистрации программы Программный комплекс «KON7. Расчет технологических размерных цепей»// Роспатент. 2001 г.

6. Калачев, О.Н., Ступар А.Ч. Размерный анализ и анимационное моделирование механообработки. Материалы 55-й межвуз. научн.-техн. конф. «Студенты и молодые ученые КГТУ – производству». Кострома: - КГТУ. 2003 г. - С 148-150.

7. Калачев, О.Н., Булычев Ю.В. Программная модификация геометрии 3D-модели детали в Autodesk Inventor для построения графа изменения размеров заготовки при механообработке // Математика и естественные науки. Теория и практика: Межвуз. сб. науч. тр. Вып. 10. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2015. – 315 с.; – С. 241-246.

8. Калачев, О.Н., Калачева Д.А. Свидетельство о регистрации программы "KON7 плюс. Анализ размерной структуры технологического процесса механообработки и расчет технологических размеров"// Роспатент. 2014 г.

ABOUT ACCOUNTING OF FLUCTUATION ALLOWANCES IN THE AUTOMATION OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL DIMENSIONS OF MECHANICAL PROCESSING.

Kalachev O.N. PhD (Engineering), Associate Professor
Kalacheva D. A. Graduate student

Kalachev O.N., Kalacheva D.A.

150023, Yaroslavl, Moskovsky Avenue, 88
Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia

Abstract

The automated calculation of the technological dimensions of machining on the basis of the graph model is considered. There are two branches of the algorithm for solving dimensional chains, depending on the type of the closing link: design size or allowance. The improved version of the computer program KON7 allows to estimate fluctuations of calculated values of allowances. Analysis of the results of calculation for parts with a large number of component hains of the circuits shows that the achievement of the estimated values of the technological dimensions in the production environment will be determined by the fluctuations of the allowances. Hence the conclusion about the problematic nature of using the method of max-min in the dimensional analysis of such details.

Keywords: machining, calculation of operating dimensions, tolerance, allowance, dimensional chain, dimensional chart, KON7 plus.

УДК 658.512.2

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ НА ЭТАПЕ КОНСТРУКТОРСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ЛОБАНОВ А.В.[1], канд. техн. наук, доцент
АБРАЖЕНИН А.А.[2], инженер-конструктор, ООО «ГЕФФЕН»
([1] ТулГУ, г. Тула, Россия,
[2] ООО «ГЕФФЕН», г. Тула, Россия)

Лобанов А.В., Абраженин А.А.

300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92
Тульский государственный университет
300004, г. Тула, Щегловская засека, 31,
ООО «ГЕФФЕН»
e – mail: ablobanob@mail.ru
e – mail: winelless@gmail.com

Аннотация

Рассмотрена задача определения технологичности детали на ранних этапах конструкторского проектирования на основе количественной оценки технологичности изготовления с помощью анализа модели проектного решения.

В качестве показателя технологичности принят показатель проектной трудоемкости. Данный показатель определяется на основе выявленной корреляционной зависимости между входными показателями конструкторской модели и выходным параметром проектной трудоемкости. В результате решения уравнения множественной регрессии, с помощью методов регрессионного анализа, получены уравнения регрессии для определения проектной трудоемкости токарной обработки. Приведен пример расчета проектной трудоемкости по существующей операционной технологии. Дан анализ результатов и сравнение их с проектным.

Ключевые слова: модель проектного решения, технологичность, проектная трудоемкость, токарная обработка, конструкторское проектирование.

Введение

Технологичность конструкции является одним из базовых научных понятий технологии машиностроения и служит основой обеспечения использования конструкторско-технологических резервов подготовки производства для решения задач, связанных с повышением технико-экономических показателей изготовления изделий. Сложность оценки технологичности во многом связана с субъективностью оценки, зависящей от опыта и знаний отдельных конструкторов и технологов, что не учитывает существенно расширяющиеся возможности современных производственных систем и не позволяет обеспечить высокую эффективность их эксплуатации.

Задача заключается в повышении качества конструкторских проектных решений на основе оперативной оценки их параметров непосредственно в ходе проектирования и создания обратной связи, позволяющей конструктору принимать оптимальные решения. В качестве основного параметра качества рассматривается технологичность изготовления.

Описание теоретических или экспериментальных исследований

Процесс обеспечения технологичности изделия, отражающий связь между конструктивными особенностями изделия и уровнем затрат при его производстве, является противоречивым и не имеет полного описания его проведения [1].

Основной тенденцией развития современных систем автоматизированного проектирования является повышение информационного насыщения моделей проектного решения добавлением к геометрическому представлению изделия дополнительной информации – сведений о качестве поверхности, размерной точности, свойствах материалов и пр. Наличие такой информации позволяет решить ряд задач. Во-первых, уйти от идеализированной «абсолютно точной» геометрической модели и учитывать реально существующий разброс размеров и отклонения формы. Во-вторых, значительно уменьшить потребность в оформлении чертежей, так как модель проектного решения уже содержит всю информацию, необходимую для выполнения последующих этапов подготовки производства.

Обеспечение технологичности конструкции изделия на этапе проектирования является важной задачей конструктора. Если соответствие проекта машины заданному функциональному назначению легко оценить объективными численными показателями, то такое сложное и многофакторное понятие, как «технологичность», весьма затруднительно оценить количественно. Отсутствие общепринятых методик численной оценки технологичности не позволяет объективно разрешать неизбежные конфликты профессиональных интересов между конструктором как поставщиком конструкторской документации и технологом как ее потребителем.

Согласно ГОСТ 14.201–83 Обеспечение технологичности конструкции изделий, основными показателями технологичности детали являются трудоемкость, себестоимость и унификация. Поскольку трудоемкость имеет прямое денежное выражение, она обычно включается в себестоимость [2].

Очевидно, что наиболее значимым параметром технологической сложности детали является трудоёмкость её изготовления (ГОСТ 14.201–83). Проведённые исследования в работе [3] показали, что наличие модели проектного решения позволяет уже на стадии конструкторского проектирования выполнить анализ трудоёмкости изготовления предлагаемой конструкции детали, что позволяет конструктору иметь обратную связь по этому важнейшему параметру качества проектного решения.

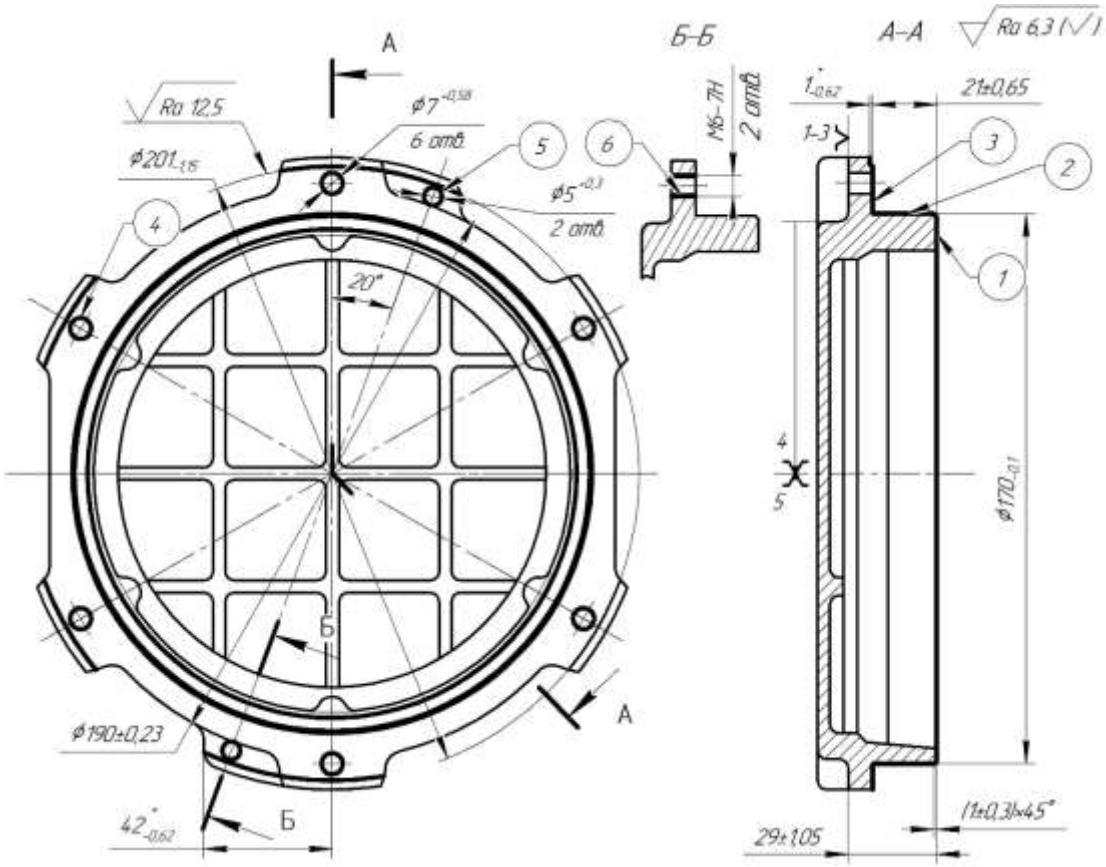


Рисунок. 1. Геометрические размеры детали «Крышка»

Рассмотрим определение трудоемкости на примере детали «Крышка». Геометрические размеры и требования по качеству поверхности указаны на рисунке 1.

Дадим оценку операционного времени механической обработки детали. Приведённый пример ориентирован на токарную обработку.

Согласно методу регрессионного анализа, корреляционную связь между выходным параметром проектной трудоёмкости и входными параметрами конструкторской модели (масса изделия, шероховатость, допуск и площадь обрабатываемой поверхности) можно представить в виде уравнения множественной регрессии:

$$T = f\left(M, \sum_{i=1}^{n} F\left(S_i, Ra_i, t_i\right) \right) \cdot k_{мат} \quad (1)$$

где M – масса детали; S_i – площадь обрабатываемой *i*-ой поверхности; Ra_i – требуемая шероховатость *i*-ой поверхности; t_i – допуск (квалитет точности) *i*-ой поверхности; $k_{мат}$ – коэффициент, учитывающий обрабатываемость материала; n – число поверхностей модели (конструктивных элементов).

После решения уравнения (1) методом регрессионного анализа можно представить трудоемкость T в следующем виде:

$$K = a_0 \cdot S^{x1} \cdot Ra^{x2} \cdot t^{x3} \quad (2)$$

$$T = b_0 \cdot M^{y1} \cdot K^{y2} \quad (3)$$

где a_0, b_0, x_1, x_2, x_3, y_1, y_2 – коэффициенты уравнения регрессии, которые определяются экспериментально.

Выполнив необходимые преобразования, полученные выше уравнения (2) и (3) можно представить в виде уравнений регрессии для конструктивных элементов T_i, для токарной обработки (таблица 1).

Таблица 1

Уравнения регрессии для определения трудоемкости токарной обработки основных конструктивных элементов

Конструктивный элемент		Уравнение регрессии
1	Плоскость	$T = 10^{3,07} \cdot S^{-0,6} \cdot Ra^{-0,25} \cdot t^{-1,07}$
2	Цилиндрическая поверхность	$T = 10^{3,03} \cdot S^{-0,68} \cdot Ra^{-0,34} \cdot t^{-0,72}$
3	Фаска	$T = 10^{3} \cdot S^{-0,77} \cdot Ra^{-0,31} \cdot t^{-0,14}$
4	Отверстие сквозное	$T = 10^{3,03} \cdot S^{-0,68} \cdot Ra^{-0,34} \cdot t^{-0,72}$
5	Скругление	$T = 10^{3,03} \cdot S^{-0,68} \cdot Ra^{-0,34} \cdot t^{-1,07}$
6	Резьба	$T = 10^{3,03} \cdot S^{-0,68} \cdot Ra^{-0,34} \cdot t^{-0,72}$

Таким образом, с помощью приведенных формул в таблице 1, можно рассчитать общую трудоемкость обработки детали, по известным параметрам обработки.

$$Y = \sum_{i=1}^{n} T_i \quad (5)$$

$$T_\partial = 10^{-1,27} \cdot M^{-0,46} \cdot Y^{2,36} \cdot k_{мат} \quad (6)$$

где Y – суммарная трудоемкость изготовления отдельных конструктивных элементов, мин; T_∂ – общая трудоемкость изготовления детали, мин.

Далее проведем анализ поверхностей и параметров обработки. Для этого проектную модель детали «Крышка» необходимо разбить на элементарные поверхности и

конструктивные элементы, подлежащие механической обработке. Фрагмент операционной технологии представлен на рисунке 2.

Поверхности разобьем согласно указанным на операционном эскизе (рисунок 1) обрабатываемым поверхностям. Далее определяется площадь обрабатываемых поверхностей и заносится в таблицу 2.

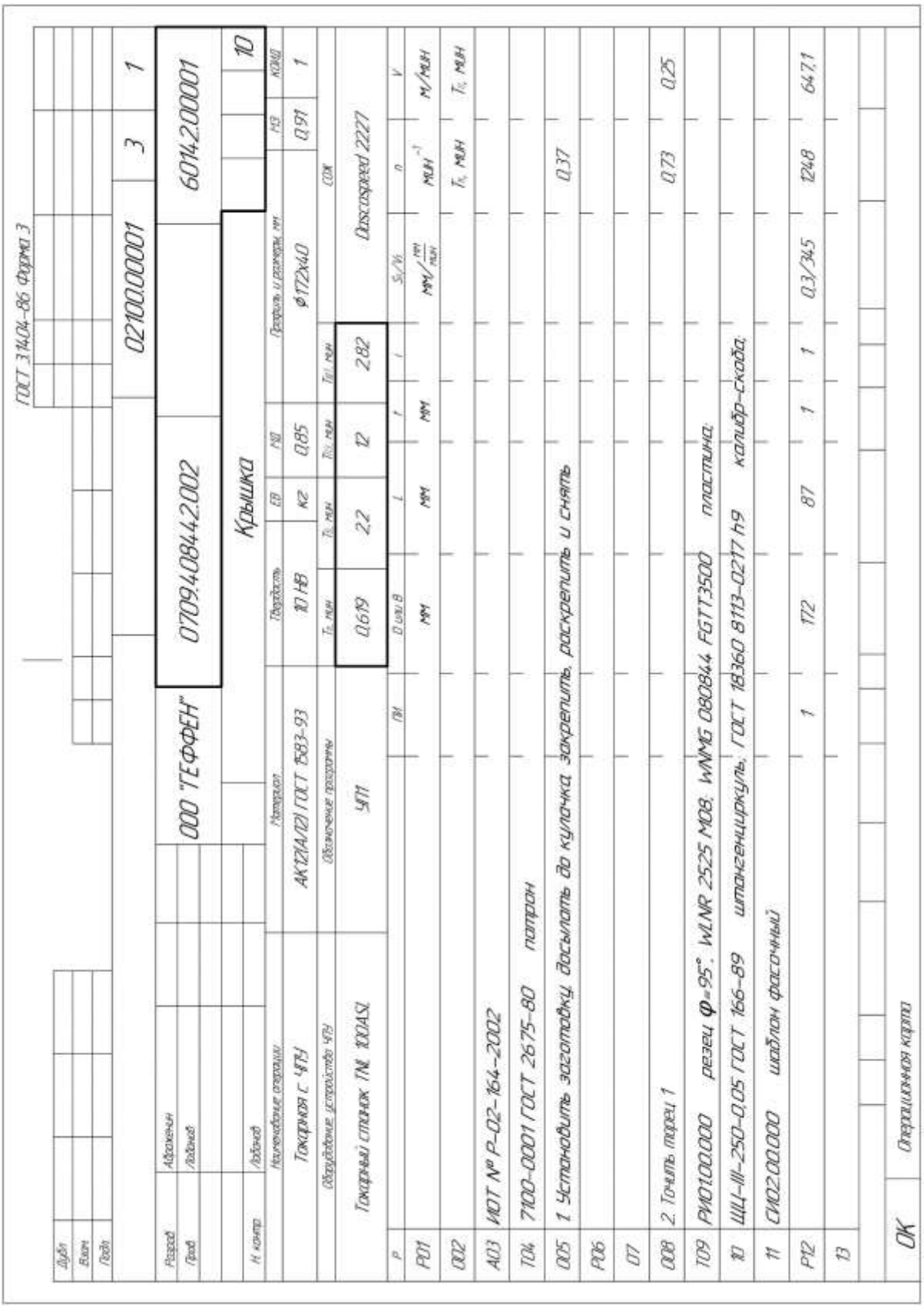


Рисунок 2. Фрагмент операционной технологии детали «Крышка»

Сведем результаты анализа поверхностей в таблицу 2. Обработка поверхностей ведется по 7…15-му квалитету, в зависимости от поверхности. Материал детали: АК12 (АЛ2) ГОСТ 1583–93. Масса детали и коэффициент обрабатываемости соответственно равны $M = 0{,}85$ кг и $k_{мат} = 0{,}5$.

Таблица 2

Характеристики конструктивных элементов детали

№	Тип поверхности	Площадь, $мм^2$	Параметр Ra	Квалитет	Трудоемкость T_i, мин
1	Плоскость	2590,5	6,3	9	0,63
2	Цилиндрическая	9231,6	6,3	16	0,16
3	Плоскость	9028,3	12,5	14	0,16
4	Отв. сквозное	1055,04	6,3	15	0,72
5	Отв.сквозное	251,2	6,3	14	2,00
6	Резьба	301,4	6,3	7	2,91

По таблице 2 определяем значение суммарной трудоемкости обработки конструктивных элементов (без учета коэффициента обработки) *Y*по формуле (5).

$$Y = \sum_{i=1}^{n} T_i = 0{,}63 + 0{,}16 + 0{,}16 + 0{,}72 + 2{,}0 + 2{,}91 = 6{,}58 \ \ мин \ .$$

Тогда общая трудоемкость обработки детали T_∂ определится по формуле (6):

$$T_\partial = 10^{-1{,}27} \cdot 0{,}85^{-0{,}46} \cdot 6{,}57^{2{,}36} \cdot 0{,}5 = 2{,}46 \ \ мин$$

Результаты и обсуждения

Проектная трудоемкость, подсчитанная по таблицам норм времени [4] составляет 2,82 мин. Таким образом, расхождение результатов составило 12,8%, что является допустимым отклонением при расчете проектной трудоемкости, согласно работе [5], и не превышает значения в ±15%. Из этого следует, что результат исследований демонстрируют адекватность и пригодность рассматриваемой методики для определения проектной трудоемкости токарной механической обработки резанием для всех типов производств, за исключением массового.

Выводы

Апробирована методика оценки и прогнозирования важнейшего показателя качества проектного решения – технологичности изготовления (параметра проектной трудоемкости), на основе анализа данных, содержащихся в расширенной модели проектного решения. Предложенная методика была внедрена на предприятии, что позволило повысить качество проектных решений.

Список литературы

1. Аверченков, В.И. Автоматизация проектирования технологических процессов : учеб. пособие для вузов / В. И. Аверченков, Ю. М. Казаков. – М. : ФЛИНТА, 2011. – 229 с.

2. Французова, Ю.В. Комплексная оценка технологичности деталей типа "тела вращения" // Известия ТулГУ. Технические науки. 2015. №9. С. 266-271.

3. Иноземцев, А.Н. Троицкий, Д.И. Прогнозирование параметров качества конструкторского проектного решения // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. №12 ч.1. с. 178-186.

4. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. М.: Экономика, 1990. – 472с.

5. Аверченков, В.И. Формализация построения и выбора прогрессивных технологий, обеспечивающих требуемое качество изделий: авто-реф. дис. … д-ра. техн. наук (05.02.08) / В.И. Аверченков.– Брянск, 1990. – 40 с.

EVALUATE OF THE MANUFACTURABILITY PARAMETER AT EARLY DESIGN STAGE

Lobanov A.V., PhD. (Engineering), Associate professor,
Abrazhenin A.A., Design engineer OOO "GEFFEN",

Lobanov A.V., Abrazhenin A.A.

Tula State University,
300600, Lenin's Avenue, 92, Tula, Russian Federation
OOO "GEFFEN", 300004, Shcheglovskaya zaseka street, 31, Tula, Russian Federation

Abstract

As the title implies the paper describes the problem of evaluate of the manufacturability parameter at early design stage. The qualitative evaluation of the labor intensity based on analyzing the information contained in the extended design decision model is proposed.

The detailed analysis of design quality parameters is given. As a measure of manufacturability, the indicator of the project labor intensity was supposed. Correlation dependence is revealed between input parameters of design decision model and output labor intensity. Solution of the equation of multiple regression are examined. Regression equation of turning process are noted. Calculation example of labor intensity is given. Much attention is given to compare the result of labor intensity calculation.

The proposed technique is implemented on manufacturing plant. Furthermore, more effective use of the design decision model might be achieved.

Keywords: design decision model; manufacturability; labor intensity; turning; design.

УДК 620.113

МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ОВЕЧКИН М. В.[1], канд.техн.наук, доцент
([1]ОГУ, г. Оренбург, Россия)

Овечкин М.В.

460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13
Оренбургский государственный университет
e-mail:maxov-1@mail.ru

Аннотация

Цель исследования: моделирование организационных процессов при автоматизации контроля сварных соединений для изделий ответственного назначения. Методы исследования: функциональное моделирование на основе UML-диаграммы последовательности (interaction diagrams). Актуальность работы заключается в том, что в настоящее время все большее значение приобретают неразрушающие методы автоматизированного контроля металлов и изделий из них. В статье описана UML-диаграмма последовательности для организационных процессов при автоматизации контроля сварных соединений для изделий ответственного назначения. Сделан вывод о важности применения именно автоматизированного контроля изделий, указано влияние результатов автоматизированного контроля на ключевые этапы технологического процесса изготовления ответственных изделий.

Ключевые слова: автоматизация контроля, сварные соединения, функциональное моделирование, interaction diagrams.

Введение

В связи с повышением требовании к качеству и надежности выпускаемых изделий все большее значение приобретают физические методы контроля металлов и изделий из них, не требующие вырезки образцов или разрушения готовых изделий.

Таким образом, системы управления технологическими процессами по результатам диагностики технических объектов широко распространены в различных областях промышленности. В частности, к ним относятся системы оптического контроля и диагностики сварных соединений, а также неразрушающего контроля (НК) и диагностики деталей и конструкций [1].

Таким образом, целью исследования является моделирование организационных процессов при автоматизации контроля сварных соединений для изделий ответственного назначения. Задачи исследования: выявление этапов организационных процессов контроля; формализация сведений и описание объектов, передаваемых между этапами; формирование UML-диаграммы последовательности по исследуемой теме.

Моделирование

Промоделируем организационные процессы контроля сварных соединений для изделий ответственного назначения при помощи UML-диаграммы последовательности (interaction diagrams)[2]. Данные диаграммы описывают взаимодействие групп объектов в различных условиях их поведения. UML определяет диаграммы взаимодействия нескольких типов, из которых наиболее употребительными являются диаграммы последовательности. Обычно диаграмма последовательности описывает один сценарий. На диаграмме показаны

экземпляры объектов и сообщения, которыми обмениваются объекты в рамках одного прецедента.

Типичный технологический процесс, включающий контроль сварных соединений для изделий ответственного назначения, к которым, преимущественно относятся изделия авиационного и космического назначения, включает следующие «действующие лица» (UML interaction actor):

– участок сварки;
– участок неразрушающего контроля (НК);
– оборудование для НК;
– отдел утилизации;
– прочие технологические операции (на диаграмме – «ТО»);
– отдел контроля и испытаний;
– отдел работы с заказчиком.

Целью настройки технологии производства продукции, несомненно, является настройка цепочки, при которой изделия будут с наименьшими затратами времени попадать в отдел работы с заказчиком и не утилизироваться в виде брака. Для этого, в частности, необходим быстрый и точный автоматизированный контроль изделия на ключевых этапах производства.

Таким образом объект, в виде программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процессы контроля и обработки его результатов является опциональным, но в то же время ключевым для общей модели организационно-производственных процессов.

Часть диаграммы (с участниками от «Участок сварки» до «ТО») представлена на рисунке 1.

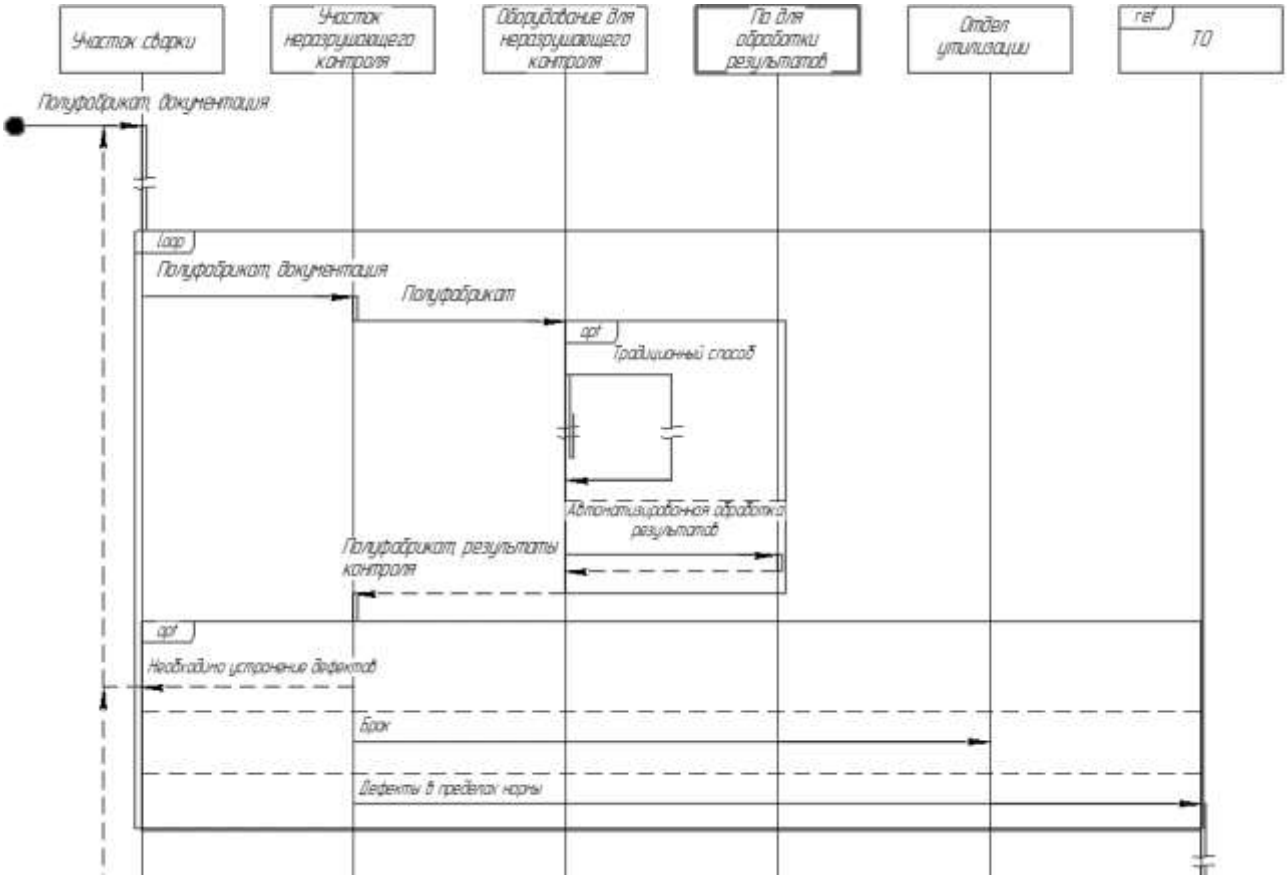


Рисунок 1 - Фрагмент диаграммы последовательности

Возврат на участок сварки слева внизу диаграммы отображает действия в случае не прохождения изделием этапов в отделе контроля и испытаний, связанных с дефектами, вызванными некачественными сварными соединениями. Здесь речь идет об ошибках

своевременного контроля сварных соединений, вызвавших прохождение заведомо дефектной заготовки.

Часть диаграммы с участниками: «ТО», «Отдел контроля и испытаний», «Отдел работы с заказчиком», «Участок сварки (ссылка)» и «Отдел утилизации» представлена на рисунке 2.

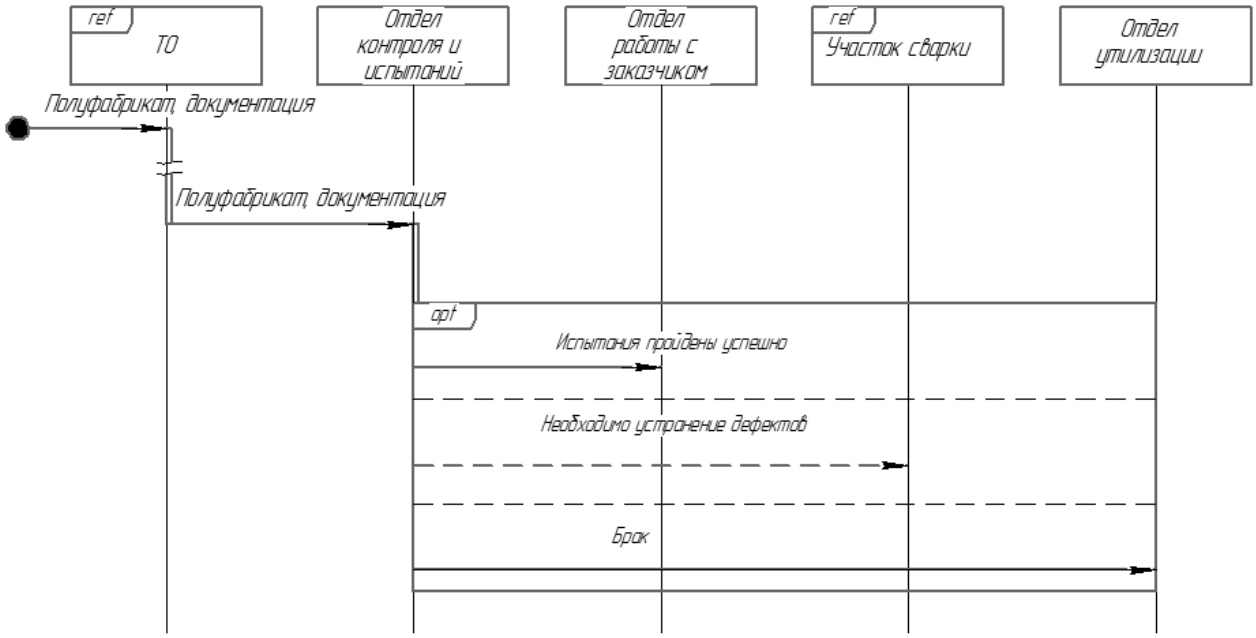


Рисунок 2 - Фрагмент диаграммы последовательности

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о важности применения именно автоматизированного контроля изделий, исключающим «человеческий фактор» и не позволяющий пропускать как заведомо дефектные изделия (что приведет к большим затратам ресурсов и времени на обработку бракованной детали), так и отправлять на исправление дефектов заведомо «годные» изделия. Установлено, что универсальные алгоритмы распознавания сигналов, несмотря на быстроту и частичную применимость к задаче автоматизации неразрушающего контроля, не нашли применение в областях программной обработки изображений на предмет выявления дефектов сварных соединений [3][4][5].

Дальнейшие направления исследований заключаются в том, что применение методов неразрушающей дефектоскопии базируется на методах автоматической обработки и распознавания сигналов, полученных в результате проведения технологического процесса контроля.

Список литературы

1. Овечкин, М.В. Автоматизация управления обслуживающими аппаратами на основе распознавания графических данных / Н.З. Султанов, Е.В. Костина, М.В. Овечкин /Интеллект. Инновации. Инвестиции №2/2015. - Оренбург: ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный институт менеджмента» – 2015. – № 2. – С. 65 – 69.

2. Фаулер, М. UML. Основы, 3-е издание. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2004 – 192 с.

3. Потапов, А.А. Новейшие методы обработки изображений / А.А. Потапов, А.А. Пахомов, С.А. Никитин, Ю.В. Гуляев / М.: Физматлит, 2008. — 496 с.

4. Chen, C.H. Handbook of pattern recognition and computer vision [Текст] / C.H. Chen, L.F. Rau ; World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1995. - 984 с.

5. Shalkoff, R.J. Digital image processing and computer vision [Текст] / R.J. Shalkoff ; New York : John Wiley & Sons, Inc., 1989. - 489 с.

MODEL OF ORGANIZATIONAL PROCESSES IN AUTOMATING THE INSPECTION OF WELDED JOINTS FOR PRODUCTS OF RESPONSIBLE USE

Ovechkin M. V., PhD (Engineering), Associate Professor

Ovechkin M. V.

Orenburg State University,
13 Prospect Pobedy, Orenburg 460018, Russia

Abstract

The purpose of the study: modeling of organizational processes in automating the inspection of welded joints for products of responsible use. Research methods: functional modeling based on the UML interaction diagrams. The urgency of the work lies in the fact that nowadays non-destructive methods of automated control of metals and products from them become more important. The article describes the UML interaction diagram for organizational processes in automating the inspection of welded joints for critical products. The conclusion is made about the importance of the use of automated control of products, the influence of the results of automated control on the key stages of the technological process for the manufacture of critical products is indicated.

Keywords: automation control, welded joints, functional modeling, interaction diagrams

УДК 621.81

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ

АНТИБАС И.Р.[1], канд. техн. наук, доцент,
САВОСТИНА Т.П., [1] ст. преподаватель
([1]ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Антибас И.Р., Савостина Т.П.

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,
Донской государственный технический университет,
e – mail: imad.antypas@mail.ru
e – mail: kovtanya@yandex.ru

Аннотация

В данной статье приведены результаты исследования, выполненные в современном программном продукте отечественного производства T-Flex. Данная работа направлена на поиск оптимальной толщины листового материала при заданных нагрузках, используя параметрическую оптимизацию. Данный метод расчета на стадии проектирования позволяет быстро оценить физико-механические свойства конструкции. В результате работы построена параметрическая модель, произведено награждение конструкции, произведен расчёт методом конечных элементов, в результате чего была решена задача параметрической оптимизации, результатом которой найдена минимальная толщина листового металла.

Ключевые слова: показатели качества, оптимизация, параметризация, метод конечных элементов, нагружение.

Введение

Современное производство предъявляет высокие требования по срокам проектирования и изготовления новой продукции, внедрение в производственный процесс применение CALS технологий, содержащих в себе CAD/CAM/CAE/PDM-системы. В рамках этих модулей предприятия управляют проектами (PDM-системы), моделирование, анализ, расчеты и оптимизация проектирования производится в модулях (CAE-системы), проектирование деталей трехмерное и двухмерное, сборочные чертежи (CAD-системы), разработка технологических процессов, составление управляющих программ для станков ЧПУ, моделирование процессов обработки в моделях (CAM-системы).

При проектировании на машиностроительном предприятии часто возникает необходимость быстро оценить наиболее значимые физико-механические свойства как отдельно взятых деталей, так и узлов изделий [1]. Например, на стадии проектирования необходимо проверить прочность деталей при заданных нагружениях [2]. Еще несколько лет назад средством для оценки физико-механических свойств конструкции были расчеты, основанные на приближенных аналитических или полуэмпирических методик [4]. Точность расчетов данных методик применительно к реальным объектам проектирования обычно невысока, поэтому на стадии проектирования в конструкцию закладываются значительные коэффициенты запаса, которые снижали риск принятия ошибочного проектного решения [5]. В большинстве случаев подобный подход в проектировании остается наиболее распространенным и в настоящее время.

Важным моментом для создания корректной модели изделия для решения ее методом конечных элементов [6], является передача исходной геометрии в систему CAE. Существует несколько вариантов придачи геометрии:

1. Создание геометрической модели средствами моделирования системы CAE.

2. Импорт геометрической модели из специализированной CAD-системы.

3. Прямая интеграция CAE-системы и некоторой CAD-системы, то есть обмен геометрическими данными не через внешние универсальные обменные форматы, а через внутренние структуры данных напрямую из одного программного модуля в другой.

Задачи оптимального проектирования можно разделить на два класса.

К первому классу относятся задачи, в которых структура объекта считается заданной и речь идет лишь об определении числовых значений параметров, свойственных данной структуре. Такие задачи называют задачами параметрической оптимизации [7].

Ко второму классу принадлежат задачи, в которых предметом оптимизации являются не только параметры, но и структура объекта.

Цель оптимизации – найти параметры объекта, доставляющие экстремум целевой функции **q** , т.е. найти X » max **q** или X » min **q**. Характер экстремума зависит от постановки задачи[8]: например, форма относится к оптимизации параметров из условия максимума нагрузочной способности, а форма – к оптимизации параметров конструкции из условия минимума ее массы [9].

Целью данного исследования является решение оптимизационной задачи подбора необходимого параметра изделия в T-FLEX CAD совместно с конечно-элементной задачей в T-FLEX Анализ.

В качестве объекта исследования взята конструкторская параметрическая модель уголка из листовой стали. Геометрическая модель уголка содержит один параметр – толщина листа, из которого изготавливается уголок.

В процессе работы поострена сборочная модель в T-FLEX CAD: состоящая из двух уголков, жестко закреплённых к стене, и на закрепленных уголках лежит лист металла. В модуле системе T-FLEX Анализ заданы области контактного закрепления уголков на стене, заданы нагрузки на лист металла положенный на уголки, к одному из углов листа приложен датчик перемещения, который измеряет перемещение угла под действием заданной нагрузки(рис. 1).

Необходимо подобрать оптимальную толщину листа для изготовления уголков, чтобы при нагрузке на полку перемещение ее угла соответствовало требованиям.

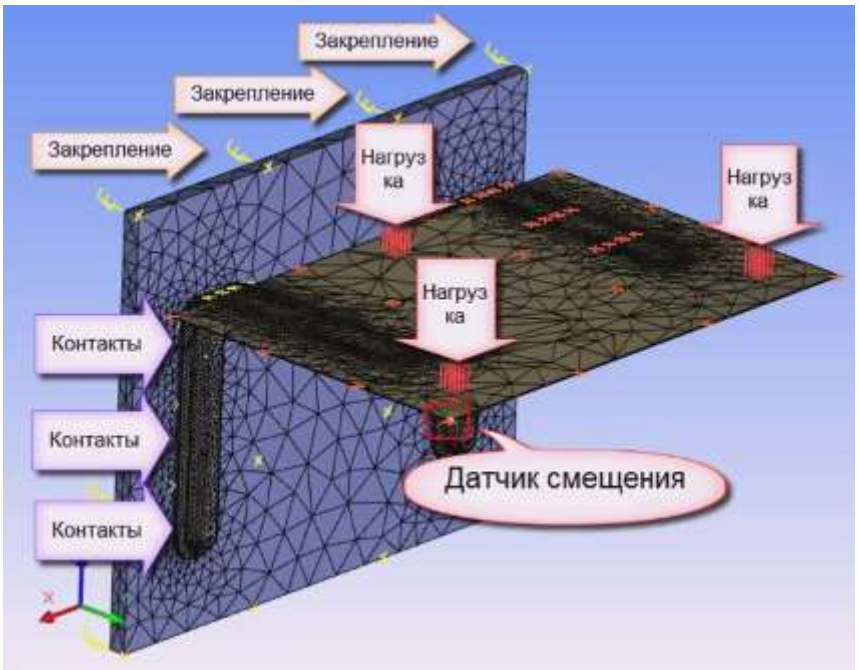


Рисунок 1 – Параметрическая модель нагружения

Для формирования множества вариантов объекта, на котором производится поиск оптимального решения, необходимо правильно разработать и учесть различные ограничения.

Они могут быть записаны в виде системы уравнений h_k (X) = 0, k = 1,2, . . . K, или неравенств dl (X) ³ 0, l = 1,2, . . . L, а также ограничений сверху и снизу i = 1,2, . . . N.

Введение ограничений позволяет учесть реальные условия изготовления и функционирования объекта оптимизации с тем, чтобы оптимизация была физически осуществима.

В современных условиях решающая роль принадлежит экономическим требованиям, поэтому за целевую функцию при наиболее полной постановке задачи следует принимать экономический критерий качества. В условиях, когда одни и те же требования могут быть достигнуты с помощью различных вариантов научно-технических решений, обусловливающих разные затраты общественного труда, решающим для оценки их целесообразности становится экономический эффект, оцениваемый в наиболее полной постановке по стоимости совокупной конечной общественной продукции за определенный период времени.

Составление системы параметров - это очень важный этап оптимального проектирования, во многом определяющий его стадии.

Поиск оптимального значения толщины листа происходит за необходимое количество итераций с автоматическим пересчетом конечно-элементной задачи система T-FLEX CAD (рис.2).

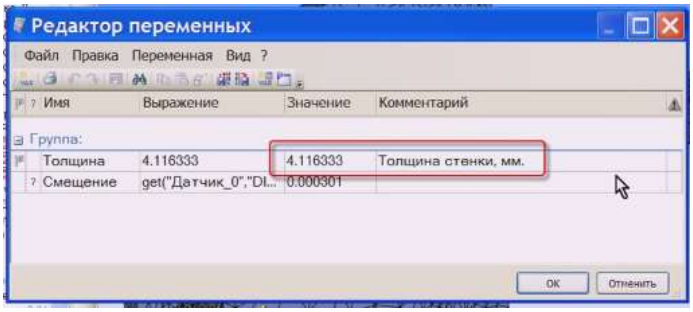


Рисунок 2 –. Результаты параметрической оптимизации

При формировании системы параметров следует стремиться к тому, чтобы любой параметр мог принимать любые значения в достаточно широком диапазоне независимо от значений других параметров. Желательно, чтобы изменение каких-либо параметров существенно влияло на характеристики объекта в полезном для нас смысле.

Выводы

В данном исследовании используются параметрические возможности T-FLEX CAD, модуль оптимизации системы T-FLEX CAD и система T-FLEX Анализ для решения конечно-элементной задачи. Конечно-элементная задача T-FLEX Анализ включена в цикл оптимизации T-FLEX CAD.

Применительно к любому варианту конструкции, в процессе поиска решения оптимального варианта, необходимо уметь вычислять значения критериев качества.

Следует отметить, что само по себе компьютерное моделирование не заменит натурный эксперимент, оценивающий влияние эксплуатационных и иных условий, возникающих в процессе работы оборудования и инструмента, а лишь поможет оценить влияние таких условий на стадии проектирования или при модернизации производства с целью сокращения материальных затрат.

Список литературы

1. Савостина Т.П. Оптимизации профиля среза транспортирующего устройства от величины секундной подачи/ Т.П. Савостина, Б.И. Саед //Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 18. №4(91). С. 44-49.

2. Кушнарев В.И. Оптимальный вариант конструкции мотор-редуктора/ В.И. Кушнарев, Т.П. Савостина, Е.К. Куприянов //В сборнике: Новая наука: техника и технологии

международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 78-80.

3. Дьяченко А.Г. Разработка конструкции подающего устройства для цилиндрических деталей / А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина, М.В. Колпаков //В сборнике: Инновационные материалы и технологии сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 11-13.

4. Дьяченко А.Г. Модернизация конструкции захватывающего устройства для цилиндрических деталей / А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина, Е.Г. Двоежилов // В сборнике: Инновационные материалы и технологии сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 13-15.

5. Антибас И.Р. Моделирование профиля среза транспортирующего устройства/ И.Р. Антибас, Т.П. Савостина // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 11-й международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш - 2018". 2018. С. 40-42.

6. Антибас И.Р. Исследование процесса разрушения слоистого композитного материала/ И.Р. Антибас, А.Г. Дьяченко //В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 10-й Международной юбилейной научно-практической конференции в рамках 20-й Международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2017". 2017. С. 179-181.

7. Шабанов Б.М. Прочностной расчет ковша зернового элеватора (нории) в Autodesk Inventor/ Б.М. Шабанов, Т.П. Савостина, Е.Д. Барсук // В сборнике: Новая наука как результат инновационного развития общества сборник статей Международной научно-практической конференции: в 17 частях. 2017. С. 229-231.

8. Маньшин Ю.П. Подготовка данных для расчетов надежности проектов машин/ Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина // В сборнике: Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК Материалы IX Международной научно-практической конференции "ИнформАгро-2017". 2017. С. 315-321.

9. Маньшин Ю.П. Приближенная оценка ресурса детали, обеспечивающая ее требуемый ресурс с заданной вероятностью безотказной работы /Ю.П. Маньшин, Е.Ю. Маньшина //Вестник машиностроения. 2017. № 12. С. 20-24.

PARAMETRIC DESIGN OPTIMIZATION

Antibas I. R., PhD (Engineering), Associate Professor
Savostina T.P., Senior lecturer

Antibas I. R., SavostinaT.P.

Don State Technical University,
344000, Gagarin square, 1, Rostov-on-don, Russian Federation

Abstract

This article presents the results of research carried out in the modern software product of domestic production of T-Flex. This work is aimed at finding the optimal thickness of the sheet material at a given load, using parametric optimization. This method of calculation at the design stage allows you to quickly assess the physical and mechanical properties of the structure. As a result, a parametric model was built, the design was awarded, the finite element method was calculated, and the problem of parametric optimization was solved, which resulted in the minimum thickness of the sheet metal.

Keywords: quality indicators, optimization, parametrization, finite element method, loading.

УДК 621.838.222

СИНТЕЗ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИС ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ В АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТАХ

ШИШКАРЕВ М.П.[1], докт.техн. наук, доцент
([1]ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Шишкарев М.П.

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Донской государственный технический университет
e-mail: shishkarevm@mail.ru

Аннотация

Приведены результаты исследования влияния дополнительного управляющего устройства адаптивной фрикционной муфты с положительной обратной связью, выполненного по комбинированной схеме, на выходные параметры. Найдена зависимость величины вращающего момента дополнительного управляющего устройства обратной связи от текущего значения коэффициента трения, при реализации которой адаптивная фрикционная муфта с положительной обратной связью прямого действия передает постоянный по величине и не зависящий от текущего значения коэффициента трения вращающий момент.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, коэффициент трения, управляющее устройство, положительная обратная связь, дополнительное, прижимная сила.

Введение

Обратная связь широко применяется в адаптивных фрикционных муфтах (АФМ), выполняющих функцию предохранительных устройств для защиты узлов и деталей машин от перегрузок вращающим моментом [1–3]. Наиболее часто на практике находят применение АФМ с отрицательной обратной связью [1]. Оснащение АФМ этим типом обратной связи приводит к резкому уменьшению нагрузочной способности, поскольку действующая на фрикционную группу отжимная (распорная) сила уменьшает усилие ее замыкания, снижая тем самым силу трения.

Ввиду указанного недостатка АФМ с отрицательной обратной связью находят лишь незначительное применение в современной технике [4]. Кроме того, точность срабатывания упомянутых АФМ относительно невелика [5], что в ряде случаев не позволяет успешно решать задачи эффективной защиты от перегрузок приводов машин.

Положительная обратная связь в современных АФМ применяется как обособленный вид обратной связи [6], либо в виде компоненты в составе комбинированной положительно-отрицательной обратной связи [7].

Несомненным достоинством положительной обратной связи является увеличение нагрузочной номинальной способности АФМ, в составе которых она применяется. Сущность положительной обратной связи в составе АФМ заключается в том, что в процессе передачи нагрузки управляющее устройство (УУ) создает осевую силу, с помощью которой прижимаются друг к другу поверхности трения фрикционной группы. Величина упомянутой силы зависит от степени перегрузки привода и текущего значения коэффициента трения между фрикционными парами.

Схема АФМ с УУ положительной обратной связи, построенным на жестких конструктивных элементах, предусматривает увеличение прижимной силы по мере роста величины коэффициента трения и перегрузки в приводе. Таким образом, данный вариант муфты используется как предохранительное устройство, обеспечивающее повышенную

надежность технологической машины при выполнении ею технологического процесса с определенной средой.

Точностная характеристика муфты не позволяет отнести ее к классу муфт, обеспечивающих высокую стабильность передаваемой нагрузки в условиях изменения величины коэффициента трения [8].

Проблема достижения высокой точности срабатывания АФМ с применением положительной обратной связи частично решена в работах [6, 7]. В первой из указанных работ для создания положительной обратной связи в АФМ использовано УУ, построенное на основе V-образных упругих лепестковых элементов с так называемым «отрицательным», относительно тел качения, углом наклона лепестков.

В процессе эксплуатации величина угла наклона лепестков уменьшается в зависимости от увеличения передаваемой нагрузки в связи с ростом значения коэффициента трения, что, соответственно, уменьшает величину силы прижатия друг к другу поверхностей трения фрикционных пар. Это обеспечивает автоматическое регулирование величины предельного вращающего момента АФМ во всем интервале изменения значения коэффициента трения.

Данный способ автоматического регулирования отличается относительной простотой конструктивной реализации АФМ, однако он не обеспечивает полной стабилизации величины вращающего момента. Причиной этого является упругая характеристика V-образного лепестка, которая не обеспечивает точного заданного соответствия величины прижимного усилия УУ обратной связи текущему значению коэффициента трения.

Во второй работе положительная обратная связь используется как компонента комбинированной – положительно-отрицательной обратной связи. При этом положительная обратная связь реализуется при помощи тех же технических средств, что и в первом случае.

В данном случае существует четкое разделение периодов действия обратной связи: положительной – в интервале изменения коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\text{ср}}$ (где $f_{\min}$, $f_{\text{ср}}$ – соответственно минимальное и среднее (расчетное) значения коэффициента трения); отрицательной – в интервале $f_{\text{ср}} \dots f_{\max}$ (где $f_{\max}$ – максимальное значение коэффициента трения).

Недостаток перечисленных способов заключается в недостаточно высокой точности срабатывания АФМ, оснащенных такими УУ обратной связи.

В работе [9] изложены основы теории полной стабилизации величины предельного вращающего момента АФМ с отрицательной одноконтурной обратной связью и с дополнительным устройством регулирования. Сущность способа, воплощенного в ходе проведенного исследования, заключается в том, чтобы «отобрать» часть вращающего момента, поступающего на вход УУ обратной связи.

Для реализации данного способа было предварительно установлено, что для реализации «идеальной» нагрузочной характеристики АФМ необходимо изменение величины распорной (отжимной) силы УУ по определенной закономерности.

Указанное изменение, реализуемое с помощью УУ с постоянной величиной КУ, возможно в случае, когда величина вращающего момента, поступающего на вход УУ, изменяется по определенному установленному закону, который отличается от закона, действующего в существующих АФМ с обратной отрицательной связью.

В работе [10] осуществлен синтез АФМ с отрицательной обратной связью, в которой частично реализован принцип дополнительного регулирования. Установлено, что данный модифицированный вариант АФМ обладает более высокой точностью срабатывания, несмотря на то, что дополнительное УУ не обеспечивает изменение величины вращающего момента, поступающего на вход основного УУ, в соответствии с заданной закономерностью.

Предварительный анализ показал, что идея упомянутого способа может быть использована в АФМ с положительной обратной связью.

Постановка задачи исследования

Установление параметров дополнительного УУ в АФМ с положительной обратной связью прямого действия, обеспечивающих полную стабилизацию величины предельного вращающего момента муфты.

Решение задачи

Обратимся к базовому варианту АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

Муфта состоит из двух полумуфт 1 и 2, кинематически связанных одна с другой пакетом фрикционных дисков 3 и 4. Диски 3 соединены посредством шлицев со ступицей нажимного диска 5, который лишен кинематической связи в окружном направлении со ступицей полумуфты 1, за исключением незначительного трения, не учитываемого в дальнейшем исследовании. Диски 4 соединены аналогичным способом с барабаном полумуфты 2.

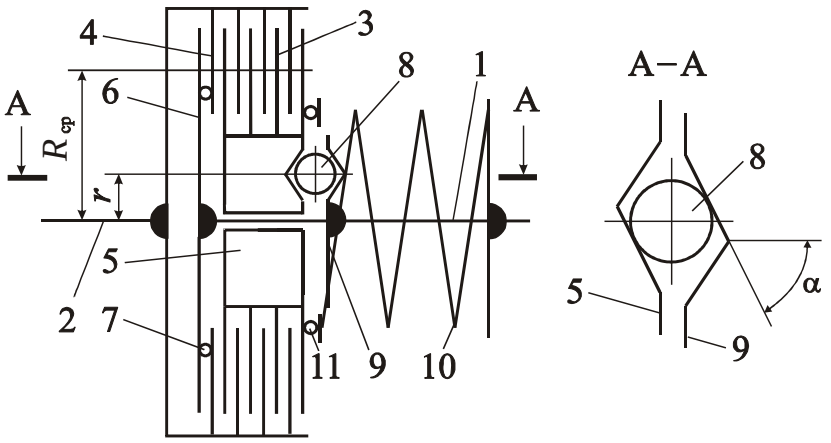


Рис. 1. Принципиальная схема АФМ с положительной обратной связью

Между упорным диском 6 и крайним левым (по рис. 1) фрикционным диском 4 установлен упорный подшипник 7, следовательно, компоновочная схема фрикционной группы муфты выполнена по типу «все пары трения ведущие» [11].

УУ муфты выполнено в виде тел качения 8, которые размещены в гнездах со скошенными боковыми стенками нажимного диска 5 и опорной втулки 9, жестко установленной на ступице полумуфты 1 (рис. 1, сечение А-А).

Силовое замыкание пар трения, необходимое для возбуждения начального момента сил трения и, следовательно, прижимной силы $F_{\text{р}}$ в процессе работы, осуществляется пружиной 10, установленной с предварительным натяжением и передающей усилие на нажимной диск 5 посредством упорного подшипника 11.

В процессе работы нажимной диск 5 воздействует на тела качения 8, которые передают вращающий момент от полумуфты 1 на полумуфту 2, в результате чего между телами качения и стенками гнезд возникает нормальная сила F_n, которую можно разложить на составляющие F_t – тангенциальную (окружную) силу и $F_{\text{пр}}$ – прижимную (осевую) силу.

Величина силы $F_{\text{пр}}$ зависит, очевидно, от значения нормальной силы F_n, которое, в свою очередь, определяется величиной вращающего момента, воспринимаемого нажимным диском 5. Величина вращающего момента, поступающего на нажимной диск, зависит от текущего значения коэффициента трения между фрикционными дисками 3 и 4, значения текущей силы прижатия друг к другу дисков трения, а также от параметров фрикционной группы муфты.

Сила $F_{\text{пр}}$, действующая на поверхности трения фрикционных дисков 3 и 4, обеспечивает дополнительное прижатие их друг к другу. В соответствии с этим запишем выражение для вычисления величины текущей прижимной силы:

$$F_{\text{пр}i} = \frac{T_{\text{пі}}}{r}\,\text{tg}\alpha\,, \qquad (1)$$

где $T_{пi}$ – вращающий момент, действующий на нажимной диск 5; α – угол скоса боковой стенки гнезда под тело качения 8 (рис. 1, сечение А-А); r – радиус окружности, на которой расположены тела качения 8 (рис. 1).

Выражение для вычисления величины предельного вращающего момента АФМ запишем в общем виде как

$$T_{пi} = zR_{ср} f_i (F_п + F_{прi}), \quad (2)$$

где z – число пар поверхностей трения фрикционной группы; $R_{ср}$ – средний радиус поверхностей трения; f_i – текущий коэффициент трения; $F_п$ – сила натяжения пружины 10.

Выражение (2) записано в соответствии с общими принципами действия положительной обратной связи.

В работе [12] приведены результаты исследования условия получения «идеальной» нагрузочной характеристики АФМ, оснащенной положительной обратной связью. «Идеальная» нагрузочная характеристика муфты означает полное отсутствие зависимости величины предельного вращающего момента от коэффициента трения.

Упомянутое условие в математической форме имеет вид:

$$F_{прi} = F_п \left(\frac{f_{max}}{f_i} - 1 \right). \quad (3)$$

Обозначения остальных параметров в формуле (3) приведены выше.

Анализ формулы (3) показывает, что максимальная величина прижимной силы равна

$$F_{прmax} = F_п \frac{f_{max} - f_{min}}{f_{min}},$$

а минимальная величина – нулю при значении $f_i = f_{max}$.

После подстановки в выражение (2) правой части соотношения (1) решим составленное уравнение относительно неизвестного $T_{пi}$. Имеем

$$T_{пi} = zF_п R_{ср} \frac{f_i}{1 - zCf_i}, \quad (4)$$

где C – коэффициент усиления (КУ) положительной обратной связи:

$$C = \frac{R_{ср}}{r} \mathrm{tg}\alpha.$$

По условию компоновки рассматриваемой АФМ принято $\alpha = \mathrm{const}$ (см. рис. 1, сечение А-А).

Подставляя правую часть соотношения (4) в выражение (1), запишем формулу для прижимной силы:

$$F_{прi} = zF_п C \frac{f_i}{1 - zCf_i}. \quad (5)$$

Для получения «идеальной» нагрузочной характеристики величина прижимной силы должна изменяться в соответствии с зависимостью (3).

Рассмотрим, с целью сопоставления закономерностей изменения величин сил $F_{прi}$, согласно соотношениям (3) и (5), графики, изображенные на рис. 2. Кривые 1 и 2, отражающие соответственно зависимости (3) и (5), построены по следующим исходным данным: $F_п$ =800 Н,

$_z$=4, f_{max}=0,8. Величина C, которая зависит от угла давления α (см. выше), вычислялась с учетом следующего обстоятельства.

Схема положительной обратной связи в АФМ предполагает нажимное действие тел качения на нажимной диск 5. Исходя из условия, исключающего самоторможение (заклинивание) пар трения 3 и 4, должно выполняться неравенство вида [13]:

$$\mathrm{tg}\alpha_{max} < f_{max},$$

где α_{max} – максимальное, по условию отсутствия самоторможения элементов пар трения, значение угла скоса боковой стенки гнезда под тело качения.

При $R_{ср}$=0,09 м, $_r$=0,03 м и $\mathrm{tg}\alpha$=0,7 получим C =0,3125.

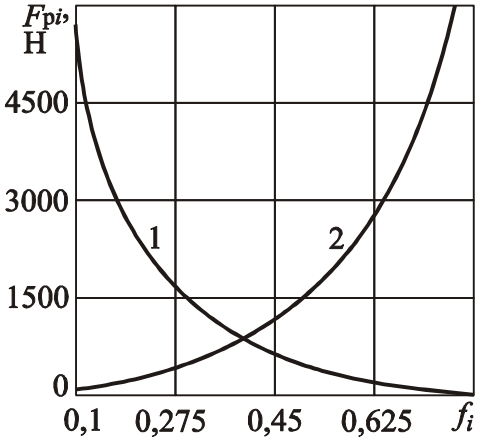


Рис. 2. Влияние величины коэффициента трения на прижимную силу реальной и «идеальной» АФМ

Кривые, изображенные на рис. 2, показывают, что характер изменения величин $F_{прi}$ неодинаков: в соответствии с требуемым характером изменения величины силы $F_{прi}$ она должна уменьшаться от максимума при значении коэффициента трения f_{min} до нуля при значении f_{max} (кривая 1), тогда как в АФМ, выполненной по схеме согласно рис. 1, сила $F_{прi}$ увеличивается от минимума при значении f_{min} до бесконечности при значении f_{max} (кривая 2).

В последнем случае обращение величины силы $F_{прi}$ при значении коэффициента трения f_{max} в бесконечность физически означает самоторможение пар трения 3 и 4 (см. выше).

В случае использования в АФМ с положительной обратной связью принципа дополнительного регулирования устройство дополнительной обратной связи должно «отбирать» часть вращающего момента, поступающего на основное УУ положительной обратной связи, с тем, чтобы обеспечить разгрузку последнего и требуемую разность между величинами вращающих моментов реальной АФМ (по схеме на рис. 1) и «идеальной» муфтой с положительной обратной связью.

Величина вращающего момента, передаваемого «идеальной» муфтой с положительной обратной связью, должна быть независимой от текущего значения коэффициента трения и равна

$$T_п = zF_п R_{ср} f_{max}. \quad (6)$$

Формула (6) отражает отсутствие прижимной силы УУ положительной обратной связи при максимальном значении коэффициента трения.

Величина вращающего момента, который должно передавать дополнительное УУ, определяется как указанная выше разность, что, с учетом соотношений (4) и (6) дает

$$T_{пi1} = T_{пi} - T_п = zF_п R_{ср}\left(\frac{f_i}{1 - zCf_i} - f_{max}\right). \quad (7)$$

График функции (7) приведен на рис. 3 (кривая 1). Прямая 2 на этом же рисунке отражает график нагрузочной характеристики «идеальной» АФМ с положительной обратной связью, а кривая 3 – график функции (4).

Графики построены по приведенным выше исходным данным.

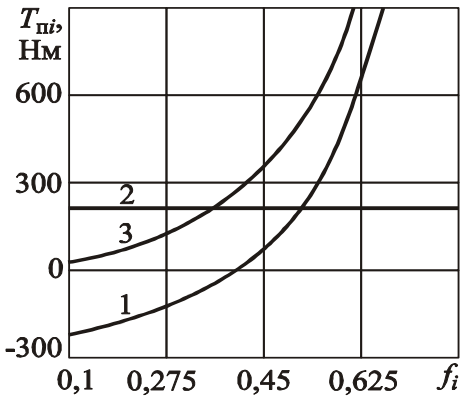


Рисунок 3 –. Нагрузочные характеристики реальной и «идеальной» АФМ с положительной обратной связью

Графики (кривые 1 и 3) показывают, что величины соответствующих вращающих моментов изменяются по аналогичным закономерностям, однако для реализации схемы АФМ с дополнительным регулированием в интервале значений коэффициента трения f_i=0,1…0,37 необходим не «отбор» части вращающего момента, поступающего на основное УУ положительной обратной связи, а, наоборот, поступление дополнительного вращающего момента.

В интервале значений f_i=0,37…0,8 необходим «отбор» части вращающего момента, поступающего от полумуфты 1 на основное УУ положительной обратной связи.

Поскольку муфта, оснащенная только одним, основным УУ положительной обратной связи, создает максимальную по величине прижимную силу при минимальном значении коэффициента трения, необходимо для выполнения первого из указанных выше условий применение дополнительного устройства, создающего дополнительную прижимную силу.

Однако максимальная прижимная сила создается за счет полного вращающего момента АФМ, поэтому резерва мощности для создания дополнительной прижимной силы нет.

Увеличение прижимной силы, создаваемой основным УУ, возможно за счет соответствующего увеличения КУ положительной обратной связи. Однако в этом случае произойдет уменьшение величины коэффициента трения, при которой наступает самоторможение пар трения. Поэтому в данном случае дополнительное УУ обратной связи должно блокировать подачу вращающего момента на основное УУ положительной обратной связи, исключая при этом самоторможение пар трения в определенном интервале значений коэффициента трения. При этом дополнительное УУ обратной связи, являющееся единственным регулятором величины вращающего момента в указанных условиях, должно обеспечивать уменьшение значения прижимной силы по соответствующему закону.

Результаты и обсуждение.

Результаты исследования базового варианта АФМ с положительной обратной связью прямого действия показали низкую точность срабатывания, в связи с чем предполагается при сохранении базовой части муфты введение в конструкцию дополнительного УУ обратной связи.

Найденная зависимость величины вращающего момента дополнительного УУ обратной связи от текущего значения коэффициента трения позволяет теоретически полностью стабилизировать величину вращающего момента АФМ.

Для осуществления поставленной задачи необходима комбинированная схема УУ дополнительной обратной связи, обеспечивающая, в зависимости от текущего значения коэффициента трения, подачу или отбор части вращающего момента на основное УУ.

Результаты исследования могут быть использованы в дальнейших изысканиях, направленных на синтез принципиальной и конструктивной схем АФМ с положительной обратной связью прямого действия, обладающей высокой точностью срабатывания за счет системы дополнительного регулирования.

Выводы

1. В исходном варианте АФМ с положительной обратной связью прямого действия не обладает высокой точностью срабатывания, вследствие чего она не может быть использована в качестве надежного предохранительного устройства.

2. Предварительные исследования показывают, что применение принципа дополнительного регулирования в АФМ с положительной обратной связью может существенно повысить точность ее срабатывания.

3. Найдена зависимость величины вращающего момента дополнительного УУ обратной связи от текущего значения коэффициента трения, при реализации которой АФМ с положительной обратной связью прямого действия передает постоянный по величине, не зависящий от текущего значения коэффициента трения, вращающий момент.

4. Для реализации АФМ с положительной обратной связью прямого действия и с дополнительным регулированием необходима комбинированная схема УУ дополнительной обратной связи, которая должна в определенном интервале значений коэффициента трения обеспечивать поступление на основное УУ положительной обратной связи дополнительного вращающего момента, а в остальном интервале значений коэффициента трения – отбор части вращающего момента.

5. В АФМ с положительной обратной связью прямого действия для увеличения прижимной силы основного УУ необходимо увеличение угла давления тел качения, что приводит к уменьшению интервала изменения величины коэффициента трения, внутри которого не требуется изменение знака вращающего момента дополнительного УУ обратной связи.

Список литературы

1. Шишкарев М.П. Оптимизация коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт первого поколения с дифференцированными парами трения // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

2. Шишкарев М.П. Повышение надежности адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2008. – № 4. – С. 6–9.

3. Шишкарев М.П. О функциях адаптивных предохранительных фрикционных муфт / Вестн. машиностроения. – 2006. – № 7. – С. 7–8.

4. Шишкарев М.П. Уточнение характеристики обратной связи адаптивных фрикционных муфт / Вестн. машиностроения. – 2005. – № 11. – С. 12–13.

5. Шишкарев М.П. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 3–7.

6. Шишкарев М.П. Улучшение эксплуатационных показателей адаптивных фрикционных муфт / ГОУ Рост. гос. акад. с-х. машиностроения, Ростов н/Д, 2008. – 148 с.

7. Шишкарев М.П. Теоретические основы применения комбинированной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 7. – С. 16–19.

8. Шишкарев М.П. Математические модели высокой надежности адаптивных фрикционных муфт // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVI Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева / РГАСХМ ГОУ, Ростов н/Д, 2003. – С. 231–234.

9. Шишкарев М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел 2-го поколения // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных

процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 72–76.

10. Шишкарев М.П., Лущик А.А., Угленко А.Ю. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчет. Монография. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.

11. Шишкарев М.П. Теоретические основы применения двухконтурной отрицательной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 8. – С. 19–21.

12. Шишкарев М.П. Математические модели высокой надежности адаптивных фрикционных муфт // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVI Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева/РГАСХМГОУ, Ростовн/Д, 2003. – С. 231–234.

THE SYNTHESIS OF POSITIVE FEEDBACK WITH THE ADDITIONAL REGULATION IN THE ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES

Shishkarev M.P., D.Sc. (Engineering), Professor,

Shishkarev M.P.

Don State Technical University,
344000, Gagarin square, 1, Rostov-on-don, Russian Federation

Abstract

The results of the study of the influence of the additional control device adaptive friction coupling with positive feedback, made by a combined scheme, on the output parameters. The dependence of the value of the input moment of the additional feedback control device on the current value of the coefficient of friction, in the implementation of which the adaptive friction clutch with positive feedback of direct action transmits a constant in magnitude and independent of the current value of the coefficient of friction torque.

Keywords: adaptive friction clutch, friction coefficient, control device, positive feedback, additional clamping force.

УДК 621.838.222

СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ ФРИКЦИОННОЙ МУФТЫ С БИФУНКЦИОНАЛЬНЫМ УПРАВЛЯЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ

ШИШКАРЕВ М.П.[1], докт. техн. наук, доцент
([1]ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Шишкарев М.П.

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
Донской государственный технический университет
e-mail: shishkarevm@mail.ru

Аннотация

Осуществлен синтез адаптивной фрикционной муфты второго поколения с бифункциональным управляющим устройством, основанный на изменении схемы силового замыкания пар трения дополнительной фрикционной группы. На основе разработанной математической модели муфты определены параметры для достижения высокой точности срабатывания. Показано, что муфта обладает повышенной нагрузочной номинальной способностью при определенных величинах отношения усилия замыкания пар трения дополнительной фрикционной группы к силе тангенциальной пружины бифункционального управляющего устройства.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, бифункциональное управляющее устройство, нагрузочная способность, точность срабатывания, коэффициент усиления.

Введение

В настоящее время применение бифункционального управляющего устройства (УУ) ограничивается адаптивными фрикционными муфтами (АФМ) первого поколения [1, 2]. Непосредственное встраивание бифункционального УУ в конструкцию АФМ второго поколения по применяемой типовой схеме дает эффект повышения нагрузочной номинальной способности только применительно к основной фрикционной группе (ОФГ) муфты.

Указанное объясняется тем, что при непосредственном встраивании УУ в схему АФМ второго поколения без каких-либо изменений дополнительная фрикционная группа (ДФГ) не будет выполнять свою функцию, как в базовом варианте. В данном случае на пары трения ДФГ будет действовать распорная сила, и муфта превратится в АФМ первого поколения.

Исследования показали, что АФМ с бифункциональным УУ обладает повышенной нагрузочной номинальной способностью по сравнению с АФМ первого поколения [3, 4]. Увеличение нагрузочной способности АФМ выражается коэффициентом кратности, равным

$$K = \frac{C}{1 + zCf}, \quad (1)$$

где C – коэффициент усиления (КУ) отрицательной обратной связи:

$$C = \frac{R_{ср}}{r} \operatorname{tg}\alpha, \quad (2)$$

$R_{ср}$ – средний радиус поверхностей трения фрикционной группы; α – угол скоса боковой стенки гнезда под тело качения УУ; r – радиус окружности, на которой расположены тела качения УУ; z – число пар трения фрикционной группы; f – коэффициент трения между элементами пар фрикционной группы.

Как показывает анализ зависимости (1), при увеличении КУ вращающий момент изменяется нелинейно, а его увеличение замедляется по мере роста величины КУ, в связи с чем указанное преимущество АФМ с бифункциональным УУ носит ограниченный характер.

Постановка задачи исследования. Разработка конструкции и исследование АФМ второго поколения с бифункциональным УУ.

Решение задачи.

Выше отмечено, что непосредственное встраивание узла бифункционального УУ, взятого без изменений из конструкции АФМ первого поколения, в конструкцию базового варианта АФМ второго поколения не дает положительного результата из-за того, что отжимная сила УУ будет действовать и на пары трения ДФГ. В данном случае АФМ второго поколения, в сущности, превращается в АФМ первого поколения.

Следовательно, синтез АФМ второго поколения с бифункциональным УУ должен быть основан на введении дополнительного силового замыкателя пар трения ДФГ [5–7].

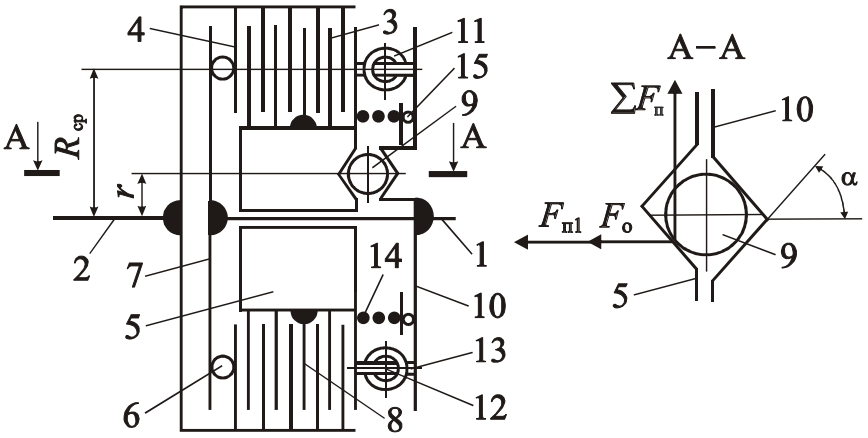
Модернизированный вариант АФМ второго поколения на основе бифункционального УУ в виде принципиальной схемы показан на рисунке. Соосные одна другой полумуфты 1 и 2 кинематически связаны между собой фрикционными дисками 3 и 4. Диски 3 связаны со ступицей нажимного диска 5, лишенного кинематической связи со ступицей полумуфты 1, за исключением незначительных сил трения между ними, не учитываемых в исследовании.

Диски 4 аналогичным способом связаны с барабаном полумуфты 2.

Слева (по рисунку) пакет фрикционных дисков 3 и 4 опирается благодаря упорному подшипнику 6 на упорный диск 7, жестко закрепленный на ступице полумуфты 1.

Пакет фрикционных дисков разделен опорным фланцем 8, закрепленным на ступице нажимного диска 5, на две фрикционные группы –ОФГ, расположенную слева (по рисунку) опорного фланца 8, и ДФГ, которая находится справа от опорного фланца.

УУ состоит из тел качения 9, расположенных в скошенных гнездах, выполненных на оппозитных торцевых поверхностях нажимного диска и опорной шайбы 10, жестко закрепленной на ступице полумуфты 1.



Принципиальная схема АФМ второго поколения с бифункциональным УУ

Силовое замыкание пар трения ОФГ осуществляется тангенциальными пружинами 11, каждая из которых расположена между бобышками 12 и 13. Бобышки 12 закреплены на крайнем правом диске трения 3, а бобышки 13 – на опорной шайбе 10.

Пружины 11 поставлены в муфту с предварительным натяжением, благодаря чему, воздействуя на нажимной диск в окружном направлении, они создают между телами качения 9 и стенками гнезд силы нормального давления, осевые составляющие которых осуществляют силовое замыкание пар трения ОФГ.

Пары трения ДФГ замыкаются при помощи пружины 14, поставленной «враспор» между правым крайним (по рисунку) диском трения 3 и опорной шайбой 10. Для уменьшения трения между опорной шайбой и пружиной 14 поставлен упорный подшипник 15.

Принцип автоматического регулирования силы прижатия друг к другу пар трения ОФГ и предельного вращающего момента АФМ, заключается в том, что момент сил сопротивления

со стороны нажимного диска 5, уменьшает действие упругого момента пружин 11. В соответствии с этим уменьшается величина осевой силы и момент сил трения.

Для составления математической модели АФМ запишем выражение для определения осевой силы F_o, действующей на поверхностях трения фрикционных дисков [8–10]:

$$F_o = F_t \operatorname{tg}\alpha, \quad (1)$$

где F_t – тангенциальная (окружная) сила, действующая на тела качения 9.

Уравнение равновесия нажимного диска 5 в окружном направлении запишем в виде

$$\sum F_п R - F_t r = 0, \quad (2)$$

где $F_п$ – сила натяжения пружины 11; R – радиус окружности, на которой расположены пружины 11; r – радиус окружности, на которой расположены тела качения 9.

Из соотношений (1) и (2) находим:

$$F_o = \frac{\sum F_п r}{r} \operatorname{tg}\alpha = n F_п C, \quad (3)$$

где n – число пружин 11; C – КУ, вычисляемый по формуле:

$$C = \frac{R}{r} \operatorname{tg}\alpha. \quad (4)$$

При установке тангенциальных пружин 11 таким образом, чтобы окружная сила, действующая на пружины при передаче вращающего момента, была направлена против векторов сил натяжения пружин, вращающий момент ΔT, передаваемого телами качения 9, равен:

$$\Delta T = T_{пр} - T_п, \quad (5)$$

где $T_{пр}$ – вращающий момент от сил натяжения тангенциальных пружин; $T_п$ – вращающий момент, передаваемый муфтой.

Величина вращающего момента $T_п$ не постоянна, она зависит, в основном, от текущего значения коэффициента трения между фрикционными дисками и от величины, передаваемой в данный момент времени нагрузки. В связи с этим, разность ΔT в соотношении (5) также не постоянная, что влияет на величину силы F_o в соответствии с зависимостью:

$$F_o = \frac{\Delta T}{r} \operatorname{tg}\alpha. \quad (6)$$

Благодаря этому осуществляется автоматическое изменение силы прижатия друг к другу пар трения ОФГ и регулирование момента сил трения между фрикционными дисками.

Величина силы прижатия друг к другу пар трения ДФГ, согласно конструктивно-компоновочной схеме АФМ, постоянная и зависит только от силы натяжения пружины 14.

Величина передаваемой муфтой нагрузки равна сумме двух вращающих моментов:

$$T_п = T_1 + T_2, \quad (7)$$

где T_1, T_2 – вращающие моменты, передаваемыесоответственно парами трениюОФГ и ДФГ.

Величина вращающего момента пар трения ОФГ, определяется по формуле:

$$T_1 = z R_{ср} f (F_o + F_{п1}), \quad (8)$$

где z – число пар трения ОФГ; $F_{п1}$ – сила натяжения пружины 14.

Вращающий момент, передаваемый парами трения ДФГ, вычисляется по формуле:

$$T_2 = z_1 F_{п1} R_{ср} f, \quad (9)$$

где z_1 – число пар трения ДФГ.

Остальные обозначения указаны в примечании к соотношению (8).

Принимая $p = F_{п1} / F_п$ и используя соотношения (5)– (7), имеем:

$$T_{\text{п}} = F_{\text{п}} R_{\text{ср}} f \frac{znC + (z + z_1)p}{1 + zCf}. \quad (10)$$

В соотношении (10) принято $R = R_{\text{ср}}$.

Исследование точности срабатывания АФМ

Коэффициент точности АФМ, с учетом соотношения (10), вычисляется по формуле:

$$K_{\text{т}} = \frac{f_{\max}(1 + zCf_{\min})}{f_{\min}(1 + zCf_{\max})}. \quad (11)$$

Формула (11) идентична формуле для АФМ первого поколения с бифункциональным УУ, следовательно, по точности срабатывания при одинаковых параметрах муфты равноценны.

Исследование нагрузочной способности АФМ

В качестве объекта для сравнения примем АФМ первого поколения с бифункциональным УУ, которая имеет одинаковые с АФМ второго поколения параметры. При указанном условии формула предельного вращающего момента для объекта сравнения имеет вид:

$$T_{\text{п1}} = (z + z_1) n F_{\text{п}} R_{\text{ср}} C \frac{f}{1 + zCf}. \quad (12)$$

Сравнение величин вращающих моментов в форме предполагаемого неравенства $T_{\text{п}} > T_{\text{п1}}$ приводит к неравенству

$$p > \frac{z_1 nC}{z + z_1}. \quad (13)$$

Неравенство (13) записано с учетом соотношений (10) и (12). Неравенство показывает, что величина p возрастает прямо пропорционально с увеличением КУ. При этом, как показывают расчеты, величина p, в зависимости от значений параметров, входящих в неравенство (13) (кроме параметра C), может быть больше или меньше единицы.

Это характеризует соотношение силовых характеристик пружин 11 (в отдельности) и 14.

Сопоставим нагрузочную способность исследуемой АФМ и базового варианта АФМ второго поколения. В отличие от первой последняя муфта имеет общее силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ [4]. В качестве объекта сопоставления примем вариант АФМ с z_1 >1.

Для вывода формулы предельного вращающего момента АФМ запишем:

$$T_1^{'} = zR_{\text{ср}}(F_{\text{п}} - F_{\text{р}}), \quad (14)$$

где $F_{\text{р}}$ – распорная сила УУ.

Формула (14) отражает величину вращающего момента ОФГ.

Величина вращающего момента ДФГ вычисляется по следующей формуле:

$$T_2^{'} = z_1 F_{\text{п}} R_{\text{ср}} f. \quad (15)$$

Величина распорной силы УУ вычисляется по формуле:

$$F_{\text{р}} = \frac{T_1 + T_2}{r} \text{tg}\alpha = (z + z_1) F_{\text{п}} C \frac{f}{1 + zCf}. \quad (16)$$

Формула (16) записана с учетом соотношений (14) и (15).

Подставляя правую часть соотношения (16) в формулу (14) и учитывая равенство $T_{\text{п}}^{'} = T_1^{'} + T_2^{'}$, получаем:

$$T_{\text{п}}^{'} = (z + z_1) F_{\text{п}} R_{\text{ср}} \frac{f}{1 + zCf}. \quad (17)$$

Формула (17) идентична формуле для вычисления величины вращающего момента АФМ первого поколения, которая выполнена по схеме компоновки фрикционной группы со всеми ведущими парами трения и с общим числом пар трения, равным $z + z_1$.

Ограничение сверху величины КУ для базового варианта АФМ второго поколения со всеми ведущими парами трения ОФГ найдем, приравнивая распорную силу при $f_{\max}$ к $F_{\text{п}}$.

Учитывая соотношение (16), имеем:

$$C = \frac{1}{z_1 f_{\max}}. \tag{18}$$

Используя соотношения (10), (17) и предполагая, что

$$T_{\text{п}} > T_{\text{п}}^{'}, \tag{19}$$

получаем:

$$p > \frac{(zz_1 f_{\max} + z_1^2 f_{\max} - z)n}{(z + z_1)z_1 f_{\max}}. \tag{20}$$

Неравенство (20) показывает ограничение снизу величины p, при котором выполняется условие (19).

Для оценки влияния z и z_1 на p запишем неравенство (20) в следующем виде:

$$p > \left[1 - \frac{z}{(z + z_1)z_1 f_{\max}}\right] n. \tag{21}$$

Проанализируем правую часть неравенства (21). С увеличением z_1 ограничение снизу значения p ужесточается.Для оценки влияния величины z на нижнее граничное значение p вычислим первую производную вычитаемого в неравенстве (21). Имеем:

$$\left[\frac{z}{(z + z_1)z_1 f_{\max}}\right]_z^{'} = z_1^2 f_{\max}. \tag{22}$$

Производная (22) положительная и исследуемая функция возрастает по аргументу z.

Таким образом, с увеличением z нижнее граничное значение p уменьшается.

Полученный результат показывает, что для выполнения неравенства (19) целесообразно увеличивать параметр z. В этом случае можно принимать уменьшенное значение коэффициента p, т. е. величину силы натяжения $F_{\text{п1}}$ пружины 14 при заданной силе натяжения $F_{\text{п}}$ тангенциальных пружин 11.

Это позволяет уменьшить размеры и массу пружины 14, а также массу АФМ.

Сопоставим нагрузочную способность базовых вариантов АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения и со всеми ведущими парами трения ОФГ. Формулы для вычисления величин вращающих моментов указанных вариантов АФМ представлены соотношением (17) и выражением [11]:

$$T_{\text{п1}} = F_{\text{п}} R_{\text{ср}} f \frac{z + z_1(1 - Cf)}{1 + (z - 1)Cf}. \tag{23}$$

Учитывая, что ограничения величин КУ сверху одинаковые и могут быть представлены соотношением (19), примем указанное значение C при сопоставлении нагрузочной способности вариантов АФМ в предположении

$$T_{\text{п1}}^{'} > T_{\text{п}}^{'}. \tag{24}$$

Используя в неравенстве (24) правые части соотношений (17) и (23) и принимая в последнем поправочный коэффициент-множитель n, получим $-1 < -z_1 Cf$ или

$$z_1 Cf < 1. \tag{25}$$

Учитывая в неравенстве (25) соотношение (18), а также принимая в неравенстве (25) $f = f_{\min}$, согласно данным работы [7], имеем:

$$\frac{1}{m}<1, \tag{26}$$

где m – относительная ширина интервала значений коэффициента трения $f_{\min}...f_{\max}$:

$$m=\frac{f_{\max}}{f_{\min}}. \tag{27}$$

Согласно соотношению (27) m >1, следовательно, неравенство (26) справедливо, что подтверждает справедливость неравенства (24). Следовательно, базовый вариант АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ обладает, при одинаковых параметрах, более высокой, чем вариант со всеми ведущими парами трения, нагрузочной способностью.

Сравнение точности срабатывания базовых вариантовАФМ второго поколения

В заключение сопоставим точность срабатывания базового варианта АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ и варианта со всеми ведущими парами трения.

Исследование нагрузочной способности указанных вариантов АФМ показало преимущество варианта муфты с дифференцированными парами трения ОФГ. Для сравнения точности срабатывания вариантов АФМ воспользуемся соотношениями (17) и (23).

Формулы для вычисления величин коэффициента точности сравниваемых вариантов АФМ имеют следующий вид [12]:

– для варианта АФМ с дифференцированными парами трения ОФГ:

$$K_{т1}=\frac{f_{\max}[z+z_1(1-Cf_{\max})][1+(z-1)Cf_{\min}]}{f_{\min}[z+z_1(1-Cf_{\min})][1+(z-1)Cf_{\max}]}; \tag{28}$$

– для варианта АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ – см. соотношение (11).

Сравнение точности срабатывания вариантов АФМ в виде $K_т > K_{т1}$ произведем после преобразования соотношений (11) и (28). Для этого используем соотношения (18) и (27). Сравнение вариантов АФМ вначале произведем при z_1 =1.В результате имеем:

$$m>1. \tag{29}$$

Согласно соотношению (27), значение коэффициента m удовлетворяет неравенству (29). Следовательно, исходное неравенство $K_т > K_{т1}$ также выполняется, что свидетельствует о более высокой точности срабатывания варианта АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения при z_1 =1.

Увеличение числа пар трения ДФГ в АФМ второго поколения приводит, согласно соотношению (18), к снижению предельного значения КУ и, соответственно, точности срабатывания муфты. Вполне очевидно, что это относится к обоим вариантам АФМ.

В связи с этим исследуем точность срабатывания вариантов АФМ с z_1 >1.

Величина коэффициента точности АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ вычисляется по формуле (11), а величина КУ – по соотношению (18). Предположив, что $K_т > K_{т1}$, а также учитывая выражение (28), приходим к неравенству (29).

Следовательно, и при z_1 >1 вариант АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ обладает преимуществом по точности срабатывания.

Результаты и обсуждение.

Применение математической модели АФМ с бифункциональным УУ при расчетах позволило достичь более высокую точность срабатывания и нагрузочную номинальную способность по сравнению с базовым вариантом АФМ первого поколения с бифункциональным УУ и с базовым вариантом АФМ второго поколения.

Результаты исследования могут быть использованы при расчетах и проектировании АФМ второго поколения с бифункциональным УУ для выбора ее параметров, обеспечивающих высокие эксплуатационные показатели – нагрузочную номинальную способность и точность срабатывания. Результаты исследования могут быть также полезно

при выборе базового варианта АФМ второго поколения, обладающего наибольшими нагрузочной номинальной способностью и точностью срабатывания.

Выводы

1. Применение бифункционального УУ в конструкции АФМ второго поколения обусловлено необходимостью использования его преимущества в повышении нагрузочной номинальной способности и основано на изменении схемы силового замыкания пар трения ДФГ.

2. Разработана математическая модель АФМ второго поколения с бифункциональным УУ, которая использована при определении величин параметров, способствующих достижению высокой точности срабатывания и нагрузочной способности.

3. Нагрузочная номинальная способность разработанной АФМ может быть выше, чем у базового варианта АФМ с бифункциональным УУ и со всеми ведущими парами трения, при величинах отношения силы натяжения пружины, замыкающей пары трения ДФГ, к силе тангенциальной пружины бифункционального УУ, превышающих установленное значение.

4. Нагрузочная номинальная способность разработанной АФМ выше, чем у базового варианта АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ при установленном ограничении указанного в п. 3 отношения. С увеличением числа пар трения ОФГ ограничение величины указанного отношения ужесточается так же, как и при увеличении числа пар трения ОФГ.

5. Нагрузочная номинальная способность и точность срабатывания базового варианта АФМ второго поколения с дифференцированными парами трения ОФГ выше, чем АФМ со всеми ведущими парами трения ОФГ, в том числе с любым числом пар трения ДФГ.

Список литературы

1. Шишкарев М.П. Об одном преимуществе адаптивной фрикционной муфты с бифункциональным управляющим устройством. Известия ОрелГТУ. – 2008. – № 3-2/271 (546). – С. 79–83.

2. Шишкарев М.П. Показатели адаптивной фрикционной муфты с бифункциональным управляющим устройством // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 12. – С. 32–35.

3. Шишкарев М.П. Повышение надежности работы адаптивных фрикционных муфт 1-го поколения // Известия ОрелГТУ. – 2010. – № 2–2/284. – С. 73–77.

4. Шишкарев М.П. Оптимизация величины коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2003. № 6. – С. 30–31.

5. Шишкарев М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел 2-го поколения // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 72–76.

6. Шишкарев М.П. Теоретические основы применения комбинированной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 7. – С. 16–19.

7. Шишкарев М.П. Улучшение эксплуатационных показателей адаптивных фрикционных муфт / ГОУ Рост. гос. акад. с-х. машиностроения, Ростов н/Д, 2008. – 148 с.

8. Шишкарев М.П. Вопросы теории адаптивного фрикционного контакта твердых тел // Изв. вузов. Машиностроение. – 1994. – № 4–6. – С. 43–47.

9. Шишкарев М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» / Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 68–72.

10. Шишкарев М.П. Уточнение характеристики обратной связи адаптивных фрикционных муфт / Вестн. машиностроения. – 2005. – № 11. – С. 12–13.

11. Шишкарев М.П. О функциях адаптивных предохранительных фрикционных муфт / Вестн. машиностроения. – 2006. – № 7. – С. 7–8.

12. Шишкарев М.П. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт // Вестн. машиностроения. – 2004. –№ 4. – С. 3–7.

THE SYNTHESIS OF AN ADAPTIVE FRICTION CLUTCH A BIFUNCTIONAL CONTROL DEVICE

Shishkarev M.P., D.Sc. (Engineering), Professor,

Shishkarev M.P.

Don State Technical University,
344000, Gagarin square, 1, Rostov-on-don, Russian Federation

Abstract

The synthesis of the adaptive friction clutch of the second generation with a bifunctional control device, based on the change of the scheme of force closure of friction pairs of the additional friction group. On the basis of the developed mathematical model of the coupling, the parameters for achieving high actuation accuracy are determined. It is shown that the coupling has an increased load rated capacity at certain values of the ratio of the closing force of friction pairs of the additional friction group to the power of the tangential spring of the bifunctional control device.

Keywords: adaptive friction clutch, bifunctional control device, load capacity, response accuracy, amplification factor.

УДК620.191.4

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ ФРАКТАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

СМИРНОВ В.В. [1]*, канд.техн.наук, доцент,*
ФИРСОВ А.М.[1]*, канд.техн.наук, доцент,*
ОВЧАРЕНКОА.Г. [1]*, докт.техн.наук, профессор,*
РОМАШЕВ А.Н. [1]*, канд.техн.наук, доцент*
([1]Бийский техн. институт филиал АлтГТУ, Бийск, Россия)

Смирнов В.В., Фирсов А.М., Овчаренко А.Г., Ромашев А.Н.

659305, Бийск, ул. им. Героя Советского Союза Трофимова, 27
Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета,
e-mail: tmk@bti.secna.ru

Аннотация

В технологии машиностроения важным показателем качества поверхности считается её микрогеометрия. Эта микрогеометрия складывается в результате воздействия многих факторов. Соответствующая картина включает детерминированную и случайную составляющие. В статье рассматриваются основные вычислительные модели фрактальной геометрии, которые можно использовать для моделирования шероховатости обрабатываемой поверхности. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение позволяют моделировать микрогеометрию поверхностей, подвергаемых механической и комбинированной обработке в широких пределах области адекватности.

Ключевые слова: обрабатываемая поверхность, математическое моделирование, микрогеометрия, фракталы.

Введение

Получение деталей машин с высоким качеством рабочих поверхностей – сложная и актуальная задача, инициировавшая возникновение отдельного учения об инженерии поверхности деталей и применение его на практике [1]. Важным показателем качества поверхности, играющим наряду с её физическими характеристиками существенную роль при контактном взаимодействии деталей, является шероховатость. Последнюю многие исследователи рассматривают как функцию отклика на параметры технологического перехода. Среди этих параметров основной вклад в формирование микрогеометрии вносят: геометрия инструмента, величина нароста на режущей его части, напряженно-деформированное и температурное состояние зоны обработки, смазочно-охлаждающие свойства рабочей среды и её физико-механические свойства, влияющие на теплоотвод и трение, а также высокочастотные вибрации [2]. Если обрабатываемый материал не является однородным и изотропным, то его свойства вносят существенный вклад в каждую из перечисленных составляющих. Применение комбинированной обработки, с наложением различного рода полей, включает новые механизмы образования микрорельефа. В результате шероховатость поверхности можно представить, как результат воздействия на материал целой совокупности факторов, рассматривая её картину как застывшую динамику синергетического процесса, и выделить в соответствующей картине детерминированную и случайную составляющие.

Один из традиционных эффективных подходов к математическому моделированию микрогеометрии детали состоит в построении регрессионных моделей по результатам обработки эксперимента для конкретной пары «инструмент-деталь» [3]. Другой подход, позволяющий учитывать физику обработки, связан с представлением объектов исследования

на микроуровне и решением задачи механики сплошной среды на основе применения законов сохранения. Несмотря на значительные достижения в этой области, трудности этого подхода заключаются в необходимости учёта многих случайных факторов для обеспечения корректной постановки задачи [4]. Другой подход состоит в применении для моделирования шероховатости методов фрактальной геометрии [5]. В этом случае вклады от величин приращения высоты неровностей и радиусов при вершине зубцов её профиля, связанные с геометрией процесса, пластическим течением материала, упругим восстановлением поверхностного слоя и др., принимают зависимыми от параметра самоподобия геометрических структур – фрактальной размерности. В этой связи является актуальной разработка специализированных алгоритмов и программных средств, позволяющих моделировать и анализировать микрогеометрию обрабатываемой поверхности [6-9].

Описание вычислительных моделей

Термином «фрактал» принято обозначать нерегулярные, но самоподобные геометрические структуры. Отсюда возникает прямая связь между моделированием различного рода текстур [10], а в нашем случае, преимущественной ориентации элементов микрогеометрии, составляющих поверхность материала, и моделированием фракталов. Непосредственная задача моделирования – разработать алгоритмы конструирования математического фрактала, адекватного фракталу физическому, характеризующему шероховатость поверхности. При этом возможны следующие варианты математического описания.

1. При конструирования фрактального профиля при помощи L-системы по А. Линденмайеру [11] некоторый символьный код, соответствующий исходной геометрической структуре, называемый аксиомой, или инициатором, снабжается набором порождающих правил, указывающих, как следует преобразовывать исходные данные в процессе итераций.

2. Модель микронеровностей, построенная на основе системы итерируемых функция использует множество n аффинных преобразований координаты точки (x, y) вида

$$x_{j+1} = ax_j + by_j + f,\ y_{j+1} = cx_j + dy_j + g, \tag{1}$$

где a, b, c, d, f, g – числовые параметры, определяющие преобразование (поворот, сжатие, растяжение, отражение).

Выбранному набору преобразований задаётся в соответствие множество частот их применения p_i, $i = 1, 2, \ldots, n$.

3. Модель, позволяющая строить броуновские профили и поверхности использует генератор случайных чисел для формирования последовательности точек по формулам

$$x_{j+1} = x_j + \alpha_j,\ y_{j+1} = y_j + \beta_j,\ z_{j+1} = z_j + \gamma_j, \tag{2}$$

где α_j, β_j, γ_j - случайные числа из выборки, подчиняющейся заданному закону распределения, чаще всего нормальному или бета-распределению [12].

4. Модель фрактальной интерполяции обрабатывает данные о координатах нескольких точек заданного профиля и формирует координаты возможных промежуточных точек, например, по формуле:

$$s_{j+\frac{1}{2}} = \left(\frac{1}{2} + w\right)\left(s_j + s_{j+1}\right) - w\left(s_{j-1} + s_{j+2}\right), \tag{3}$$

где w – случайная величина с заданным законом распределения.

5. Модель, формирующая профиль шероховатости или шероховатую поверхность на основе уравнений Вейерштрасса-Мандельброта [13], например:

$$y(x) = G^{D-1} \sum_{n=n_j}^{\infty} \frac{\cos 2\pi q^n x}{q^{(2-D)n}},\ 1 < D < 2,\ q > 1, \tag{4}$$

где G – характерный масштаб длины поверхности, D – фрактальная размерность, q^n – характеристика частотного спектра шероховатой поверхности.

Численное значение фрактальной размерности D профиля шероховатости удобно вычислять экспериментально на основе определяющего отношения размерности Минковского

$$N(\varepsilon) \approx \frac{l}{\varepsilon^D}, \quad (5)$$

где $N(\varepsilon)$ – минимальное число клеток со стороной , необходимых для покрытия фрактала, l – константа, параметр, приближение которого (как и приближение значения D) можно получить после логарифмирования выражения (5) и использования метода наименьших квадратов.

Отдельного внимания заслуживает описание профиля шероховатости с учётом изменяющихся условий обработки, вызванных, например, интенсивным износом инструмента. В этом случае целесообразно использовать модель случайного процесса, обладающего памятью [14]. Например, для гауссовского процесса математическое ожидание приращения амплитуды микронеровностей ΔY определяется следующим образом:

$$M(\Delta Y) = \sigma\sqrt{2\pi}(x_2 - x_1)^H,$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, H – параметр, связанный со статистическим самоподобием и вероятностью убывания или возрастания приращения амплитуды (показатель Херста) [15]. При H = 1/2 мы имеем дело с моделью классического марковского процесса.

Результаты и обсуждение

Алгоритмы, соответствующие описанным в п.2 моделям и соотношениям, были реализованы в программном обеспечение на языке Maple.

На рис. 1 представлены результаты моделирования в виде профиля шероховатости, а на рис. 2 – модель шероховатой поверхности. Сравнение с реальными профилями, полученными экспериментально, показывает, что в отличие от полностью стохастического моделирования, моделирование на основе признаков самоподобия является более адекватным, что подтверждается дисперсионным анализом соответствующих структур.

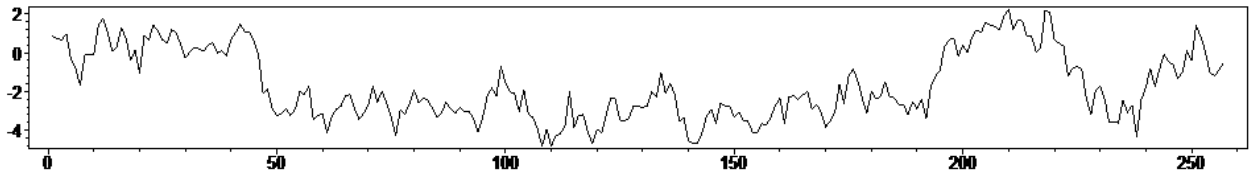


Рисунок. 1. Модель профиля шероховатой поверхности

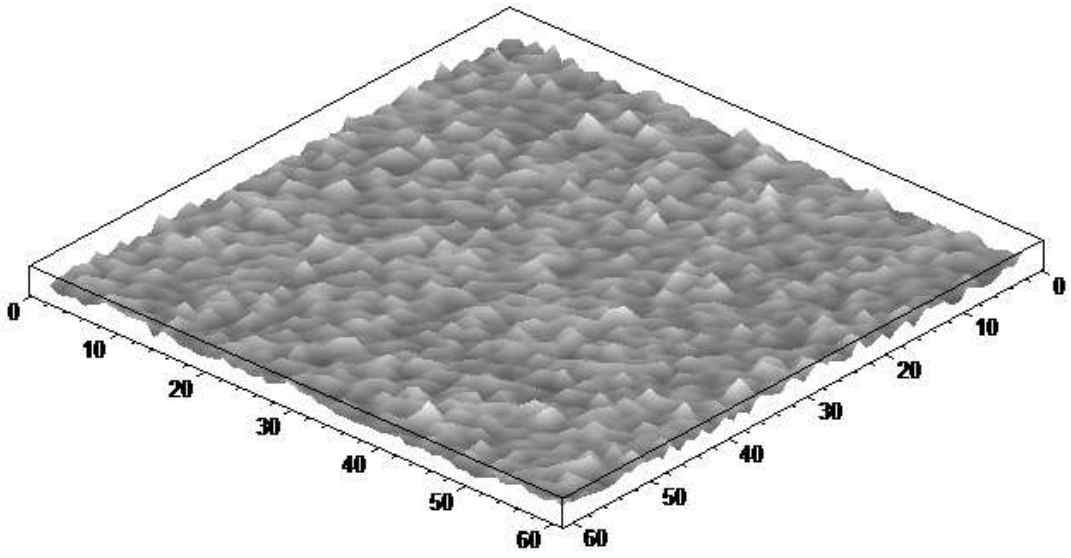


Рисунок. 2. Модель участка поверхности с микронеровностями

По нашему мнению, использование алгоритмов фрактального моделирования поверхностей позволит улучшить качество имитационных моделей микрогеометрии обрабатываемой поверхности.

Выводы

1. Компьютерное моделирование микронеровностей позволяет решать многие технологические задачи, в том числе задачи исследования показателей качества поверхностей и качества сопряжения деталей машин.

2. С помощью самободобных геометрических структур, каким являются фракталы, можно описать микрогеометрию поверхности детали и инструментов. Адекватность таких моделей подтверждается сравнением с экспериментальными профилограммами.

3. Разработанные алгоритмы и программные средства моделирования микронеровностей обеспечивают моделирование микрогеометрии поверхности с учетом явлений регулярности и самоподобия в широких пределах вариации параметров.

Список литературы

1. Инженерия поверхности деталей / Под ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.

2. Леонов С.Л., Татаркин Е.Ю. Конструирование моделей для расчета шероховатости и топографии обработанных поверхностей // Ползуновский вестник. – 2008. – № 1, 2. – С. 170-174.

3. Usmanov B.F., Starovoitov S.V., Khadiullin S.K., Valishina Z.R. Using experiments to construct mathematical models for machinability characteristics of a heat resistant aluminum alloy // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2014. – Т. 7. – № 5. – p. 51-54.

4. Хоменко В.А., Леонов С.Л., Черданцев А.О., Черданцев П.О., Дыбайло А.В. Прогнозирование геометрических параметров качества поверхности деталей при обработке лезвийным инструментом // Ползуновский вестник. –2016. – № 2. – С. 55-60.

5. Потапов А.А., Булавкин В.В., Герман В.А. и др. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75, вып. 5. – С. 28-45.

6. Смирнов В.В. Фрактальный подход к проблеме математического моделирования микрогеометрии обрабатываемой поверхности // Современные технологические системы в машиностроении – Барнаул: Изд-во АлтГТУ – С. 48-49.

7. Смирнов В.В., Спиридонов Ф.Ф. Моделирование фракталов в Maple – Бийск: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 91 с.

8. Shyrokov V. V., Arendar L. A., Koval’chyk Yu. I., et al. Computer processing of profilograms of friction surfaces // Fiz.-Khim. Mekh. Mater., – Vol.41, – №.1, – 2005. – pp. 93–96.

9. БолотовА.Н., СутягинО.В., РачишкинА.А. Компьютерное моделирование топографии шероховатых поверхностей // Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твёрдых тел, деталей технологического и энергетического оборудования. – Тверь: ТвГТУ. – 2014, – С. 29-41

10. Носов Н.В., Любаха В.А., Чуриков К.С., Косулин С.И. Исследование параметров текстуры поверхностей деталей после финишной обработки. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 4-2. – С. 311-315.

11. Prusinkiewicz P., Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants. Springer-Verlag, NewYork 1990г. – 228 p.

12. Измайлов В.В., Чаплыгин С.А. Числовое и аналитическое моделирование дискретного контакта деталей машин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2014. – № 6. URL:http://naukovedenie.ru/PDF/ 10TVN614.pdf (дата обращения: 10.04.2018).

13. Огар П.М., Горохов Д.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей: фрактальный подход // Системы. Методы. Технологии. – 2010. –№6. – С. 30-38.

14. Herrmann R. Fractional Calculus: An Introduction for Physicists. WorldScientificPublishing, 2011. — 276 p.

15. Курдюков В.И., Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю. Разработка фрактальной математической модели шероховатости поверхности // Вестн. Кузбасскогогос. тех. унив.,. – 2008. – №5. – С. 43-46.

COMPUTER MODELING USING FRACTALS FOR MICROGEOMETRY ARISING FROM SURFACE PROCESSING

Smirnov V. V., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Firsov A. M., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Romaschev A.N., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Ovcharenko A. G., D.Sc. (Engineering), Professor

Smirnov V. V., Firsov A. M., Romaschev A.N., Ovcharenko A. G.,

Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
27 Trofimova st., Biysk, Altai region, 659305, Russian Federation

Abstract

Mechanical engineering always sets itself the task of obtaining machine parts with high quality working surfaces. An important indicator of the quality of the surface is the roughness. As a result of many factors, the microgeometry of the surface is a frozen picture of the dynamics of a certain synergistic process. This picture includes deterministic and random components.

A number of effective approaches to mathematical modeling of the microgeometry of the part are known. One of these approaches is to use fractal geometry methods to model the roughness. In this case, the contributions from the height increments of the irregularities and radii at the vertex of the teeth of its profile, related to the geometry of the process, the plastic flow of the material, the elastic restoration of the surface layer, etc., depend on the self-similarity parameter of geometric structures-fractal dimension.

The article describes some algorithms for modeling microroughness, implemented in software. The computational experiment made it possible to obtain model roughness profiles and rough surface areas. The adequacy of these models is confirmed by comparison with experimental profilograms within a wide range of variation of parameters.

Keywords: machined surface, mathematical modeling, microgeometry, fractals.

УДК 004.94

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРТ НАЛАДКИ СТАНКОВ С ЧПУ С ПОМОЩЬЮ CAD/CAM СИСТЕМ

ЖЕЛЕЗНЯК И.С[1]., студент
ЖЕЛЕЗНЯК Т.Е. [1], студент
ШЕРСТОБИТОВА В.Н. [1], канд. техн. наук, доцент
([1]ОГУ, г. Оренбург, Россия)

Железняк И.С., Железняк Т.Е., Шерстобитова В.Н.

460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13
Оренбургский государственный университет,
e-mail: ilyha27@gmail.com
e-mail: cherednict@mail.ru
e-mail: sveronika@yandex.ru

Аннотация

На сегодняшний день не существует методов автоматизации процесса проектирования карт наладки станка с ЧПУ напрямую из какой-либо CAM-системы. Данная разработка направлена на решение данного вопроса.

В проекте предлагается разработка прикладной библиотеки для одной из самых популярных в мире CAD/CAM-системы от французской фирмы DassaultSystemes – CATIA. Разработка позволит:

– автоматизировать процесс проектирования карт наладки станков с ЧПУ;
– сократить временные затраты процесса планирования подготовки;
– исключить возможность ошибки из-за «человеческого фактора»;
– получить документ по форме, требуемой на конкретном предприятии.

Ключевые слова: автоматизация, числовое программное управление, карты наладки, технологический процесс, CAM-системы, CATIA, обработка металла резанием

Введение

Современные тенденции развития металлообработки диктуют новые правила повышения уровня автоматизации и внедрение новых моделей станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Практически во всех отраслях машиностроения и металлообработки в частности, применение станков с числовым программным управлением в последние годы стало одним из ведущих направлений при автоматизации процесса механической обработки металла резанием.

Описание теоретических исследований

Обработка деталей на станках с ЧПУ несколько отличается от той, что была ранее. Известно, что любой технологический процесс состоит из элементарных переходов. Каждый переход характеризуется единством режимов резания, режущего инструмента и обрабатываемой поверхности. Режимы резания на станках с ЧПУ при выполнении перехода могут быть изменены из-за особенностей формы обрабатываемой поверхности, материала заготовки или неравномерности величины припуска. Переходы на станках с ЧПУ подразделяют на:

– элементарные;
– инструментальные;
– позиционные;
– вспомогательные.

Элементарным переходом называется процесс обработки какой-либо элементарной поверхности или частью контура, которая обрабатывается одним инструментом по одной программе. Инструментальный переход образуется из элементарных переходов и представляет собой процесс обработки поверхностей или контуров одним инструментом при его постоянном движении по программе.

Вспомогательным переходом в свою очередь называется часть траектории движения инструмента, не связанная с изменением формы поверхности: холостые ходы, движения подвода и отвода инструмента. В отличие от станков с ручным управлением, время вспомогательных переходов является неотъемлемой частью общего расчетного машинного времени.

Позиционные переходы состоят из совокупности инструментальных и вспомогательных переходов, которые выполняются при одном закреплении обрабатываемой детали относительно рабочих органов станка.

Совокупность переходов составляют операцию. Структура операции представлена на рисунке 1. Операцией механической обработки детали на станках с ЧПУ называется часть механического процесса, выполняемая над определенной деталью и непрерывно на одном рабочем месте по заданной программе и при одной настройке станка [1].

В отличие от общепринятого определения, в контексте использования станков с ЧПУ, понятие «операция» ограничивается условием «при одной настройке станка» (при одной установке).

Операция может быть разбита на несколько установок, в зависимости от типа используемого оборудования и сложности изготавливаемой детали. Так, например, дополнительная установка (установ) может понадобиться при обработке детали с двух сторон на 3-х осевом оборудовании без возможности перевернуть заготовку, без участия оператора, либо если между операциями детали необходима термообработка. Установом называется часть технологической операции, выполняемая при одном неизменном закреплении детали [1].

Рисунок 1 – Структура операции

Операции механической обработки деталей на станках с ЧПУ включают в себя ряд вспомогательных действий, таких как: проверка геометрии детали, измерение контрольных размеров, замена инструмента, переустановка заготовки, чистка рабочей зоны от стружки или уборка технологических остатков и т.д. Подобные вспомогательные приемы совершают во время т.н. «технологической паузы».

Выбор режимов резания, установление последовательности технологических переходов и необходимого для обработки инструмента завершает начальную подготовку к написанию пооперационного технологического процесса, который оформляется на бланках стандартизированного формата. Одновременно с разработкой технологии механической обработки готовят технологическую документацию, такую как: карты наладки станка, карты раскладки и настройки инструмента, оформление которых заканчивается после разработки управляющей программы.

Технологической документацией называют совокупность текстовых и графических документов, которые определяют технологический процесс обработки изделия и содержат данные, необходимые для организации производства. Используемую при разработке

технологических процессов и подготовке управляющих программ технологическую документацию можно разделить на справочную и сопроводительную.

Карта наладки станка относится к справочной технологической документации и в свою очередь предназначена для записи его краткой технической характеристики. Формы карт наладки разработаны для различных технологических групп станков.

Сопроводительная технологическая документация при разработке техпроцессов и управляющих программ для станков с ЧПУ достаточно разнообразна. Часть документации, в частности при разработке маршрутной технологии, в ряде случаев не отличается от общепринятой при проектировании ТП для универсальных станков с ручным управлением [2].

Использование ЭВМ при проектировании карт наладки становится возможным благодаря применению CAD- и CAM-систем. Одной из таких систем, подходящих для автоматизации процесса проектирования карт наладки является CAD/CAM/CAE-система от французской фирмы Dassault Systemes – CATIA [3].

CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) – комплексная система автоматизированного проектирования (CAD), технологической подготовки производства (CAM) и инженерного анализа (CAE), включающая в себя передовой инструментарий трёхмерного моделирования, подсистемы программной имитации сложных технологических процессов, развитые средства анализа и единую базу данных текстовой и графической информации [4]. На рисунке 2 представлен интерфейс CAM-модуля CATIA.

CAM-модуль CATIA позволяет автоматизировать процесс разработки управляющих программ для станков с ЧПУ, благодаря автоматическому распознаванию типовых конструктивно-технологических обрабатываемых элементов и применению базы знаний, содержащей рекомендуемые методы обработки. Выходным файлом CAM-модуля является APT-файл, который с помощью постпроцессора формируется в УП для конкретной стойки ЧПУ.

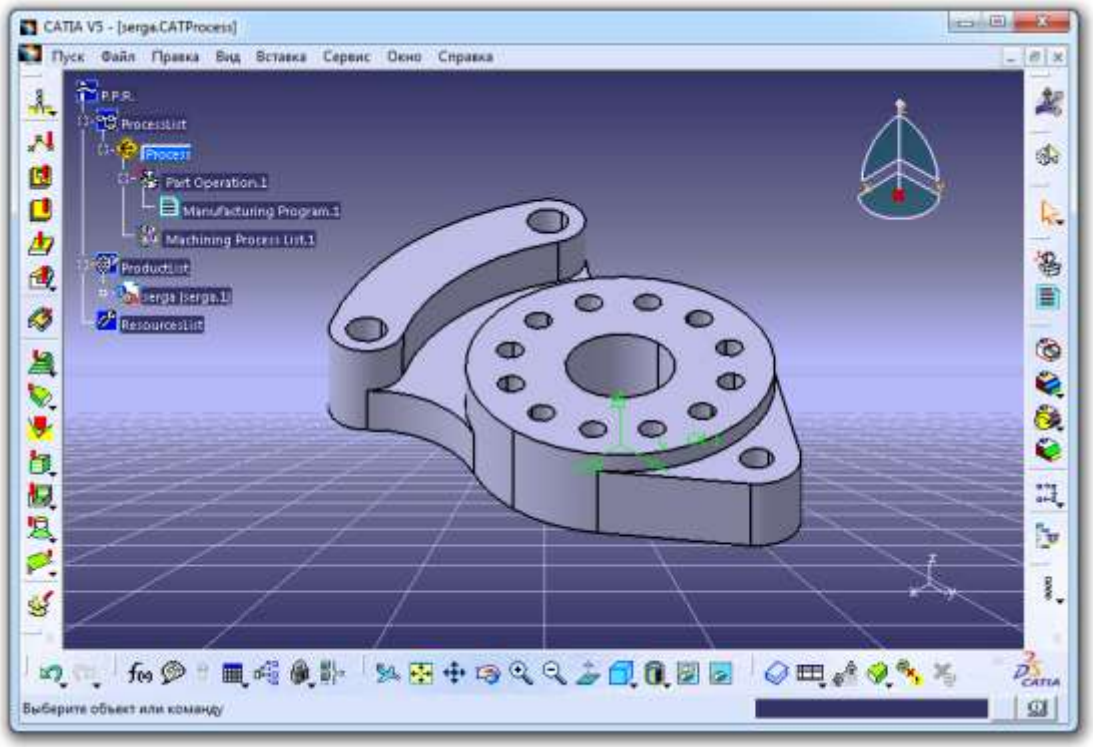


Рисунок 2 – Интерфейс CAM-модуля CATIA

После создания управляющей программы в CAM-модуле CATIA, технолог программист должен спроектировать карту наладки. Эскиз заготовки, детали, инструментов и оснастки позволяет создать модуль Drawing, который имеет в своем наборе все инструменты для работы с 2D-чертежами. Как правило, эскизы оснастки, заготовки и самой детали

формируются с математических моделей. После создания эскизов для каждой установки в карту наладки станка записывают:

- номер чертежа, наименование детали;
- модель станка и стойки ЧПУ;
- номера (наименования) управляющих программ;
- тип, материал и размер заготовки;
- шифр крепежной оснастки при её наличии;
- положение нулевых точек на каждой установке;
- частоты вращения шпинделя;
- величина рабочей подачи;
- сведения об изменении рабочей подачи;
- указания о включении/отключении подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ);
- параметры используемых инструментов и используемого корректора;
- данные об отдельных размерах;
- эскиз, поясняющий схему крепления заготовки и позиции нулевых точек на данном установе.

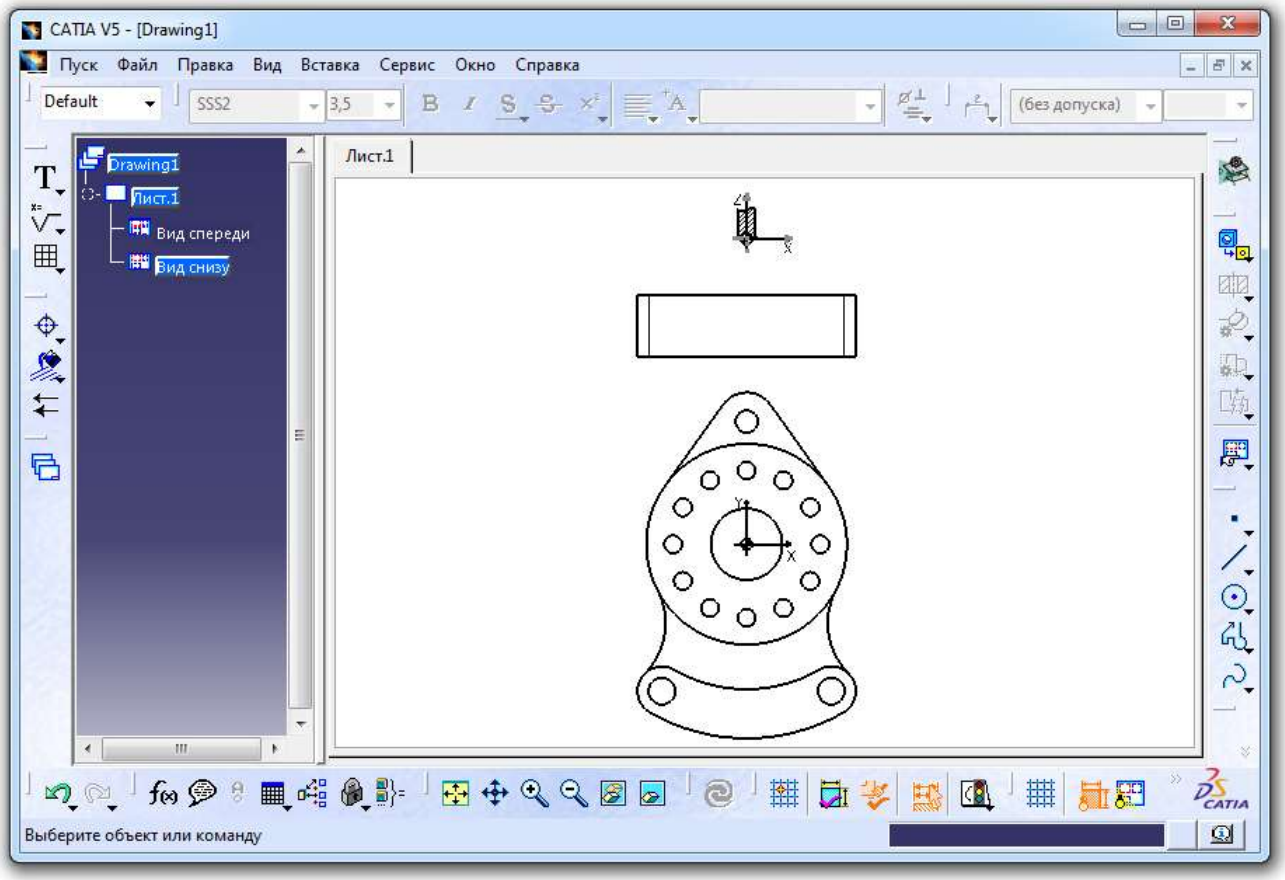


Рисунок 3 – Интерфейс модуля DrawingCATIA

В CATIA существует возможность автоматизации часто повторяющихся действий с помощью встроенных средств программирования – макросов. Макрос записывает все действия пользователя и при запуске автоматически воспроизводит эти действия. Кроме того, т.к. макросы обычно пишутся на языке высокого уровня (в CATIA – Visual Basic) [5], автоматически записанный текст макроса можно редактировать вручную в текстовом редакторе и, таким образом, корректировать автоматически записанную последовательность действий. Более того, макрос можно написать вручную, без предварительной записи в CATIA, но это потребует более глубокого знания языка программирования.

При помощи макросов CATIA и VisualBasic был создан инструмент, благодаря которому появилась возможность автоматизировать процесс проектирования карты наладки для станка с ЧПУ. Пример сформированной карты наладки с помощью разработанного средства представлен на рисунке 4.

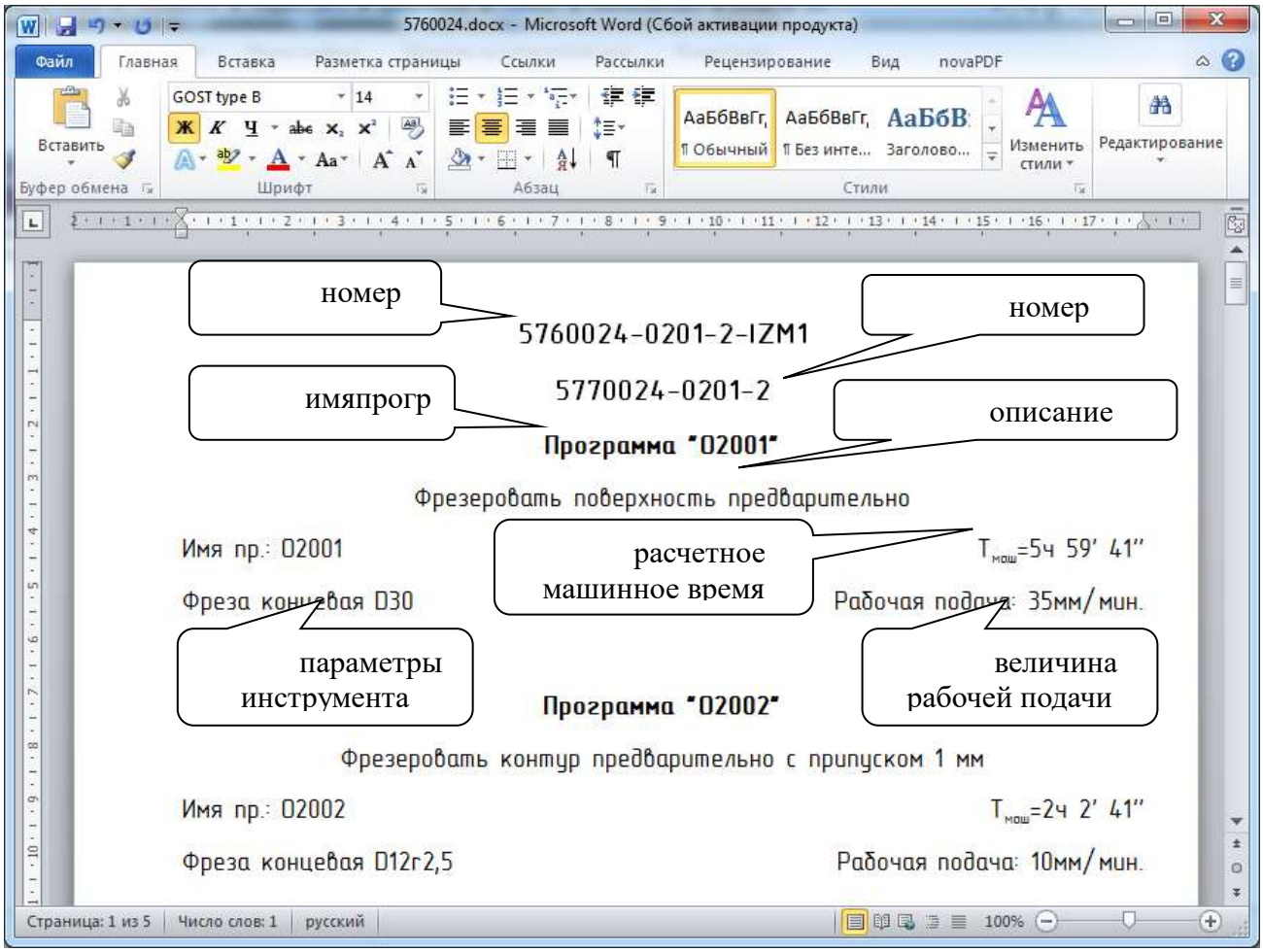


Рисунок 4 – Пример автоматизировано сформированной карты наладки станка ЧПУ

Результаты и обсуждения

На момент написания статьи, разрабатываемая программа в автоматизированном режиме позволяет получить следующие данные в отчете формата *.docxMicrosoftWord:

- номер чертежа содержащей деталь, для обработки которой разрабатывается программа;
- номер обрабатываемой детали;
- номер, имя программы;
- краткое описание операции;
- наименование файла, содержащего текст УП;
- машинное время (расчетное);
- параметры используемого инструмента в конкретной программе;
- величина рабочей подачи.

Выводы

Разработанное программное средство для CAM-модуля CATIA позволит автоматизировать процесс проектирования карт наладки станков с ЧПУ, вследствие чего сократятся временные затраты процесса технологической подготовки производства деталей и, как следствие, будет исключена возможность ошибки из-за «человеческого фактора», а также появится возможность создавать карты наладки по форме, требуемой на конкретном предприятии.

Список литературы

1. Артамонов, В.Д. Технология автоматизированного производства. Часть 1. Технология обработки на станках с ЧПУ / Конспект лекций для студентов специальности 151001. - Тула: ТулГУ, 2007. - 144с.

2. Серебреницкий, П. П. Программирование для автоматизированного оборудования [Текст] : учебник для среднего профессионального образования / П. П. Серебреницкий, А. Г. Схиртладзе ; под ред. Ю. М. Соломенцева. - М. : Высш. шк., 2003. - 592 с. : ил.. - (Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств). - Библиогр.: с. 586-588. - ISBN 5-06-004081-X.

3. Железняк, И.С. О выборе программного комплекса проектирования карт наладки для станков с ЧПУ / Железняк И.С., Железняк Т.Е., Шерстобитова В.Н. // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – с.56-59

4. Таскаев, К.А. Использование программы CAD CATIA в морском судостроении / Таскаев К.А. // Успехи современного естествознания. – М: "АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ", 2011. – № 7 – С. 214-218

5. Николаев, А.В. Параллельное проектирование сборочных единиц с использованием интеллектуальных библиотек стандартных элементов / А. В. Николаев, Л. В. Кузнецова, О. И. Максимова // Известия высших учебных заведений. Поволжскийрегион – Пенза: Пензенскийгосударственныйуниверситет, 2008. – с.160-169

DESIGN STAGES OF CARDS OF ADJUSTMENT OF CNC MACHINES BY MEANS OF CAD/CAM OF SYSTEMS

Zheleznyak I.S., Student,
Zheleznyak T.E., Student,
Sherstobitova V.N., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,

Zheleznyak I.S. Zheleznyak T.E., Sherstobitova V.N.,

Orenburg State University
460018, Pobedy Avenue, 13, Orenburg, Russian Federation

Abstract

The card of adjustment of the CNC machine is a document which is formed the software engineer or the technologist, containing technology solution made at the previous stages of technological study and the finished project of processing of a detail on the CNC machine in the form of the graphics image containing the sketch of a processed detail and also information on the modes of cutting and numbers of programs for each installation.

Today there are no methods of automation of design process of cards of adjustment of the CNC machine directly from any CAM system. This development is directed to the solution of the matter.

In the project development of application-oriented library for one of the most popular in a pattern of CAD/CAM system from the French firm Dassault Systemes – the CATIA is offered. Development will allow:

– to automate design process of cards of adjustment of CNC machines;
– to reduce time expenditure of process of planning of preparation;
– to exclude a possibility of an error because of "a human factor";
– to receive the document in the form required at the specific enterprise.

Keywords: Automation, numeric control, NC,computer numerical control, CNC, setting sheet, setup sheet, technical process, manufacturing method, CAM, CATIA, metalcutting, machining

УДК 658.512.2.011.56

РАСКРОЙ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

ЖЕЛЕЗНЯК И.С[1]., студент
ЖЕЛЕЗНЯК Т.Е. [1], студент
ШЕРСТОБИТОВА В.Н. [1], кандидат техн. наук, доцент
([1]ОГУ, г. Оренбург, Россия)

Железняк И.С., ЖелезнякТ.Е., Шерстобитова В.Н.

460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13
Оренбургский государственный университет,
e-mail: ilyha27@gmail.com
e-mail: cherednict@mail.ru
e-mail: sveronika@yandex.ru

Аннотация

При изготовлении машиностроительной продукции важную роль в снижение себестоимости играет уменьшение расхода материалов. При максимально рациональном использование металлопроката можно значительно снизить расход металла.

В данной статье рассмотрены способы раскроя и факторы, влияющие на формирование карты раскроя.

Ключевые слова: автоматизация, карты раскроя, рациональный раскрой, листовой прокат, металлопрокат

Введение

Высокая стоимость, а также дефицитность многих металлов требуют строгой экономии в их расходовании. Даже небольшая экономия на одну деталь позволит сохранить для завода несколько десятков тонн металла.

Для снижения себестоимости выпускаемой продукции необходимо уменьшить отходы металлов, которые остаются неиспользованными при изготовлении деталей. Для этого применяют наиболее рациональный раскрой металла [1].

В данное время эта проблема актуальна, так как для повышения эффективности машиностроительного производства необходимо обеспечить:

– использование малоотходной и безотходной технологии;
– экономию материальных ресурсов;
– внедрение минимальных норм расхода на единицу выпускаемой продукции;
– внедрение сквозной автоматизации проектирования.

Описание теоретических исследований

Раскрой листового проката заключается в подборе экономически целесообразных вариантов расположения заготовок на материале в соответствии с выбранной формой заказа поставки и с учетом имеющегося оборудования. Под рациональным раскроем подразумевается такой раскрой, который при определенном характере производства позволит получить заготовку с минимальными затратами времени, труда и материалов с использованием имеющегося оборудования.

Разрезание листового металла – операция разъединения целого листа, ленты или полосы на части определенной формы и размеров, называемые заготовками. Листовая сталь поставляется в листах определенных стандартных габаритов.

Выделяют три способа разрезания листового металла (рисунок 1), каждый из них может быть единичным (при разрезании листового металла на заготовки одного наименования) или групповым (при разрезании листового металла на заготовки нескольких наименований).

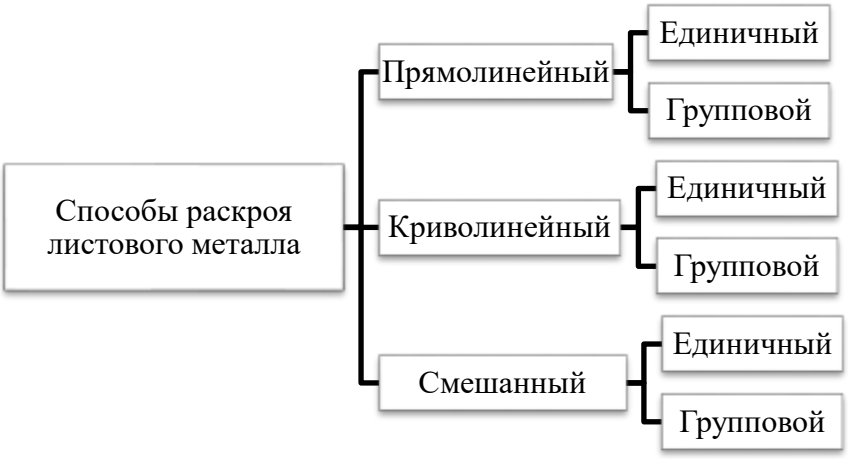


Рисунок 1 – Способы раскроя листового металла

Прямолинейное разрезание листового металла выполняют вырубкой в штампах, а также на листовых с наклонными ножами, рычажных и многороликовых ножницах. Метод прямолинейного раскроя является наиболее удобным для крупносерийного и массового производства. В результате прямолинейного разрезания листов, лент и полос получают заготовки с прямолинейным контуром, квадратной, трапецеидальной, ромбической и прямоугольной формы.

Криволинейное разрезание листового металла осуществляют на вибрационных и роликовых ножницах, вырубкой в штампах, а также на фрезерных станках. В результате криволинейного разрезания листов, лент и полос получают заготовки с криволинейными контурами: эллипсоидальной, круглой и других форм.

При смешанном способе разрезания из листов, лент и полос вырезают заготовки, имеющие прямолинейный и криволинейный контур. В результате разрезания листового металла по смешанному способу получают заготовки деталей со сложной формой.

На количество образующихся в процессе раскроя отходов влияют технологические допуски на кромку, резы и перемычки между отдельными заготовками, некратность размеров материала и размеров заготовки, сочетание конфигураций взаимно прилегающих заготовок.

От способа раскроя листового металла зависит коэффициент его использования (рисунок 2). Коэффициент использования материала в машиностроительном производстве должен быть максимальным.

Рисунок 2 – Классификация заготовок по степени точности

Применение совместных раскроев для различных заготовок и изменение габаритов материала позволяет уменьшить потери при раскрое.

Прямоугольная заготовка не всегда может быть расположена произвольно вдоль или поперек листа. Для некоторых заготовок необходимо соблюдать направление волокна; кроме того, заготовки длина которых больше ширины листа, могут располагаться на листе лишь в одном определенном направлении[2].

В таблице 1 приведены примеры раскроя с отходами, в таблице 2– примеры малоотходного и безотходного раскроя.

Таблица 1

Примеры раскроя с отходами

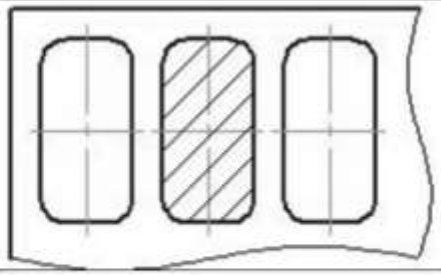
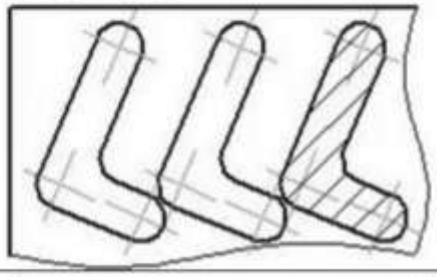
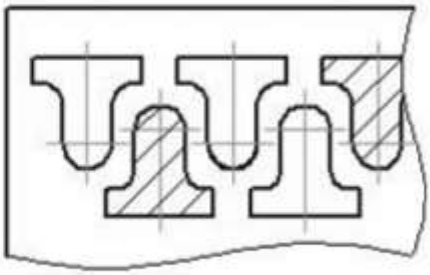
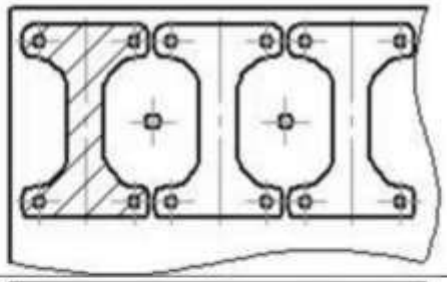
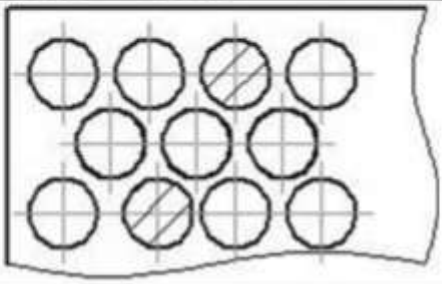
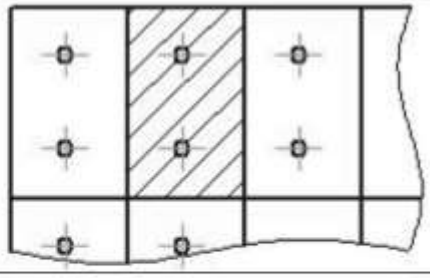
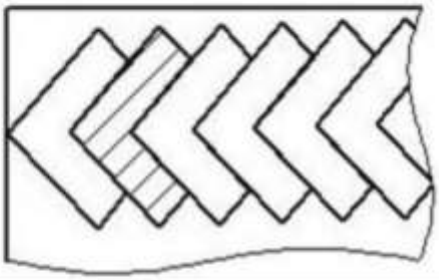
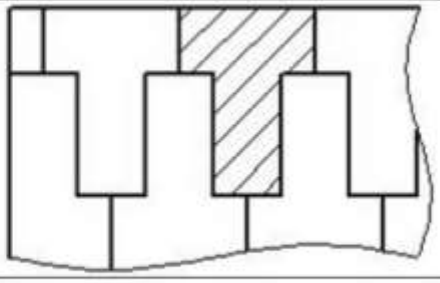
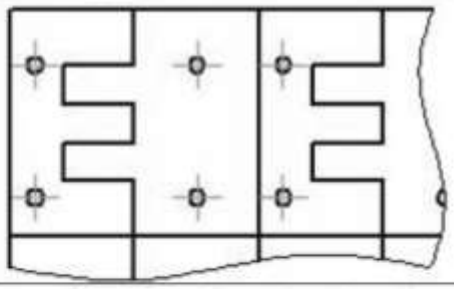
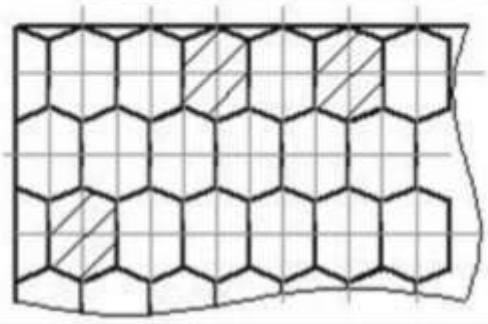
Тип раскроя	Эскиз	Область применения
Прямой		Для деталей простой геометрической формы (круглой, прямоугольной, квадратной)
Наклонный		Для деталей Г-образной или другой сложной конфигурации, при прямом расположении дают большие отходы металла
Встречный		Для деталей П-, Т-, Ш-образной конфигурации, которые при наклонном и прямом расположении дают большие отходы металла
Комбинированный		Для двух различных деталей, одинаковой марки материала и толщины, в крупносерийном и массовом производстве
Многорядный		Для деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве

Таблица 2

Примеры раскроя без отходов

Тип раскроя	Эскиз	Область применения
Прямой		Для деталей квадратной или прямоугольной формы
Наклонный		Для деталей Г-образной или другой конфигурации, у которых допускаются небольшие дефекты контура
Встречный		Для деталей П-, Т-, Ш-образной конфигурации, у которых допускаются небольшие дефекты контура
Комбинированный		Для двух различных деталей, взаимовписывающихся по конфигурации (шарнирные петли и т. д.)
Многорядный		Для деталей квадратной, прямоугольной или шестигранной конфигурации небольших габаритов в крупносерийном и массовом производстве

Снижение материалоемкости возможно за счет:

– выбора оптимального способа обработки заготовки;

– технологических припусков;

– рационального раскроя проката.

Изучение способов раскроя, используемых на предприятиях, показывает, что планирование процессов раскроя листового проката в большинстве случаев производится без использования средств электронно-вычислительных машин, что приводит к увеличению:

1) времени на технологическую подготовку;

2) невысокому коэффициенту использования материалов и большим отходам, которые составляют 20-40%;

3) выполнения рутинных и трудоемких операций.

Среди мероприятий, позволяющих обеспечить экономию материалов является использование экономико-математических методов и электронно-вычислительных машин для оптимального раскроя, данные мероприятия позволят повысить коэффициент раскроя листового проката на 3-8%.

При разработке алгоритмов раскроя для реализации на ЭВМ необходимо учитывать следующие факторы выбора способа производства заготовок:

1) конструктивными формами и размерами детали;

2) технологическими свойствами материалов, его пластичностью;

3) производственными возможностями оборудования;

4) величиной программного задания, то есть объемом продукции или типом производства;

5) требуемой точностью размеров и качеством ее поверхности (шероховатость, остаточные напряжения и т.д.);

6) временем, затрачиваемым на подготовку производства;

7) гибкостью производства, то есть возможностью быстрой переналадки оборудования и оснастки в условиях автоматизированного производства.

Результаты и обсуждения

На основе теоретических исследований, был сделан вывод о необходимости системы автоматизированного проектирования раскроя листового проката.

Исходя из изложенного, целью работы является сокращение материалов и времени за счет разработки системы автоматизированного проектирования рационального раскроя проката, с учетом специфики производства.

Поставленная цель обусловила решение следующих задач:

– исследование существующих методов решения задач рационального раскроя и выявления путей улучшения методики решения задач оптимального раскроя проката;

– разработка моделей раскроя материала;

– разработка алгоритма автоматизированного построения вариантов раскроя проката;

– разработка алгоритма расчета материалоемкости.

Выводы

Использование системы автоматизированного проектирования раскроя листового проката позволит увеличить коэффициент использования материала, повысить производительность труда за счет автоматизации выполнения расчета рационального раскроя и автоматизировать проведение трудоемких расчетов.

Список литературы

1. Медведюк, Н.И. Медницко-Жестяницкие работы : учебник для проф-техн. учеб. заведений/ Н.И. Медведюк. – М: Высшая школа, 1970. – 480 с.

2. Канторович, Л.В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Л.В. Канторович В.А. Залгаллер; 2-е изд., испр. и доп. - Новосибирск: Наука, 1971. - 300 с.

3. Железняк, Т.Е. Система автоматизированного проектирования раскроя и нормирования материалов на машиностроительном предприятии / Железняк Т.Е., Железняк И.С., Шерстобитова В.Н. // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции «Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии» - Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – с.60-62

CUTTING OF THE SHEET HIRE

Zheleznyak I.S., Student,
Zheleznyak T.E., Student,
Sherstobitova V.N., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,

Zheleznyak I.S. Zheleznyak T.E., Sherstobitova V.N.,

Orenburg State University
460018, Pobedy Avenue, 13, Orenburg, Russian Federation

Abstract

The purpose of development is reduction of materials and time due to development of an algorithm of rational cutting of a hire and also rationing of materials and formation of the summary material specification taking into account specifics of production.

This system will allow:

– to raise labor productivity due to automation of performance of calculation of rational cutting and rationing of material;

– to automate carrying out labor-consuming or specialized calculations;

– to minimize routine work;

– to automate formation of specifications, various reports and other output documents.

Keywords: flat steel, rolled stock, nesting of blanks, cutting, stock layout, cutting lists, automation

УДК 621.365.5:669.187.2

ИНДУКЦИОННАЯ ТИГЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ С ПРОВОЛОЧНЫМ ИНДУКТОРОМ И КОЛЬЦЕВЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

ЛЕВШИН Г. Е. [1], докт. техн. наук, профессор
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Левшин Г. Е.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
e-mail: levshing@mail.ru

Аннотация.

Приведен анализ основных недостатков современных индукционных индукторных тигельных печей, обусловленных наличием охлаждаемого изнутри водой трубчатого медного индуктора и размещенных вокруг него стержневых вертикальных I-образных наборных магнитопроводов, образующих дискретный ферромагнитный экран. Для их уменьшения или устранения предложена и обоснована разработанная в АлтГТУ новая конструкция индукторной тигельной печи с проволочным индуктором и кольцевым наборным магнитопроводом. На основе экспериментального определения эффективности предложенных конструктивных элементов сделан вывод о перспективности дальнейших исследований.

Ключевые слова: индукторные тигельные печи, проволочный индуктор, кольцевой наборный магнитопровод, охлаждение индуктора и магнитопровода.

Введение

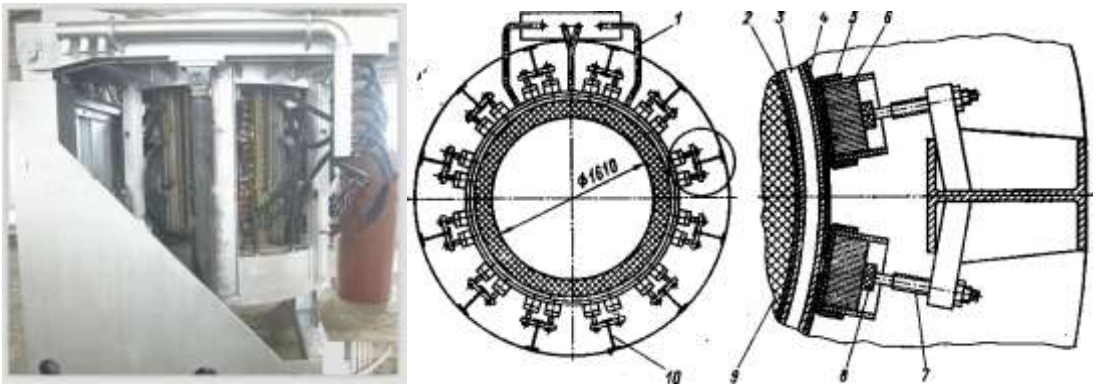
Все современные индукционные индукторные тигельные печи имеют охлаждаемый изнутри водой трубчатый медный индуктор. У части из них (преимущественно средней и большой вместимости) он окружен стержневыми вертикальными I-образными наборными магнитопроводами, высота которых заметно больше высоты индуктора [1]. Эти конструктивные элементы обусловливают следующие недостатки.

1. Для охлаждения полых трубчатых витков индуктора и охлаждающих катушек пользуются кондиционной водой: дистиллированной или с содержанием механических примесей до 80 г/м^3, жесткостью до 7 г-экв/м^3, температурой 35 – 40 °С и водородным показателем pH=7. Она подается в трубку с повышенной скоростью 1 – 1,5 м/с и давлением до 0,2 – 0,7 МПа, чтобы обеспечить её температуру не выше 35…40 °С во избежание «отпотевания» наружной поверхности индуктора и электрического пробоя его изоляции. Для уменьшения давления индуктор нередко разделяют на секции, к каждой из которых подают воду по двум гибким шлангам или рукавам (рис. 1, а). При использовании частоты более 50 Гц применяют дополнительно полупроводниковые преобразователи, охлаждаемые кондиционной водой. Индуктор и преобразователь издают шум, вредящий здоровью [1, 2].

2. Из-за близкого размещения витков индуктора непосредственно вокруг футеровки тигля и склонности футеровки к прогоранию и образованию трещин под воздействием вибрации индуктора и циркулирующей массы расплава и возможного повреждения индуктора расплавом, проникшим сквозь трещины к индуктору, наблюдается пониженная защищенность и надежность печи. Кроме того, индуктор нагружен футеровкой, шихтой и расплавом и поэтому должен иметь достаточную прочность, особенно при наклоне печи (рис. 1, б) [1, 2].

3. Помимо рабочего потока индуктор создает и электромагнитный поток рассеяния такой же величины, распространяющийся за пределы индуктора на величину более 2 – 3 его диаметров и не участвующий в нагреве шихты и расплава. Он вредит здоровью работников и нагревает близкорасположенные электропроводные части каркаса печи. Поэтому эти части

удаляют от индуктора, а вокруг него устанавливают от 6 до 24 вертикальных стержневых I-образных магнитопроводов с воздушными зазорами между ними (рис. 1, б). Однако они улавливают поток рассеяния только частично и поэтому не обеспечивают за пределами печи величину индукции переменного магнитного поля ниже предельно допустимого уровня (ПДУ). Например, в печи ИЧТ-31 индукция в центре индуктора (без садки) составляет $B_o \approx 0{,}3$ Тл, а в точке, удаленной от индуктора в радиальном направлении на ~4,5 м и на высоту ~2 м в аксиальном направлении, индукция составляет $B_p = 0{,}0039$ Тл и превышает ПДУ. Для поля частотой 50 Гц ПДУ индукции на порядок меньше и составляет менее 0,0001 Тл и 0,0005 Тл при воздействии в течение 8 и 4 часов, соответственно [1 – 3]. С увеличением частоты вредное воздействие увеличивается, а ПДУ уменьшается.



а б

Рисунок 1 –Печь (а) и схема размещения магнитопроводов (б): 1 – электровыводы; 2, 4 – асбест; 3 – трубка индуктора; 5, 8 – изоляторы; 6 – магнитопровод; 7 – прижимной винт;9 – футеровка; 10 – опора[1, 2].

Эти недостатки: –усложняют конструкцию печи; – увеличивают эксплуатационные расходы на кондиционирование воды и создание ее повышенного давления или рассредоточенного подвода, обеспечение безаварийной работы печи из-за вытекания расплава на индуктор, габариты и массу печи и занимаемую производственная площадь; –уменьшают полезное использование магнитного потока почти до 40 % [4].

Для их уменьшения или устранения в АлтГТУ проведено экспериментальное исследование эффективности предложенных конструктивных элементов (проволочного индуктора и кольцевого магнитопровода) и на их основе разработана новая конструкция индукторной тигельной печи [5, 6].

Предложение

В наиболее полном исполнении печь содержит соединенные вместе футерованный тигель 1, опирающийся на подину 2, цилиндрическую обечайку 3, охватывающую тигель 1, охлаждаемый индуктор 4 с токоподводами (не показаны), электроизолированные витки которого охватывают обечайку 3, наружный вертикальный цилиндрический наборный магнитопровод 5, охватывающий индуктор 4, нижнюю 6 и верхнюю 7 плиты с центральным отверстием для размещения подины 2 и «воротника» тигля, соответственно, скреплённые стяжками 8. Магнитопроводом 5, плитами 6 и 7, обечайкой 3 образована замкнутая кольцевая полость 9 для размещения индуктора 4 и хладагента с возможностью его подвода и отвода. Для герметизации полости 9 предусмотрены эластичные уплотнения 10 по стыкам и слой 11 электроизоляционного материала на ее внутренней поверхности. Цилиндрический наборный магнитопровод 5 может быть дополнен одним или двумя плоскими кольцевыми магнитопроводами 13, размещенными в кольцевой полости у его верхнего и (или) нижнего торцов.

Обечайкой 3 и кольцевым магнитопроводом 5, зажатыми с помощью стяжек 8 между нижней 6 и верхней 7 плитами, образован каркас печи. Размещение подины 2, изготовленной,

например, из огнеупорного бетона или шамотного фасонного блока, в центральном отверстии плиты 6 позволяет использовать ее для выталкивания изношенной футеровки тигля 1.

Обечайка 3 своей внутренней поверхностью служит опорой для тигля 1, в том числе с шихтой или расплавом, и одновременно ее наружная поверхность является внутренней стенкой кольцевой полости 9. Ее целесообразно изготовлять по возможности тонкостенной из достаточно прочного материла. Для повышения конструкционной прочности и обеспечения возможности равномерного размещения теплоизолирующего материала 12 по внутренней поверхности обечайки она может быть выполнена с ребрами на этой поверхности. Ребра одновременно образуют углубления для размещения материала 12 с теплопроводностью менее 0,06 – 0.08 Вт/(м К) в сухом состоянии, т. е. меньше, чем у футеровки тигля 1, например, минеральной ваты, базальтового волокна и др. Материал обечайки 3 должен быть неферромагнитным и неэлектропроводным или иметь высокое электрическое сопротивление, чтобы не шунтировать магнитный поток и не сильно нагреваться вихревыми индукционными токами. Применение обечайки 3 позволяет увеличить прочность тигля 1 с одновременным уменьшением толщины его стенки и освобождает индуктор 4 от механического воздействия на него тигля 1, особенно при наклоне печи для слива расплава, и он может быть изготовлен менее прочным.

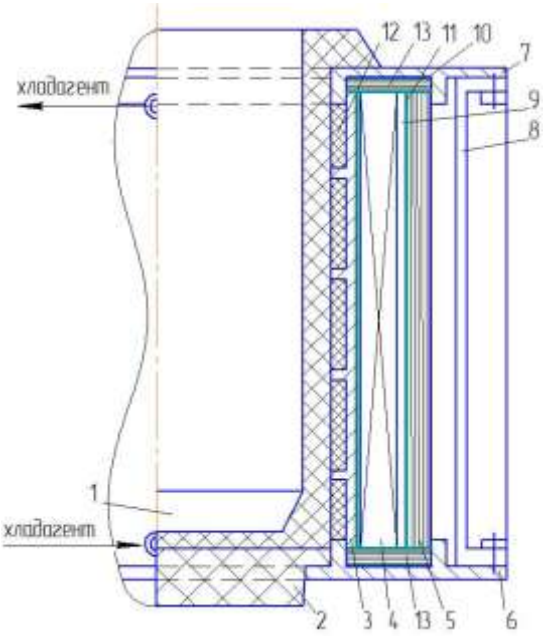


Рисунок 2 –. Схема печи с проволочным индуктором и кольцевым магнитопроводом

Витки индуктора 4 могут быть выполнены из медного, латунного или алюминиевого одно- или многопроволочного изолированного проводника вместо медного трубчатого проводника. Это предполагает охлаждение индуктора 4 жидким или газообразным хладагентом с внешней его поверхности, а не с внутренней. Поэтому для исключения электрического пробоя изоляции при охлаждении электропроводящей жидкостью, например, технической водой, и повышения надежности электроснабжения желательно использовать проводники с двойной изоляцией, в т. ч. выпускаемые промышленностью. При этом первый слой может быть выполнен из поливинилформалевого, эпоксидного, кремнийорганического лака или клея, а второй – из теплостойких и гибких резины или пластмасс.

Выполнение витков индуктора 4 из однопроволочного гибкого изолированного проводника позволяет более эффективно охлаждать все его сечение. Однако его толщина δ должна быть примерно равна двойной глубине $\Delta_{0,01}$ проникновения переменного магнитного поля в этот проводник, а именно $\delta \approx 2\Delta_{0,01}$. Глубину проникновения $\Delta_{0,01}$ в материал с удельным электрическим сопротивлением ρ и абсолютной магнитной проницаемостью $\mu_o\mu_i$, на которой волна поля частотой f практически полностью затухает и в ней остается 1 % энергии, можно оценить по формуле [2, 4]:

$$\Delta_{0,01} \approx 0{,}8[\rho/(f\,\mu_o\,\mu_i)]^{0,5} \qquad (1)$$

При промышленной частоте f =50 Гц средняя глубина проникновения $\Delta_{0,01}$ для меди – ≈ 10мм, латуни – 17,7 мм, алюминия – 12 мм.

Поэтому целесообразен плоский проводник, позволяющий использовать ток большой величины. Если сечение витков и их количество окажется недостаточным для обеспечения необходимой магнитодвижущей силы витки индуктора располагаются в 2 – 3 и более слоев. Между витками и слоями должны быть зазоры для прохождения хладагента. Слои могут быть выполнены из одного длинного проводника или из соответствующего числа коротких проводников. Во втором случае они могут быть подключены последовательно или параллельно к источнику электрического напряжения. Последовательное подключение увеличивает активное и индуктивное сопротивление индуктора 4, но уменьшает ток, а параллельное – уменьшает активное сопротивление и увеличивает ток при одинаковом напряжении. Возможно независимое подключение слоев для регулирования величины индукции и режима работы печи.

Кроме того, отказ от трубчатых негибких проводников позволяет выполнить n параллельных гибких изолированных проводников транспонированными. При этом можно получить для них одинаковую самоиндукцию, сопротивление, а также расположение их по отношению к садке. В этом случае сопротивление, а, следовательно, и потери мощности в индукторе уменьшатся в $1/n^{0,5}$раз. Это приводит к увеличению электрического КПД печи $\eta_{эл}$[2, 4].

При выполнении индуктора из n параллельных транспонированных проводников повышенное значение электрического КПД печи $\eta_{эл}$ равно

$$\eta_{эп} = n^{0,5}\,\eta_э / [1 + \eta_э(n^{0,5} - 1)], \qquad (2)$$

где $\eta_э$– реальный КПД печи.

Так, при реальном КПД печи $\eta_э$=0,5 увеличение числа n проводников с 1 до 4 повышает $\eta_{эл}$в 1,3 раза, а до 9 – в 1,5 раза и так далее.

Немаловажно, что выполнение витков индуктора 4 из многопроволочного изолированного проводника устраняет необходимость соблюдения условия $\delta \approx 2\Delta_{0,01}$, так как каждая проволочка и, следовательно, весь проводник пронизывается полем на всю их толщину. К простейшим многопроволочным изолированным проводникам относятся жилы, состоящие из двух и более скрученных проволок. Из таких электроизолированных жил также возможно изготовление индуктора 4 с различным числом слоев и с применением транспонирования жил. Для крупных печей возможно изготовление индуктора 4 также из выпускаемых промышленностью одно- или многожильных электроизолированных кабелей и проводов, в том числе транспонированных. Во всех случаях изготовления индуктора 4 возможно разделение его на секции, в т. ч. путем тщательно изолированной отпайки, для расширения возможности регулирования электрического и плавильного режима.

Изготовить предлагаемый индуктор 4 можно путем навивки одно- или многопроволочного электроизолированного проводника, например жилы, кабеля или провода, в том числе транспонированного, на внешнюю электроизолированную цилиндрическую поверхность обечайки 3 с последующим закреплением первого слоя на ней. При этом его изготовление проще и дешевле, чем изготовление трубчатого индуктора.

При прочих равных условиях толщина стенки кольцевого магнитопровода 5 становится меньше, чем толщина наборных I-образных магнитопроводов. Так, в печи ИЧТ-31, имеющей 24 I-образных магнитопровода толщиной 130 мм и общей массой 7,1 т, их замена одним кольцевым магнитопроводом 5 уменьшит толщину до 72 мм без изменения массы, а выполнение его высоты немного большей высоты индуктора 4 позволяет еще и снизить массу. Магнитопровод 5 располагается по возможности ближе к индуктору 4 в зоне действия поля рассеяния с наибольшей индукцией.

Наружный вертикальный цилиндрический наборный магнитопровод 5 может быть дополнен одним или двумя плоскими кольцевыми магнитопроводами 13, набранными известным образом из элементов в виде плоских разрезных или неразрезных кольцевых

пластин, изготовленных из листов электротехнической стали и расположенных у его верхнего и (или) нижнего торца.

Поверхности слоев магнитопроводов 5 и 13 желательно покрыть тонким слоем жидкого электроизоляционного лака, например, поливинилформалевого, эпоксидного, кремнийорганического и т. п. с высокой рабочей температурой 120 – 600 °С, а сами слои плотно скрепить известным способом. Изоляция уменьшает нагрев вихревыми токами, а сжатие и склеивание – еще и шум (ниже допустимых 80 ДБ), издаваемый магнитопроводами 5 и 13 при его перемагничивании.

Работа печи заключается в следующем.

Из-за больших выделений Джоулева тепла в материале индуктора 4 при прохождении по виткам тока с плотностью более ~3 А/мм^2 его целесообразно охлаждать принудительно каким-либо хладагентом в виде жидкости или газа. При плотности тока 3 – 5 А/мм^2 это возможно осуществить подачей дешевого хладагента в виде сжатого воздуха в полость 9 для охлаждения индуктора 4 только снаружи витков, что исключает расходы на кондиционную воду. При большей плотности (до 20 А/мм^2) целесообразна подача другого дешевого хладагента: «умягченной» водопроводной или технической оборотной воды. Хладагент подается в полость 9 по одному шлангу снизу, поднимается вверх, контактируя с наружной поверхностью витков индуктора 4, перемешивается, охлаждает их и отводится по другому шлангу. Скорость движения и давление хладагента в полости 9 гораздо меньше, а объем гораздо больше, чем в трубке, что снижает энергозатраты на его подачу. При использовании в качестве хладагента воды ее температура на выходе из полости 9 может достигать 98 – 99 °С вместо 35 – 40 °С в известных печах. Это повышает эффективность использования воды и снижает ее расход. При этом также охлаждается обечайка 3 и, как следствие, теплоизолирующий материал 12, футеровка тигля 1, а также магнитопроводы 5 и 13 и плиты 6 и 7.

После включения охлаждения индуктора 4 и загрузки в тигель 1 электропроводной шихты на токоподводы одно- или многопроволочного индуктора 4 подаётся переменное электрическое напряжение, которое создает в его витках электрический ток. Под его действием в полости индуктора 4 и тигля 1 появляется рабочее электромагнитное поле, а за его пределами – поле рассеяния, которое локализуется магнитопроводами 5 и 13. Они намагничиваются и увеличивают индукцию в полости индуктора 4 и тигле 1.

При этом происходит плавный поворот на 90° вектора индукции, что значительно уменьшает распространение поля рассеяния за пределы индуктора 4 в радиальном и аксиальном направлении, так как магнитный поток замыкается через магнитопроводы 5 и 13. Это позволяет приблизить электропроводные стяжки 8 к магнитопроводу 5, не опасаясь их чрезмерного нагрева, а также существенно уменьшить неоднородность рабочего магнитного поля в полости индуктора и, как следствие, величину градиентов его индукции, что может снизить интенсивность двухконтурного перемешивания, высоту мениска и опасность газометаллических выбросов и повысить удельную мощность печи. Заметно уменьшаются размеры печи в плане и вредное воздействие поля рассеяния на рабочих.

Усиленное электромагнитное поле индуцирует в кусках шихты вихревые токи, которые нагревают их до расплавления. При этом печь работает на полной мощности с подключением всех имеющихся витков и секций. В случае необходимости изменения режима плавки возможно отключение или переключение секций или параллельных проводников индуктора 4. После расплавления шихты и проведения необходимых металлургических операций печь наклоняется для слива расплава из тигля 1 и давление расплава и тигля 1 передаётся не на индуктор 4, а на обечайку 3. Поэтому требования к высокой прочности индуктора 4 отпадают, что удешевляет его.

Тепло от расплава может передаваться через стенку тигля 1 и слой материала 12 в углублениях обечайки 3 к самой обечайке 3, а затем от неё через воздух или жидкость к виткам индуктора 4, находящегося в замкнутой кольцевой полости 9. Наличие слоя более эффективного материала 12 уменьшает теплопередачу. Подача хладагента в полость 9

обеспечивает более эффективный отвод от печи тепла расплава, индуктора 4 и магнитопроводов 5 и 13, которые нагреваются при перемагничивании. Это уменьшает воздействие теплового излучения на работающих.

При прохождении переменного тока частотой f по виткам однопроволочного индуктора 4 они могут вибрировать с удвоенной частотой 2f и издавать шум [1, 4]. Однако он гораздо меньше, чем медного трубчатого, имеющего повышенную жесткость. В случае многопроволочного индуктора 4 его вибрация имеет иные характеристики, а шум практически отсутствует из-за гибкости проводников и их изоляции. Нахождение индуктора в воде также может снизить шум.

Обсуждение.

Предложенная конструкция одно- и многопроволочного индуктора (с числом слоев 3 – 8) и его внешнего охлаждения проверена опытами с положительным результатом при электрическом напряжении до 400 В, а именно:

– для алюминиевого одиночного провода Ø2 мм, жилы из 4 таких проводов и шинки сечением 12,5×5 мм в бумажной изоляции при плотности тока 3 – 5 А/мм^{2}обдувом сжатым воздухом;

– для алюминиевой шинки сечением 12,5×5 мм в бумажной изоляции, помещенных по одной или пучком из 2 – 4 шт. в трубку ПХВ, при плотности тока до 20 А/мм^{2}и его величине до 1000 А размещением индуктора в резервуар с холодной проточной водопроводной водой;

– для медных одножильного (из 27-проволок) обмоточного провода Ø1,2 мм в эмалевой (или лаковой) изоляции, помещенных в трубку ПХВ, и гибкого кабеля КГ в резиновой оболочке при плотности тока до 20 А/мм^{2}и его величине до 1000 А размещением индуктора в резервуар с холодной проточной водопроводной водой.

Увеличение индукции в 1,5 – 3 раза в полости кольцевого магнитопровода с одновременным уменьшением ее неоднородности практически до 0, а также значительное снижение индукции поля рассеяния показано автором в монографии [7]. Это особенно актуально для печей промышленной частоты, т. к. при таком увеличении индукции возрастают их производительность и конкурентноспособность по сравнению с более сложными печами повышенной частоты, оснащенных преобразователями.

Опытами доказано также снижение шума менее 80 ДБ путем сильного сжатия болтами пакета пластин, смазанных отработанным трансформаторным маслом, с последующей его сушкой во время работы. При этом выявлен преобладающий вклад шума магнитопровода в общий шум.

Выводы

1. Анализ выявленных недостатков известных индукторных тигельных печей и экспериментально подтвержденных преимуществ предложенной печи позволяет сделать вывод о ее перспективности и необходимости дальнейших исследований, в т. ч. путем изготовления опытного образца печи малой вместимости, например подобной ИСТ-0,06.

2. Возможна модернизация существующих печей, не имеющих экранов или снабженных неферромагнитными алюминиевыми экранами, путем установки кольцевых магнитопроводов.

Список литературы

1. Современные плавильные агрегаты/Сб. ИТЦМ "Металлург". – М.: Металлург-консалтинг,2014. –370 с.

2. Фарбман С. А., Колобнев И.Ф.Индукционные печи для плавки металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1968. – 496 с.

3. СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях".

4. Левшин Г. Е. Наукоемкие технологии индукционной плавки в индукторных и электромагнитных тигельных печах //Наукоемкие технологии в машиностроении». 2016, № 3. –С.12–21.

5. Пат. 177475 РФ, МПК F27B14/06(2006.1). Индукционная индукторная тигельная печь с проволочным индуктором/Левшин Г. Е., Левшин А. Г.Патентообладатель АлтГТУ. – 2016148321/02; заявл.8.12.16 г.; опубл.26.02.18 г.

6. Пат. 177465 РФ, МПК F27B14/06(2006.1). Индукционная индукторная тигельная печь с кольцевым наборным магнитопроводом /Левшин Г. Е., Левшин А. Г.Патентообладатель АлтГТУ. –2016148320/02; заявл.8.12.16 г.; опубл.26.02.18 г.

7. Левшин Г. Е., Матюшков И. Л. Литье в магнитные формы. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ. 2006. – 688 с.

INDUCTION CRUCIBLE FURNACE WITH A WIRE INDUCTOR AND A RING MAGNETIC CORE

Levshin G. E., D. Sc. (Engineering), Professor

Levshin G. E.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, LeninAvenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

The analysis of the main shortcomings of modern induction crucible furnaces due to the presence of water cooled inside a tubular copper inductor and placed it around the vertical rod I-shaped typesetting magnetic cores, forming a discrete ferromagnetic screen. To reduce or eliminate proposed and justified in AltSTU developed a new design of coreless induction furnaces with wire ring inductor and a typesetting magnetic core.Based on the experimental determination of the effectiveness of the proposed structural elements the conclusion about the prospects for further research

Key words: inductor crucible furnaces, wire inductor, ringtypesetting magnetic core, cooling of inductor and magnetic core.

УДК. 621.7, 539.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА QFORM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

НЕГРУЛЕНКО И.А.[1], студент
МОЗГОВОЙ Н. И. [1], канд. техн. наук, доцент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Негруленко И.А., Мозговой Н.И.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: negra00@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрена возможность применения программного комплекса QForm для моделирования процессов обработки металлов давлением. Построение рабочей модели способствует более качественной оценки и планированию результатов научной деятельности для внедрения новых прогрессивных технологий на производстве и для обучения.

Приведенный расчет иллюстрирует различные аспекты научных исследований по обработке металла давлением с помощью программного комплекса QForm, а также дает возможность изучения построение моделей для систем автоматизированного проектирования изделий специального назначения. Это позволяет значительно повысить качество изготавливаемых изделий на производстве и создает возможность для проведения научных исследований.

Ключевые слова: моделирование, обработка металлов давлением, анализ, QForm2D/3D.

Введение

Процесс обработки металлов давлением(ОМД) на сегодняшний день является одним из наиболее прогрессивных технологий в машиностроении всего мира, т.к. обеспечивает высокое качество рабочих параметров изделий при низких ресурсозатратах. Технологии ОМД имеют высокие показатели коэффициента использования материала, поэтому являются актуальными при внедрении ресурсосберегающих технологий.

Одной из самых распространенных, как в нашей стране, так и за рубежом, программ по расчету процессов ОМД методом конечных элементов является QForm2D/3D. Данная программа предназначена для моделирования технологий открытой и закрытой горячей объемной штамповки, холодной объемной штамповки, вальцовки, раскатки, поперечно-клиновой прокатки, прессования, волочения, производства труб и схожих операций.

Широкое применение программа QForm получила за счет интегрированных в систему возможностей:

• Выполнение работ любой части программы происходит синхронно за счет использования интегрированной архитектуры QForm с визуализацией процессов формоизменения. Это дает возможность интерпретировать полученные результаты и вносить в технологический процесс необходимые изменения.

• При подготовке исходных данных пользователь использует исключительно технологические понятия и общение с системой происходит на привычном языке конструктора-технолога. Ввод данных сопровождается отображением их на экране монитора для визуального контроля.

• Программа QForm обеспечивает автоматическое формирование расчетных моделей с возможностью разбиения на конечные элементы.

• QForm дает возможность сделать анализ всей технологической цепочки получения поковки, который включает в себя нагрев, охлаждение и последующее пластическое деформирование на всех переходах с анализом изменений свойств материала [1, 2].

Описание практических исследований

При работе с программой QForm, которая имеет большой функционал, возникают существенные затруднения из-за отсутствия подробных инструкций и описаний, которые ограничивают возможности работы пользователя и увеличивают временные интервалы на самостоятельное изучение.

При научном исследовании двух переходной штамповки с компенсационной полостью для поковки вырубного инструмента были проведены пошаговое компьютерное моделирования процесса ОМД в программной среде Qform.

Qform является полнофункциональным объектно-ориентированным приложением Windows с простым и интуитивно понятным графическим интерфейсом (рисунок 1), который позволяет легко использовать систему для научных исследований. Внутри системы используются анимационные подсказки для сокращения времени на ее изучение пользователем [3].

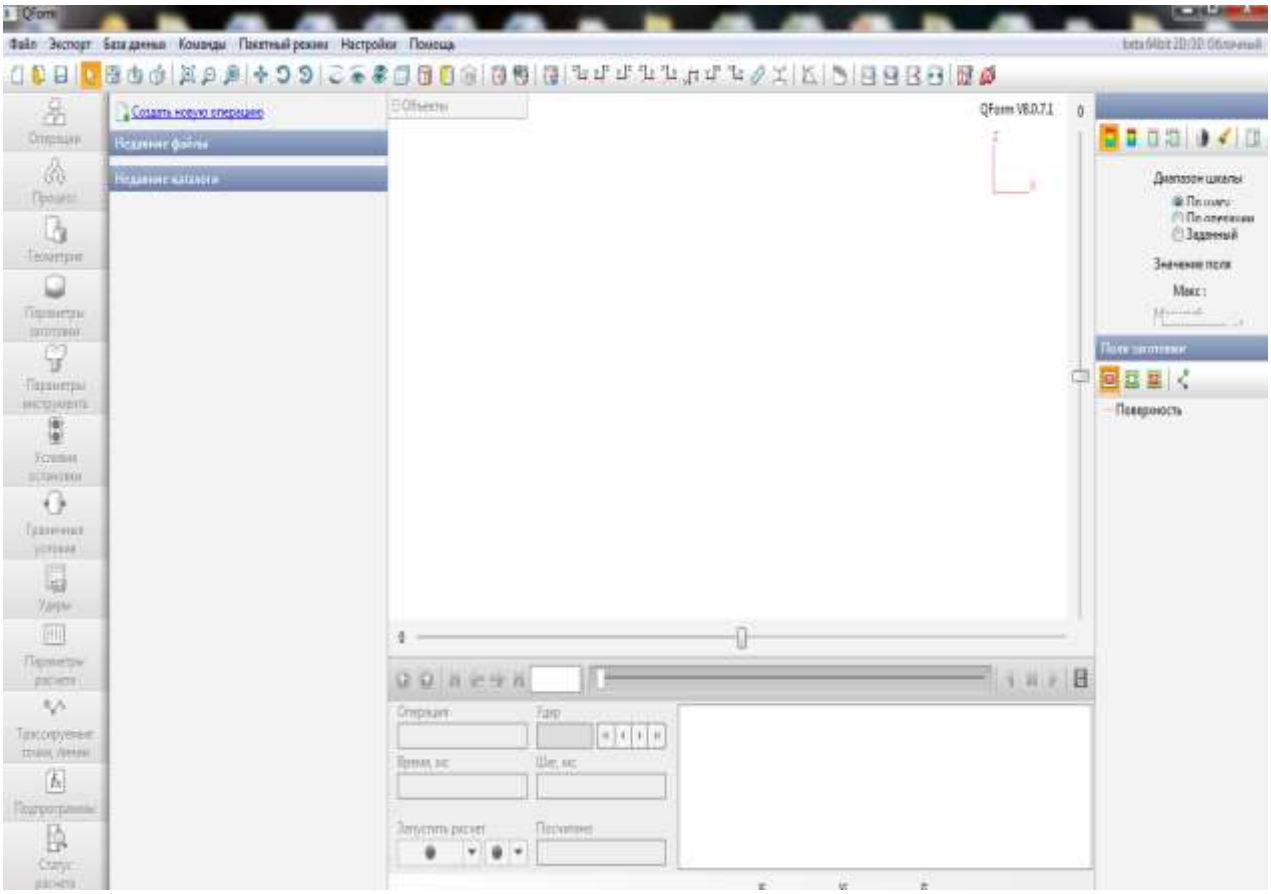


Рисунок 1 – Интерфейс программы

Для моделирования двухмерного процесса обработки металла давлением был создан полномасштабный блок инструментов и заготовки в любой CADсистеме в формате dfx (рисунок 2), для осесимметричных изделий можно использовать одну часть контура, а вторую программа достроит автоматически.

Рисунок 2 – Блок инструментов и заготовки

После создания блока инструментов и запуска QForm программа пошагово предлагает создать операцию ОМД (рисунок 3).

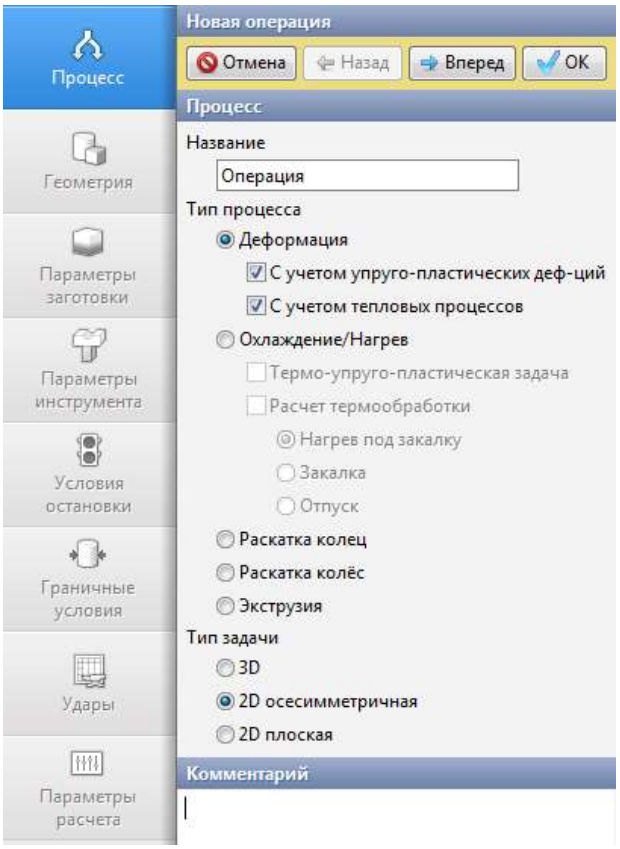


Рисунок 3 – Создания операции

При вводе исходных данных мы использовали исключительно технологические понятия и общение с системой происходило на привычном языке конструктора-технолога. С помощью мастера подготовки исходных данных в режиме «вопрос-ответ» производим ввод необходимых для расчета параметров.

В качестве экспериментальных образцов взяты сплошные заготовки из сплава Х12МФ длиной 85 мм, диаметром 25 мм. Пластическое деформирование проводилось с усилием 220 кН рабочим инструментом – пуансоном, выполненным из высококачественной износостойкой инструментальной штамповой стали 4Х4ВМФС(ДИ22). Основываясь на литературных данных, были выбраны материал рабочего инструмента, начальная температура 1100°С для процесса ОМД и графитоводная смазка, которые обеспечивают необходимые значения геометрических параметров изделия (рисунок 4).

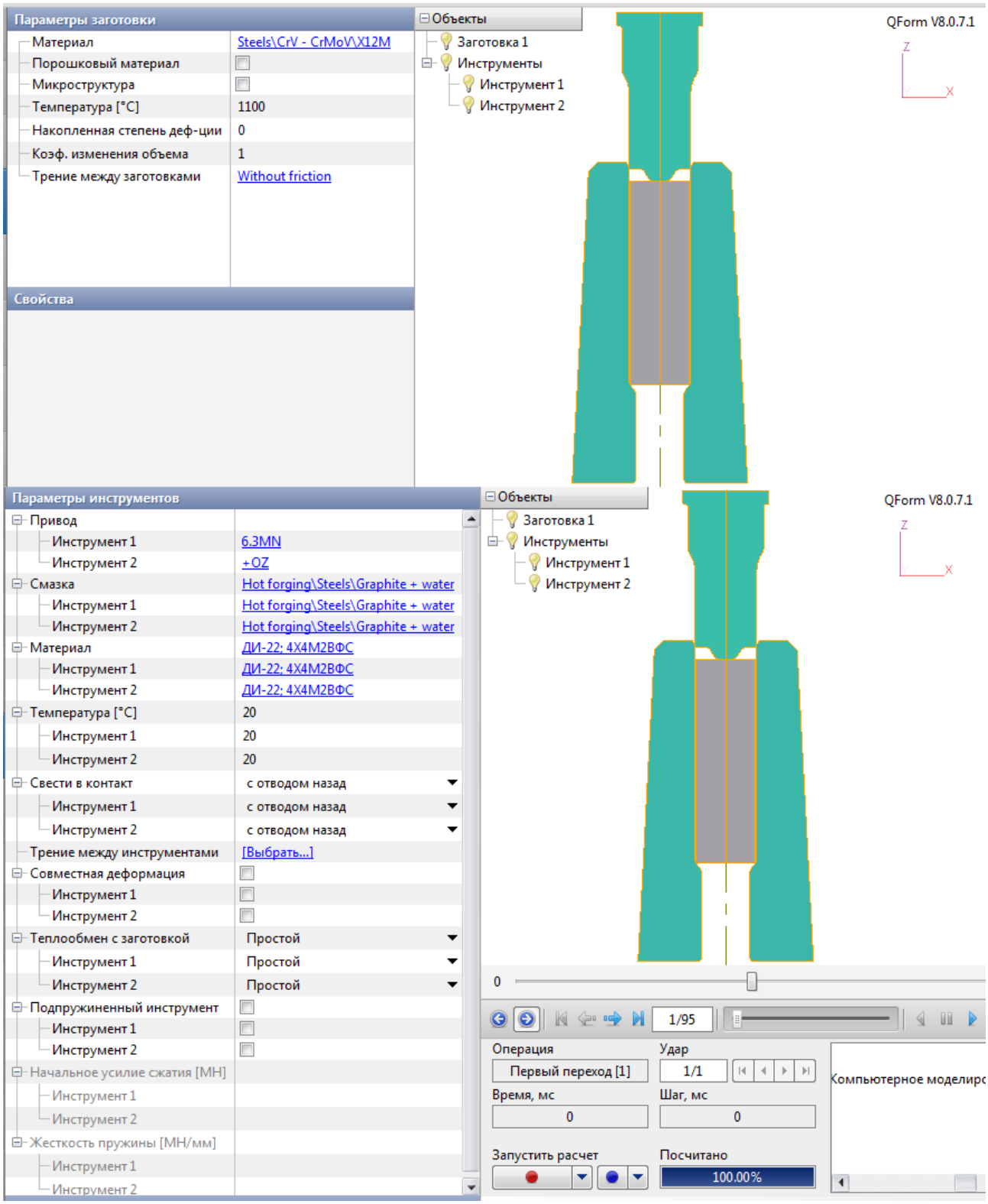


Рисунок 4 – Пошаговый ввод исходных данных

Изучение процесса формообразования поверхности деталей из пластически деформируемых материалов осуществлялось путем целенаправленного изменения входных параметров в соответствии с методикой полного факторного эксперимента и регистрации выходных характеристик технологической системы.

После ввода исходных данных программа осуществляет моделирование и визуализацию процесса расчета в заданных технических условиях (рисунок 5).

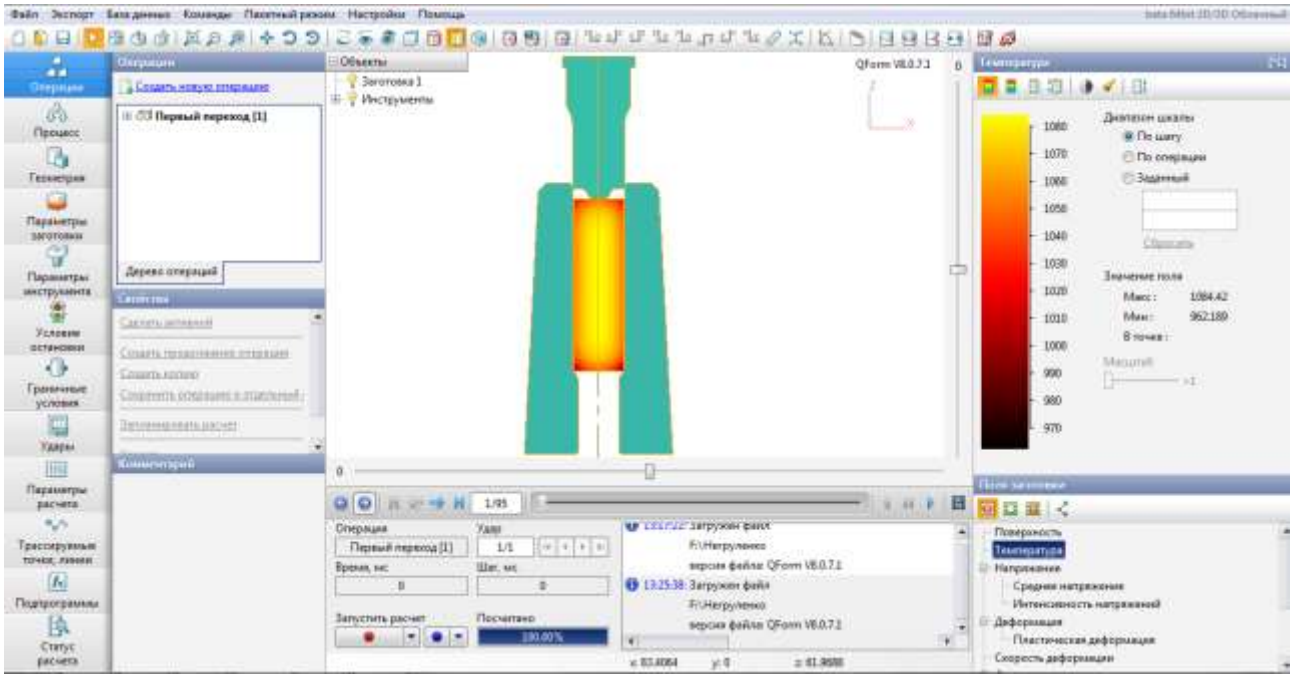


Рисунок 5 – Визуализация процесса расчета

Во время проведения расчёта мы можем наблюдать процесс ОМД с изменением исходных форм и параметров заготовки. По окончанию процесса расчета проводим аналитику температурных интервалов поковки, напряжения, протекающие в процессе обработке, пластическую деформацию поковки, требуемые усилия пресса. Если все аспекты проведенных расчетов удовлетворяют, то можно завершить работу сохранив проект или экспортировать все данные для презентации результатов (рисунок 6).

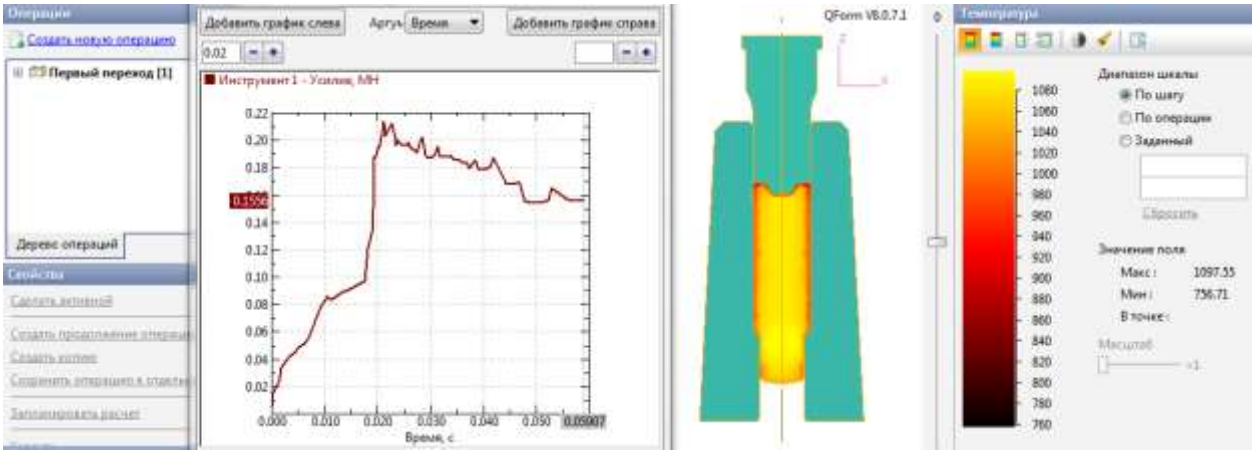


Рисунок 6 – Результаты первого перехода

Изучаемый процесс ОМД в рамках научных исследований имеет два перехода обработки. По итогам первого перехода программа предлагает провести второй переход, пошагово используя уже имеющие результаты.

Для проведения второго перехода были взяты результаты первого перехода и изменены инструменты (рисунок 7).

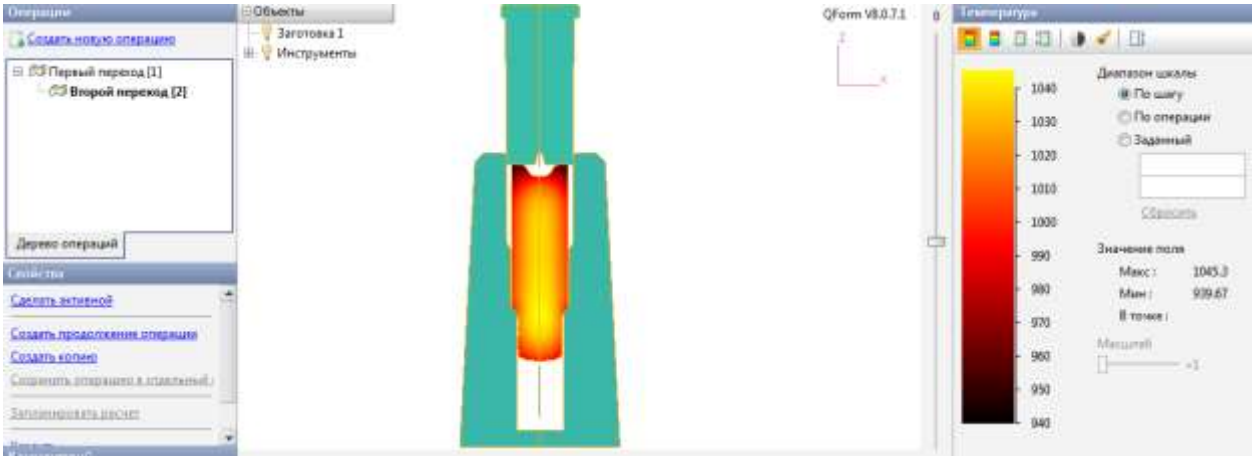


Рисунок 7 – Выполнение расчетов второго перехода

По окончанию расчетов второго перехода была получена двухмерная компьютерная модель процесса ОМД, которая позволила нам провести анализ пластической деформации напряжённо-деформированного состояния поковки (процесс высоких температур и неоднородное распределение потенциальной энергии), относимой к числу наиболее существенных факторов, влияющих на свойства изделия.

На рисунке 8 показаны результаты напряжённо-деформированного состояния поковки, где видно, что максимальные напряжения и деформации сконцентрированы на верхнем торце заготовки вырубного инструмента в виде бобышки лишнего металла, а поверхность рабочей части инструмента попадает в интервал допустимых значений 0,8-1,4 коэффициента распределения пластических деформаций.

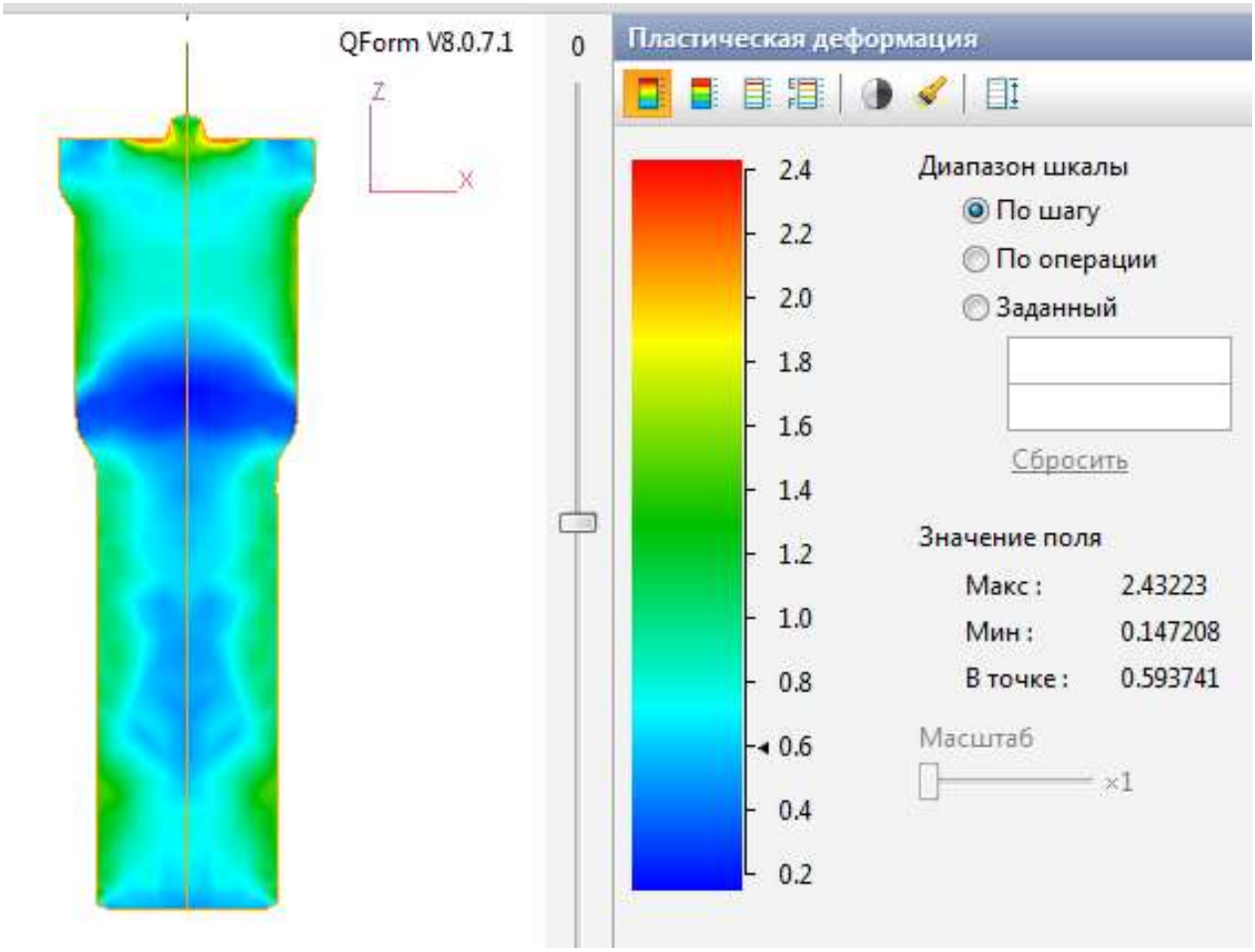


Рисунок 8 – Напряжённо-деформированное состояние поковки

Результаты и обсуждение

По окончанию моделирования удалось просмотреть распределение различных расчетных полей (температуры, накопленной деформации, сопротивления деформации, среднего напряжения и др.), а также проследить течение металла с помощью лагранжевых линий. Это позволило в результате моделирования спрогнозировать структуру и свойства заготовок, а также оценить вероятность возможного разрушения заготовки в процессе штамповки.

Выводы

Применение расчетных методов позволило смоделировать и проанализировать процессы обработки металлов давлением, выбрать оптимальные параметры, обеспечивающие проработку структуры материала при многопереходной технологии для формирования регламентированной структуры и обеспечения требуемых характеристик. Это позволит снизить трудоемкость операций ОМД, повысить точность и производительность при сборке узлов в конечном изделии.

Список литературы

1. Биба Н.В. Разработка и применение программы моделирования трехмерной объемной штамповки QForm2D/3D. САПР и графика. 2001. №9. С. 18-19.

2. Автоматизированная система ФОРМ-2Д для расчета формоизменения в процессе штамповки на основе метода конечных элементов / Г.Я. Гун, Н.В. Биба, О.Б. Садыхов и др // Кузнечно-штамповочное производство. 1992. №9-10. С. 15-18.

3. QForm2D/3D. Сайт компании QuantorForm. Режим доступа www.qform3d.ru.

THE USAGE OF SOFTWARE QFORM FOR SIMULATION OF THE PROCESSES OF OMD

Negrulenko D.N., Student,
Mozgovoy N.I.,PhD (Engineering), Associate Professor,

Negulenko I. A., Mozgovoy N.I.,

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation

Annotation

In the article the possibility of application of QForm program complex for modeling of processes of processing of metals pressure. Building a working model promotes better assessment and planning of the results of scientific activities for the introduction of new advanced technologies in the workplace and for training.

The above calculation illustrates various aspects of scientific research on metal pressure processing with the help of the QForm software package, and also makes it possible to study the construction of models for computer-aided design of special-purpose products. This significantly improves the quality of manufactured products in the production and creates an opportunity for research and development.

Keywords: modeling, OMD, analysis, QForm2D/3D.

УДК 621.9

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАСТРОЙКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

ЮСУПОВ Ж. А. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
([1]КНИТУ-КАИ, г. Казань, Россия)

Юсупов Ж.А.

420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10,
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ,
e– mail:*iu.jores@yandex.ru*

Аннотация

Рассмотрены и исследованы актуальные методы технологических настроек многофункциональных станков с ЧПУ. На основе экспериментальных данных установлены статистические характеристики параметров технологической настройки, реализуемой традиционным методом касания и контактными измерительными системами. Полученные результаты позволяют осуществить обоснованный выбор метода технологической настройки с учетом точности обрабатываемых деталей.

Ключевые слова: многофункциональные станки с ЧПУ, технологическая настройка, точность обработки, контактные измерительные системы.

Введение

Многофункциональные станки с ЧПУ широко используются на предприятиях авиакосмической отрасли. Точность обработки деталей на этом оборудовании непосредственно связана с технологической настройки станка с ЧПУ. Под технологической настройкой здесь подразумевается определение и занесение в соответствующие области памяти системы ЧПУ смещения нулевой точки управляющей программы обработки детали (далее просто программы) и параметров режущего инструмента как значений коррекции. Обобщенные данные о точности технологической настройки современного оборудования с ЧПУ практически отсутствуют. В данной работе проводится анализ точности технологической настройки многофункциональных станков с ЧПУ (на примере фрезерного обрабатывающего центра с системой ЧПУ *Fanuc* 31*i*), реализуемой методом касания в среде *CNC*-системы ЧПУ и с использованием специальных контактных измерительных систем.

Выполнение технологической настройки непосредственно связано с совокупностью систем координат станка с ЧПУ. В этой связи на рис. 1 приведены системы координат и актуальные базовые точки применительно к использованному технологическому оборудованию.

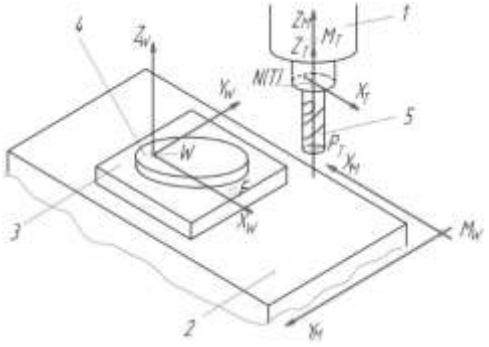


Рисунок 1 – Система координат станка

Здесь: 1 – рабочий орган станка, несущий инструмент (шпиндельный узел), *N*– базовая точка шпиндельного узла; 2– рабочий орган станка, несущий заготовку детали (стол), *F* – базовая точка стола; 3 – приспособление станочное; 4 – заготовка детали; 5 – инструмент/тестовая оправка; X_M, Y_M, Z_M– система координат рабочих органов станка (шпиндельного узла и стола) с началами отсчета соответственно M_Tи M_W; X_W, Y_W, Z_W – система координат детали, *W*– нулевая точка детали, с которой совмещена начало системы координат программы; X_T, Y_T, Z_T – система координат инструмента, *T* – нулевая точка инструмента (расположена в базовой точке инструментального блока, совмещенной с базовой точкой шпиндельного узла *N*), P_T– актуальная базовая точка инструмента, которая в зависимости от вида обработки размещена либо на периферии, либо на торце инструмента.

На практике часто применяется неполное базирование станочного приспособления или заготовки детали, при котором положение заготовки детали по отношению к базовой точке *F* стола не определено. В этом случае для исключения промежуточных звеньев при технологической настройке удобно оперировать «плавающей» базовой точкой рабочего органа станка, несущего заготовку детали, приняв в качестве таковой непосредственно нулевую точку детали *W*.

Координаты, заданные в управляющей программе, отсчитываются в системе координат программы, которые по умолчанию интерпретируются системой ЧПУ как машинные [1] и отсчитываются от соответствующих начал отсчета M_Tи M_W, поэтому для адекватной отработки управляющей программы должно быть выполнено смещение начала системы координат программы. Здесь смещение нулевой точки программы относительно начала отсчета M_T определяется позицией по оси Z_M нулевой точки детали (координатой Z_{M_TW} *), а относительно начала отсчета M_W – позицией по осям X_M,Y_M нулевой точки инструмента (координатами X_{M_WT} и Y_{M_WT} соответственно).

Формирование алгоритмов технологической настройки станков с ЧПУ изложено автором в статье [2]. Расчетная схема для определения методом касания смещения нулевой точки программы по оси Z_M (см. рис. 1) приведена на рис. 2, где 1 – шпиндельный узел, 2 – заготовка детали, 3 – тестовая оправка, а алгоритм определения смещения на основе анализа этой расчетной схемы может быть представлен в следующем виде:

$$Z_{M_TW} = Z_{M_TN} - Z_{WP_W} + Z_{TP_T} \qquad (1)$$

где Z_{M_TW} – смещение нулевой точки программы, определяемое позицией нулевой точки детали *W*относительно начала отсчета M_T; Z_{M_TN} – позиция шпиндельного узла (его базовой точки *N*) при касании тестовой оправки измерительной базы заготовки детали; Z_{WP_W} – позиция измерительной базы заготовки детали (ее базовой точки P_W); Z_{TP_T} – позиция базовой точки тестовой оправки.

Действия по реализации алгоритма (1) были выполнены с привлечением сервисного программного обеспечения системы ЧПУ *Fanuc* 31*i*, поддерживающего опции технологической настройки.

В функциональной области Параметры системы ЧПУ *Fanuc* 31*i* в поле *G*54/*Z* строки вкладки Заготовка (рис.3) после выполнения касания тестовой оправкой измерительной базы заготовки детали директивой Измерение сначала считывается координата текущей позиции шпиндельного узла в качестве первичного значения искомого смещения, а затем директивой +ВВОД корректируются в соответствии с алгоритмом (1) на величину $(-Z_{WP_W} + Z_{TP_T})$.

*Здесь и далее первый подстрочный символ (с нижним индексом или без) обозначает имя точки, относительно которой отсчитывается позиция точки, имя которой (с нижним индексом или без) представлено вторым подстрочным символом

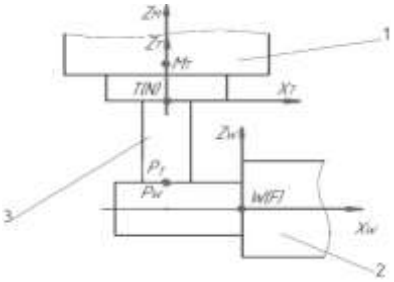


Рисунок 2 – Расчетная схема

По идентичной методике были реализованы алгоритмы определения в среде системы ЧПУ *Fanuc* 31*i* координат смещения нулевой точки программы по осям X_M, Y_M, а также параметра инструментов – вылета как значения линейной коррекции.

Рисунок 3 – Интерфейс ЧПУ *Fanuc* 31*i*

При анализе точности технологической настройки на основе полученных экспериментальных данных стандартным статистическим характеристикам среднеарифметического $\bar{x}$ и среднеквадратическогоs эмпирического ряда распределения случайной величины x (здесь смещения нулевой точки программы или длины/вылета инструмента) приравнивались числовые характеристики $M(x)$ и σ теоретического распределения, т. е. $\bar{x}=M(x)$; $s=\sigma$. Расчет теоретической кривой распределения смещения нулевой точки программы по оси Z_M (табл. 1) и длины/вылета инструмента (табл. 2) проводился по нормированной плотности нормального распределения $f(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}.\mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}}$, где $t=\frac{x-M_x}{\sigma}$ — нормированное отклонение случайной величины x. В таблицах $m_Э$ – эмпирическая частота, $m_Т$– теоретическая частота, n – объем выборки.

Таблица 1

Расчет теоретической кривой распределения смещения нулевой точки программы по оси Z_M

Интервалы $a \div b$, мм	$m_Э$	$x=\frac{a+b}{2}$, мм	t	$f(t)$	$\frac{b-a}{\sigma} f(t)$	$n\frac{b-a}{\sigma} f(t)$	$m_Т$
1	2	3	4	5	6	7	8
315,120÷315,130	0	315,125	-3,182	0,0025	0,0023	0,046	0
315,130÷315,140	1	315,135	-2,273	0,0303	0,0276	0,552	0
315,140÷315,150	3	315,145	-1,364	0,1571	0,1430	2,860	3
315,50÷315,160	5	315,155	-0,455	0,3604	0,3280	6,560	7
315,160÷315,170	7	315,165	0,455	0,3604	0,3280	6,560	7
315,17÷315,180	4	315,175	1,364	0,1571	0,1430	2,860	3
315,180÷315,190	0	315,185	2,273	0,0303	0,0276	0,552	0
Σm	20						20

Интервалы $a \div b$, мм	$m_Э$	$x=\frac{a+b}{2}$,мм	t	$f(t)$	$\frac{b-a}{\sigma} f(t)$	$n \frac{b-a}{\sigma} f(t)$	$m_Т$
114,970÷114,980	0	114,975	-2,500	0,0175	0,0125	0,250	0
114,980÷114,990	2	114,985	-1,786	0,0804	0,0574	1,148	1
114,990÷115,000	3	114,995	-1,071	0,2251	0,1607	3,214	3
115,000÷115,010	5	115,005	-0,357	0,3739	0,2670	5,340	6
115,010÷115,020	6	115,015	0,357	0,3739	0,2670	5,340	6
115,020÷115,030	2	115,025	1,071	0			
115,030÷115,040	2	115,035	1,786	0,			
115,040÷115,050	0	115,045	2,500	0,0175	0,0125	0,250	0
Σm	20						20

Таблица 2

На основе обработки данных табл. 1 получено: $\bar{x}_{см}=M(x)_{см}$ =315,160 мм,

$s_{см}= \sigma_{см}$=0,0110 мм, а из данных табл.2 – $\bar{x}_{в}=M(x)_{в}$ =115,010 мм, $s_{в}= \sigma_{в}$=0,0140 мм.

Эмпирические (1) и теоретические (2) кривые распределения смещения нулевой точки программы по оси Z_M и длины/вылета инструмента представлены соответственно нарис. 4 . Адекватность теоретического и эмпирического распределений была подтверждена проверкой по критерию Фишера.

Рассмотрим практическую реализацию полученных результатов. На многофункциональном станке с ЧПУ обрабатывается в патроне поворотного стола деталь, имеющая конструктивный элемент с размером $30_{-0.52}$ мм, что соответствует стандартному размеру под ключ нормальной точности, и тогда погрешность обработки детали (по рассматриваемому конструктивному элементу) $\varepsilon_д$=0,26 мм.

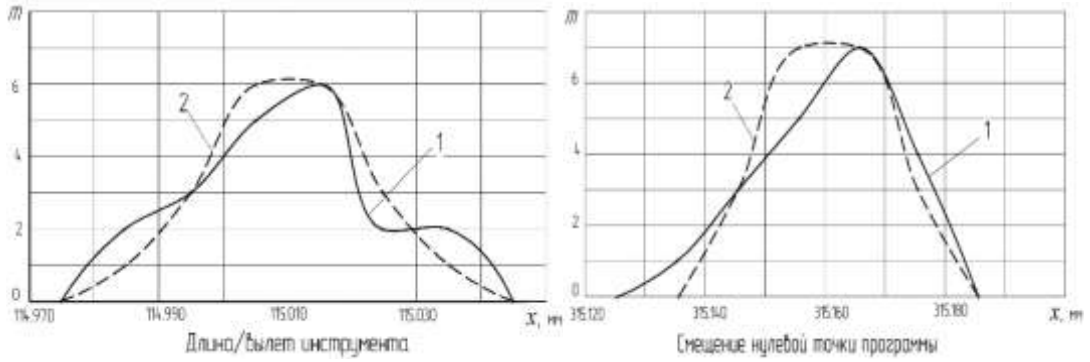


Рисунок 4 – Кривые распределения: эмпирические (1) и теоретические (2)

Основные факторы, влияющие на точность обработки детали, в данном случае включают в себя погрешность позиционирования станка εс=0,003 мм, погрешность установки заготовки детали в трехкулачковом патроне εп=0,1 мм [3] и погрешность технологической настройки станка с ЧПУ εтн. Тогда допустимая погрешность технологической настройки составляет $[\varepsilon$тн]= εд-εс-εп=0,157 мм. На основе полученных экспериментальных данных принимаем погрешность определения смещения нулевой точки методом касания εсм=3*σсм =3*0,011=0,033 мм. Тогда допустимая погрешность определения длины/вылета инструмента составляет $[\varepsilon$в]= εтн-εсм=0,124 мм. Фактическая погрешность определения длины/вылета методом касания на основе полученных экспериментальных данных составляет ε

$_{в}$=3*$\sigma_{в}$=3*0,0140=0,042 мм. Следовательно, технологическая настройка методом касания многофункционального станка с ЧПУ для рассматриваемой ситуации приемлема.

Если же у детали размер под ключ повышенной точности ($30_{-0.30}$), то допустимая погрешность технологической настройки составит $[\varepsilon_{тн}]=\varepsilon_{д}-\varepsilon_{с}-\varepsilon_{п}$=0,047 мм, и тогда допустимая погрешность определения длины/вылета инструмента составляет $[\varepsilon_{в}]=\varepsilon_{тн}-\varepsilon_{см}$=0,014мм. С использованием интеграла вероятности Ф(t) оценим приемлемость рассматриваемого метода определения длины/вылета: $\Phi(\frac{[\varepsilon_{в}]}{\sigma_{в}})=\Phi(\frac{0,014}{0,014})=\Phi(1.00)=0,683$. Полученный результат свидетельствует, что только с вероятностью 68,3% полученные традиционным методом касания значения длины/вылета инструмента будут корректны.

Более точное определение параметров технологической настройки производится посредством контактных измерительных систем [4]. На рис. 5 показан датчик контактно-измерительной системы *TS*27*R* фирмы *Renishaw*, использованный для определения параметров инструментов.

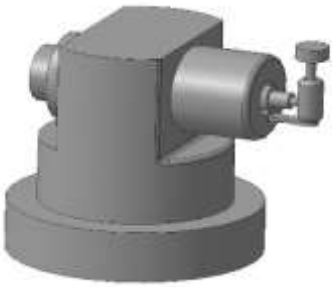


Рисунок 5 - датчик контактно-измерительной системы*TS*27*R* фирмы *Renishaw*

Датчик установлен непосредственно на столе станка. Вращающийся инструмент в процессе калибровки/измерений контактирует с изготовленным из карбида вольфрама контактным щупом. Сигнал срабатывания датчика возникает при перемещении из исходной позиции измеряемого инструмента в момент его касания контактного щупа. Система ЧПУ станка регистрирует позицию точки касания (позицию пропуска), которая используется измерительной программой (макросом на языке *MACROB*) для расчета длины/вылета инструмента.

На рис. 6 показана позиция измеряемого инструмента в момент касания с контактным щупом датчика при выполнении рабочих ходов. Здесь: 1 – шпиндельный узел, 2 – измеряемый инструмент, 3 – датчик *TS*27*R*.

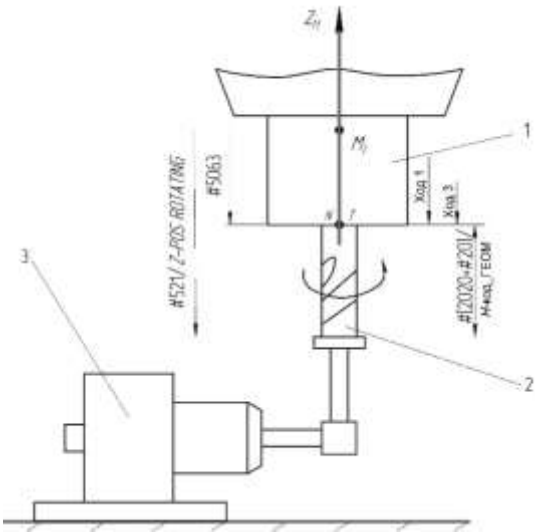


Рисунок 6 – Позиция измеряемого инструмента

На основе позиции пропуска #5063* второго касания и параметра #521, установленного при калибровке датчика на станке, автоматически рассчитывается длина (вылет) инструмента как значение макропеременной #[2020+#20]=#521-#5063 и заносится в область памяти параметров инструментов *H*-код ГЕОМ системы ЧПУ. Здесь макропеременная #20 определяет номер позиции измеряемого инструмента в инструментальном магазине станка, он указан в аргументах макроса при его вызове в формате определения длины (вылета) инструмента.

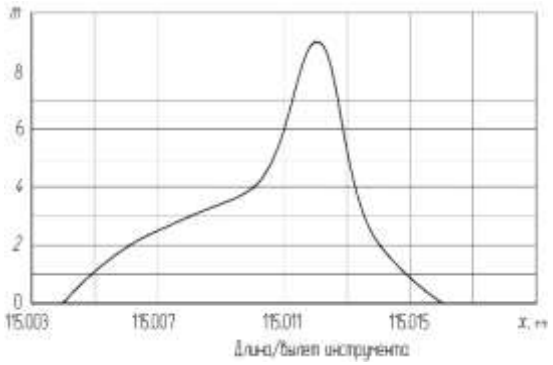


Рисунок 7 – Распределение длины/вылета инструмента

На рис. 7 показано распределение длины/вылета инструмента, установленное на основе измерений, выполненных контактной измерительной системой *TS*27*R*. Асимметрия кривой распределения обусловлена неоднозначной реакцией системы формирования сигнала позиции пропуска датчика на изменение исходной номинальной позиции инструмента относительно торца контактного щупа датчика. Левая пологая часть кривой соответствует удалению инструмента от контактного щупа датчика, а правая крутая часть – сближению.

На основе обработки экспериментальных данных, полученных с использованием контактно-измерительной системы *TS*27*R*, установлены следующие статистические характеристики распределения длины/вылета измеряемого инструмента: $\bar{x}_в = M(x)_в = 115{,}010$ мм, $s_в = \sigma_в = 0{,}00237$ мм. Тогда фактически погрешность определения длины/вылета с использованием контактной измерительной системы *TS*27*R* составляет $\varepsilon_в = 3*\sigma_в = 3*0{,}00237 = 0{,}007$мм.

С использованием интеграла вероятности оценим приемлемость рассматриваемого метода определения длины/вылета применительно к ранее рассмотренному случаю:

$\Phi(\frac{[\varepsilon_в]}{\sigma_в}) = \Phi(\frac{0{,}014}{0{,}00237}) = \Phi(5{,}91) = 0.999$. Таким образом, с вероятностью более 99% измеренная датчиком *TS*27*R* длина/вылет инструмента будет находиться в допустимом интервале ±0.007мм. Наряду с высокой точностью контактные измерительные системы позволяют минимизировать время технологической настройки, т. к. она выполняется в автоматическом режиме.

В то же время надо иметь в виду высокую стоимость контактных измерительных систем. Поэтому их область рационального применения в первую очередь – комплексная обработка деталей повышенной точности, например, многокоординатная обработка сложнофасонных поверхностей деталей [4], а также мелкосерийное производство с частой сменой номенклатуры деталей, сопровождающейся технологической настройкой.

Выводы

Получены данные о точности различных методов технологической настройки многофункциональных станков с ЧПУ. Результаты работы позволяют осуществить компетентный дифференцированный подход при выборе метода технологической настройки с учетом совокупности технологических факторов обработки.

*Данные с символом # представляют собой макропеременные на языке *MACROB*

Список литературы

1. Сосонкин В.Л. Программирование систем числового программного управления: учеб. пособие / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. – М.: Логос; Университетская книга; 2008. – 344 с.

2. Юсупов Ж. А. Алгоритмы технологической наладки станков с ЧПУ // Вестник Казан. гос. техн. ун-та, 2011, №4. С. 45-51.

3. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах. Т.1 / Под. ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, А.Г.Суслова. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. 912 с.

4. Юсупов Ж.А., Елсуков А.В. Технологическая наладка фрезерных обрабатывающих центров с использованием контактных измерительных систем RENISHAW // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Новые технологии, материалы и оборудование авиакосмической отрасли». – Казань: Изд-во Академии наук РТ, 2016. – Т.1. С. 534-539.

5. Печенкин М.В., Абзалов А.Р. Кинематика формообразования боковой поверхности зубьев гиперболоидной передачи концевым инструментом // Фундаментальные исследования, 2014, №12 (часть 11). С. 23. URL: http://www.rae.ru/fs/pdf/2014/12-11/36686.pdf

TECHNOLOGY SETTINGS MULTI-FUNCTION MACHINES

Yusupov Zh. A., PhD (Engineering), Associate Professor

Yusupov Zh. A

Kazan State Technical University Researchthem. A.N. Tupolev-Kai,
420111, Karl Marx str., 10, Kazan, Tatarstan republic, Russian Federation

Abstract

Reviewed and researched topical methods of technological multi-functional customizations of CNC machine tools. On the basis of experimental data set statistics parameters characteristics of technological situation settings implemented by the traditional method of touch and contact measurement systems. The obtained results allow the informed choice of the technological method of customization with precision machined parts.

Keywords: multifunction machines, technological configuration, precision machining, contact measuring systems.

УДК 621.9

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС, ПОЛУЧЕННЫХ 3D-ПЕЧАТЬЮ

БАЛАШОВ А.В.[1], канд. техн. наук, доцент
ЗАБОРЦЕВА М.Н.[1]студент
ЕЛЮБАЕВА А.С.,[2] магистрант
АХМЕТКАЛИ Б.К.,[2] магистрант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия
[2] ГУ им. Шакарима г. Семей, Казахстан)

Балашов А.В., Заборцева М.Н., Елюбаева А.С., Ахметкали Б.К.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
071400, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20а,
Государственный университет им. Шакарима города Семей
e-mail: bavagtu@mail.ru
e-mail: zaborceva.mariya91@mail.ru
e-mail: yelyubaeva1996@mail.ru
e-mail: bal_nur_17_93@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены типовые требования, предъявляемые к зубчатым колесам. Приведены следующие результаты измерений напечатанного зубчатого колеса методом экструзионной печати: колебание длины общей нормали, колебание кинематической точности, плавность работы, радиальное биение наружной поверхности зубьев. Предложена методика повышения точности зубчатого колеса, полученного методом 3D-печати. Согласно проведенным измерениям установлено, что зубчатое колесо, изготовленное по скорректированной модели, экструзионным методом печати может соответствовать 11 степени точности.

Ключевые слова: зубчатое колесо, 3D-печать, показатели точности, измерение, коррекция, аттестация

Введение

В последние время зубчатые колеса, изготовленные из полимерных материалов, находят широкое применение в машиностроении и приборостроении. Внедрение современных полимерных материалов вызывает необходимость применения новых принципов проектирования и изготовления зубчатых колес.

Существует несколько методов изготовления зубчатых колес из полимеров:

1. Литьё шестерён под давлением из пластмасс.

Достоинствами этого метода являются высокая прочность, постоянство размеров и относительная дешевизна получаемых изделий.

2. Изготовление шестерни механообработкой из капролона.

К достоинствам этого метода следует отнести высокую прочность и точность зубчатых колес. Однако наряду с вышеупомянутыми достоинствами существуют и недостатки, обусловленные быстрым накоплением погрешностей установки и базирования, как следствие брак, при мелкосерийном производстве.

3. Метод быстрого прототипирования [1].

Одним из распространенных методов 3D-печати является – экструзионный. При этом методе нить из термопластика (полилактид (PLA), акрилони-трилбутадиенстирол (ABS) и др.) 2 подается в печатающую головку 1, где разогревается и выдавливается через экструдер на подвижную платформу 3D-принтера (рисунок 1).

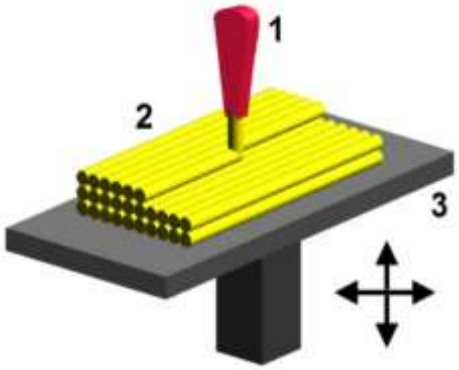


Рисунок 1 - Схема работы 3D-принтера

Однозначным достоинством данного метода является высокая скорость изготовления изделий, которая, однако, перекрывается отсутствием данных по получаемым техническим характеристикам зубчатых колес.

Описание теоретических и экспериментальных исследований

К зубчатым колесам предъявляют следующие технические требования (рисунок 2) [2]:

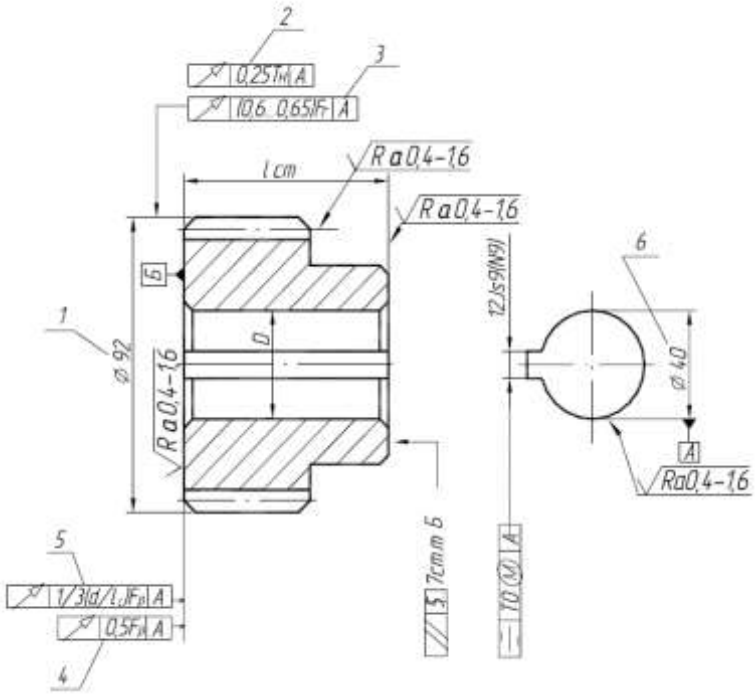


Рисунок 2 – Зубчатое колесо с типовыми требованиями к точности его изготовления

1. Точность размера окружности выступов (d) зависит от метода контроля толщины зуба: когда d является измерительной базой, то $\Delta d=0,5T_H$ когда d не является измерительной базой, диаметр d может изготавливаться по $IT12$, где T_H - допуск на смещение исходного контура.

2. Радиальное биение поверхности вершин зубьев относительно оси отверстия (измерительной базы) не более $0,25T_H$, когда d используется для контроля толщины зуба, например, при контроле смещения исходного контура.

3. Радиальное биение поверхности вершин зубьев относительно оси отверстия не должно превышать (0,6…0,65) *Fr*, когда *d* используется для выверки, т.е. в качестве технологической базы, где *Fr* - допуск радиального биения зубчатого венца.

4. Торцовое биение поверхности Б относительно оси отверстия не должно превышать $0{,}5F_\beta$ где - F_β допуск направления зуба.

Точность изготовления эвольвентных цилиндрических зубчатых колес и передач регламентируются ГОСТ 1643-81. Согласно указанному стандарту установлено 12 степеней точности зубчатых колес и передач, которые обозначаются в порядке убывания точности цифрами 1,2,3…12.

Для каждой степени точности установлены нормы:

– кинематической точности, ограничивающей кинематическую погрешность передачи и кинематическую погрешность. Для зубчатых колес наиболее часто используют комплекс и F_{vw}. Показатель называют «колебание измерительного межосевого расстояния за оборот проверяемого колеса», а показатель F_{vw}– колебание длины общей нормали;

-плавности работы, характеризуемой параметрами погрешности, которых многократно (циклически) повторяются за оборот зубчатого колеса и составляют часть кинематической погрешности. Плавность работы определяется по колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе;

-контакта зубьев, регламентирующей погрешности изготовления зубьев и сборки передачи, влияющие на размеры суммарного пята контакта в зацеплении, а, следовательно, на распределение нагрузки по ширине зубчатого венца.

Для определения норм кинематической точности и плавности работы на 3D-принтере MakerBot Replicator 2X (рисунок 3) напечатано зубчатое колесо диаметром 90 мм, модулем 3 мм, числом зубьев – 28, с коэффициентом смещения - 0 (рисунок 3). Образцы печатались при следующих режимах: тип; диаметр сопла экструдера - 0,4 мм; высота слоев - 0,25 мм; температура экструдера - 230°С; температура стола - 120°С; скорость печати 90 мм/с, материал – пластик PLA.

Рисунок 3 - 3D-принтер MakerBot Replicator 2X

Рисунок 4 – Зубчатое колесо

Колебание длины общей нормали, F_{vwr}определяли с помощью зубомерного микрометра М3 50-1 ГОСТ 6507-90 (рисунок 5). Результаты измерений отражены на графике колебания длины общей нормали ΔW(рисунок 6).

Рисунок 5 – Измерение длины общей нормали

Рисунок 6 – Колебание длины общей нормали

Колебание длины общей нормали ,F_{vwr}составило 100 мкм.

Показатели, определяющие кинематическую точность и плавность работы цилиндрических зубчатых колес определялось на межцентромере (рисунок 7).

Рисунок 7 – Определение показателей, определяющих кинематическую точность и плавность работы цилиндрических зубчатых колес

Результаты измерений отражены на графике, характеризующем изменение измерительного межосевого расстояния $\Delta\alpha^{II}$ (рисунок 8).

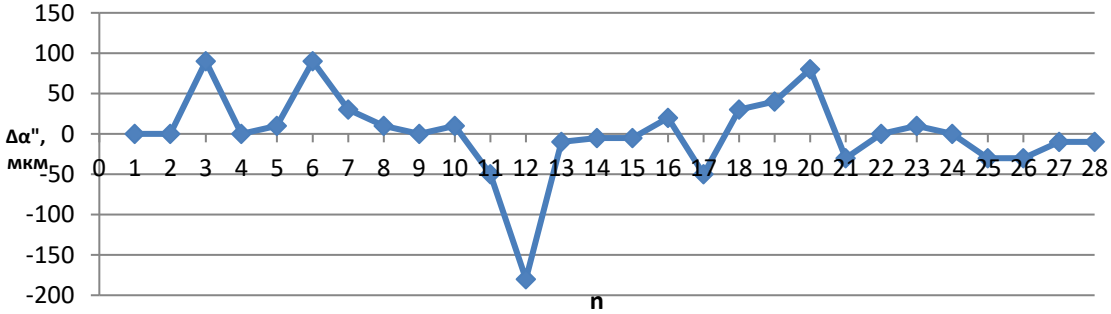


Рисунок 8 – Изменение измерительного межосевого расстояния

Колебание кинематической точности составило 270 мкм, плавность работы - 70 мкм.

Радиальное биение зубчатого венца F_{rr}определялось в контрольных центрах (рисунок 9).

Рисунок 9 – Измерение радиального биения зубчатого венца

Изменение радиального биения зубчатого венца ΔR отражено на рисунке 10.

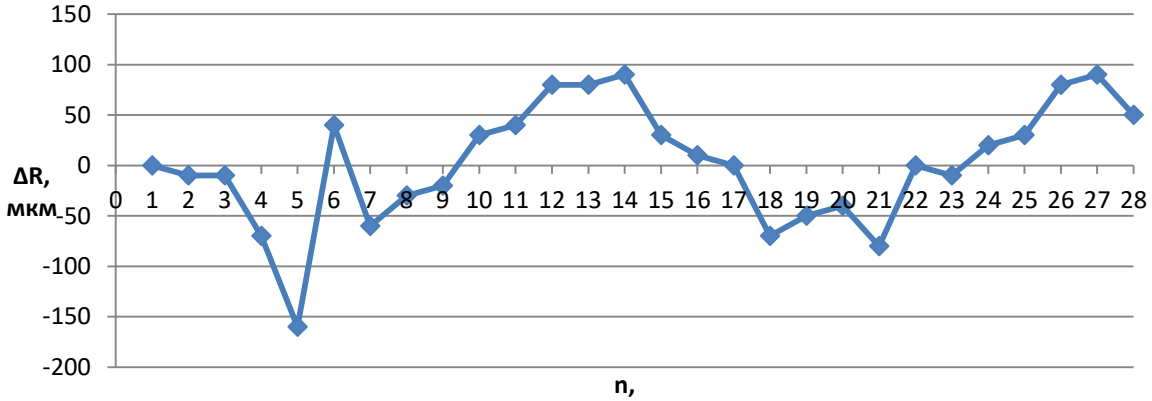


Рисунок 10 – Изменение радиального биения зубчатого колеса

Радиальное биение зубчатого венца колеса F_{rr} составило 250 мкм.

По результатам проведенных измерений зубчатое колесо выполнялась аттестация по кинематической точности и плавности работы. Значения показателей точности цилиндрических зубчатых колес приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Аттестация зубчатого колеса
по кинематической точности и плавности работы.

Степень точности	по ГОСТ 1643-81				Измеряемое зубчатое колесо			
	Показатели кинетической точности, мкм			Показатели плавности работы, мкм	Показатели кинетической точности, мкм			Показатели плавности работы, мкм
	F_r	F_i''	F_{vw}	$\Delta\alpha^{II}$	F_{rr}	F_i''	F_{vwr}	$\Delta\alpha^{II}$
7	36	50	22	20				
8	45	63	28	28				
9	71	90		36			100	
10	100	140		45				
11	125	180		56				
12	160	224		71				70
					250	270		

Согласно проведенным измерениям установлено, что зубчатое колесо, изготовленное экструзионным методом печати, без дополнительной обработки, не может соответствовать 12

степени точности по техническим требованиям к колебанию кинематической точности и радиальному биению зубчатого венца.

Анализ радиального биения венца зубчатого колеса выявил, что окружность вершин зубьев имеет погрешность формы в форме эллипсности. Сделано предположение, что погрешность формы окружности вершин зубьев обусловлено погрешностью перемещения сопла печатающей головки 3D принтера по осям Xи Y.

Для повышения точности зубчатого колеса, изготовленного методом экструзионной печати необходимо при проектировании 3D модели зубчатого колеса учитывать погрешности перемещения сопла печатающей головки 3D принтера.

Величина коррекции окружности вершин зубьев определялась по следующей методике:

Создание 3D модели диска диаметром равным диаметру окружности вершин зубьев;

Печать диска (рисунок 11);

Измерение размеров диска (рисунок 12);

Коррекция 3D модели зубчатого колеса (рисунок 13);

Печать зубчатого колеса;

Измерение показателей точности зубчатого колеса.

Рисунок 11 - Диск

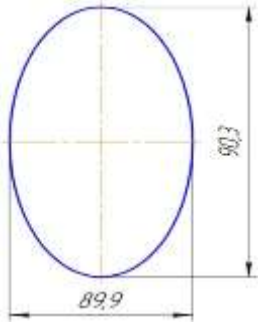


Рисунок 12 – Размеры диска

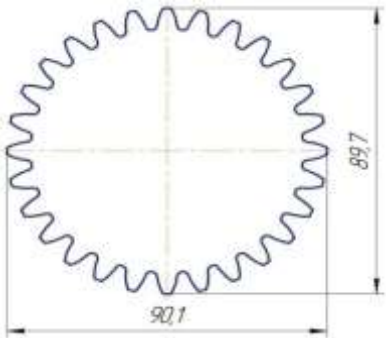


Рисунок 13 – Скорректированная модель шестерни

Результаты и обсуждение

По описанной выше методике было напечатано зубчатое колесо по модели с размерами, указанными на рисунке 13. Далее определялись показатели кинематической точности и плавности работы (рисунки 14, 15 и 16).

Рисунок 14 – Изменение измерительного межосевого расстояния с скорректированным зубчатым колесом

Рисунок 15 – Колебание длины общей нормали скорректированного зубчатого колеса

Радиальное биение зубчатого венца колеса F_{rr} составило 120 мкм. Колебание длины общей нормали, F_{vwr}составило 82 мкм. Колебание кинематической точности составило 25 мкм.Плавность работы - 20 мкм

Согласно проведенным измерениям установлено, что зубчатое колесо, изготовленное по скорректированной модели, экструзионным методом печати может соответствовать 11 степени точности.

Выводы

1. Точность зубчатого колеса, полученного экструзионным методом печати, зависит от погрешности перемещения сопла печатающей головки 3D принтера по осям Xи Y.

Рисунок 16 – Изменение радиального биения скорректированного зубчатого колеса

2. Разработана методика изготовления зубчатого колеса экструзионным методом печати, основанная на внесении коррекции в размеры модели детали и позволяющая повысить точность печати.

3. Согласно проведенным измерениям установлено, что зубчатое колесо, изготовленное по скорректированной модели из пластика PLA, экструзионным методом печати может соответствовать 11 степени точности.

Список литературы

1. Криворучко Д.В., Осадчий И.О. Современные достижения в области изготовления зубчатых колес из композиционных материалов. Резание и инструмент в технологических системах, 2014, выпуск 84.

2. https://studfiles.net/preview/2703479/page:58/#109.

3. Балашов А.В. Исследование свойств изделий, полученных 3D-печатью /Балашов А.В., Белоплотов С.В., Малышев С.О., Новиковский Е.А., Фёдоров В.А./ Актуальные проблемы в машиностроении. 2017. Т. 4. № 2. С. 120-126.

4. М.Н. Заборцева, Балашов А.В., В.В. Собачкин. Определение степени точности зубчатого колеса, изготовленного 3D-печатью. Молодежь - Барнаулу. Материалы VII-XIX городской научно-практической конференции молодых ученых / гл. ред. Ю.В. Анохин. – Часть XIX. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2018. С.419-424.

INCREASE IN THE ACCURACY OF THE GEARS, OBTAINED BY THE 3D- PRINTING

BalashovA.V., PhD (Engineering), Associate Professor
Zaborceva M.N, Student
Yelyubaeva A.S., Graduate Student
Akhmetkali B.K., Graduate Student

Balashov A.V., Zaborceva M.N., Yelyubaeva A.S., Akhmetkali B.K.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation
Shakarim University
071412, 20a Glinka st, Semey, Kazakhstan,

Abstract

Are examined the standard requirements, presented to the gears. Are given results of the measurements of the printed gear by the method of the printing: the fluctuation of the length of general standard, the fluctuation of kinematic accuracy, the smoothness of work, radial play of the external surface of teeth. Is proposed the procedure of an increase in the accuracy of the gear, obtained by the method of 3d- printing. According to the carried out measurements it is established that the gear, prepared on the corrected model, of printing can correspond 11 to degree of accuracy.

Keywords:gear, 3d- printing, the indices of accuracy, measurement, correction, the certification

УДК 621.91.01

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО - ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ РЕЗАНИИ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРЕЩИН

ЕРЕНКОВ О.Ю.[1], докт. техн. наук,
ФЕДОРОВА Г.Н.[1], ст. преподаватель
([1]ТГУ, г. Хабаровск, Россия)

Еренков О.Ю., Федорова Г.Н.

Тихоокеанский государственный университет,
680035, ул. Тихоокеанская, 136 Хабаровск, Россия,
e - mail: erenkov@list.ru

Аннотация

В данной работе проведен анализ напряженно – деформированного состояния полимерных материалов при нагружении силами резания с учетом наличия в поверхностном слое микротрещин. Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния материала с применением критерия прочности качестве условия разрушения материала в зависимости от приложенной нагрузки. На основании представленной модели предложен метод и устройство для осуществления предварительной механической деструкции поверхностного слоя заготовок из полимерных материалов с целью создания зон пластической деформации при взаимодействии напряжений, возникающих в вершинах соседних микротрещин.

Ключевые слова: полимерные материалы, трещина, силы резания, пластическая деформация, напряжения

Введение

Полимерные материалы обладают комплексом свойств и особенностей, отличающихся от традиционных конструктивных материалов (металлических сплавов). Это приводит к необходимости разработки новых оригинальных способов механической обработки заготовок из пластмасс, сущность которых заключается в направленном изменении состояния обрабатываемого материала в зоне резания с целью обеспечения благоприятных условий для получения обработанной поверхности высокой точности и качества. Для разработки одного из таких способов необходимо провести анализ напряженно-деформированного состояния твердого полимерного тела с учетом наличия и взаимодействия имеющихся в материале микротрещин.

Качество поверхности при точении полимерных материалов во многом зависит от характера и величины деформации обрабатываемого материала в процессе обработки. Многочисленные экспериментальные исследования показывают, что процесс резания можно представить как процесс сжатия и простого сдвига материала [1,2]. Под действием режущего инструмента срезаемый слой подвергается сжатию. Процесс сжатия сопровождается упругими и пластическими деформациями. Пластическое деформирование заключается в сдвиге одних слоев относительно других по плоскостям скольжения. На рис. 1 показана упрощенная схема силового воздействия на обрабатываемый материал в процессе резания.

Как видно, рис. 1, деформациям подвергается не только срезаемый слой, но и слои основной массы материала, от которых производится отделение стружки, т. е. поверхность резания и обработанная поверхность. Нормальные давления как выражения сопротивления материала разрушению могут быть представлены в виде сосредоточенных сил (наибольшие давления - у вершины резца). Сила $R_П$, действующая на обрабатываемую поверхность со

стороны передней поверхности инструмента представлена как равнодействующая силы упругой деформации $P_{УП}$, силы пластической деформации $P_{ПЛ}$ и силы трения T. Сила $P_З$, действующая на обработанную поверхность со стороны задней поверхности инструмента представлена соответственно силами $P'_{УП}$, $P'_{ПЛ}$и силой трения T_1, действующей по задней поверхности.

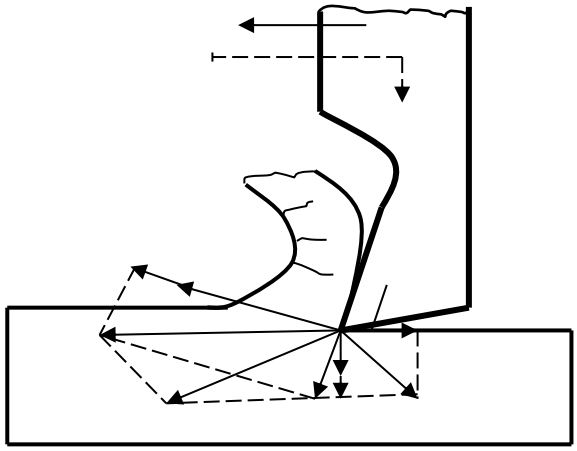


Рисунок 1 – Схема силового воздействия на обрабатываемый материал в процессе резания

В материале, как правило, имеются первоначальные дефекты, которые ориентированы случайным образом - это объясняется технологией получения полимеров. Эти дефекты считаются микротрещинами [3], при действии нагрузок они являются концентраторами напряжений, и при достаточно высоких значениях напряжений данные микротрещины могут расти и вызвать разрушение материала. Для изучения условий роста трещин в вязкоупругих телах представляет интерес распределение напряжений и смещений в окрестности трещины. Такие исследования проведены в работах зарубежных и отечественных ученых [3,4].

Моделирование напряженно-деформированного состояния материала

В качестве расчетной схемы применительно к процессу токарной обработки полимерных материалов, при внецентренном сжатии срезаемого слоя материала составляющей P_Z силы резания выбрана схема напряженно – деформированного состояния – плоский сдвиг. При плоском сдвиге образуется трещина типа «сдвиг», приводящий к скольжению поверхностей трещины одна относительно другой в плоскости деформации (перемещения берегов трещины происходят в плоскости трещины и перпендикулярно ее фронтальной линии).

Как известно [4], упругое равновесие твердых тел описывается уравнениями плоской теории упругости в случае плоской деформации цилиндрических тел постоянного поперечного сечения, когда на тело действуют внешние силы, нормальные к его оси и одинаковые для всех поперечных сечений указанного тела.

При этом для определения напряженно-деформированного состояния в произвольной точке упругого изотропного тела, в том числе и в окрестности трещины, необходимо найти три компоненты тензора напряжений σ_x, σ_y, τ_{xy}. В полярной системе координат, связанной с вершиной трещины, в случае поперечного сдвига данные компоненты выражаются следующим образом [3,4]:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{-K}{\sqrt{2\pi r}}\sin\frac{\theta}{2}\left(2+\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right); \\ \sigma_y &= \frac{K}{\sqrt{2\pi r}}\sin\frac{\theta}{2}\left(\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right); \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2}(1 - \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2});$$

где K - коэффициент интенсивности напряжений, который находится из решения задач теории упругости как функция нагрузки и параметров, характеризующих конфигурацию тела, форму трещины и расположения в образце; r, θ - полярные координаты с полюсом в вершине трещины ; ν - коэффициент Пуассона.

Коэффициент интенсивности напряжений для случая однородного плоского сдвига определяется из соотношения

$$K = \tau\sqrt{\pi a}, \quad (2)$$

где τ - касательное напряжение; a - размер трещины.

Согласно результатам исследований [3,4] для всех полимерных материалов при напряжениях выше предела текучести σ_T линейная связь между напряжениями и деформациями нарушается, происходит их пластическое течение. В результате перед концом трещины всегда имеется более или менее протяженная пластическая зона.

В окрестности контура трещины плоского сдвига главные напряжения определяются как:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2})^2 + \tau_{xy}^2}; \quad (3)$$

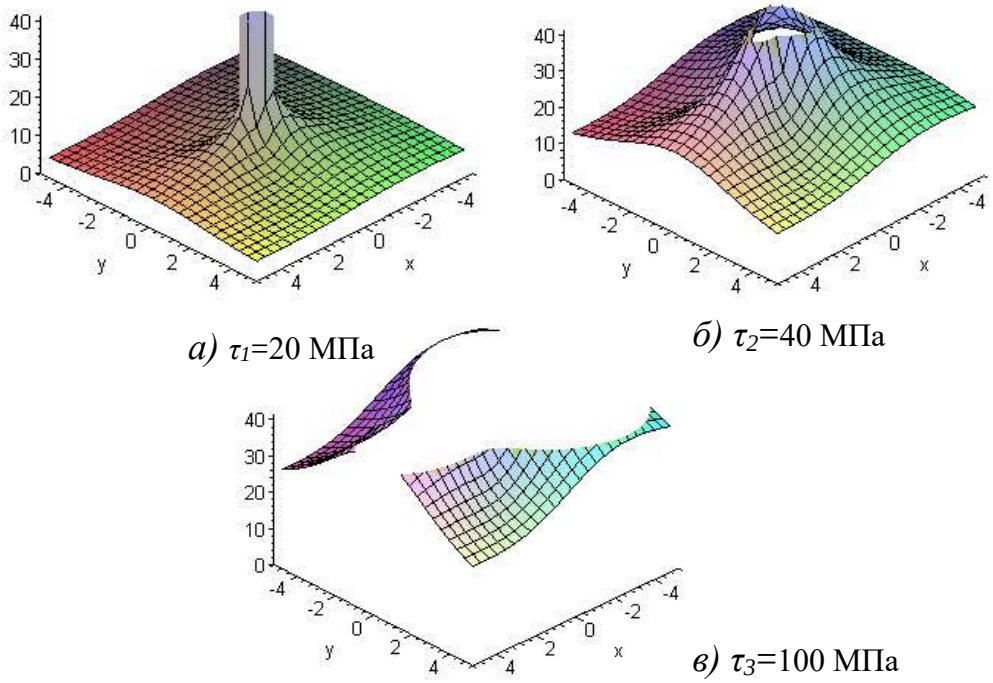
$$\sigma_3 = \nu(\sigma_1 + \sigma_2).$$

Используя условие текучести Мизеса в главных напряжениях

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_T^2, \quad (4)$$

получены границы зоны пластичности (рис. 2), изображенные в безразмерных координатах $x_* = x/(K/\sqrt{\pi\sigma_T})^2$, $y_* = y/(K/\sqrt{\pi\sigma_T})^2$.

На рис. 2 приведен пример применения критерия Мизеса в качестве условия разрушения материала в зависимости от приложенной нагрузки.



а) τ_1=20 МПа *б)* τ_2=40 МПа

в) τ_3=100 МПа

Рисунок2 – Функция Мизеса у вершины трещины в зависимости от приложенной нагрузки τ ($\tau_1<\tau_2<\tau_3$), σ_T =45 МПа

На рис. 3 видно, что пластическая деформация (заштрихованная область) локализована у вершины трещины, а на размер этой зоны, как следует из выражения (2), влияют приложенная нагрузка τ и размер трещины a.

Физическая модель взаимодействия трещин

В связи с тем, что имеющиеся в материале заготовки микротрещины расположены хаотически, то зоны пластических деформаций у вершин данных микротрещин, также будут расположены случайным образом, как видно на рисунке 4.

По мере внедрения инструмента в материал, при резании, напряжение в сечении образца становится больше критического, происходит разрушение материала под действием упругой и пластической деформаций с образованием магистральной опережающей трещины. Как видно из рисунка 1 направление магистральной трещины составляет некоторый угол с направлением движения резца, так как нормальные силы, действующие на обрабатываемый материал со стороны передней и задней поверхности резца, дают составляющую, идущую вниз по линии среза. В дальнейшем впереди магистральной трещины возникают и растут по разным направлениям и на разных близких уровнях вторичные трещины, образуя при встрече фронтов с магистральной и другими вторичными трещинами линии «скола». Это приводит к тому, что магистральная трещина развивается не по траектории линии среза, а с отклонениями от нее. В результате на поверхности зоны разрыва образуются сколы, раковины, вырывы пучков волокон и ступеньки, расположенные под углом к поверхности разрыва. Наличие данных дефектов заметно повышает шероховатость обработанной поверхности.

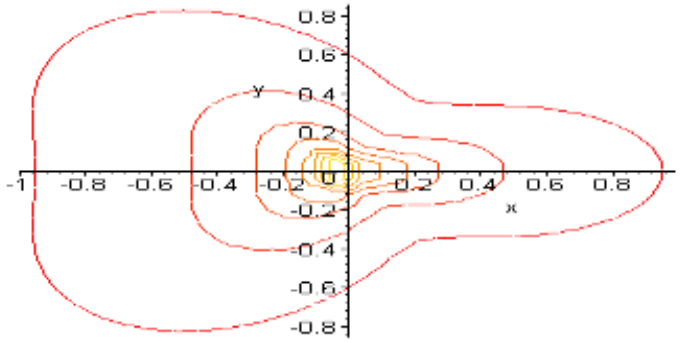


Рисунок 3 –Распределение напряжений у вершины трещины (заштрихованная на рисунке область – зона пластической деформации $\sigma_а < \sigma_б < \sigma_в = \sigma_т$)

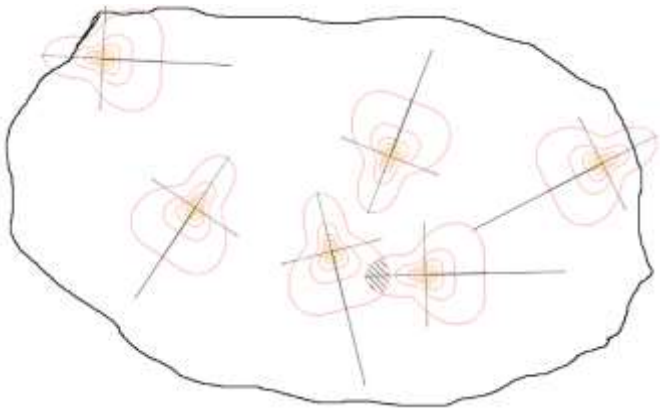


Рисунок 4 – Схема возникновения зон пластической деформации при нагружении материала с технологическими дефектами

Такой механизм образования и взаимодействия трещин можно объяснить спецификой строения полимерных материалов: микронеоднородностью структуры полимера, наличием дефектов в структуре полимерных цепей, различной ориентацией цепей по отношению к направлениям силы, наличием длинных и коротких цепей и различной их ориентации, включений других атомов, нарушением локальной структуры цепи при полимеризации, включений звеньев различной регулярности [5].

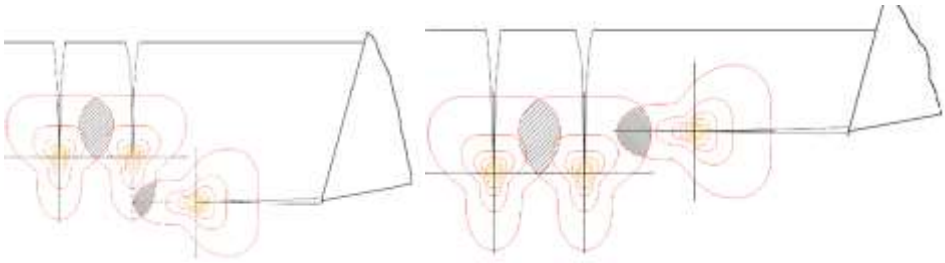
Новый способ токарной обработки полимерных материалов

На основании модельных представлений, полученных с помощью выражений (1-4), авторами предложен метод предварительной механической деструкции поверхностного слоя заготовок из полимерных материалов с целью создания зон пластической деформации при взаимодействии напряжений, возникающих в вершинах соседних трещин, и разработано устройство для его реализации, конструкция которого защищена патентом на изобретение [6]. Сущность метода заключается в том, что на поверхностный слой материала, перед обработкой резанием, наносят микроповреждения в виде проколов (глухих отверстий). Совокупность отверстий, в приближении, можно представить как систему трещин определенной глубины и расположенных на известном расстоянии друг от друга.

Схема разрушения поверхностного слоя полимерного материала режущим клином инструмента, с учетом взаимодействия между предварительно нанесенными микроповреждениями и магистральной трещины, выглядит следующим образом. В начальном состоянии в образце имеются начальные дефекты, обусловленные условиями производства, хранения и т.п. На первом этапе на поверхностный слой материала организованно наносятся микроповреждения в виде проколов, согласно разработанному методу.

Исследованиями Партона В.З., Бартенева Г.М., Черепанова Г.П. [4,7,8,] установлено, что вблизи вершины трещины в полимерном материале из-за высокой концентрации напряжений образуются узкие зоны перенапряжений, которые представляют собой сосредоточение деформированного и частично разрушенного материала и характеризующиеся

преобладающим распределением напряжений в направлении перпендикулярном направлению трещины, см. рис.2. Микроповреждения наносятся с заданным расстоянием друг от друга таким образом, что данные зоны соседних микроповреждений перекрываются, образуя тем самым локализованные зоны пластической деформации, рис. 5.



а б

Рисунок. 5. Механизм формирования зон пластической деформации соседних трещин:
а- при глубине резания больше глубины трещины;
б- при глубине резания меньше глубины трещины.

На втором этапе производится обработка полимерного материала резанием, а именно токарная. Магистральная трещина, в процессе своего развития, последовательно взаимодействует с предварительно нанесенными микроповреждениями. При этом под действием внешней нагрузки (силы резания) в заштрихованных на рисунке 5 зонах будет происходить суммирование напряжений от соседних трещин и магистральной трещины, и в этих зонах будет развиваться пластическая деформация.

Вероятность разрыва связей в этой области больше, чем в других местах образца, так как эта вероятность определяется не средним напряжением, а локальным напряжением в вершине трещины, величина которого значительно увеличивается в соответствии со значением коэффициента интенсивности напряжений. В связи с этим, распространение магистральной трещины, с большой вероятностью, будет происходить вдоль линии среза без существенных отклонений в глубь материала, что является предпосылкой снижения шероховатости получаемой поверхности.

Таким образом, появляется возможность управления процессом и направлением траектории развития опережающей трещины за счет задания размеров предварительно нанесенных повреждений и расстояния между ними. Данный подход нашел свое развитие [9,10] и получено экспериментальное подтверждение его эффективности [11,12, 13].

На сновании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрено формирование зоны пластической деформации в вершине трещины, протяженность и форма которой зависит от величины напряжений и размера трещины. Поскольку в материале заготовки имеется большое число расположенных случайным образом технологических микротрещин, то у вершин этих микротрещин зоны пластических деформаций, возникающих при резании, также будут расположены случайным образом;

2. Обосновано нанесение предварительных микроповреждений на поверхностность заготовки с целью создания зон пластической деформации путем взаимодействия микроповреждений и опережающей трещины при токарной обработке для управления направлением развития опережающей трещины и повышения, на этой основе, качества обработки.

Список литературы

1. Кабалдин Ю.Г. Математическое моделирование самоорганизующихся процессов в технологических системах обработки резанием/ Ю. Г. Кабалдин, А. И. Олейников, А. М. Шпилев, А. А. Бурков. - Владивосток: Дальнаука, 2000. - 195 с.

2. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки при режущих поверхностях инструмента/ М.Ф. Полетика . – М.: Машиностроение, 1969. – 149 с.

3. Карташов Э.М. Структурно – статистическая кинетика разрушения полимеров/ Э.М. Карташов, Б. Цой, В.В. Шевелев. – М.: Химия, 2002. – 736 с.

4. Партон В.З. Механика упруго - пластического разрушения/ В.З. Партон, Е.М. Морозов.– М.: Наука, 1974. - 416 с.

5. Аскадский А.А. Химическое строение и физические свойства полимеров/ А.А. Аскадский, Ю.И. Матвеев. – М.: Химия, 1983. – 248 с.

6. Патент №2207937 Российская федерация, (51) МПК B29C 41/04. Устройство для предварительной обработки заготовок из пластмасс / Еренков О.Ю., С.А. Ковальчук.- Заявка № 2003145870; заявлено 07.12.2003; опубликовано 10.07.2003, Бюл. №19.

7. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров/ Г.М. Бартенев.- М.: Химия, 1984.-223 с.

8. Черепанов Г.П. Механика разрушения/ Г.П.Черепанов, Л.В. Ершов. – М.: Машиностроение, 1977.- 224 с.

9. Еренков О.Ю. Комбинированный способ токарной обработки заготовок из полимерных материалов/ О.Ю. Еренков, А.Г. Ивахненко// Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2006. № 5. С. 23.

10. Патент № 2203183 Российская федерация, (51) МПК 7 B 29 C 69/00. Способ обработки деталей из пластмасс/ О.Ю. Еренков. - № 2001106372/12; заявл. 24.03.2001; Опубл.27.04.2003, Бюл. №12.

11. Патент №2328374 Российская федерация, (51) МПК B 29 C 37/00. Способ обработки заготовок из пластмасс/ О.Ю. Еренков, А.В. Гаврилова, А.Г. Ивахненко А.Г. - № 2006138533/12; заявл. 31.10.2006; Опубл.10.07.2008, Бюл. №19.

12. Еренков О.Ю. Токарная обработка полимерных материалов с применением опережающей обработки заготовок/ О.Ю. Еренков//Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2011. № 7. С. 45.

13. Еренков О.Ю. Исследование комбинированного способа токарной обработки заготовок из полимерных материалов после предварительного термомеханического воздействия/О.Ю. Еренков//Вестник машиностроения. 2006. № 7. С. 30.

ANALYSIS OF POLYMER MATERIALS TRESSED – DEFORMED STATE AT CUTTING WITH ACCOUNT OF CRACKS INTERACTION

Erenkov O.Yu., D.Sc. (Engineering) professor
Fedorova G.N., Senior Lecture

Erenkov O.Yu., Fedorova G.N.

Pacific National University,
136, Tikhooceanskaya st., Khabarovsk, 680035, Russia

Abstract

In this paper, the stress - strain state of polymeric materials is analyzed under loading by cutting forces, taking into account the presence of microcracks in the surface layer. Modeling of the stress-strain state of the material was carried out using the strength criterion as the material destruction condition depending on the applied load. Based on the presented model, a method and device for preliminary mechanical destruction of the surface layer of blanks from polymeric materials is proposed with the aim of creating zones of plastic deformation in the interaction of stresses arising at the vertices of neighboring microcracks.

Keywords: polymeric materials, cracks, cutting forces, plastic deformation, stresses

УДК 666.193.2

СОЕДИНЕНИЯ МЕТАЛЛ-КОМПОЗИТ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

МАРКИН В.Б.[1]докт.техн. наук, профессор
([1] АлтГТУ, г.Барнаул Россия)

Маркин В.Б.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e – mail: mvb1942@mail.ru

Аннотация

Применение полимерных композиционных материалов в конструкциях современной техники связано с необходимостью снижения металлоемкости и материалоемкости. Однако полная замена металлов на композиционные материалы связана с большими техническими и технологическими проблемами, поэтому актуальной является задача разработки стыковочных элементов, осуществляющих связь металлической и композитной частями изделия. Рассмотрены способы соединения металлов и композитов, их особенности и возможности передачи нагрузки. Для высоконагруженных конструкций целесообразно использование сплошных соединений, в которых важная роль отводится адгезионным свойствам контактирующих компонентов. На примере изделий, использующихся в нефтедобывающей отрасли, показана возможность замены стальных штанг на стеклопластиковые однонаправленные стержни, получаемые методом пултрузии. Снижение веса изделий наряду с повышенными антикоррозионными характеристиками является результатом такой замены.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, пултрузия, металлоемкость конструкций, стыковочные элементы металл-композит, нефтедобывающая промышленность.

В настоящее время трудно найти такую отрасль машиностроения, которая не нуждалась бы в снижении материалоемкости и особенно металлоемкости изделий. Хорошо известно, что применение полимерных композиционных материалов приводит к существенному снижению металлоемкости и, как следствие, массы изделия. Это сопровождается повышением коррозионной стойкости конструкций, сокращением сроков на их ремонт, а также способствует уменьшению энергоемкости производства и снижению его экологической опасности, особенно если она связана с загрязнением атмосферы. Однако полная замена металлических, чаще всего стальных, элементов конструкций на композитные представляется довольно сложной задачей, связанной с технологическими аспектами изготовления стыковочных элементов. Поэтому разработка таких элементов для совершенствования изделий современной техники представляется важной и актуальной задачей.

Отмеченные выше моменты играют существенную роль в некоторых направления машиностроения.

1. Нефте- и газодобывающие отрасли. Металлоемкость производства и оборудования очень высока, что связано с необходимостью использовать металлические каркасы буровых сооружений, большое количество стальных труб, мощное насосное оборудование, особенно для погружных насосных систем и т.п.
2. Добывающие отрасли, использующие шахтные методы добычи полезных ископаемых и угля. Шахтные крепи, поддерживающие боковые стены и потолок шахтных проемов, большое количество рельсовых коммуникаций, оборудование для подачи воздуха, удаления воды и т.д.

3. Производство металлообрабатывающих станков, станины которых, как и прочие агрегаты изготавливаются исключительно из металлов.

4. Судостроение и автомобилестроение потребляют в основном традиционные материалы, т.е. металлы и их сплавы.

Преимущества композиционных материалов над традиционными определяются, прежде всего, их сравнительно невысокой плотностью (стеклопластики – 2400-2600 кг/м^3, углепластики – 1400-1600 кг/м^3, органопластики 1200 – 1500 кг/м^3). Высокие прочностные характеристики композитов, показывающих удельные значения на порядок выше традиционных материалов.

Требования, предъявляемые к конструкциям соединительного узла металл - композит, характер нагрузок, действующих на соединение, зависят, прежде всего, от назначения и условий эксплуатации изделия. В соответствии с характером передачи нагрузок соединения подразделяются на стыковочные и поддерживающие [1]. К первым относятся механические и комбинированные соединения металл-композит, являющиеся наиболее распространенными конструкциями. В этих конструкциях все нагрузки, приходящиеся на стык, воспринимаются металлическими элементами и передаются на корпус изделия через композиционный материал. Группу поддерживающих соединений представляют конструкции, основная особенность которых связана с передачей напряжений на стыке непосредственно адгезионными прослойками. На рисунке 1 представлены характерные конструкции, относящиеся к этим типам соединений.

а б

Рисунок 1 – Типы соединений металл-композит в конструкциях:
а – внутренний металлический резьбовой элемент в стеклопластиковом корпусе;
б – металлический фланец композитного баллона давления

Рациональное проектирование соединительных элементов с целью снижения массы конструкции связано, прежде всего, с анализом факторов, влияющих не их несущую способность [2].

Конструктивные факторы влияют на выбор класса соединения, геометрических параметров, материала крепежного элемента, подкрепления в зоне стыка и т.д. Наиболее важными конструктивными факторами для сплошных соединений являются длина адгезионной прослойки, толщины соединяемых элементов, жесткости адгезионной прослойки и соединяемых элементов.

Технологические факторы определяют структурные параметры композиционного материала, его физико-механические характеристики, остаточные напряжения, возникающие в процессе изготовления соединения.

Эксплуатационные факторы непосредственно зависят от уровня и спектра внешних нагрузок, времени и температуры эксплуатации, ресурса работы изделия и состояния среды (особенно наличия влаги, которая может влиять на клеевую прослойку и металлическую компоненту соединения).

Анализ конструкций, использующих композиты и металлы, показал, что для них предпочтение отдается сплошным соединениям, которые широко распространены во многих отраслях машиностроения благодаря созданию конструкционных клеев на основе синтетических полимеров, зачастую являющихся компонентами полимерного связующего,

применяемого в композиционном материале. Клеевые соединения обладают рядом преимуществ:

– способны соединять самые разнообразные материалы, существенно отличающиеся по своим характеристикам;

– не приводят к ослаблению соединяемых элементов конструкции;

– не подвержены коррозии, позволяют создавать герметичные узлы;

– превосходят по прочности другие соединения при работе на срез;

– способствуют снижению массы конструкции;

– позволяют технологично и быстро осуществлять сборку соединения.

Некоторые недостатки клеевых соединений, особенно малое сопротивление отдирающим нагрузкам и возможности ползучести, легко преодолимы за счет дополнительных технологических приемов [3].

а б в г

Рисунок 2 – Способы формирования адгезионного (клеевого) соединения стали и однонаправленного стеклопластика в штангах погружного насоса: а – общий вид элемента соединения; б – адгезионно-клеевое соединение, уплотняемое внешним клеевым составом; в – адгезионное соединение, уплотняемое резьбовой втулкой; г – прямое адгезионное соединение без стальной муфты.

В качестве примера использования адгезионного соединения металла и композита можно привести экономически обоснованную замену стальных штанг-толкателей погружного насоса, работающего в нефтяной скважине. Замена стальной штанги на однонаправленную стеклопластиковую, изготавливаемую методом пултрузии, и узлы соединения отдельных стеклопластиковых фрагментов между собой и к исполнительным механизмам изготавливаются различными способами (рисунок 2), предусматривающими увеличение площади адгезионного контакта стали и композита.

Свойства и характеристики штанг ШН-25 для погружных насосов нефтедобычи приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики штанг погружных насосов в расчете на 100 метров длины

Материал штанги	Плотность, кг/м^3	Прочность при растяжении, МПа	Диаметр несущего стержня, мм	Масса штанги, кг	Весовое совершен-ство
Сталь высокопрочная	7800	1520	40	400	1
Однонаправ-ленный стеклопластик	2100	1750	25	103	3,88

Полученные результаты показали, что весовое совершенство изделий из однонаправленного стеклопластика является достаточно весомым. Кроме того, необходимо учитывать и увеличение срока службы таких изделий в условиях эксплуатации в средах с повышенным содержанием корродирующих реагентов при высоких температурах [4].

Работы в направлении разработки таких конструкций ведутся как в России, так и за рубежом. Большая часть работ посвящена способам повышения адгезионной прочности в соединении композита и металла. Это может происходить по нескольким направлениям:

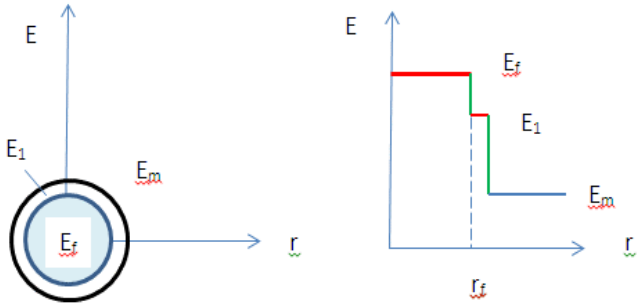
– подбор состава металла или его специальная подготовка (чаще всего, сплава) для усиления смачиваемости поверхности жидким связующим композита при формировании контакта;

– модификация связующего включением в его состав компонентов, обеспечивающих лучший эффект взаимодействия с поверхностью металла;

– модификация поверхности армирующих композит волокон с целью увеличения адгезии на границе раздела волокно-матрица.

Поверхность металлического фрагмента необходимо очистить от технологических загрязнений и масел, а также провести поверхностную подготовку для достижения необходимой точности механической обработки и снижения оксидной пленки.

Модификация связующего может снизить напряжение на границе раздела металл-композит вследствие появления промежуточного слоя (рисунок 3). Модуль упругости металла E_f, модуль упругости связующего (матрицы) E_m, E_1 – модуль упругости промежуточного слоя.



а б

Рисунок 3 – Использование двухосновного связующего для снижения влияния границы раздела металл-связующее на свойства композиционного материала:
а – схема нанесения барьерного слоя на поверхность металла;
б – изменение модуля упругости от металла к матрице[5]

Модификация армирующих волокон подразумевает нанесение на их поверхность активных по отношению к связующему центров химическими или радиационно-химическими методами. Это позволяет увеличить адгезионную прочность на границе волокно-матрица до достижения оптимального взаимодействия.

Указанные выше методы или их совокупность позволят увеличить энергию взаимодействия компонентов, а, следовательно, и адгезионную прочность границы металл-композит.

Таким образом, применение сплошных способов соединения элементов конструкций из металла и композиционного материала способствует выполнению основной задачи, связанной с высоконагруженными режимами эксплуатации. По мнению автора, связь элементов в таких конструкциях можно варьировать за счет разработки и обоснования методов улучшения адгезии для конкретных материалов, образующих эти элементы.

Список литературы

1. Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учеб. Для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.

2. Воробей В.В., Сироткин О.С. Соединение конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1985. – 166 с.

3. Маркин В.Б. Строительная механика композитных конструкций: Учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2004. – 180 с.

4. Воробей В.В., Маркин В.Б. Контроль качества изготовления и технология ремонта композитных конструкций. – Новосибирск: Наука, 2006. – 190 с.

5. Маркин В.Б. Оптимальное проектирование конструкций из композиционных материалов: учебное пособие / В.Б. Маркин; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – 144 с.

COMPOUNDS OF METAL COMPOSITEIN MODERN ENGINEERING

Markin V.B., D.Sc.(Engineering), Professor,

MarkinV.B.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenin Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

The use of polymeric composite materials in the designs of modern technology is associated with the need to reduce metal consumption and material consumption. However, the complete replacement of metals with composite materials is associated with great technical and technological problems, so the actual task is the development of docking elements that make connections between the metal and composite parts of the product.The methods of joining metals and composites, their features and the possibility of transferring loads are considered.For highly loaded structures, it is advisable to use solid compounds, in which the adhesive properties of the contacting components play an important role.Using the example of products used in the oil industry, it has been shown that it is possible to replace steel rods with fiberglass unidirectional rods obtained by pultrusion.Reducing the weight of products along with increased corrosion resistance is the result of this replacement.

Keywords: polymeric composite materials, pultrusion, metal consumption of structures, metal-composite docking elements, oil industry.

УДК620.22.539.21

ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ МЕХАНОАКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ИСХОДНОЙ ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ В СИСТЕМЕ TI–AL

МЯСНИКОВА.Ю. [1]*, аспирант,*
ЛОГИНОВА М.В. [1]*, канд.техн.наук, ст. научн. сотр.*
СОБАЧКИН А.В. [1]*, канд.техн.наук, ст. научн. сотр.*
ИВАНОВ С.Г. [1]*, канд. .техн.наук, инженер*
ЯКОВЛЕВ В.И. [1]*, канд. .техн.наук, доцент*
СИТНИКОВ А. А., [1]*докт. техн. наук, профессор.,*
ФИЛИМОНОВ В. Ю. [1]*, докт.физ-мат.наук., профессор,*
НЕГОДЯЕВ А.З. [1] *науч. сотр*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул ,Россия)

Мясников А.Ю., Логинова М.В., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Яковлев В.И., Ситников А.А., Филимонов В.Ю., Негодяев А.З.

656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул
тел. (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru

Аннотация

Работа посвящена исследованию влияния предварительной механоактивации на состояние порошковой смеси в системе Ti–Al. В результате проведенного исследования получены структурно-фазовые параметры порошка при энергонапряженности мельницы 20 g и времени механоактвации от 1 до 13 мин. Результаты показали, что для образования требуемых соединений требуется чрезмерно длительное механоактивационное воздействие. Главным требованием для получения монофазного продукта необходимо формирование максимально возможных микродеформаций без появления продуктов механического синтеза, что на данном режиме не представляется возможным. Это подтверждается дифрактограммами полученными на дифрактометре общего назначения ДРОН-6.

Ключевые слова: механоактивация, шихта, TiAl, смесь, дифрактограммы

Введение

Одним из наиболее перспективных направлений в области разработки новых металлических материалов с высоким уровнем жаростойкости и термической стабильности является создание интерметаллидных сплавов системы Ti–Al [1–6]. Эти сплавы в ближайшем будущем могут составить серьезную конкуренцию суперсплавам на основе никеля, так как алюминиды титана более легкие, не требуют для легирования дорогостоящих и дефицитных элементов. Кроме того, они обладают высокой коррозионной стойкостью, стойкостью к высокотемпературному окислению, а также имеют высокий модуль упругости и прочности. Алюминиды титана можно успешно использовать в виде литых изделий, например, клапанов сверхмощных двигателей внутреннего сгорания, также возможно применение в качестве покрытии для лопаток силовых механизмов нефтедобывающей промышленности.

Вопросам высокотемпературного синтеза алюминидов титана различной стехиометрии с использованием различных методов посвящено большое количество исследований. При этом традиционным методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) удалось получить лишь строго монофазное соединение $TiAl_3$. Строго монофазный продукт Ti_3Al удалось получить лишь в случае применения метода СВЧ сверхбыстрого нагрева смеси,

либо в случае применения предварительной механоактивации (МА) и последующей СВС-реакцией. Попытка получить строго монофазное соединение TiAl указанными методами не привели к успеху [7–11].

Проведя анализ способов, способствующих получению монофазного TiAl, может стать самораспространяющийся высокотемпературный синтез с предварительной механоактивацией (МАСВС). Преимущества МАСВС продемонстрированы в большом количестве работ [12–20]. При кратком рассмотрении последнее заключаются в следующем:

1. в результате предварительной механической активации реализуется практически идеальный контакт реагентов в твердой фазе;

2. в процессе активации поверхности реагентов очищаются от окислов и примесей;

3. в процессе механического воздействия на смесь происходит формирование неравновесных дефектов структуры, что приводит к интенсификации диффузионных процессов.

Целью работы является установление влияния предварительной механоактивации на состояние порошковой смеси в системе Ti–Al.

Описание теоретических и экспериментальных исследования

В качестве объектов исследований применяли порошки титана ПТХ со средним размером частиц 80 мкм и порошки алюминия АСД-1 со средним размером 20 мкм. Из указанных порошков готовили механическую смесь, варьируя соотношение Al и Ti по массовым процентам.

Процесс механоактивации происходит следующим образом состав и механоактивационные шары взвешивают на весах. Затем засыпают в барабаны и закрывают герметизирующей крышкой. Следующим этапом происходит выкачивание воздуха и закачка аргона в барабаны. Далее проводят механоактивацию и получают готовый для исследований продукт. Механоактивация осуществлялась в шаровой мельнице АГО-2С.

Фазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-6, с CuKα-излучением (λ =15,418 нм). Дифрактограммы всех образцов регистрировали в идентичных условиях, что позволяло более корректно сравнивать полученные величины. Шаг сканирования h = 0,05°, время экспозиции t = 3 с, угловой диапазон съемки 2Theta=20°–80°

Результаты и обсуждения

Для достижения поставленной цели нами были выбраны два параметра механоактивационной обработки, время механоактивации от 1 до 13 мин и энергонапрженность мельницы 20g.

На рисунке 1 приведены дифрактограммы исходной порошковой смеси определенного состава механоактивированных в течение 1, 4, 7, 10 и 13 мин. при величине энергонапряженности шаровой мельницы 20 g.

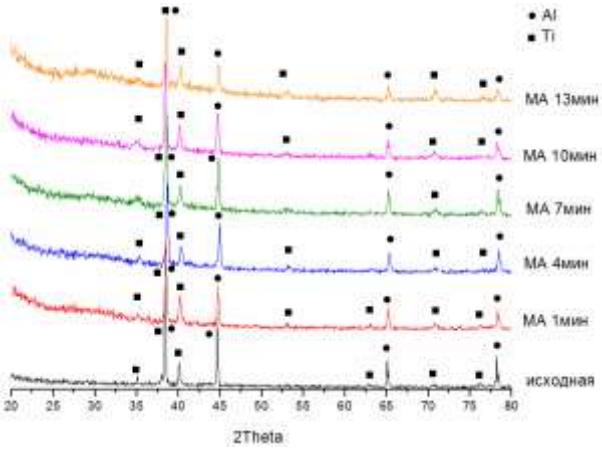


Рисунок 1 - Дифрактограммы смеси состава Ti+Al (исходной и механоактивированных при энергонапряженности мельницы 20 g)

Из анализа дифрактограмм следует, что увеличение времени механоактивационной обработки до 13 мин. приводит к незначительному уменьшению интенсивностей дифракционных отражений, уширению пиков, повышению диффузного фона (рисунок 1). При данных параметрах МА соединений не образуется.

В таблицах 1 и 2 приведены рассчитанные параметры элементарных ячеек для титана и алюминия при временах МА 1, 4, 7, 10 и 13 мин. при энергонапряженности мельницы 20 g. В расчете эталонные данные для Ti брались по (44-1294) ICDD Grant-in-Aid, Sailer, R., McCarthy, G., North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA.,1993; эталонные данные для Al – по (4-787) Natl. Bur. Stand.(U.S.),Circ. 539, Swanson, Tatge., I, 11, 1953 (База данных порошковой дифрактометрии PDWin 3.0).

При увеличении времени механоактивационной обработки у обоих компонентов происходит немонотонное изменение объемов ячеек. До 4 мин. МА объемы ячеек компонентов уменьшаются, однако с 4 до 7 мин. МА объемы ячеек увеличиваются, при 13 мин. МА вновь происходит их уменьшение.

Таблица 1– Структурные параметры Tiв порошковой смеси при различных временах механоактивации при энергонапряженности 20 g

Параметры ячейки	Структурные параметры титана						
	исходный порошок	после МА 20 g1 мин.	после МА 20 g4 мин.	после МА 20 g7 мин.	после МА 20g10 мин.	после МА 20 g 13 мин.	Эталон TiSys:Hexagonal
a, нм	29,52	29,49	29,40	29,48	29,51	29,44	29,51
c, нм	46,83	46,78	46,71	46,68	46,79	46,78	46,82
V, $нм^3$	35338	35242	35075	35157	35285	35116	35300

Таблица 2 –Структурные параметры Alв порошковой смеси при различных временах механоактивацииприэнергонапряженности20 g

Параметрыячейки	Структурные параметры алюминия						
	исходныйпорошок	после МА 20 g 1 мин.	после МА 20 g 4 мин.	после МА 20 g 7 мин.	после МА 20g 10 мин.	после МА 20 g 13 мин.	Эталон AlSys:Cubic
a, нм	40,53	40,47	40,42	40,43	40,48	40,54	40,49
V, $нм^3$	66595	66267	66051	66104	66339	66180	66600

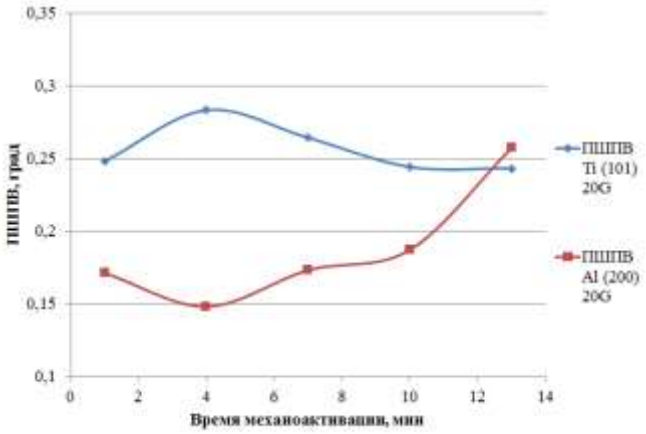
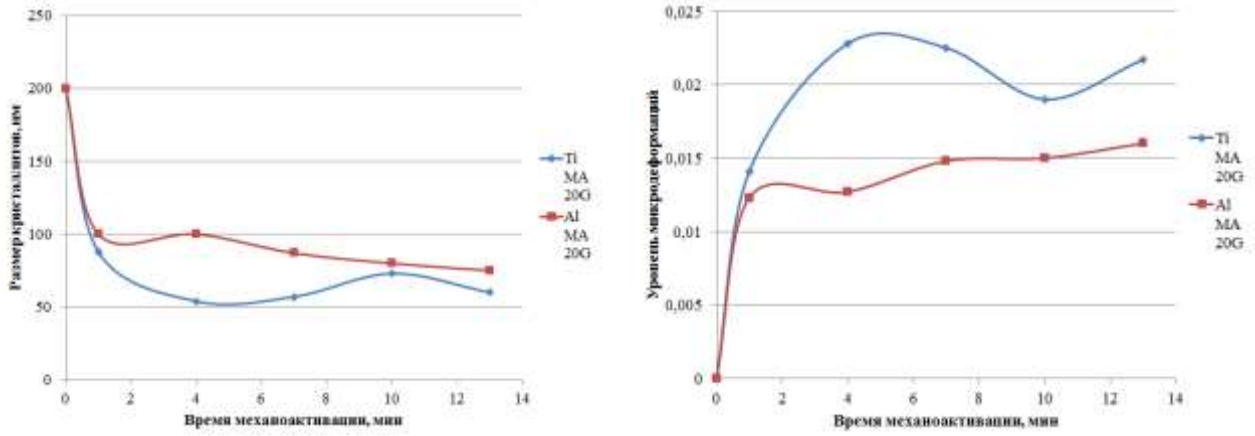


Рисунок 2 – Изменение ПШПВ титана и алюминия в зависимости от времени механоактивации при энергонапряженности мельницы 20 g

С увеличением времени МА до 4 мин. для титанового компонента наблюдается увеличение полуширины дифракционного отражения (ПШПВ) в направлении (101),

дальнейшее увеличение времени МА приводит к уменьшению ПШПВ пиков. Таким образом, для титанового компонента происходит основное уменьшение размеров кристаллитов и повышение уровня микронапряжений до 4 мин. МА. Для Al (200) при энергонапряженности 20 g до 4 мин. МА величина полуширины пика уменьшается, а далее, с увеличением времени МА, наблюдается постепенное уширение отражения Al (рисунок 2).

Из полученных экспериментальных данных были рассчитаны параметры тонкой структуры обоих компонентов. С увеличением времени механоактивационной обработки происходит уменьшение средних размеров кристаллитов (у Ti до ~ 55 нм, у Al до ~ 80 нм) до наноразмерного уровня, при этом растет уровень микронапряжений, как для алюминия, так и для титана (рисунок 3). Общей закономерностью для обоих компонентов является то, что измельчение зерна и увеличение уровня микродеформаций происходит главным образом до 4 мин. механоактивации.



а) б)

Рисунок 3– Изменение размеров кристаллитов (а) и уровня микродеформаций компонентов (б) в зависимости от времени механоактивации при энергонапряженности мельницы 20 g

В результате проведенного исследования выяыленно в процессе механоактивационного воздействия на порошковую смесь определенного состава с увеличением времени МА от 1 до 13 мин. при энергонапряженности мельницы 20 g происходит немонотонное изменение параметров ячеек компонентов. Минимальное значение объема ячеек как для титана, так и для алюминия достигается при 4 мин. МА, максимальное при 10 мин. МА. Уменьшение размеров кристаллитов до наномасштабного уровня и увеличение уровня микронапряжений наблюдается уже на первых минутах механоактивационной обработки. Интерметаллидных соединений в порошковой смеси на рассмотренных временах МА не наблюдалось.

Выводы

Реализация процесса МА при энергонапряженности 20 g требует чрезмерно длительного механоактивационного воздействия. Одним из определяющих факторов для выбора оптимального режима является формирование максимально возможных микродеформаций без появления продуктов механического синтеза при заданных режимах размола.

Работа проводилась в рамках государственного Задания № 11.1085.2017/4.6 на НИОКР в 2018 году Министерства образования и науки РФ по теме «Фундаментальные основы синтеза механоактивированных материалов с аморфной, нанокристаллической, интерметаллидной структурой под воздействием концентрированных источников энергии».

Литература

1. Мухин В.С. Основы технологии машиностроения (авиа– двигателестроения). Уфа: Изд-во УГАТУ, 2007. 459 с.

2. Павлинич С.П., Зайцев М. В. Применение интерметаллидных титановых сплавов при литье узлов и лопаток ГТД с облегченными высокопрочными конструкциями для авиационных двигателей новых поколений. Вест. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2011. Т. 15. № 4. С. 200–202.

3. Иванов В.И., Ясинский К.К. Эффективность применения жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов Ti3Al и TiAl для работы при температурах 600…800 °С в авиационной технике. Технология легких сплавов. 1996. № 3. С. 7–12.

4. Полькин И.С., Колачев Б.А.,. Ильин А.А. Алюминиды титана и сплавы на их основе. Технология легких сплавов. 1997. № 3. С. 32–39.

5. Банных О.А., Поварова К.Б., Браславская Г.С. Механические свойства литых сплавов γ-TiAl. Металловедение и термическая обработка металлов. 1996. № 4. С. 11–14.

6. Ситников А.А., Собачкин А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Свиридов А.П. Особенности структурного состояния механокомпозитов на основе алюминия для газодетонационного напыления покрытий. Наукоемкие технологии в машиностроении. 2017. № 12 (78). С. 20–25.

7. Che H.Q., Fan Q.C. Microstructural evolution during the igntion/quenching of pre-heated Ti/3Al powders. Journal of Alloys and Compounds. 2009. Vol.475. P.184–190.

8. Medda E., Delogu F., Cao G. Combination of mechanochemical activation and self-propagatingbehaviour for the synthesis of Ti aluminides. Materials Science and Engineering A. 2003. Vol. 361. P.23–28.

9. Lagosa M.A., Agotea I., Gutiérreza M., Sargsyana A., Pambaguian L. Synthesis of γ-TiAl by thermal explosion + compaction route:Effect of process parameters and post-combustion treatment on product microstructure. International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 2010. Vol. 19. №. 1. P. 23–27.

10. Novak P., Kubasek J., Serák J., Vojtech D., Michalcova A. Mechanism and kinetics of the intermediaryphase formation in Ti–Al and Ti–Al–Si systemsduring reactive sintering. International Journal of Materials Research. 2009. Vol.100. №3. P.353–355.

11. Loginova M.V., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Sobachkin A.V., Ivanov S.G., Negodyaev A.Z., Gradoboev A.V. The evolution of structural and phase states of titanium aluminides after gamma irradiation in small doses. Physics of Metals and Metallography. 2017. Vol. 118. №. 2. P. 170–175. doi: 10.1134/S0031918X17020089.

12. ВьюшковБ.В., ЛевашовЕ.А., ЕрмиловА.Г., ПитюлинА.Н., БоровинскаяИ.П., ЕгорычевК.Н. Обособенности влияния предварительной механической активации шихты на параметры СВС-процесса, структуру и свойства многокомпонентного кермета марки СТИМ- 5. Физика горения и взрыва. 1994. –Т. 30, № 5. С. 63–67.

13. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов Ti+Al после облучения. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464–469.

14. Егорычев К.Н., Курбаткина В.В., Нестеренко Е.Ю. Влияние механического активирования на взаимодействие в системе молибден-кремний. Изв. ВУЗов. Цветная металлургия. 1996. № 1. С. 71–74.

15. Ситников А.А., Градобоев А.В., Яковлев В.И., Логинова М.В., Собачкин А.В., Мясников А.Ю., Грибов Ю.Е. Воздействие гамма облучения на структуру и фазовое состояние системы Ti – Al. Инновации в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. С. 413–420.

16. Итин В.И., Монасевич Т.В., Братчиков А.Д. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель. Физика горения и взрыва. 1997. Т. 30, № 5. С. 48–51.

17. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Доклады РАН. 1999. Т.369, № 3. С.345–347.

18. Корчагин М.А., Григорьева Т.Ф., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Твердофазный режим самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Докл. РАН. 2000. Т. 372. № 1. С. 40–42.

19. Логинова М.В., Собачкин А.В., Ситников А.А., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Иванов С.Г., Мясников А.Ю., Негодяев А.З., Градобоев А.В. Структурное состояние активированной порошковой смеси Ti+Al при изменении времени механоактивации и доз гамма-облучения. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2018. Т. 15. № 1. С. 68–73.

20. Sobachkin A. V., Loginova M. V., Sitnikov A. A., Yakovlev V. I., Filimonov V. Yu., Gradoboev A. V. Stimulation of processes of self-propagating high temperature synthesis in system Ti + Al at low temperatures by influence of γ-quanta. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327. – P. 032051.

THE INFLUENCE OF PRELIMINARY MECHANICAL ACTIVATION ON THE STRUCTURAL-PHASE STATE OF THE INITIAL POWDER MIXTURE IN THE SYSTEM TI–AL

Miasnikov A. Yu.Post-graduate Student,
Loginova M. V. PhD. (Engineering),Senior Researcher
Sobachkin A. V.PhD. (Engineering), Senior Researcher
Ivanov S. G.PhD. (Engineering), Engineer
Yakovlev V. I.,PhD (Engineering), Associate Professor
Sitnikov A. A., D.Sc. (Engineering), Professor
Filimonov V.Yu.Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor
Negodyaev A. Z.Head of Laboratory

Miasnikov A. Yu., Loginova M. V., Sobachkin A. V., Ivanov S. G., Yakovlev V. I., Sitnikov A. A., Filimonov V.Yu., Negodyaev A. Z.

Polzunov Altai state technical university
656038, Russia, Altaiskii krai, gor Barnaul, pr Lenina 46, tel (3852) 29-08-15

Abstract

The work is devoted to the study of the effect of preliminary mechanical activation on the state of the powder mixture in the ti–Al system. The analysis showed that the preparation of a single-phase product requires a SAF-reaction with preliminary mechanoactivation. For the study, we selected titanium powders PTH with an average particle size of 80 microns and aluminum powders ASD - 1 with an average size of 20 microns. We have chosen the method of pre-mechanoactivation to achieve this goal. Two parameters were varied during mechanical activation: the time of mechanical activation from 1 to 13 minutes and the energy capacity of the mill 20 g. As a result, the structural and phase parameters of the powder are received, which show that the implementation of the mechanoactivation process at an energy intensity of 20 g requires an excessively long exposure. One of the determining factors for the choice of the optimal mode is the formation of the maximum possible micro-deformations without the appearance of products of mechanical synthesis at the specified modes of grinding, which is not possible in this modeof mechanoactivation. It is confirmed by diffractograms which were obtained on a General-purpose diffractometer DRONE-6.

Keywords: mechanical activation, the mixture, TiAl, composite, diffraction

УДК620.22.539.21

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА TIAL В МЕХАНОАКТИВИРОВАННОЙ γ-ОБЛУЧЕННОЙ СМЕСИ

ЛОГИНОВА М.В.[1], канд.техн.наук, ст. научн. сотр.
СОБАЧКИН А.В.[1], канд.техн.наук, ст. научн. сотр.
СИТНИКОВ А. А.,[1] докт.техн.наук, профессор,
ЯКОВЛЕВ В.И.[1], канд.техн.наук, доцент
ФИЛИМОНОВ В. Ю.[1], докт.физ-мат.наук, профессор,
ИВАНОВ С.Г.[1], канд.техн.наук, инженер
МЯСНИКОВА.Ю.[1], аспирант,
НЕГОДЯЕВА. З.[1] науч. сотр
ГРАДОБОЕВ А.В.[2] докт. техн. наук, профессор
([1]АлтГТУ, г. Барнаул ,Россия
[2]НИТПУ, г.Томск , Россия)

Логинова М.В., Собачкин А.В., Ситников А.А., Яковлев В.И., Иванов С.Г., Мясников А.Ю., Филимонов В.Ю., Негодяев А.З., Градобоев А.В.

656038, Российская Федерация, Алтайский край, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30тел. (3852) 29-08-15
E-mail: anicpt@rambler.ru

Анотация

В работе проводили высокотемпературный синтез механоактивированных и механоактивированных γ-облученных систем состава Ti + Al. В первом случае синтезируется многофазный продукт в нестабильном состоянии, однако при отжиге 2 минуты на дифрактограммах видно преобладание рефлексов фазы TiAl при небольшом количестве метастабильной фазы Ti_3Al_5.

При СВС в механоактивированной и γ-облученной смеси с двухминутным отжигом образуется строго монофазный интерметаллид TiAl, в отличие от предыдущего случая не распадающийся при увеличении времени отжига до 7 минут. Таким образом, воздействие гамма-квантов на механоактивированную систему приводит к формированию структурнооднородного соединения TiAl.

Ключевые слова: порошковая смесь, алюминий, титан, механоактивационная обработка, γ-облучение, дозы поглощения, структурные параметры, микронапряжения, микроструктура.

Введение

В последнее время широкое распространение получил механостимулированный высокотемпературный синтез (МАСВС) [1-3]. В результате предварительной механической активации реализуется практически идеальный контакт реагентов в твердой фазе. В этом случае система чаще всего характеризуется матричной структурой, когда один из компонентов (более хрупкий) находится в объеме более пластичного [4]. В процессе механического воздействия на смесь поверхности реагентов очищаются от окислов и примесей, также происходит формирование неравновесных дефектов структуры, что приводит к интенсификации диффузионных процессов [5-7]. Указанные особенности позволяют инициировать процесс высокотемпературного синтеза в твердой фазе [8]. Основными управляющими параметрами активационного воздействия являются продолжительность

механической активации и интенсивность силовой нагрузки на порошковую смесь [9]. Установлено, что рост времени механоактивации (МА) приводит к снижению температуры воспламенения и энергии активации реакции [10]. В ряде случаев, при реализации высокотемпературного синтеза может формироваться монофазный продукт реакции [11]. Однако, возможности влияния режимов синтеза на процессы структурообразования ограничены. Можно предположить, что отжиг образцов после синтеза будет способствовать структурной релаксации системы и, как следствие, быстрой диффузионной перекристаллизации и формированию продукта, близкого к монофазному [12].

Также следует заметить, что предварительная механическая активация является способом «грубого» воздействия на порошковую смесь. Продолжительность воздействия здесь измеряется минутами, и возможности «тонкого» управления структурой весьма ограничены. Кроме того, при определенной продолжительности воздействия происходят процессы «отравления» смеси продуктами реакции (механохимический синтез) [13]. Поэтому, особый интерес для реализации «тонкого» управления структурой представляет использование γ-облучения систем, находящихся в неравновесном состоянии [14, 15]. Установлено, что во многих случаях γ-облучение может служить эффективным технологическим инструментом, который позволяет получать качественные материалы, существенно усовершенствовать и удешевить производство многих порошковых материалов, улучшить их качество, а также изменить свойства [16-18]. Важно, что при облучении быстрыми электронами или γ-квантами радиационные дефекты формируются равномерно по объему образца.

В настоящей работе были проведены экспериментальные исследования по изучению влияния воздействия гамма-облучения на структуро- и фазообразование конечного продукта в предварительно механоактивированной порошковой смеси Ti+Al при проведении высокотемпературного отжига (после реализации теплового взрыва).

Методика экспериментального исследования

В качестве объектов исследований использовались порошки титана ПТХ и порошки алюминия АСД-1. Приготавливалась механическая смесь из порошков Al+Ti. Затем проводилась механоактивационная обработка исходной порошковой смеси [19].

Далее осуществлялось облучение механоактивированных порошковых смесей γ-квантами на установке «Исследователь» (изотоп ^{60}Co) при нормальных климатических условиях. Уровень воздействия γ-квантов характеризовалось поглощенной дозой Dγ: $5 \cdot 10^4$ Гр [20, 21].

Для реализации быстрого разогрева смеси до высоких температур использовался индукционный нагрев стенок графитового тигля [22]. После достижения максимальных температур синтеза, отключение нагревательного элемента не проводилась, нагрев смеси продолжался вплоть до величины равновесной температуры.

Структурно-фазовый анализ образцов проводился на дифрактометре ДРОН-6 с применением пакета программ PDWin, с CuKα-излучением (λ=15,418 нм). Шаг сканирования h=0,05°, время экспозиции t=3с. Дифрактограммы всех образцов регистрировались в идентичных условиях, что позволило более корректно сравнивать полученные величины.

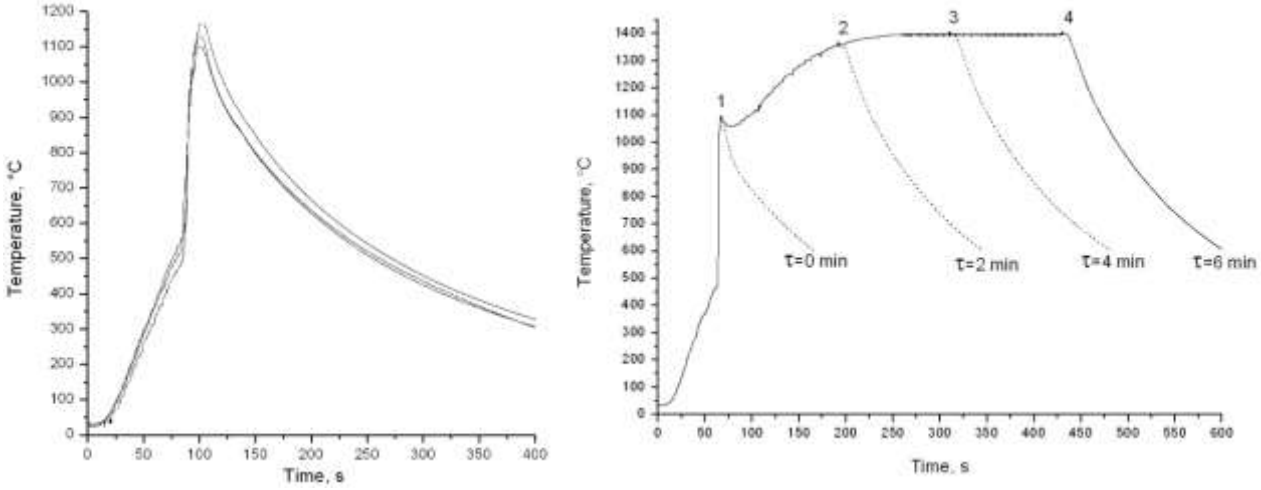
Результаты эксперимента и обсуждение

После изучения дифрактограмм смеси, механоактивированной 7 мин. и далее подвергнутых облучению γ-квантами с увеличением поглощенной дозы, установлено, что после воздействия γ-облучения на смесь интенсивности рефлексов увеличиваются, что качественно свидетельствует о повышении кристалличности структуры компонентов смеси в процессе γ-облучения. Однако, уширенные пики указывают на сохранение наноструктурного состояния кристаллитов и о наличии остаточных микродеформаций.

Синтез интерметаллидных соединений проводился методом индукционного нагрева в режиме теплового взрыва. На рис. 1, а) представлены характерные термограммы синтеза исходной порошковой смеси.

По данным измерений скорость нагрева смесей составляла около 500 К/мин. Для исходной смеси температура воспламенения составляла T_{ig} = 528 ± 12 °С, максимальные температуры синтеза: T_{max} = 1140 ± 20 °С. Инициирование теплового взрыва может наблюдаться в твердой фазе по причине высокой скорости предварительного нагрева [22], а скорость нагрева существенным образом влияет на фазовый состав продукта реакции. Однако следует заметить, что в работе [23], скорости нагрева составляли от 10 до 50 К/мин. В настоящем исследовании, благодаря индукционному нагреву, скорости разогрева почти на порядок выше.

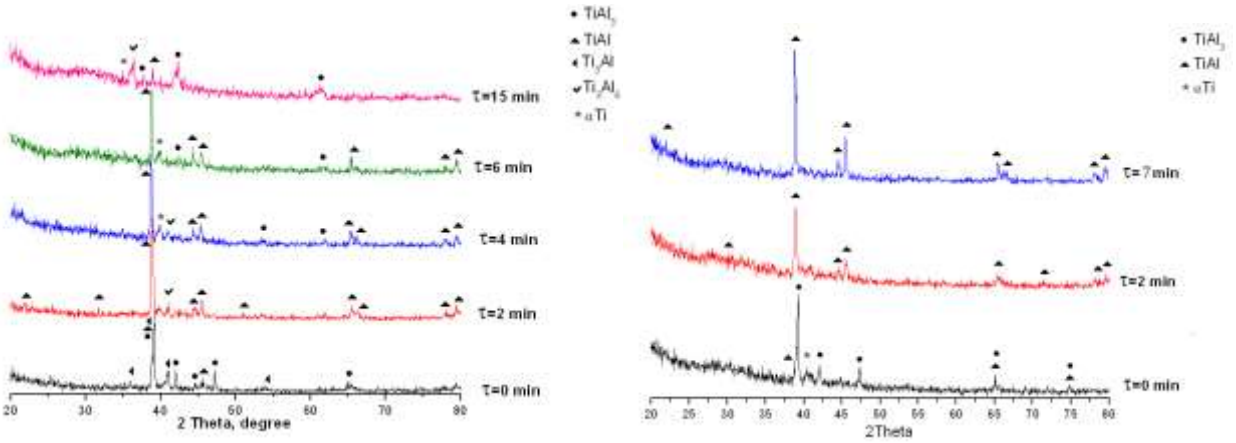
На рис. 1, б) представлены характерные термограммы синтеза механоактивированной 7 мин. порошковой смеси. Полученные результаты позволяют констатировать факт снижения температуры воспламенения. Одной из причин снижения является уменьшение энергии активации реакции под воздействием предварительной механической активации [24].



а) б)

Рисунок 1 – Характерные термограммы синтеза порошковой смеси Ti + Al:
а) исходной неактивированной смеси, б) механоактивированной смеси

После осуществления процесса синтеза отключение нагревающего элемента не производилось, и нагрев смеси продолжался вплоть до величины равновесной температуры. Процесс быстрого синтеза непрерывно переходил в процесс изотермического отжига.



а) б)

Рисунок 2 – Дифрактограммы синтезированных продуктов при реализации СВС в порошковой смеси Ti+Al для различных времен отжига: а) механоактивированной, б) механоактивированной и облученной γ-квантами с $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр

На рис. 2, а) представлены дифрактограммы продуктов синтеза активированной 7 мин. порошковой смеси, соответствующие разным временам отжига. При отключении системы сразу после завершения химической реакции результатом синтеза является многофазный продукт, в котором преобладает соединение $TiAl_3$. В исследовании [25] показано, что независимо от состава смеси именно это соединение является первой кристаллизующейся фазой.

Однако с ростом времени отжига происходит трансформация дифрактограмм. Наблюдается распад основной γ-фазы (TiAl), идентифицируются уширенные, с малой интенсивностью, отражения Ti_3Al_5, $TiAl_3$, TiAl, α-Ti. Появление рентгеноаморфного гало на малых углах свидетельствует о возможном формировании неравновесного аморфно-кристаллического состояния фаз интерметаллидов.

Исследование структуры образцов, характерной для режима синтеза без отжига, показало наличие четкой границы раздела фаз, при этом содержание компонентов меняется в широком диапазоне. Однако элементы структуры, содержащие области чистого титана, отсутствуют. На рис. 3 представлено распределение компонентов после 2 мин. отжига. В данном случае распределение реагентов в объеме композита является более равномерным. Границы раздела фаз наблюдаются лишь по краям композита. Состав элемента структуры близок к эквиатомному, что соответствует стехиометрии соединения TiAl. Таким образом, высокотемпературный отжиг в течение 2 мин. приводит к более равномерному распределению атомов реагентов по объему композита.

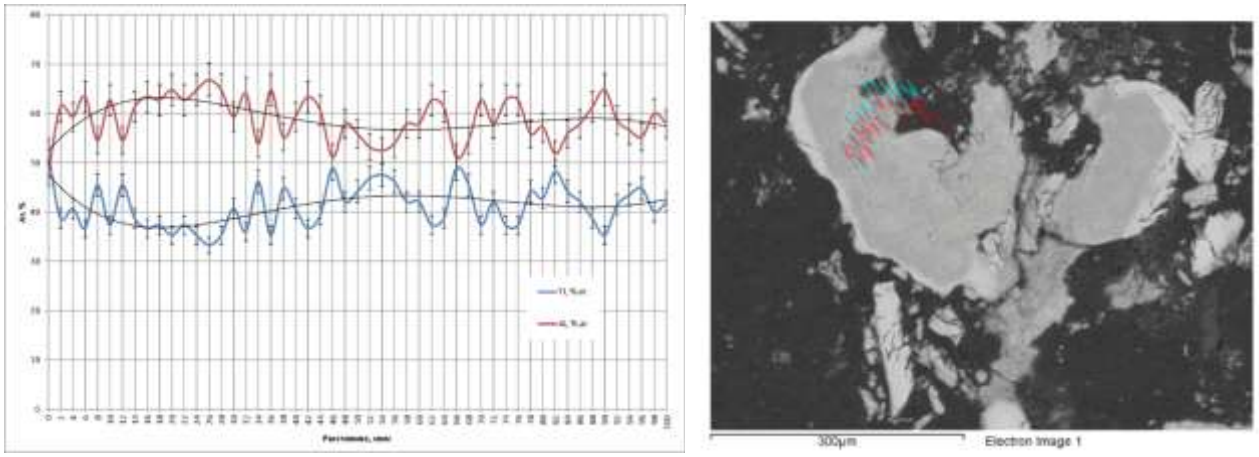


Рисунок 3 – Распределение компонентов в объеме продукта синтеза для режима без отжига

При синтезе предварительно механоактивированных и γ-облученных реагентов установлено, что качественного различия между термограммами синтеза не обнаружено. На рис. 2, б) приведены характерные дифрактограммы продуктов, полученные при высокотемпературном синтезе предварительно механоактивированной в течение 7 мин. порошковой смеси Ti + Al при энергонапряженности мельницы 40 g, а затем облученной γ-квантами при $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр. При увеличении времени отжига до 7 мин. распада фазы TiAl не происходит, как это наблюдалось при синтеза механоактивированных смесей Ti + Al без воздействия γ-облучения, более того, на дифрактограммах наблюдаются увеличение интенсивности отражений фазы, пики сужаются, уменьшается уровень диффузного фона, что свидетельствует о стабилизации TiAl.

На рис. 4 представлена характерная картина распределения компонентов в объеме механокомпозита для режима: 7 мин. МА при энергонапряженности мельницы 40 g, $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр, время отжига 7 мин. Система характеризуется высокой степенью однородности распределения компонентов в объеме механокомпозита, в соответствии со стехиометрией соединения TiAl. После воздействия γ-облучения на механоактивированную смесь удалось синтезировать строго монофазный продукт γ(TiAl).

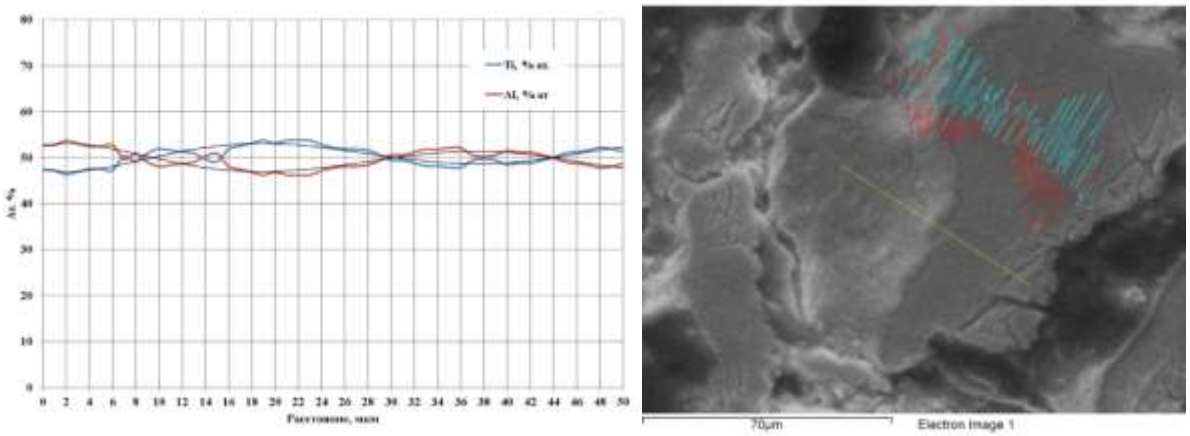


Рисунок 4 – Распределение компонентов в объеме продукта синтеза для режима 7 мин. МА, $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр, выдержка 7 мин.

Выводы

Воздействие γ-облучения на механически активированную смесь состава Ti (64 мас.%)+Al приводит к изменению на микроуровне структурных состояний компонентов смеси. Указанные изменения носят несистематический характер и могут определяться процессами возврата, которые связаны, прежде всего, с высокой скоростью восходящей диффузии радиационно-индуцированных точечных дефектов. Предположительно, радиационно-стимулированная диффузия приводит к интенсификации процессов растворения титанового компонента в матрице и, как следствие, способствует гомогенизации системы.

Анализ особенностей протекания процессов высокотемпературного синтеза в активированных смесях, с последующим высокотемпературным отжигом, позволяет сделать вывод о стадийности процессов фазообразования, которая, в свою очередь, определяется временами МА и высокотемпературного отжига. На первом этапе реализуется высокотемпературный синтез, результатом которого является формирование неравновесного, многофазного продукта. На втором этапе происходят процессы структурной релаксации, результатом которой является формирование практически монофазного продукта, близкого к интерметаллидному соединению TiAl. На третьем этапе происходит переход к установлению термодинамического равновесия, который сопровождается кристаллизацией фаз, находящихся в равновесии друг с другом при температуре отжига. Таким образом, возникает прямая возможность управления процессами фазообразования путем варьирования временами механической активации и отжига.

Анализируя особенности протекания процессов высокотемпературного синтеза в активированных и облученных смесях с последующим высокотемпературным отжигом, можно сделать вывод о том, что при дополнительном воздействии гамма-облучения на механоактивированную 7 мин. смесь, при поглощенной дозе $D\gamma = 5 \cdot 10^4$ Гр и времени высокотемпературного отжига с 2 мин., формируется строго монофазный продукт состава TiAl с высокой степенью однородности распределения компонентов в объеме механокомпозита. Чрезвычайно важным является тот факт, что длительный высокотемпературный отжиг не приводит к распаду соединения и формированию набора интерметаллидных равновесных фаз, как в случае механоактивированной смеси без облучения. Напротив, увеличение времени отжига способствует стабилизации соединения. Следовательно, влияние γ-облучения на исходную смесь, при определенных условиях, приводит к получению структурно однородных продуктов состава TiAl.

Можно предположить, что процессы радиационно-стимулированной диффузии способствуют процессам растворения и гомогенизации, изменяют области гомогенности фаз и твердых растворов в объеме механокомпозита, создают благоприятные условия для взаимной твердофазной диффузии на межфазных границах. Таким образом, воздействие γ-облучения можно рассматривать как тонкий инструмент для изменения структурного

состояния активированных смесей. Следует заметить, что влияние γ-облучения на матричную структуру активированных смесей требует дальнейших исследований.

Работа проводилась в рамках государственного Задания № 11.1085.2017/4.6 на НИОКР в 2018 году Министерства образования и науки РФ по теме «Фундаментальные основы синтеза механоактивированных материалов с аморфной, нанокристаллической, интерметаллидной структурой под воздействием концентрированных источников энергии».

Список литературы

1. Итин В.И., Монасевич Т.В., Братчиков А.Д. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 30. № 5. С. 48–51.

2. Григорьева Т.Ф., Корчагин М.А., Баринова А.П., Ляхов Н.З. Влияние механохимической активации на концентрационные границы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза // Доклады РАН. 1999. Т. 369. № 3. С. 345–347.

3. BernardF., GaffetE. MechanicalalloyinginSHSresearch // InternationalJournalofSHS. 2001. № 2. P. 109–131.

4. Ляхов Н. З., Талако Т.Л., Григорьева Т.Ф.Влияние механоакивации на процессы фазо- и сруктурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе.Новосибирск : Параллель, 2008. 168 с.

5. White J.D.E., Reeves R.V., Son S.F., Mukasyan A.S. Thermal explosion in Al-Ni system: Influence of mechanical activation // Journal of Physical Chemistry A. 2009. V. 113. P. 13541–13547.

6. Mukasyan A.S., White J.D.E., Kovalev D., Kochetov N., Ponomarev V., Son S.F. Dynamics of phase transformation during thermal explosion in the Al-Ni system // Influence of mechanical activation : Physica B. 2010. V. 405. P. 778–784.

7. Shteinberg A.S., Lin Ya-Cheng, Son S.F., Mukasyan A.S. Kinetics of high temperature reaction in Ni-Al System: Influence of mechanical activation // Journal of Physical Chemistry A. 2010. V. 114. P. 6111–6116.

8. Korchagin M.A., Dudina D.V. Application of self-propagating high-temperature synthesis and mechanical activation for obtaining nanocomposites // Combustion Explosion and Shock Waves. 2007. Vol. 43. P. 176–187.

9. Филимонов В.Ю., Корчагин М.А., Смирнов Е.В., Ляхов Н.З. Макрокинетика твердофазного синтеза активированной смеси 3Ni+Al в режиме теплового взрыва // Физика горения и взрыва.2010. Т. 46. № 4. С. 90–98.

10. Popova A.A., Sobachkin A.V., Nazarov I.V., Yakovlev V.I., Loginova M.V., Sitnikov A.A., Sharafutdinov M.R., Lyakhov N.Z. Dynamic diffractometry of phase transformations during high-temperature synthesis in mechanically activated powder systems in the thermal explosion mode // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2013. Т. 77. № 2. P. 120-122.

11. Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Логинова М.В., Негодяев А.З., Яковлев В.И., Шрейфер Д.В. Особенности структурно-фазовых переходов в механоактивированной порошковой смеси 3Ti+Al при высокотемпературном синтезе в условиях нагрева высокочастотными электромагнитными полями // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2015. Т. 12. № 1. С. 16-25.

12. Filimonov V.Yu., SitnikovA.A., Afanas’evA.V., LoginovaM.V., YakovlevV.I., NegodyaevA.Z., SchreiferD.V., Solov’ev V.A. Microwave assisted combustion synthesis in mechanically activated 3Ti + Al Powder Mixtures: Structure Formation Issues// International Journal of SHS. 2014. Vol. 23. № 1. P. 18–25.

13. КорчагинМ.А., ГригорьеваТ.Ф., БохоновБ.Б., ШарафутдиновМ.Р., БариноваА.П., ЛяховН.З. Твердофазный режим горения в механоактивированных СВС-системах. I. Влияние продолжительности механической активации на характеристики процесса и состав продуктов горения // Физика горения и взрыва. 2003. Т. 39. № 1. С. 51–59.

14. Шалаев А.М. Структура и свойства металлов и сплавов. Свойства облученных металлов и сплавов. Киев : Наукова Думка, 1985. 307 с.

15. Андриевский Р.А. Влияние облучения на свойства наноматериалов // Физика металлов и металловедение. 2010. Т. 110. № 3. С. 243–254.

16. Мамонтов А.П., Чернов И.П. Эффект малых доз ионизирующего излучения. М. : Энергоатомиздат, 2001. 286 с.

17. Loginova M.V., YakovlevV.I., SitnikovA.A., SobachkinA.V., IvanovS.G., NegodyaevA.Z., Gradoboev A.V. The Evolution of Structural and Phase States of Titanium Aluminides after γ Irradiation in Small Doses // Physics of Metals and Metallography.2017. Vol. 118. № 2. P. 170–175.

18. Логинова М.В., Собачкин А.В., Ситников А.А., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Иванов С.Г., Мясников А.Ю., Негодяев А.З., Градобоев А.В. Структурное состояние активированной порошковой смеси Ti+Al при изменении времени механоактивации и доз гамма-облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2018. Т. 15. № 1. С. 68–73.

19. FilimonovV.Yu., SytnikovA.A., YakovlevV.I., LoginovaM.V., AfanasyevA.V., NegodyaevA.Z. TheFeaturesof Structure Formationin Mechanically Activated Powder Mixture 3Ti+Alinthe Thermal Explosion Mode // Applied Mechanicsand Materials. 2014. V. 621. P. 71-76.

20. Логинова М.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Ситников А.А., Собачкин А.В., Иванов С.Г., Градобоев А.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов Ti+Al после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2017. Т. 14. № 4. С. 464-469.

21. Логинова М.В., Яковлев В.И., Ситников А.А., Филимонов В.Ю., Собачкин А.В., Негодяев А.З., Градобоев А.В. Структурные превращения в механоактивированной порошковой смеси Ti+Al под действием γ-облучения // Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3. С. 398-403.

22. LoginovaM.V., FilimonovV.Yu., YakovlevV.I., SitnikovA.A., NegodyaevA.Z., ShreiferD.V. Analysisof the Influence of High Temperature Synthesis Parameters on the Structure Formation in the Mechanically Activated 3Ti+Al Powder Mixture // Applied Mechanics and Materials. 2015. V. 788. P. 117–122.

23. Yi H.C. PetricA., Moore J.J. Effect of heating rate on the combustion synthesis of Ti-Al intermetallic compounds // Journal of Material Science. 1992. V. 27. P. 6797–6806.

24. Rogachev A.S., ShkodichN.F., VadchenkoS.G., BarasF., KovalevD.Yu., RouvimovS., NepapushevA.A., Mukasyan A.S. Influence of the high energy ball milling on structure and reactivity of the Ni + Al powder mixture // Journal of Alloys and Compounds. 2013. V. 577. P 600– 605.

25. Che H.Q., Fan Q.C. Microstructural evolution during the ignition/quenching of pre-heated Ti/3Al powders // Journal of Alloys and Compounds. 2009. V. 475. P. 184–190.

FEATURES OF HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS OF TI–AL IN A MECHANICALLY ACTIVATED Γ-IRRADIATED MIXTURE

Loginova M. V. PhD (Engineering), Senior Researcher
Sobachkin A. V. PhD (Engineering), Senior Researcher
Sitnikov A. A., D.Sc. (Engineering), Professor
Yakovlev V. I., C. Sc. (Engineering), Associate Professor
Miasnikov A. Yu.Post-graduate Student,
Filimonov V.Yu.Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor
Ivanov S. G. PhD. (Engineering), Engineer
Negodyaev A. Z. Head of Laboratory
Gradoboev A. V.,D.Sc. (Engineering), Professor

LoginovaM. V., SobachkinA. V., Sitnikov A. A., YakovlevV. I., MiasnikovA. Yu., Filimonov V.Yu., IvanovS. G., NegodyaevA. Z.,Gradoboev A. V.

Polzunov Altai State Technical University
656038, Russia, Altaiskii krai, gor Barnaul, pr Lenina 46, tel (3852) 29-08-15
National Research Tomsk Polytechnic University,
Lenina pr., 30, Tomsk, 634050, Russia

Abstract

The use of γ-irradiation of systems in a nonequilibrium state for realizing «fine» structure control is of particular interest. High-temperature synthesis was conducted under identical conditions in mechanically activated powder mixtures and mechanically activated γ-irradiated powder mixtures of the same Ti + Al composition.

When turning the system off immediately after the completed chemical reaction, the result of the synthesis in the activated mixtures is a multiphase product in a nonequilibrium state. The system stabilizes with increasing exposure. After 2 min annealing the diffraction patterns show the prevailing reflections of TiAl and a small amount of metastable Ti_3Al_5 phase. The main TiAl phase decays with further increase of annealing time.

The result of SHS in Ti + Al powder mixture preliminarily mechanically activated and then irradiated by γ-quanta with 2 min annealing is a monophasic TiAl intermetallic compound, the stabilization of system is observed. With an increase of annealing time up to 7 minutes, there is no decomposition of TiAl phase. Thus, the influence of gamma radiation on the initial mixture under certain conditions leads to the formation of a structurally homogeneous product of TiAl composition.

Keywords: powder mixture, aluminum, titanium, mechanical activation treatment, γ-irradiation, absorption doses, structural parameters, microstresses, microstructure.

УДК 629.4

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ФРИКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЕТАЛЕЙ ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

МАРКОВ А. М. [1] – докт.техн. наук, профессор
ГАБЕЦ А. В. [2] – канд. техн. наук, директор по развитию
ИВАНОВ А.В.[1] – аспирант
ГАБЕЦ Д. А. [1] – аспирант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия
[2] ООО «АСЛЗ», г. Барнаул, Россия)

Марков А.М., Габец А.В., Иванов А. В., Габец Д.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр. Калинина 116/52,
Алтайский сталелитейный завод,
e – mail: andmarkov@inbox.ru
e-mail: gabets22@mail.ru
e-mail: d.lenya.ne@yandex.ru
e-mail: gabets22@mail.ru

Аннотация

Порошковый фрикционный материал на основе железа применяется в динамически высоконагруженных узлах трения. Фрикционный материал состоит из матрицы, смазывающих элементов и фрикционного наполнителя. Каждый из этих компонентов отвечает за правильную работу материала и фрикционного узла в целом. Главной целью исследований является создание новой оптимальной композиции, работающей в условиях сухого трения при высоких динамических нагрузках и высоких скоростях скольжения. После проведения исследований, появиться возможность охарактеризовать взаимодействие поверхностей трения, оценить влияния размерных параметров и формы твердых частиц на процесс трения, выявить оптимальное процентное соотношение компонентов смазки.

Ключевые слова: Поглощающий аппарат, фрикционный узел, пара трения, трибологические исследования, порошковый материал, исследование фрикционных материалов

Введение

Порошковый фрикционный материал на основе железа применяется в динамически высоконагруженных узлах трения. От качества его состава и технологии изготовления зависят трибологические характеристики узла трения в целом.

В поглощающем аппарате автосцепного устройства подвижного железнодорожного состава основную энергию удара воспринимает фрикционный узел, работающий в связке с пружинным механизмом. Типовой деталью поглощающего аппарата, работающей в условиях ударного трения, является фрикционная пластина. Она состоит из металлической пластины и припеченного к ней фрикционного брикета. Взаимодействия поверхностей трения характеризуется как трение - скольжение. В процессе данного взаимодействия выделяется большое количество тепла, которое рассеивается как в тело деталей, так и в атмосферу [1, 2].

Вследствие высоких нагрузок, процесс трения является неравномерным, с проявляющимся эффектом заклинивания аппарата. Одним из главных критериев работоспособности аппарата является износостойкость фрикционных брикетов. Главным показателем эффективности поглощающего аппарата является его энергоемкость, которая

напрямую зависит от коэффициента трения фрикционного материала. Исходя из этого, к фрикционному материалу предъявляются требования по стабильности коэффициента трения, износостойкости, величины коэффициента трения [3, 4].

Фрикционный материал состоит из матрицы, смазывающих элементов и фрикционного наполнителя. Каждый из этих компонентов отвечает за правильную работу материала и фрикционного узла в целом.

Главной целью исследований является создание новой оптимальной композиции, работающей в условиях сухого трения при высоких динамических нагрузках и высоких скоростях скольжения.

Описание экспериментальных исследований

Твердые частицы являются одним из основных рабочих элементов композиции. Они отвечают за повышение коэффициента трения, создание рабочего слоя, а также самоочистку поверхности трения и самообновлении рабочего слоя. В зависимости от размера и формы они могут различно взаимодействовать с контртелом, выполняя как механическое, так и физическое взаимодействие поверхностей [5, 6, 7].

Различные формы взаимодействия частиц с поверхностью трения, призывает к подробному изучению данного процесса. Также необходимо произвести исследования и выявить закономерности по процентному содержанию частиц в составе композиции и их размерного параметра.

Данный блок исследований предлагается произвести путем изучения трибологических характеристик материала и измерения весового износа образцов.

Изучение трибологических характеристик материала будет проводиться путем исследования влияния силы прижатия и частоты вращения на момент трения. Эксперименты будут проводиться на машине трения модели 2168 УМТ (рис. 1) при комнатной температуре и сухом режиме трения [8, 9].

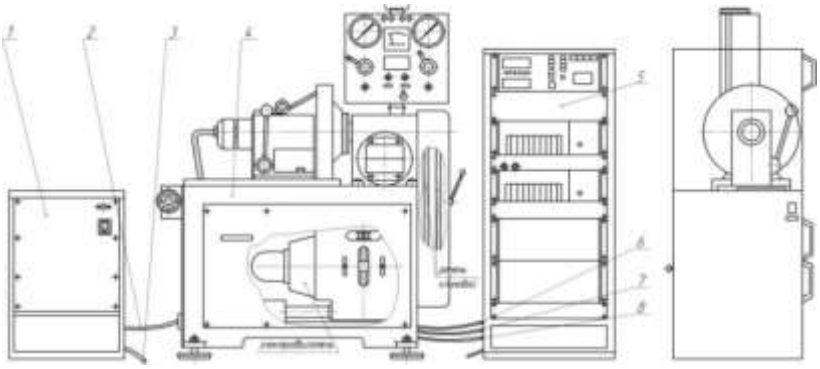


Рисунок 1 –Машина трения 2168 УМТ
1 - пульт с силовым оборудованием, 2,3,6,7,8 - устройства соединительные
4 - установка испытательная с пультом оперативным,
5 - пульт управления с записывающим устройством.

Рисунок 2 – Камера трения

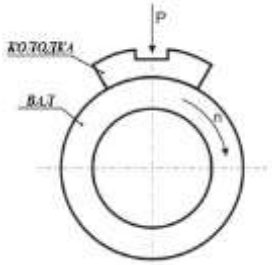


Рисунок 3 – Схема испытания

Исследования проводятся с использованием специально изготовленных образцов, представляющих собой пару трения «вал – колодка». Камера трения представлена на рисунке 2. Схема испытания представлена на рисунке 3.Оценка износостойкости материала будет осуществляться путем весового контроля до и после испытаний на аналитических лабораторных весах CE 224-C (рис. 4). Класс точности по ГОСТ 24104-2001. I (специальный) [10].

Рисунок 4 – Аналитические лабораторные весы CE 224-C

Выявление зависимости коэффициента трения от шероховатости поверхности проводиться путем анализа результатов измерения, проведенных на профилометре Hommelwerke waveline20 (рис. 5).

Оценка и моделирование рельефа поверхности композиционного материала производиться на оптическом профилометре-интерферометре марки VEECO (WYKO) NT 9080(рис. 6).

Рисунок 5 –Профилометр Hommelwerke waveline 20

Рисунок 6 –Оптический профилометр-интерферометр VEECO (WYKO) NT 9080

В качестве материала твердых частиц фрикционного наполнителя был выбран карбид вольфрама, который обладает следующими свойствами: высокая твердость, теплостойкость, коррозионная стойкость, химическая стойкость [11].

Блок исследования влияния твердой смазки на процесс трения заключается в исследовании влияния компонентов смазывающих веществ на взаимодействие между твердыми частицами, входящими в тело матрицы с контрповерхностью, а также взаимодействия матрицы с контрповерхностью.

К смазывающим компонентам предъявляются требования по смазки поверхности, предотвращению задирания и адгезионного схватывания поверхностей. С одной стороны, компоненты смазки должны способствовать образованию рабочего слоя, предотвращающего от интенсивного износа и создающие благоприятные условия работы пары трения, а также образованию высокого градиента температур по сечению тела. С другой стороны,

смазывающие элементы не должны оказывать значительного влияния на коэффициент трения и прочность брикета. Также целесообразно экономическая оценка применяемых смазывающих компонентов, так как их стоимость оказывает значительное влияние на себестоимость конечного продукта[12].

В качестве компонентов твердой смазки были выбраны: олово, медь, графит. Олово, благодаря низкой температуре плавления, образует в процессе ударного трения фрикционный рабочий слой, обеспечивающий положительный градиент механических свойств по глубине и предохраняющий поверхности трения от интенсивного изнашивания. Медь выступает как в роли смазки, так и в роли связки, образуя рабочий слой, повышающий коэффициент трения и износостойкость материала. Графит имеет сложную структуру и в процессе ударного трения служит твердой смазкой, препятствуя молекулярному схватыванию трущихся поверхностей [13].

Оценка работы и эффективности смазывающих элементов будет производиться по той же методике, что и оценка работы твердых частиц.

Блок исследования влияния компонентов композиции на матрицу заключается в изучении взаимодействия карбида вольфрама с железом и поведения углерода в процессе спекания. Также необходимо исследовать влияние твердых смазывающих компонентов на свойства матрицы и их способность вступать в реакцию и образовывать новые соединения.

Исследования микроструктуры будут проводиться на металлографическом микроскопе CARL ZEISS AXIO OBSERVER Z1M (рис. 7).

Фазовый состав материала будет оцениваться на дифрактометре рентгеновском модели ДРОН-6(рис. 8).

Рисунок 7 –Металлографический микроскоп CARL ZEISS AXIO OBSERVER Z1M

Рисунок 8 –Дифрактометр рентгеновский ДРОН-6

Прочностная оценка композиционного материала будет производиться методом испытания на ударный изгиб по ГОСТ 9454-78 с помощью маятникового копра [14].

Результаты и обсуждение

После изучения влияния частиц на свойства композиции будет создан новый композиционный фрикционный материал, работающий в условиях динамических нагрузок, отвечающий требованиям по прочности, износостойкости, поглощающей способности.

После проведения испытаний по данной методике будет осуществляться изучение поверхности трения его тела и контртела. Изучение микрорельефа поверхностей, путем контактного сканирования и бесконтактного оптического исследования, а также микроскопия поверхности и среза. Дополнительно будет производиться исследование микротвердости и распределения твердых частиц на поверхности брикета. Дана оценка образованию рабочего слоя и его влияния на процесс трения. Для визуализации и оценки объемного содержания компонентов на поверхности трения будет произведен РЭМ-анализ.

Динамические испытания нового фрикционного материала будут производиться в составе поглощающего аппарата АПФК-110(рис. 9). Испытания аппарата и входящих в него узлов и деталей производят на установке копер (рис. 10). Данная установка позволяет имитировать удары и нагрузки, происходящие в процессе движения и сортировки подвижного состава. Интерес в данных исследованиях для изучения фрикционной пластины представляют параметры стабильности работы и энергоемкости аппарата. Контролируемыми параметрами в исследовании фрикционного материала являются: стойкость к ударным нагрузкам, взаимодействие поверхностей трения, величина и стабильность коэффициента трения.

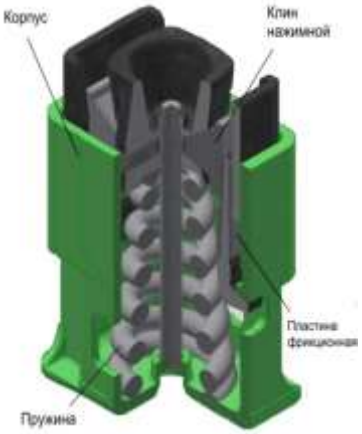


Рисунок 9 – Поглощающий аппарат АПФК-110

Рисунок 10 – Копер для испытаний поглощающего аппарата

Выводы

После проведения исследований, появиться возможность охарактеризовать взаимодействие поверхностей трения, оценить влияния размерных параметров и формы твердых частиц на процесс трения, выявить оптимальное процентное соотношение компонентов смазки. После анализа результатов будут даны рекомендации по созданию новых фрикционных материалов, работающих при высоких динамических нагрузках и высоких скоростях скольжения.

Результаты исследований также позволят внести рекомендации по изменению конструкции поглощающего аппарата и распределению нагрузок между узлами аппарата.

Список литературы

1. Шадур Л.А. Вагоны: Учебник для вузов ж.д. трансп / Шадур Л.А., Челноков И.И., Никольский Л.Н., Никольский Е.Н., Котуранов В.Н., Проскурнев П.Г., Казанский Г.А., Спиваковский А.Л., Девятков В.Ф. ; под ред. Л. А. Шадура. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1980. — 439 с.

2. Беляев В.И. Сцепные и автосцепные устройства железнодорожного подвижного состава / Беляев В.И., Ступин Д.А.; М.: Трансинфо, 2012. - 415 с.

3. ГОСТ 22253-76. Аппараты, поглощающие пружинно - фрикционные для подвижного состава железнодорожных дорог колеи 1520 мм. Технические условия [Текст]. – Введ. 78-01-01. – Москва, 1978-10 с.

4. ОСТ 32.175-2001. Аппараты, поглощающие автосцепного устройства грузовых вагонов и локомотивов. Общие технические требования [Текст]. – Введ. 2001-07-16. – МПС России – 11 с.

5. Справочник по триботехнике. Под ред. А.В. Чичинадзе. В 2-х томах. – М.: Машиностроение, 1989.

6. Марков А.М., Габец А.В., Иванов А.В., Габец Д.А. Оценка работы фрикционного узла поглощающего аппарата // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2017. – № 4. Том 4 – С. 57–62.

7. Зайцев А. К. Основы учения о трении, износе и смазке машин. Часть 2. Износ материалов. Классификация видов износа, методов и машин для лабораторного испытания материалов на износ машины и производственные на них исследования. Машгиз. М.-Л. — 1947. 220

8. ГОСТ 30480-97. Обеспечение износостойкости изделий. Методы испытаний на износостойкость. Технические условия [Текст]. – Введ. 1998-07-01. – Москва, 1998-11 с.

9. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Пособие для конструктора. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1999. – 358 с.

10. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования [Текст]. – Введ. 2002-07-01. – Минск, 2001-4 с.

11. Курлов А. С., Гусев А. И. Физика и химия карбидов вольфрама. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 272 с. — ISBN 978-5-9221-1477-6.

12. Марков А.М., Габец А.В., Иванов А.В., Габец Д.А. Методика исследования характеристик пары трения фрикционного узла поглощающего аппарата// Актуальные проблемы в машиностроении. – 2018. – № 3-4. Том 5 – С. 137–143.

13. Лидин Р.А. Химические свойства неорганических веществ: Учебное пособие для вузов. - 3 - е изд. / Р.А. Лидин. - М.: Химия, 2000. - 480 с.

14. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах [Текст]. – Введ. 1979-01-01. – Москва, 1978-9 с.

METHODS OF RESEARCH THE FRICTION MATERIAL DETAILS OF THE FRICTION UNIT DRAFT GEAR

Markov A. M., D.Sc. (Engineering), Professor,
Gabets A.V., Ph.D. (Engineering), Development director,
Ivanov A. V., Post-graduate student,
Gabets D. A., Post-graduate student

Markov A. M., Gabets A.V., Ivanov A. V., Gabets D. A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation
Ltd «Altai steel casting factory» (ASCF),
656037, Kalinina Avenue 116/52, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

In dynamically high-loaded friction units the powder friction material on the basis of iron is used.Matrix, lubricating elements and friction filler - the main composition of the friction material.Each of these components is responsible for the correct operation of the material and friction unit as a whole.The creation of a new optimal composition is the main goal of the research.The work of the studied composition should be carried out under dry friction conditions, at high dynamic loads and high sliding speeds.Aftertheresearchitwillbepossibletodescribetheinteractionoffrictionsurfaces. It will also be possible to assess the impact of the size parameters and the shape of solid particles on the friction process and to identify the optimal percentage of the lubricant components.

Keywords: draft gear, friction unit, friction pair, tribological researches,powder material, research the friction materials

УДК620.22.539.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЙ-МАГНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХМИНИАТЮРНОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

ГРИГОРЬЕВ А.А.[1] студент
МУРАВЛЕВ К.А. [1]студент
КАТАСОНОВ А.О.[1] студент
МАЛИКОВ В.Н. [1]аспирант
([1]АГУ, г. Барнаул, Россия)

Григорьев А.А., Муравлев К.А., Катасонов А.О., Маликов В.Н.

656049, Ленина, 61, Барнаул, Россия
Алтайский государственный университет,

Аннотация

На основе вихретокового преобразователя трансформаторного типа разработана измерительная система, позволяющая исследовать пластины из дюраля и сплавов алюминий-магний на наличие дефектов. Представлены основные технические характеристики разработанных вихретоковых преобразователей. Описана измерительная система, позволяющая производить исследования сплавов алюминий-магний на наличие сверхмалых дефектов. Преобразователь тестировался на ряде пластин из сплава алюминий-магний и дюралюминия с дефектами внутри пластин. В статье приведены данные, демонстрирующие зависимость отклика от наличия дефекта в подобных структурах при частоте сигнала в 500 Гц на возбуждающей обмотке.

Ключевые слова: алюминий-магний, вихретоковые преобразователи, алюминий, дефекты, электропроводность

Введение

Применение методов и средств неразрушающего вихретокового контроля в принципе возможно для поиска дефектов в изделиях из любых электропроводящих материалов. Такой метод измерения позволяет при необходимости провести исследование каждого экземпляра в серии изделий в заводских условиях.

Важное место в современном машиностроении занимают сплавы из дюралюминия и АМГ(алюминий-магний).

Такие сплавы являются основными конструкционными материалами в авиации и космонавтике – благодаря удачному сочетанию прочности и легкости. Данные сплавы широко применяются при производстве скоростных поездов (например, поездов Синкансэн (Япония)) и во многих других отраслях машиностроения. Дюралюминий также применяют в электротехнической промышленности, в химической и пищевой промышленности. Также дюралюминий используют при изготовлении систем вентиляции, в радиотехнике, в строительстве. Например, сплав марки Д16АМ применяется в экстремальных условиях низких температур. Дюралюминий марки Д16Т пластичен и поэтому используется в судостроении[1].

Дефекты в данных сплавах могут возникать как на стадии литья, так и на стадии последующего изготовления деталей, например, в результате некачественной сварки. Как известно, в последние годы возросло применение алюминиево-магниевых сплавов в сварных конструкциях. Типичными дефектами сварного шва являются микротрещины. Микротрещины отрицательно влияют на механические свойства сварного шва, а также на сопротивление коррозии. Так как вихретоковый метод контроля нечувствителен к непроводящим слоям

краски, то его можно использовать для диагностики деталей с лакокрасочными покрытиями[2].

Целью настоящей работы являлась оценка возможности использования вихретокового метода для поиска дефектов глубокого залегания в алюминиевых сплавах и оценка размеров дефектов, которые могут быть обнаружены с помощью данного метода.

Описание установки

Разработан сверхминиатюрный вихретоковый преобразователь (в.т.п.) [3] для локального контроля физических параметров при исследовании свойств пластин из алюминиевых сплавов и сварных швов. Достоинством данного преобразователя является возможность, в отличии от аналогичных приборов, проводить локальные измерения на участках порядка сотен микрометров, на глубинах порядка 5 мм. Непосредственно измеряемым параметром является величина электропроводности материала и ее распределение по поверхности и толщине исследуемого объекта.

Как известно, в основе метода вихревых токов лежит зависимость интенсивности и распределения вихревых токов в объекте контроля от его геометрических, электромагнитных (и связанных с ними) параметров и от взаимного положения измерительного преобразователя и объекта контроля. Основной информативный параметр этого метода β_0 является обобщенной характеристикой исследуемого объекта, вихретокового датчика и частоты электромагнитного поля [4].

Разработка адекватной модели отклика вихретоковых трансформаторных преобразователей накладного типа, чувствительной сразу ко многим переменным и позволяющей восстанавливать годографы напряжения при малых значениях обобщенного параметра β_0, является актуальной задачей[5].

С учетом разработанной модели были построены годографы, иллюстрирующие влияние различных параметров среды и датчика на значения вносимых напряжений.

В.т.п. подключен к звуковой плате персонального компьютера, работающего под управлением специального программного обеспечения. Программное обеспечение управляет подачей напряжения на возбуждающую обмотку преобразователя, а также считывает значения напряжения с измерительной обмотки в условных единицах, которые далее, с учетом предварительной калибровки, переводятся в значения электропроводности. Возбуждающая обмотка сверхминиатюрного преобразователя состоит из 10 витков, а ее диаметр составляет 0.12–0.13 мм. Измерительная обмотка состоит из 130 витков и имеет диаметр 0.05–0.08 мм. С целью минимизации влияния возбуждающей обмотки на получаемый сигнал в схему включена компенсационная обмотка, подключенная к измерительной обмотке таким образом, чтобы вычесть напряжение возбуждающей обмотки. Она состоит из 20 витков. Для намотки витков используется медная проволока, имеющая площадь сечения 5 мкм. Обмотки наматываются на сердечник пирамидальной формы. В качестве сердечника может использоваться феррит 2000 НМ3 с величиной магнитной проницаемости 500 или, при необходимости более высокой локализации магнитного поля, отожжённый по специальной методике сплав 81НМА. Сердечник представляет собой пирамиду, высотой 1 мм и основанием 0.2 мм. Измерительная обмотка располагается на острие пирамиды, что позволяет улучшить локализацию магнитного поля. Характеристики разработанных преобразователей позволяют эффективно локализовать магнитное поле для контроля дефектов от 250 мкм и обеспечивать значительную глубину его проникновения в исследуемый объект при работе на достаточно низких частотах.

Разработка ПО осуществлялась на языке C++ под операционные системы Windows. Используя микшерную подсистему Windows, ПО управляет подачей напряжения на возбуждающую обмотку преобразователя, задавая уровень и частоту синусоидального цифрового сигнала виртуального генератора.

Общее описание работы измерительной системы выглядит следующим образом: цифровой сигнал от виртуального генератора поступает на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) звуковой карты, после которого уже аналоговый сигнал через

усилитель мощности У подается на возбуждающую обмотку (В) преобразователя. Проходя по возбуждающей обмотке в.т.п., синусоидальный сигнал создает электромагнитное поле, которое, взаимодействуя с исследуемым объектом, наводит э.д.с. в измерительной обмотке (И) в.т.п. Через предусилитель это напряжение поступает на микрофонный вход звуковой карты и затем на вход аналого-цифрового преобразователя АЦП звуковой карты. Аналоговый сигнал преобразовывается в цифровой и передается в блок обработки и управления ПО. Блок обработки и управления фиксирует уровень цифрового сигнала в условных единицах, соответствующих значениям напряжения на измерительной обмотке [5].

Использование звуковой платы компьютера дает возможность осуществлять во время сканирования варьирование частоты электромагнитного поля, создаваемого возбуждающей обмоткой преобразователя, в пределах от 100 гц до 2 кГц.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Образцы представляли из себя пластины из дюралюминия и сплава алюминий-магний. Толщина первой пластины составляла 5.5 мм. В пластине содержалось 3 дефекта в виде прорези толщиной в 1 мм, залегающих на глубине 1, 3 и 4 мм. Толщина второй пластины составляла 5.5 мм. В пластине содержалось 6 дефектов в виде прорези толщиной в 0,25 мм, залегающих на глубине 1, 2, 3, 4, 5 и 5.3 мм.

При проведении экспериментов с первой пластиной величина вносимого напряжения на возбуждающую обмотку преобразователя составляла 2 В.

С целью определения чувствительности датчика к дефектам, залегающим в глубине металла, осуществлялось сканирование с бездефектной стороны образца.

Полученные данные представлены на рис. 1 – 3.

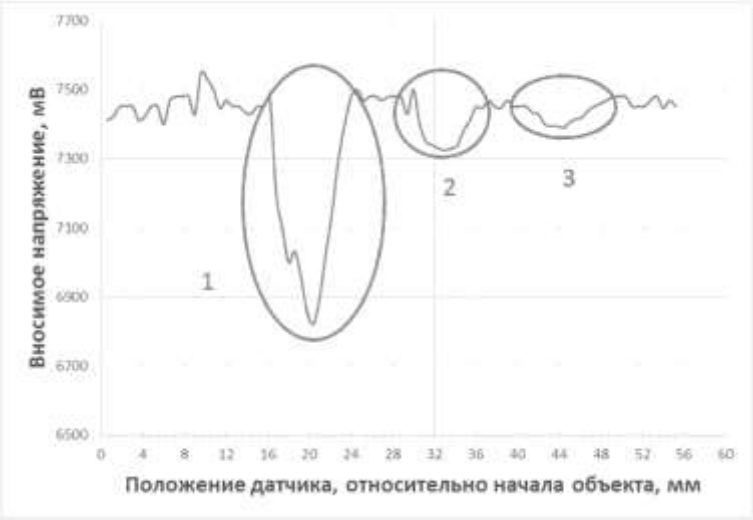


Рисунок1 – Результаты сканирования пластины №1. 1, 2, 3 – падения амплитуды, соответствующие областям дефектов.

Результаты дефектоскопии первой пластины с дефектами, имеющими толщину 1 мм при частоте 500 Гц позволили явно обнаружить все 3 прорези по падению амплитуды сигнала(рис.1). Падение амплитуды сигнала на первом дефекте составила 0.75 В, на втором – 0.2 В, на третьем – 0.1 В.

Результаты эксперимента показывают эффективность разработанной измерительной системы для поиска дефектов толщиной от 1 мм, залегающих на глубине до 4 мм.

Для установления предела локализации магнитного поля сконструированным вихретоковым преобразователем, в следующем эксперименте измерительная система тестировалась на образце с дефектами толщиной 0.25 мм и залегающих на глубине до 5.3 мм.

Результаты дефектоскопии при аналогичном напряжении на возбуждающей обмотке позволили обнаружить первый дефект, залегающий на глубине 1 мм при соответствующем падении амплитуды выходного сигнала примерно на 0.1 В(рис.2,).

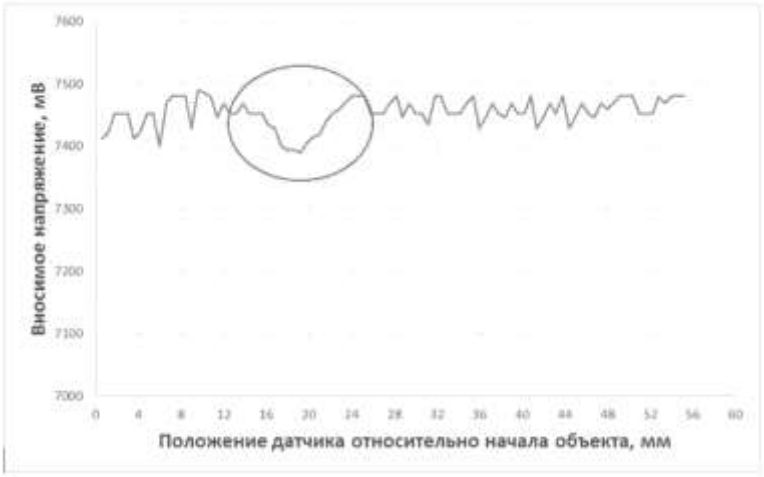


Рисунок 2 – Результаты сканирования пластины №2.

Увеличение амплитуды сигнала на возбуждающей обмотке приводило к превышению допустимого уровня выходного сигнала измерительной системы и существенному искажению полученных результатов.

Для повышения локализации магнитного поля была произведена существенная модернизация конструкции измерительной системы. С целью повышения мощности поля за счет увеличения напряжения на возбуждающей обмотке (с 2 В до 3,5 В), в программно-аппаратный комплекс был введен второй вихретоковый преобразователь. Первый преобразователь располагался неподвижно и использовался для получения отклика от бездефектной части образца, а второй преобразователь применялся непосредственно для сканирования. В процессе сканирования, получаемый со второго преобразователя сигнал вычитался из сигнала, получаемого с первого преобразователя. Выходным сигналом измерительной системы, таким образом, становилась разность откликов двух преобразователей.

Результаты дефектоскопии при частоте 500 Гц позволили обнаружить пять дефектов (рис.3).

Рисунок 3 – Результаты сканирования пластины №2 с использованием системы из двух преобразователей.

Падение амплитуды сигнала на первом дефекте составляло 2.5 В, на втором дефекте – 1 В, на третьем дефекте – 0.4 В, на четвертом – 0.2 В, на пятом – 0.1 В. Изменения отклика сигнала при прохождении над шестым дефектом не зафиксировано.

Выводы

Таким образом, результаты эксперимента демонстрируют большие возможности метода вихревых токов при исследовании дефектов, скрытых в толще металла. Если ранее

вихретоковый метод контроля мог использоваться лишь для контроля поверхностных дефектов (трещин, прорезей, нарушения сплошности поверхностного слоя металла), то благодаря использованию сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей и специального программного обеспечения, становится возможным локализовать магнитное поле на малом участке объекта контроля и добиться значительной глубины проникновения поля вглубь исследуемого объекта при подборе соответствующей частоты поля, создаваемого возбуждающей обмоткой.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00272 «Исследование сплавов, композиционных и полупроводниковых материалов, сверхтонких проводящих пленок с помощью миниатюрных и сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей».

Список литературы

1. Многочастотная вихретоковая дефектоскопия алюминиевых сплавов / Егоров А.В., Поляков В.В., Пирогов А.А., Колубаев Е.А. // Известия Алтайского гос. ун-та. – 2014. – Т.1. №2. – С.176-180.

2. Клюев, В.В. Неразрушающий контроль / В. В. Клюев. – М.: «Машиностроение», 2004. – 688 с.

3. Дефектоскопия сплавов методом вихревых токов / Дмитриев С.Ф., Катасонов А.О., Маликов В.Н. А.М. Сагалаков //. Дефектоскопия. – 2016. – №1. – С. 41-47.

4. Сверхминиатюрные токовихревые преобразователи для исследования переходов металл–диэлектрик / Дмитриев С.Ф., А.М. Сагалаков, А.В. Ишков, Маликов В.Н. // Приборы и техника эксперимента. – 2014. – № 6. – С. 102–106

5. Scanning the Welded Seams of Titanium Alloys by Using Subminiature Eddy Current Transducers / Dmitriev S. F., Ishkov A. V., Malikov V. N., Sagalakov A. M. // Materials Science Forum. – 2017. – №906. – С.147-152.

RESEARCH OF DEFECTS OF ALUMINUM-MAGNESIUM ALLOYS BY USING SUBMINIATURE EDYY-CURRENT TRANSDUCER

Grigoriev A.A.Student
Muravlev K.A. Student
Katasonov A.O. Studentt
Malikov V.N. Post-graduate Student

Grigoriev AA, Muravlev KA, Katasonov AO, Malikov V.N.

Altai State University,
656049, Lenina 61, Barnaul, Russia

Abstract

Based on the eddy current converter of the transformer type, a measuring system has been developed, which makes it possible to examine plates made of aluminum and magnesium alloys and aluminum alloys for defects. The main technical characteristics of the developed eddy current converters are presented. The converter was tested on a series of plates of aluminum-magnesium-magnesium alloy and duralumin with defects inside the plates. The article presents data demonstrating the dependence of the response on the presence of a defect in similar structures when the frequency of the signal is 500 Hz on the exciting coil.

Keywords: aluminum-magnesium, eddy current converters, aluminum, defects, electrical conductivity

УДК 539.25; 538.951

АНАЛИЗ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ[2]

ПИМОНОВ М.В.[1]ст. преподаватель
ЛЕВАШОВА Е.Е.[1]ст. преподаватель
АБАБКОВ Н.В.[1], канд. техн. наук, доцент
ПОПОВА Н.А.[2], канд.техн. наук, доцент
КОНЕВА Н.А.[2], докт. физ-мат. наук, профессор
([1]«КузГТУ», г. Кемерово, Россия
[2]ТГАСУ, г. Томск, Россия)

Пимонов М.В., Левашова Е.Е., Абабков Н.В., Попова Н.А., Конева Н.А.

650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
634003, Сибирский федеральный округ, Томская область, г. Томск, пл. Соляная, д. 2
Томский государственный архитектурно-строительный университет
e-mail: pimonovmv@kuzstu.ru

Аннотация

В работе представлено исследование, направленное на описание влияния параметров механической обработки на структурно-фазовое состояние поверхностного слоя на основе механики технологического наследования. Выполнен контроль образцов методом разрушающего и неразрушающего контроля. Представлены результаты контроля образцов методом просвечивающей электронной микроскопии. Показаны зависимости между режимами обработки и структурно-фазовым состоянием.

Ключевые слова: структурно-фазовое состояние, технологическое наследование, механическая обработка, просвечивающая электронная микроскопия

Введение

В настоящее время существует много подходов к обеспечению эксплуатационных свойств деталей машин. Проведен ряд исследований по определению влияния параметров механической обработки на качество поверхностного слоя, а также показателей качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства [1,2]. Более комплексный подход к разработке технологических процессов, возможно разработать на основе аппарата механики технологического наследования [3–5].

В работе поставлена цель: развитие механики технологического наследования в направлении описания структурно-фазового состояния материала. Для достижения данной цели сформулирован ряд задач:

1. Разработать структурно-аналитическую модель наследственного формирования и трансформации структурно-фазового состояния металла поверхностного слоя на стадиях механической обработки.
2. Разработать методику экспериментальных исследований наследственного формирования и трансформации структурно-фазового состояния металла поверхностного слоя на стадиях механической обработки.

[2]Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ, соглашение №14-19-00724-П

3. Разработать комплекс математических моделей, характеризующих наследственное влияние закономерностей пластического течения на формирование структурно-фазового состояния металла поверхностного слоя, а также зависимость параметров структурно-фазового состояния от накопленной деформации сдвига и исчерпания запаса пластичности.

4. Разработать функциональную модель проектирования технологических процессов, обеспечивающих заданные параметры структуры и как следствие определённые эксплуатационные свойства.

В ходе решения поставленных задач была разработана структурно-аналитическая модель, отражающая представления о «Формировании и трансформация структурного состояния» [6, 7]. Для использования приведенной модели необходимо описать связи между её элементами с математической точки зрения. Разработка математических моделей требует проведения исследований параметров механического и структурно-фазового состояния обработанных образцов методами неразрушающего и разрушающего контроля.

В данной работе представлены результаты контроля образцов методом просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ).

Описание экспериментальных исследований

Материал образцов – сталь 40Х. Перед механической обработкой резанием заготовка подвергалась термообработке: рекристаллизационный отжиг Т=600°С, время 60 мин.

Таблица 1
Режимы обработки

	№ 1 «черновая»	№ 2 «получистовая»	№ 3 «чистовая»	№ 4	№ 5
Диаметр, D, мм	34	35	35,5	28,5	28
Глубина резания, t, мм	1	0,5	0,25	1+0,5	1+0,5+0,25
Подача, s, мм/об	0,4	0,25	0,1	0,4+0,25	0,4+0,25 +0,1
Кол-во оборотов, n, об$^{-1}$	650	900	1200	900	1200

В соответствии с представленной таблицей режим №1 соответствует режиму чернового точения, №2 соответствует получистовому точению, а №3 чистовому точению. Сочетание режима №1, №2 и №3 имитирует реальные технологические процессы, применяемые для изготовления деталей машин, а именно последовательную обработку изделия по режимам чернового, получистового точения (режим №4) или режимам чернового, получистового чистового резания (режим №5).

Все исследования выполнены методом просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ) на тонких фольгах с помощью электронного микроскопа ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125кВ. Рабочее увеличение в колонне микроскопа составляло 25000крат.Приготовление фольг для изучения в просвечивающем электронном микроскопе осуществлялось путем электролитического утонения в пене электролита (пересыщенный раствор хромового ангидрида в ортофосфорной кислоте) при температуре 25-30°С и при начальном напряжении 22-23В. Образцы для исследований вырезались параллельно поверхности образца на электроискровом станке так, что вырезанная пластинка являлась поверхностью образца. Толщина вырезанных пластинок 0,25 – 0,30мм. При этом режим электроискровой резки был подобран таким, что не вносил дополнительных искажений в структуру материала, вырезанные пластинки утонялись только со стороны реза. Поверхность полировалась электролитически очень короткое время лишь для того, чтобы убрать окислы железа, обычно присутствующие на поверхности образца. Толщина полученной таким образом фольги, т.е. толщина, «прозрачная» для просмотра в колонне электронного микроскопа, соответствовала ~0,17мкм.

Изображения тонкой структуры, полученные при просмотре в электронном микроскопе, были использованы: для классификации морфологических признаков структуры; для определения типа вторичных фаз, а также мест их локализации и определения параметров тонкой структуры материала (скалярной ρ и избыточной $\rho_{\pm}$плотности дислокаций; амплитуды кривизны-кручения кристаллической решетки χ и внутренних напряжений). Определение типа фаз проводилось по изображениям, подтвержденным микродифракционными картинами и темнопольными изображениями, полученными в рефлексах соответствующих фаз. Идентификация фаз проводилась по методикам, описанным в [8]. Для этого использовались схемы микродифракционных картин, рассчитанные по табличным значениям параметров кристаллических решеток. Количественный фазовый анализ проводился в соответствии с правилами стереологии всегда со статистической обработкой результатов [9, 10].Для определения объемных долей структурных составляющих использован планиметрический метод [9]. Скалярная плотность дислокаций ρ измерялась методом секущих. Избыточная плотность дислокаций $\rho_{\pm} = \rho_{+} - \rho_{-}$ (ρ_{+} и ρ_{-} - плотность соответственно положительно и отрицательно заряженных дислокаций) измерялась локально по градиенту разориентировки (или по кривизне-кручению кристаллической решетки χ) [11, 12]

Исследование исходного состояния стали 40Х. Морфологические составляющие пластинчатого перлита (рис. 1, 2) – это бездефектный пластинчатый перлит (60%), пластинчатый перлит с изогнутыми пластинами цементита (~1%) и дефектный пластинчатый перлит (20%).

Рисунок 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры стали 40Х. Исходное состояние. Бездефектный пластинчатый перлит

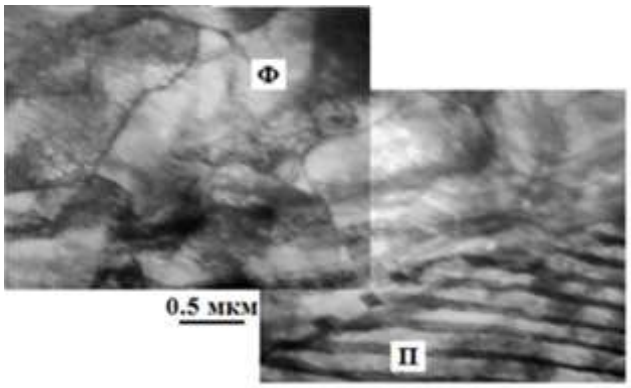


Рисунок 2. Электронно-микроскопическое изображение структуры стали 40Х – феррито-перлитная структура. Ф – зерна фрагментированного феррита, П – зерно пластинчатого перлита

Исследования показали, что феррит присутствует в двух морфологических модификациях: нефрагментированный, объемная доля которого составляет 10% от всего объема материала, и фрагментированный, объемная доля которого также 10%. Дислокационная структура в нефрагментированном феррите представлена плотными дислокационными сетками, во фрагментированном – анизотропными и изотропными фрагментами.

Исследование структурно-фазового состояния стали после обработки по режиму №1. Проведенные исследования показали, что в результате обработки образцов в структуре ***пластинчатого перлита*** наблюдаются существенные изменения. Особенно эти изменения происходят в дефектном перлите. А именно, происходит коробление и растаскивание перлитных колоний на отдельные части, вплоть до отдельных пластин. При этом пластины цементита разрезаются и измельчаются. Отметим, что наиболее информативными оказываются темнопольные изображения, один из примеров которых представлен на рис. 3. Объемная доля дефектного перлита по сравнению с исходным состоянием материала не изменяется и остается равной 20% от общего объема материала. Бездефектный пластинчатый

перлит еще довольно хорошо сохранен (рис. 3), однако его объемная доля уменьшилась до 40%. Пластинчатый перлит с изогнутыми пластинами цементита также присутствует в стали. Один из примеров такого перлита приведен на рис. 4. Объемная доля его в материале, как и в исходном состоянии, не превышает 1%.

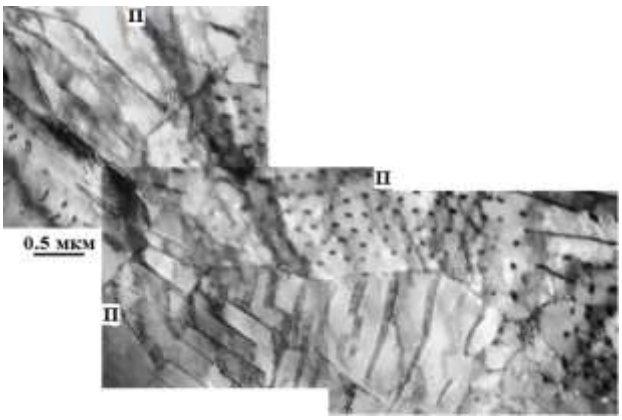


Рисунок 3. Электронно-микроскопическое изображение структуры пластинчатого перлита в стали 40Х после черновой обработки (режим №1): а – светлопольное изображение, б – темнопольное изображение, полученное в рефлексе цементита (П – бездефектный, ПР - разрушенный пластинчатый перлит)

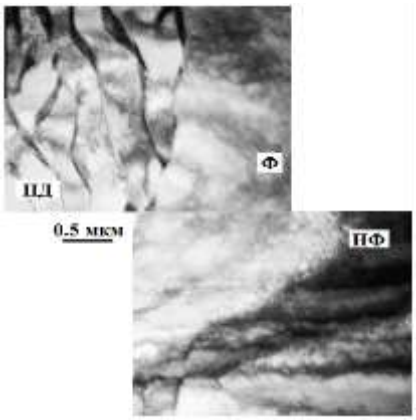


Рисунок 4. Электронно-микроскопическое изображение тонкой структуры стали 40Х после черновой обработки (режим №1). НФ – зерно нефрагментированного феррита, Ф – зерно фрагментитрованного феррита; ПД – зерно дефектного пластинчатого перлита

Обработка материала по режиму №1 привела к образованию вторично фрагментированного перлита. В структуре ***феррита*** также произошли изменения. Доля нефрагментированного феррита возросла до 15%, а фрагментированного уменьшилась до 5% от объема материала. Необходимо отметить, что обработка материала привела к возникновению микротрещин. Как видно из рис. 5, в голове микротрещины наблюдается изгибные экстинкционные контуры в виде «факела». Присутствуют как дислокационные, так и бездислокационные контуры. Внутренние локальные напряжения в таких местах могут достигать величины ~5000 МПа.

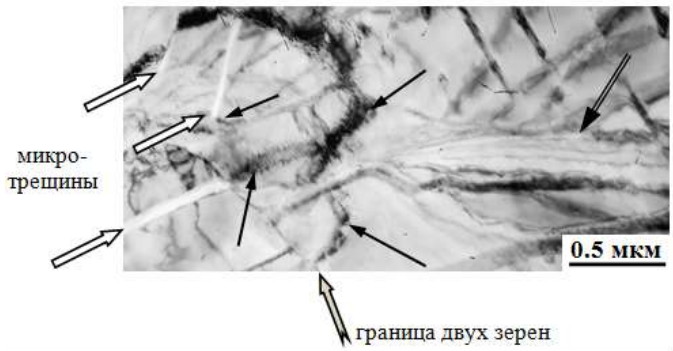


Рисунок 5. Электронно-микроскопическое изображение структуры стали 40Х после черновой обработки (режим №1). Стык двух перлитных зерен. Фигурными стрелками отмечены микротрещины, образующиеся вблизи границы зерна, черными одинарными стрелками – дислокационные и бездислокационные изгибные экстинкционные контуры, двойной черной стрелкой – факел контуров от вершины микротрещины.

Исследование структурно-фазового состояния стали после обработки по режиму №2. Выявлено что в после «получистовой» обработки образцов морфология пластинчатого перлита представлена бездефектным пластинчатым перлитом, объемная доля которого уменьшилась до 30%, дефектным пластинчатым перлитом, объемная доля которого не изменилась (20%) и разрушенным пластинчатым перлитом, объемная доля которого

увеличилась до 15%. ***Феррит*** после «получистовой» обработки представлен исключительно фрагментированным ферритом. Таким образом, «получистовая» обработка по сравнению с «черновой» обработкой привела, с одной стороны, к дальнейшему разрушению перлитной составляющей, с другой стороны – к исчезновению вторично фрагментированного перлита и полному формированию фрагментированной структуры в ферритной составляющей стали. При этом в целом по материалу произошло увеличение скалярной плотности дислокаций и внутренних напряжений, созданных дислокационной структурой (напряжений сдвига, или напряжения «леса» дислокаций). Хотя дислокационная структура значительно поляризована, величина избыточной плотности дислокаций практически не изменилась.

Исследование структурно-фазового состояния стали после обработки по режиму №3. Проведенные исследования показали, что после «чистовой» обработки образца морфология ***пластинчатого перлита*** и ***феррита*** не изменилась и осталась такой же, как и после обработки по режиму №2 и включает бездефектный пластинчатый перлит с правильными и изогнутыми пластинами цементита, дефектный и разрушенный перлит. Однако большая часть пластинчатого перлита оказалась фрагментированной, причем в стали присутствует как первично, так и вторично фрагментированный пластинчатый перлит. «Чистовая» обработка образца привела, с одной стороны, к дальнейшему разрушению пластинчатого перлита, а с другой стороны – к формированию фрагментированной структуры в материале так, что после «чистовой» обработки половина материала (20% феррита + 30% пластинчатого перлита) оказалась фрагментированной. Необходимо отметить, что «чистовая» обработка не привела к трещинообразованию – ни в одной морфологической составляющей стали не было обнаружено ни одной микротрещины.

Исследование структурно-фазового состояния стали после обработки по режиму №4. ***Пластинчатый перлит*** теперь представляет: 1) бездефектный пластинчатый перлит с правильными пластинами цементита – 40% от объема материала, 2) бездефектный пластинчатый перлит с изогнутыми пластинами цементита – 5%, 3) дефектный пластинчатый перлит – 15% и 4) разрушенный пластинчатый перлит – 10%. Отметим, что встречаются отдельные участки, где начинают формироваться первичные фрагменты. Как правило, образование фрагментов происходит вблизи границ стыка зерен феррита и либо бездефектного, либо дефектного пластинчатого перлита. ***Феррит*** представляет нефрагментированный (5%) и фрагментированный (15%) феррит. Обработка образца по режиму №4 «черновая → получистовая» обработка привела к изменениям количественных параметров структурно-фазового состояния материала, как в каждой морфологической составляющей стали, так и в целом по материалу образца. В пластинчатом перлите во всех его морфологических составляющих по сравнению с предыдущими образцами, а особенно по сравнению с образцами, полученными при обработке по режимам №1 и №2. Тем не менее, в среднем, в перлитной составляющей скалярная плотность дислокаций и амплитуда внутренних напряжений, создаваемых дислокационной структурой по величине оказались соизмеримыми с величинами в образцах, полученных при обработке по режиму №2.

Исследование структурно-фазового состояния стали после обработки по режиму №5. Исследования показали, что после обработки образцов в матрице стали присутствует весь набор морфологических составляющих, какие присутствовали при всех прежних режимах обработки. А именно, это пластинчатый перлит, суммарная объемная доля которого составляет 80% материала, и феррит, объемная доля которого 20%.***Пластинчатый перлит*** представлен следующими морфологическими составляющими: 1) бездефектный пластинчатый перлит (25%), 2) бездефектный пластинчатый перлит с изогнутыми пластинами цементита (<1%), 3) дефектный пластинчатый перлит (15%), 4) разрушенный пластинчатый перлит (10%), 5) первично фрагментированный пластинчатый перлит (20%) и 6) вторично фрагментированный пластинчатый перлит (10%). ***Феррит*** представлен исключительно фрагментированным ферритом (20%). Исследования показали, что вид всех морфологических составляющих практически не изменился. Отметим, что формирование фрагментов вторично фрагментированного пластинчатого перлита начинается от границ зерен либо дефектного

пластинчатого перлита, либо разрушенного перлита (рис. 6). Именно в местах зарождения вторичных фрагментов и могут начать образовываться микротрещины, тем более вторичные фрагменты, как отмечено выше, образуются либо вблизи границы зерна, либо вдоль и на протяжении всей границы. В этом случае образовавшаяся микротрещина будет быстро распространяться по границе зерна, превращаясь в макротрещину. Таких «опасных» участков в материале всего 10%, однако они присутствуют и с ними нельзя не считаться.

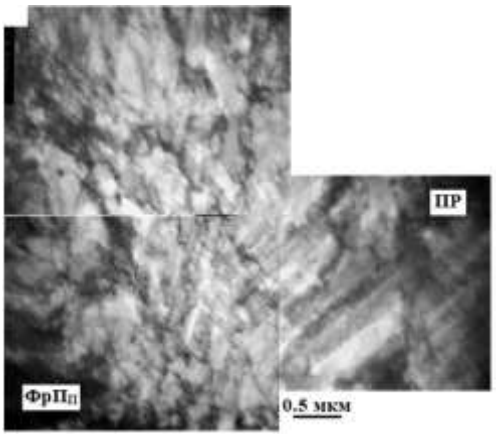


Рисунок 6. Электронно-микроскопическое изображение структуры стали 40Х после обработки: черновая → получистовая → чистовая (режим №5). Ф – фрагментированный феррит, ФрП$_{П}$ – вторично фрагментированный пластинчатый перлит, ПР – разрушенный пластинчатый перлит с сохранившейся направленностью перлитных пластин

Выводы

Проведенные исследования структурно-фазового состояния стали 40Х методом просвечивающей электронной микроскопии показали, что:

1) морфологическими составляющими независимо от режима механической обработки являются пластинчатый перлит (бездефектный, дефектный, разрушенный и фрагментированный) и феррит (фрагментированный и нефрагментированный);

2) объемные доли морфологических составляющих зависят от режима механической обработки, любой режим механической обработки приводит к увеличению всех количественных параметров дефектной структуры (ρ, $\rho_{\pm}$, $\chi\sigma_{Л}$ и σ_{∂});

3) любой режим механической обработки приводит к возникновению локальных внутренних напряжений, причем режим «черновая → получистовая» (режим №4) обработка приводит только к пластическому изгибу-кручению кристаллической решетки, все остальные режимы – к упруго-пластическому, при этом упругая составляющая изгиба-кручения после «черновой» (режим №1) механической обработки присутствует как в пластинчатом перлите, так и феррите, после остальных режимов (№2, №3, №5) – только в пластинчатом перлите;

4) величина амплитуды упругой составляющей ($\chi_{упр}$) изгиба-кручения кристаллической решетки α-фазы во всех морфологических составляющих существенно меньше пластической ($\chi_{пл}$) и, тем не менее, вызывает большие локальные внутренние напряжения, когда $\sigma_{Л}<\sigma_{\partial}$ в образцах обработанных по режиму №1 и №5;

5) большие локальные напряжения могут привести к появлению микротрещин, причем в образцах, обработанных по режиму №1 как в пластинчатом перлите, так и в феррите, а в образцах, обработанных по режиму №5 – только в пластинчатом перлите.

Список литературы

1. Маталин А. А. Технология механической обработки. Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние),1977. 464 с., ил.

2. Суслов А.Г., Горленко А.О., Симкин А.З. Повышение долговечности кулачковых пар трения//Трение и износ. Т. 18. № 3. 1997. С. 395-398.

3.Технологическая наследственность в машиностроительном производстве/А.М. Дальский, Б.М. Базров и др.; Под ред. А.М. Дальского. М.: Изд-во МАИ, 2000. 364 с.

4. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

5. Градиентные структуры при обработке металлов резанием / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, Э.В. Козлов, Н.А. Конева, Н.А. Попова, А.С. Глинка, М.С. Махалов, С.А. Рябов, М.В. Пимонов. – Кемерово, 2013. – 179 с.

6. Пимонов М.В Разработка процессов обработки, реализующих заданные эксплуатационные свойства поверхностного слоя регулированием параметров структурного состояния//Ползуновский альманах. 2012. № 1. С. 90-91.

7. Применение методов неразрушающего контроля для анализа параметров состояния поверхностного слоя после механической обработки. / Структура. Напряжения. Диагностика. Ресурс сборник научных трудов, посвященный 70-летию доктора технических наук, профессора А. Н. Смирнова. Кемерово, 2017 стр.103-113

8. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. - М.: Металлургия, 1973. - 584с.

9. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. - М.: Металлография, 1970. - 376с.

10. Богачев И.Н., Вайнштейн А.А., Волков С.Д. Введение в статистическое металловедение. - М.: Металлургия, 1972. - 216с.

11. Конева Н.А., Козлов Э.В. Физическая природа стадийности пластической деформации // Структурные уровни пластической деформации и разрушения / Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1990. – С.123-186.

12. Конева Н.А., Козлов Э.В., Тришкина Л.И., Лычагин Д.В. Дальнодействующие поля напряжений, кривизна-кручение кристаллической решетки и стадии пластической деформации. Методы измерений и результаты // Новые методы в физике и механике деформируемого твердого тела. Ч.1 / Под ред. академика В.Е. Панина. Томск: Изд-во ТГУ, 1990. С.83-93.

ANALYSIS OF STRUCTURAL-PHASE STATE SURFACE-LAYER METAL AFTER MECHANICAL TREATMENT OF CUTTING BY TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY

Pimonov M. V.Senior Lecture
Levashova E. E.Senior Lecture
AbabkovN. V. PhD (Engineering), Associate Professor
Popova N.A.PhD. (Engineering), Associate Professor
Koneva N.A.Dr. Sci. (Phys.–Math.), Professor

Pimonov M.V., Levashova E. E., Ababkov N.V., Popova N.A., Koneva N.A.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
28 str. Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russia
Tomsk State University of Architecture and Building,
2 Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia

Abstract

The paper presents a study aimed at describing the effect of machining parameters on the structural-phase state of the surface layer on the basis of the mechanics of technological inheritance. The samples were checked by destructive and non-destructive testing. The results of sample control by transmission electron microscopy are presented. Dependencies between the processing modes and the structural-phase state are shown.

Keywords: structural-phase state, technological inheritance, mechanical processing, transmission electron microscopy

УДК 621.91

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

ТРУФАНОВ А. Е.[1], студент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Труфанов А. Е.

656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
E-mail: ontont@inbox.ru

Аннотация

В работе приведены изучение перспективы применения материалов с памятью формы (МПФ), изучение их свойств и технологии получения. Была выделена нефтегазовая сфера, в которой применение материалов с памятью формы, а конкретнее нержавеющей стали, помогут в будущем избежать больших материальных затрат и позволит сэкономить временные ресурсы при ремонте обсадных колонн в условиях Арктики.

Ключевые слова: материалы с памятью формы, нержавеющая сталь, скважина, термоупругость, мартенситные превращения.

Введение

В настоящее время материаловедение активно предлагает использование различных сплавов с «эффектом памяти формы». Это явление возврата к первоначальной форме при нагреве, которое наблюдается у некоторых материалов после предварительной деформации.

Одно из основных восприятий людьми явлений внешнего мира — это стойкость и надежность металлических изделий, конструкций и строений, уверенно сохраняющих свою форму длительное время, при отсутствии критических воздействий.

Однако существует ряд материалов, различных сплавов, которые, подвергшись механической деформации, при нагреве проявляют возврат к первоначальной форме.

Для понимания эффекта памяти формы, его достаточно увидеть один раз. Так что же происходит? Объясню на простейшем примере.

Имеется металлическая проволока.

1. Проволоку изгибают.
2. Начинают нагревать.
3. После процесса нагревания она выпрямляется, восстанавливая свою исходную форму.

Возникает вопрос: почему так происходит? В изначальном состоянии материал имеет определенную структуру, которая на рисунке 1 обозначена квадратами. При механическом воздействии (в данном случае изгибе) внешние слои материала вытягиваются, а внутренние сжимаются (средние же остаются без изменения). Эти вытянутые структуры — мартенситные пластины, которые не является необычным для металлических сплавов. Также необычным является то, что в материалах с памятью формы мартенсит термоупругий.При нагреве начинает проявляться свойство термоупругости у мартенситных пластин, в них начинают возникают внутренние напряжения, стремящиеся вернуть структуру в исходное состояние, то есть сжать вытянутые пластины и растянуть сплюснутые.Поскольку внешние (вытянутые) пластины сжимаются, а внутренние сплюснутые растягиваются, материал проводит автодеформацию в обратную сторону, восстанавливая свою исходную структуру и форму. [1]

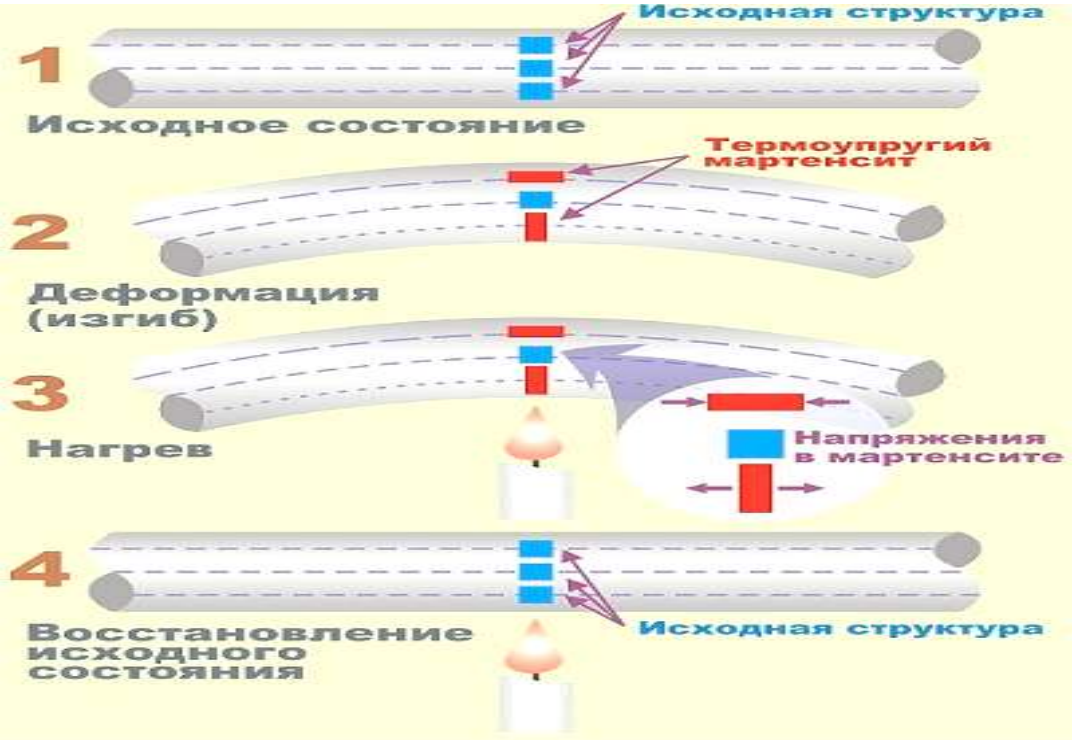


Рисунок 1 – суть эффекта памяти формы

Материалы, их получение и сферы применения

Наиболее распространенные виды сплавов с памятью формы:

- Ni-Ti -Лидер среди материалов с памятью формы по применению и по изученности — интерметаллид эквиатомного состава с 55 % Ni (по массе). Температура плавления — 1240—1310 ˚C, плотность — 6,45 г/см³. Исходная структура никелида титана стабильная объемно-центрированная кубическая решетка типа CsCl при деформации претерпевает термоупругое мартенситное превращение с образованием фазы низкой симметрии.
- Au—Cd — разработан в 1951 году в Иллинойском университете (США); один из пионеров материалов с памятью формы;
- Cu—Zn—Al — наряду с никелидом титана имеет практическое применение; температуры мартенситных превращений в интервале от −170 до 100 ˚C; по сравнению с никелидом титана не подвержен быстрому окислению на воздухе, легко обрабатывается и в пять раз дешевле, но хуже по механическим (вследствие укрупнения зерна при термообработке), противокорозионным и технологическим свойствам (проблемы стабилизации зерна в порошковой металлургии), характеристикам формозапоминания;
- Cu—Al—Ni — разработан в Осакском университете (Япония); температуры мартенситных превращения в интервале от 100 до 200 ˚C;
- Fe—Mn—Si — сплавы этой системы наиболее дешевые;
- Fe—Ni;
- Cu—Al;
- Cu—Mn;
- Co—Ni;
- Ni—Al.

Некоторые исследователи полагают, что эффект памяти формы принципиально возможен у любых материалов, претерпевающих мартенситные превращения, в том числе и у таких чистых металлов как титан, цирконий и кобальт. [2]

Технология получения сплавов с памятью формы, основана на методе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), в основе которого лежит использование тепла, выделяемого при взаимодействии различных элементов, в частности разнородных металлов.

Анализ механизма и кинетики формирования интерметаллических соединений при СВС показывает, что параметрами, наиболее пригодными для управления синтезом, являются начальная температура процесса и дисперсность исходных порошков. При изменении этих параметров получены два вида продуктов с заданным фазовым составом: в виде слитка и пористого штабика. Оптимальные условия получения интерметаллических соединений с памятью формы методом СВС в режимах послойного горения или теплового взрыва таковы(рис.2):

– начальная температура синтеза в режиме послойного горения для получения пористого штабика и слитка равна соответственно 0,2÷0.4 и 0,5÷0,7 от температуры плавления конечного продукты;

– начальная температура синтеза в режиме теплового взрыва близка к температуре плавления низкоплавкой эвтектики;

– давление инертного газа 1÷2 атм;

– минимальный диаметр заготовки более 3 см;

– начальная пористость заготовки примерно 30÷50%;

–остальные параметры: дисперсность и марки исходных порошков, степень разбавления инертной добавкой, концентрация основных и легирующих элементов и т.д. – варьируются с целью получения материала с заданными составом и свойствами. [3]

Рисунок 2 - Технология получения сплавов с памятью формы методом СВС

Материалы с памятью формы были открыты в конце 60-х гг. 20 в. В настоящее время для МПФ определены функциональные свойства: одно- и двухсторонний эффект памяти, псевдо- или суперэластичность, высокая заглушающая способность и т. п. [4]

Сферы применения материалов с памятью формы:

1. Оборонная промышленность
2. Медицина
3. Тепловая сигнализация
4. Электротехника
5. Бытовая техника

Производство ювелирных изделий

Результаты и обсуждение

МПФ давно нашли применение в различных сферах жизнедеятельности человека, но интерес на данный момент привлекает использование данных материалов в нефтегазовой промышленности. Сейчас такими разработками занимаютсяученые Института физики металлов Уральского отделения РАН во главе с Виктором Владимировичем Сагарадзе. Об этом он сообщил ТАСС осенью 2017-го года: "Мы работаем над созданием нержавеющей стали с эффектом памяти формы. При нагревании она принимает нужную форму. Например, эту технологию можно будет применять при ремонте обсадных труб (труба, которую погружают в скважину для предотвращения осыпания рыхлых слоев земли - прим. ТАСС) на нефтяных и газовых скважинах в Арктике. Материал планируем разработать до 2019 года или 2020 года", - сказал Сагарадзе. [5]

На данный момент при повреждении обсадных труб нефтяных скважин в Арктике их либо полностью заменяют, либо используют способ цементирования, эти способы мы рассмотрим ниже.

1. Полная замена обсадной колонны

Цели, которые должны быть достигнуты при замене обсадной колонны:

- После установки новой колонны должно быть полностью прекращено проникновение в скважину посторонней воды и породы через сквозные отверстия в трубе и по затрубному и межтрубному зазору.
- Установка новой колонны по возможности не должна повлечь за собой уменьшение дебита скважины из-за уменьшения ее диаметра.

Закрепление новой колонны производят на всю длину изношенной рабочей колонны. При наличии срезанной колонны можно ограничиться закреплением скважины только от среза до устья в случае, если труба ниже среза еще пригодна для работы. В противном случае устанавливают колонну, состоящую из труб двух диаметров. До среза устанавливают трубу диаметром, равным диаметру срезанной колонны, а ниже среза – меньшего диаметра, посаженную внутрь срезанной колонны. На конце ее устанавливают сальник, предохраняющий водоприемную часть скважины от проникновения цементного раствора.

В большинстве случаев новую колонну устанавливают без извлечения старой колонны [5]

2. Способ цементирования.Эта технология создавалась на основе многолетнего практического опыта и совершенствовался при помощи современных достижений науки и техники. Состоит она из нескольких шагов:

1. Цементирование предусмотренного интервала по всей его протяженности.
2. Получение цементного камня с необходимыми механическими свойствами.
3. Сверление. [6]

Сейчас данные способы хоть и имеют систему отработанных норм и правил выполнения работ, схемы организации и процесса, но также имеют свои минусы: нужен индивидуальный подход к каждому конкретному случаю (состояние ствола скважины, протяженность цементируемого интервала, горно-геологические условия, уровень и опыт проведения цементировочных работ и работ по замене обсадной трубы в данном районе), материальный затраты, длительность процессов.

Внедрение же нержавеющей стали с эффектом памяти формы, по словам ученого, поможет нефтедобывающим предприятиям сэкономить время и деньги при ремонте обсадных труб на скважине.

Выводы

Таким образом, одним из перспективных направлений применения МПФ является нефтегазовая промышленность. Ремонт обсадных труб на основе применения МПФ обеспечит снижение материальных затрат и экономию временных ресурсов.

Список литературы

1. https://ru.wikipedia.org/wiki/Эффект_памяти_формы
2. https://studfiles.net/preview/4672959/page:2/
3. https://studfiles.net/preview/4672959/page:4/
4. М. В. Бойцова, Получение и использование материалов с памятью формы, Вестник ТГУ, т.18, вып. 4, 2013
5. https://nangs.org/news/technologies/uralskie-uchenye-sozdadut-umnuyu-nerzhaveyushchuyu-stal-dlya-remonta-skvazhin-v-arktike
6. http://gp-cg.ru/kapitalnyj-remont-skvazhin/remont-skvazhin-zamena-obsadnoj-kolonny/
7. https://studopedia.ru/5_55464_tsementirovanie-obsadnih-kolonn.html

PERSPECTIVES OF APPLICATION OF MATERIALS WITH MEMORY OF THE FORM

Trufanov A.E., Student

Trufanov A.E.

Polzunov Altai State Technical University,
46 Lenina st., Barnaul, 656038, Russian Federation

Abstract

What is the shape memory effect? This phenomenon is a return to the original form during heating, which is observed in some materials after preliminary deformation. The technology of obtaining alloys with shape memory, based on the method of self-propagating high-temperature synthesis. . Materials with shape memory were discovered in the late 60's. 20th century. At present, functional properties are defined for materials with shape memory: one- and two-sided memory effect, pseudo- or superelasticity, high muffling capacity, etc. Materials with shape memory have long been used in various spheres of human activity, but the interest at the moment attracts the use of these materials in the oil and gas industry. The reason was the disadvantages of traditional methods of repair: an individual approach to each specific case is needed (wellbore condition, length of the cemented interval, mining and geological conditions, level and experience of cementing and casing replacement work in the area), material costs, process duration . The introduction of materials with shape memory will help oil producers save time and money when repairing casing pipes to a well.

Keywords: materials with shape memory, stainless steel, borehole, thermoelasticity, martensitic transformations.

УДК 621.74. 019:669

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВАНА ТРЕЩИНОУСТОЙЧИВОСТЬ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ СТАЛЕЙ

ЧЕРКАНОВ В.В.[1], канд. техн. наук, доцент
АЛЕКСЕЙЦЕВ А.И.[1], канд. техн. наук, доцент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Черканов В.В., Алексейцев А.И.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: sopromat116@mail.ru

Анотация

На склонность сталей к образованию горячих трещин определяющее влияние оказывают множество различных факторов это: физико-механические свойства сплава; характер выделения твердой фазы при кристаллизации; фазовое δ→γ превращение и кинетика развития усадки в области температурного интервала хрупкости. Установлено, что как хром, так и никель, присутствуя в стали в качестве единственного легирующего элемента, оказывают отрицательное влияние на их трещиноустойчивость. Положительного эффекта в повышении трещиноустойчивости можно добиться только при совместном легировании сталей хромом и никелем. Максимальный эффект достигается только при определенных соотношениях между хромом и никелем, описываемых уравнениями (1 и 2). Одним из факторов, оказывающих значительное влияние на трещиноустойчивость хромоникелевых сталей является фазовое δ → γ превращение. Расположение температурного интервала δ → γ превращения в температурной области образования горячих трещин приводит к понижению трещиноустойчивости хромоникелевых сталей.

Ключевые слова: сталь, трещиноустойчивость, концентрация, хром, никель, фазовое δ →γ превращение .

Введение

Повышение качества отливок может обеспечиваться как путем разработки новых прогрессивных технологических процессов, так и за счет разработки и совершенствования литейных сталей с высокими физико-механическими и технологическими свойствами. Для сталей одним из важнейших технологических свойств является трещиноустойчивость, то есть способностью сталей противостоять образованию горячих трещин при изготовлении отливок.

Проблема горячих трещин при изготовлении стальных отливок существовала всегда, но особенно большую остроту она приобрела в связи с усложнением, как составов применяемых сталей, так и конструкций отливок. Целью данной работы является исследование влияния состава и фазового δ → γ превращения на трещиноустойчивость хромоникелевых сталей.

Для исследований были выбраны пять групп сталей с содержанием хрома:

1,1 – 1,2 ат.%; 3,5 – 3,6 ат.%; 5,5 – 5,6 ат.%; 10,6 – 10,8 ат.% и 19,4 – 19,6 ат.%. Концентрация никеля в исследованных сталях изменялась в пределах от 0 до 10,5 ат.% с шагом от 0,5 до 1,5 ат. %. Концентрация других химических элементов поддерживалась в пределах: 0,07 – 0,09 масс.% углерода; 0,4 – 0,55 масс. % кремния; 0,3 – 0,5 масс. % марганца. Концентрация примесей не более 0,017 масс. % серы и не более 0,026 масс. % фосфора. Химический состав и трещиноустойчивость исследованных сталей представлены в таблице 1. Трещиноустойчивость сталей определяли на специальных образцах размерами 30*30*305 мм с прибылью в средней части диаметром 30 и высотой 160 мм. Характеристикой трещиноустойчивости стали является критическая нагрузка, приложенная к образцу, при

превышении которой в подприбыльной зоне образца в процессе кристаллизации образуется горячая трещина.

Таблица 1. Химический состав и трещиноустойчивость хромоникелевых сталей

№	Обозначение стали	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	$P_{тр}$
		Масс. %	Ат. %	Ат.%	Масс. %	Масс. %	Масс. %	Масс. %	Н
1	ХЛ	0,07	1,18	0,048	0,38	0,48	0,015	0,021	250
2	ХН1,5Л	0,06	1,16	1,51	0,32	0,50	0,014	0,020	820
3	ХН2Л	0,08	1,19	2,19	0,35	046	0,017	0,021	1940
4	ХН3Л	0,06	1,16	2,95	0,47	0,45	0,014	0,020	720
5	Х3,5Л	0,08	3,70	0,048	0,36	0,42	0,014	0,021	180
6	Х3,5Н1,5Л	0,07	3,60	1,67	0,34	0,38	0,015	0,022	360
7	Х3,5Н2,5Л	0,06	3,58	2,39	0,38	0,40	0,016	0,020	1240
8	Х3,5Н3Л	0,08	3,56	2,80	0,37	0,43	0,015	0.021	2720
9	Х3,5Н4Л	0,08	3,57	3,63	0,39	0,41	0,016	0,022	1140
10	Х3,5Н5Л	0,07	3,59	4,64	0,39	0,44	0,014	0,020	260
11	Х5,5Л	0,06	5,51	0,048	0,35	0,43	0,011	0,024	120
12	Х5,5Н1,5Л	0,07	5,52	1,68	0,33	0,46	0,010	0,025	180
13	Х5,5Н3Л	0,06	5,53	3,15	0,33	0,41	0,010	0,024	1740
14	Х5,5Н3,5Л	0,07	5,51	3,71	0,38	0,46	0,011	0,026	2160
15	Х5,5Н4,5Л	0,07	5,53	4,28	0,38	0,49	0,012	0,026	1250
16	Х10,5Н3Л	0,07	10,73	2,96	0,38	0,49	0,010	0,020	460
17	Х10,5Н3,5Л	0,07	10,70	3,42	0,37	0,53	0,012	0,022	860
18	Х10,5Н4Л	0,07	10,72	3,99	0,34	0,52	0,010	0,020	480
19	Х10,5Н4,5Л	0,07	10,70	4,58	0,35	0,52	0,011	0,022	1580
20	Х10,5Н5Л	0,08	10,60	4,91	0,38	0,51	0,011	0,022	2080
21	Х10,5Н6Л	0,07	10,69	5,84	0,36	0,53	0,011	0,022	640
22	Х19Н3Л	0,09	19,50	2,81	0,39	0,44	0,012	0,022	260
23	Х19Н4Л	0,07	19,48	3,90	0,37	0,50	0,012	0.023	940
24	Х19Н5Л	0,08	19,47	4,75	0,36	0,46	0,011	0,022	500
25	Х19Н5,5Л	0,08	19,49	5,54	0,39	0,48	0,010	0,021	860
26	Х19Н6,5Л	0,07	19,51	6,25	0,35	0,45	0,012	0,022	1680
27	Х19Н7,5Л	0,09	19,47	7,21	0,37	0,49	0,010	0,020	1350
28	Х19Н10,5Л	0,08	19,49	10,64	0,38	0,51	0,011	0,020	240

В результате проведенных экспериментов установлено, что зависимости трещиноустойчивости хромоникелевых сталей от концентрации хрома и никеля имеют сложный характер. При концентрациях хрома до 8 ат. % зависимости трещиноустойчивости сталей от концентрации никеля имеют экстремальный характер. Причем с увеличением концентрации хрома величина оптимальной концентрации никеля, при которой стали имеют наибольшую трещиноустойчивость увеличивается (рис. 1, кривые 1, 2, 3). При концентрациях хрома свыше 8 ат. % характер зависимости трещиноустойчивости сталей от концентрации никеля изменяется и представляет собой кривую с двумя максимуми, положение которых зависит от концентрации хрома. С увеличением концентрации хрома в сталях оба максимума сдвигаются в область более высоких концентраций никеля (рис. 1, кривые 4 и 5).

Математическая обработка результатов экспериментов позволила описать зависимость трещиноустойчивости хромоникелевых сталей от концентраций хрома (X_{Cr}) и никеля (X_{Ni}) следующим уравнением:

$$\lambda g P_{тр} = 7{,}25 + 0{,}21X_1 - 0{,}03X_2 - 0{,}19X_1^2 + 0{,}94X_1 \times X_2 - 1{,}1X_2^2, \quad (1)$$

где X_1 и X_2 - кодированные значения концентраций хрома и никеля:

$$X_1 = \frac{X_{Cr} - 3{,}4}{2{,}2};\ X_2 = \frac{X_{Ni} - 3{,}0}{1{,}5}.$$

Анализ экспериментальных данных показывает, что как хром, так и никель, присутствуя в стали в качестве единственного легирующего элемента, оказывают отрицательное влияние на их трещиноустойчивость. Положительного эффекта в повышении трещиноустойчивости можно добиться только при совместном легировании сталей хромом и никелем, причем максимальный эффект достигается только при определенных соотношениях между хромом и никелем, описываемых следующими уравнениями (рис. 3):

при концентрации хрома менее 8 ат. % $X_{Ni} = 2{,}0 + 0{,}29X_{Cr}$ (2)

при концентрации хрома более 8 ат. % $X_{Ni} = 2{,}8 + 0{,}20X_{Cr}$ (3)

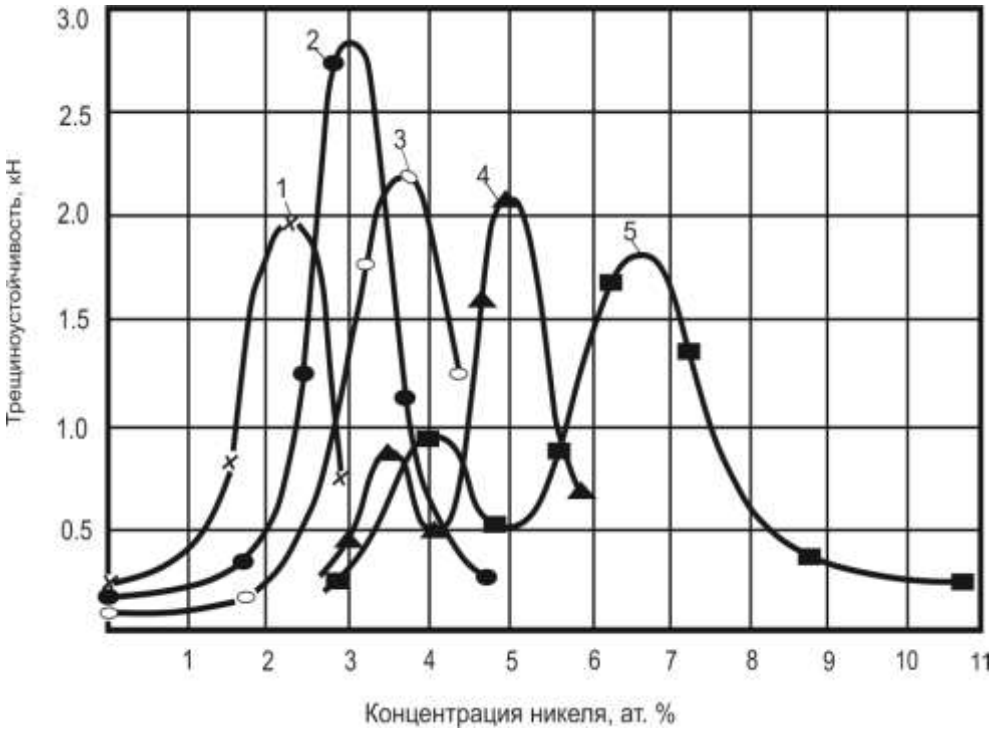


Рисунок 1. Влияние никеля на трещиноустойчивость хромоникелевых сталей с содержанием хрома: 1– 1,1-1,2 ат.%; 2– 3,5-3,6 ат.%; 3– 5,5-5,6 ат.%; 4– 10,6-10,8 ат.%; 5– 19,4-19,6 ат.%.

Трещиноустойчивость хромоникелевых сталей выше1000Н наблюдаетсятолько в узком интервале концентраций по никелю, не превышающем 1,9 ат.% при 19,5 ат.% хрома. Следует отметить, что на ширину указанного концентрационного интервала и характер зависимости трещиноустойчивости хромоникелевых сталей от концентрации никеля при постоянной концентрации хрома значительное влияние оказывает δ → γ превращение. Расположение температурного интервала δ → γ превращения в температурной области образования горячих трещин приводит к усилению интенсивности развития усадки в связи с дополнительным сжатием при перестройке кристаллической решетки железа (ОЦК → ГЦК). Усиление интенсивности развития усадки в области температурного интервала хрупкости приводит к повышению опасности образования горячих трещин, так как при этом увеличивается величина усадочных деформаций, возникающих при торможении усадки. Изучение указанного превращения сопровождается определенными методическими трудностями, связанными с проведением высокотемпературных исследований.

В данной работе, для определения положения температурного интервала δ → γ превращения относительно температурного интервала кристаллизации, изучалась температурная зависимость магнитной восприимчивости хромоникелевых сталей с различными концентрациями никеля (рис. 2). Ширину температурных интервалов кристаллизации и δ → γ превращения определяли по точкам перегиба на кривой зависимости

магнитной восприимчивости от температуры. Кристаллизация сплава сопровождается резким увеличением магнитной восприимчивости, а δ → γ превращение – резким ее падением. Понижение температуры в температурных областях существования δ – феррита или аустенита приводит к незначительному возрастанию (по сравнению с фазовым превращением) магнитной восприимчивости.

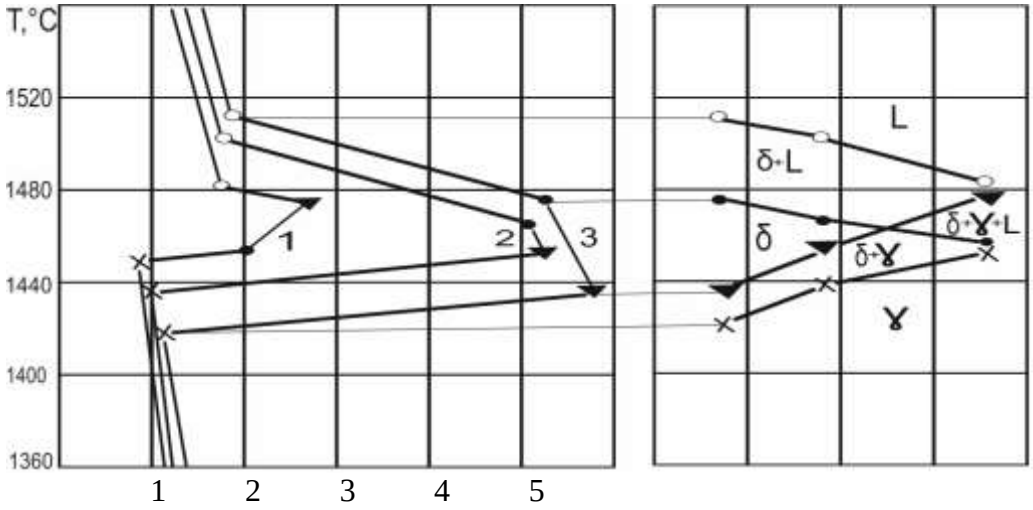


Рисунок 2. Температурная зависимость магнитной восприимчивости, температурные интервалы кристаллизации и δ → γ – превращения сталей: 1 – Х3,5Н5Л; 2 – Х3,5Н3Л; 3 – Х3,5Н1,5Л. Температуры: о – ликвидуса; • – солидуса; ▼–начала δ → γ превращения; × – конца δ → γ превращения.

В результате проведенных экспериментов установлено, что с увеличением концентрации никеля, в сталях содержащих 3,5 – 3,6 ат.% хрома, температурный интервал δ → γ превращения приближается к температуре солидуса, а при концентрациях никеля свыше 3,5 ат.% линия солидуса пересекает указанный интервал (рис.2).

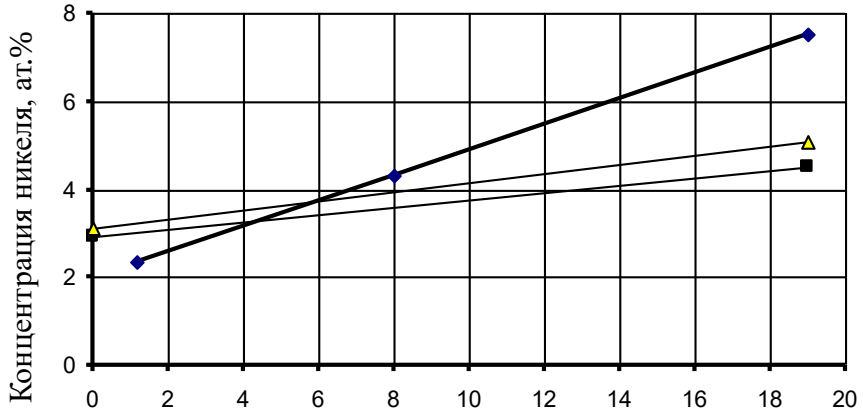


Рисунок 3. ♦ – Составы сталейсмаксимальнымизначениямитрещиноустойчивости. ■▲–Составы сталей температурный интервал δ → γ превращения, которых расположены в температурной области образования горячих трещин.

Расположение температурного интервала δ → γ превращения в температурной области образования горячих трещин приводит к усилению интенсивности развития усадки, что не благоприятно сказывается на трещиноустойчивости сталей. По этой причине происходит понижение максимальной трещиноустойчивости от 2820 Н при 3,5 – 3,6 ат.% и 3,0 ат.% никеля до 2160 Н при 5,5 – 5,6 ат.% хрома 3,6 ат.% никеля (рис. 1, кривые 2 и 3).

Влияние δ → γ превращения на характер зависимости трещиноустойчивости хромоникелевых сталей от содержания никеля выражается наличием минимума трещиноустойчивости (рис. 1, кривые 4 5) в области составов, для которых большая часть температурного интервала δ → γ превращения находится в температурной области образования горячих трещин. Так, например, при 10,6 – 10,8 ат.% хрома минимум трещиноустойчивости хромоникелевых сталей соответствует составам с концентрацией никеля 3,9 – 4,1 ат,%, а при 19,4 – 19,6 ат.% хрома – 4,8 – 5,0 ат.% никеля (рис. 3). Для хромоникелевых сталей с концентрацией хрома ниже 5,0 ат.% хрома область составов, большая частьтемпературного интервала δ → γ превращения которых находится в температурной области образования горячих трещин, располагается выше оптимальной концентрации никеля и совпадает с нисходящей ветвью зависимости трещиноустойчивости от концентрации никеля. Поэтому для хромоникелевых сталей с концентрацией хрома ниже 5,0 ат.% зависимости трещиноустойчивости от концентрации никеля не имеют минимума, который характерен для сталей с концентрацией хрома выше 6,0 ат.%. В этом случае область составов хромоникелевых сталей, δ → γ превращение которых протекает в температурной области образования горячих трещин, совпадает с восходящей ветвью указанной зависимости.

Таким образом, проведенные исследования показали, что максимальные значения трещиноустойчивости хромоникелевых сталей можно обеспечить только при определенных соотношениях между хромом и никелем, описываемых уравнениями (2 и 3). Установлено, что одним из факторов, оказывающих значительное влияние на трещиноустойчивость хромоникелевых сталей оказывает фазовое δ → γ превращение. Расположение температурного интервала δ → γ превращения в температурной области образования горячих трещин приводит к понижению трещиноустойчивости хромоникелевых сталей. В хромоникелевых сталях с концентрациями хрома выше 6 ат. % это приводит к появлению минимума трещиноустойчивости (рис. 1, кривые 4 5) в области составов, для которых большая часть температурного интервала δ → γ превращения находится в температурной области образования горячих трещин.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION ON THE CRACKABLE STABILITY OF CHROMONIC STEELS

Cherkanov V.V., PhD (Engineering), Associate Professor,
Alexeytsev A. I., PhD. (Engineering), Associate Professor,

Cherkanov V.V., Alexeytsev A. I.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenin Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

For steels one of the most important technological properties is the ability to resist the formation of hot cracks in the manufacture of castings. A numerical characteristic of the crack resistance of steel is the critical load applied to the specimen, when it exceeds that in the sample during the crystallization, a hot crack forms. It is established that both chromium and nickel, being present in steel as the sole leping element, have a negative effect on their crack resistance. The positive effect in increasing the crack resistance can be achieved only by combining the alloying of steels with chromium and nickel. The maximum effect is achieved only at certain ratios between chromium and nickel, described by equations (1 and 2). One of the factors that exert a significant influence on the crack resistance of chromium-keel steels is the phase δ → γ transformation. The location of the temperature interval δ → γ transformation in the temperature region of the formation of hot cracks leads to a decrease in the crack resistance of chromium-nickel steels.

Keywords: steel, crack resistance, concentration, chromium, nickel, phase δ → γ transformation.

УДК 621.9.048

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНДЕНТОРОВ ПРИ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

ГИЛЕТАВ.П.[1], канд. техн. наук, доцент
БЕЗНЕДЕЛЬНЫЙА.И.[1], канд. техн. наук, доцент,
([1]НГТУ,г. Новосибирск, Россия)

Гилета В.П., Безнедельный А.И.

Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
e-mail: v.gileta@corp.nstu.ru
e-mail: beznedelnyj@corp.nstu.ru,

Аннотация

Исследована износостойкость инденторов, изготовленных из различных материалов при ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработке (УЗО). Выявлено, что интенсивность износа существенно зависит от свойств материалов детали, индентора и режимов обработки. Наибольшую истирающую способность при УЗО имеют материалы высокой твердости, в частности, закаленные стали. Появление площадки износа снижает качество поверхностного слоя по микрогеометрическим и физико-механическим характеристикам. Испытание инденторов из инструментальных сталей Р18 и Р6М5, твердых сплавов групп ВК и ТК показали, что наибольшей износостойкостью обладают твердые сплавы ВК8и ВК4М. Из технологических параметров наибольшее влияние на износ индентора оказывает скорость обработки. Зависимость износа от скорости имеет не монотонный характер. Скорость, соответствующая минимальному износу, в основном определяется амплитудой колебаний и практически не зависит от статического усилия. Увеличение амплитуды колебаний и статического усилия приводит к интенсификации износа. На основании изучения морфологии площадки износа выявлено, что наиболее вероятным видом износа является усталостный.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование ультразвуковым инструментом (УЗО), индентор, износ, площадка износа, износостойкость, материал, режимы обработки, качество поверхностного слоя, шероховатость поверхности, микротвердость, статическая нагрузка, амплитуда и частота колебаний,

Введение

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) широко применяется для повышения эксплуатационных свойств деталей машин и приборов. Наложение на деформирующий элемент – индентор колебаний ультразвуковой частоты меняет кинематику и динамику взаимодействия тел и позволяет формировать поверхностный слой с микрометрическими и физико-механическими характеристиками, не свойственными другим методам ППД [1, 2].

В литературе имеются только общие требования к материалам инденторов при ППД [3], к которым отнесены: высокая твердость, способность сопротивляться истиранию и ударным воздействиям, высокий предел прочности на сжатие, низкий коэффициент трения по металлу, большая теплопроводность и теплоемкость. Эти требования не учитывают специфические условия работы ультразвукового инструмента, которые, несомненно, должны отразиться на его износостойкости.

Малое количество рекомендаций по выбору материала инденторов и сведений по их износостойкости при ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработке сдерживает широкое внедрение этого метода в промышленность. Поэтому цель работы являлось выявление материалов для изготовления инденторов, обладающих высокой износостойкостью в условиях УЗО и изучение механизмов их разрушения. Знание механизмов разрушения позволяет выработать стратегию дальнейшего поиска перспективных материалов.

Материалы, оборудование и методы исследований

Износ инденторов проводился при обработке деталей, изготовленных из различных материалов. Одним из основных критериев при выборе обрабатываемого материала служила поверхностная микротвердость. Согласно работе [3] по этому критерию все материалы можно разбить на четыре группы. Износ инденторов исследовался при обработке представителей каждой из этих групп. Образцы выполнялись цилиндрической формы с диаметрами 50…230 мм.

Материалами инденторов служили быстрорежущие стали Р6М5 и Р18, высоколегированная закаленная сталь ШХ15, твердые сплавы группы ВК (ВК2, ВК4М, ВК8, ВК8М, ВК15, ВК15М, ВК60М) и ТК (Т30К4). Рабочая часть инденторов выполнялась в виде полусферы радиусом 5 мм, с шероховатостью R_z0,3 мкм и с отклонениями формы поверхности ±0,01мм.

УЗО осуществлялась на токарном станке, оснащенном специальным приспособлением, ультразвуковым генератором УЗГ2-4, магнитострикционным преобразователем ПМС15А-18 с рабочей частотой 18 кГц.

Определение размера площадки износа проводилось оптическим методом. Диаметр площадки измерялся в двух сечениях в направлении подачи и скорости главного движения через каждые 400 м пути трения. За действительную величину принималось их среднее значение.

Изучение влияния основных технологических параметров УЗО: статической нагрузки Рст, амплитуды колебаний инструмента А, скорости обработки V, подачи Sна износ инденторов проводилось при их варьировании в диапазонах Рст = 50…400 Н, А = 10…30 мкм, V = 10…120 м/мин, S =0,05…0,2 мм/об. В процессе обработки в зону трения подавалась СОЖ (масло «Индустриальное 45»).

Выбор границы допустимого износа интенторов осуществлялся по степени изменения качества поверхностного слоя детали во время обработки по параметрам: шероховатость поверхности и микротвердость, как наиболее чувствительных к внешним воздействиям и приборно оснащенных для измерения.

Результаты и обсуждение

Исследования износостойкости ультразвуковых инструментов проводились в зависимости от материалов деталей, подвергаемых УЗО, материалов инденторов, пути истирания, режимов обработки и содержания кобальта в твердом сплаве группы ВК.

Рисунок 1. Износ инденторов при обработке различных групп материалов

Результаты исследований показывают, что с повышением твердости обрабатываемого материала износ инденторов возрастает (рис. 1).

Детальное изучение влияния материалов инденторов на их износостойкость позволило расположить материалы в следующей последовательности: ВК8, ВК4М, ВК8М, ВК2, Т15К6, ВК60М, ВК15, Т30К4, Р18, Р6М5, ШХ15. В качестве объекта для дальнейших исследований были выбран твердый сплав ВК8, как показавший наивысшую износостойкость.

Изучение влияния режимов УЗО на износ показало, что одним из основных факторов, определяющим интенсивность изнашивания инденторов из твердого сплава ВК8 является скорость обработки (рис. 2).

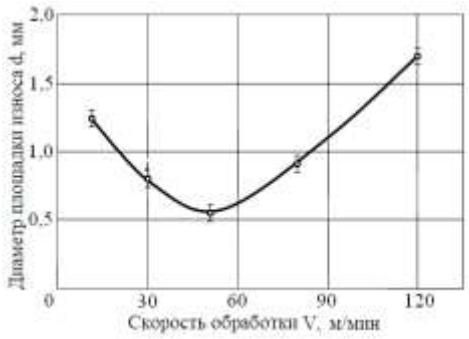


Рисунок2. Зависимость износа инденторов от скорости обработки, $P_{ст}$ = 300 Н

Характер криой изнашивания нелинейный, в диапазоне скоростей 30…70 м/мин наблюдается минимальное изнашивание независимо от статической нагрузки $P_{ст}$ и амплитуды колебаний инструмента А. При постоянной скорости зависимость износа от статической нагрузки $P_{ст}$ носит практически линейный характер (рис. 3).

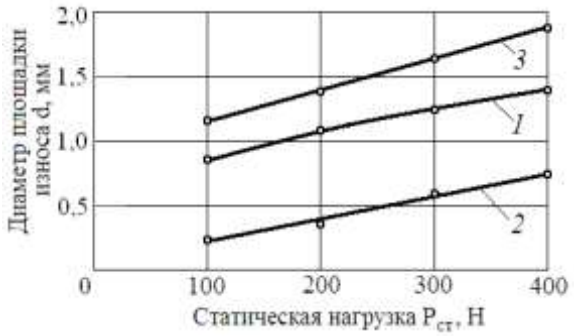


Рисунок3.Зависимость износа инденторов от статической нагрузки:
1 – V = 10 м/мин; 2 - V = 50 м/мин;3 - V = 120 м/мин;

Амплитуда колебаний инструмента, существенно определяющая напряженно - деформированное состояние в зоне взаимодействия детали и индентора, в значительной степени влияет на изнашивание последнего. Увеличение амплитуды ускоряет процесс износа во всем исследованном диапазоне скоростей (рис.4).

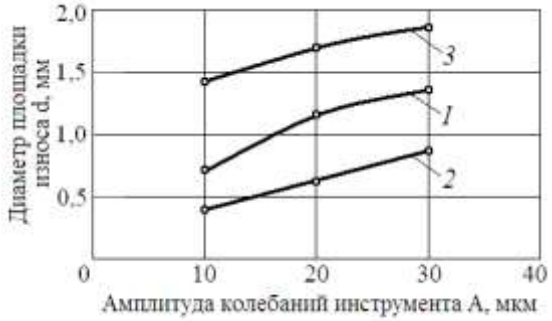


Рисунок 4. Зависимость диаметра площадки износа от амплитудыф колебаний инструмента:
1 – V = 10 м/мин; 2 - V = 50 м/мин;3 - V = 120 м/мин;

Исследования зависимостей шероховатости и микротвердости обработанной поверхности от диаметра площадки износа инструмента показали (рис. 5), что с ростом износа

увеличиваются высотные показатели микрогеометрии и снижается степень упрочнения, причем изменения этих показателей носят нелинейный характер. Если в качестве критерия при назначении предельного диаметра площадки износа d принять допустимую величину изменения шероховатости или степени упрочнения обрабатываемой поверхности, то зависимости (см. рис. 5) позволяют установить размер d, до которого целесообразно осуществлять процесс УЗО. А так как диаметр площадки износа является производным от режимов УЗО и пути трения, то проведенные исследования позволяют установить технологическую стойкость инденторов при обработке различных групп материалов. Например: при обработке закаленной стали ШХ15СГ (представителя материалов третьей группы) с исходной микротвердостью 7800 МПа и шероховатостью поверхности Ra 0,56 мкм необходимо получить поверхностный слой с Ra до 0,32 мкм. Диаметр площадки износа индентора из твердого сплава ВК8 в этом случае не должен превышать значения 1,2 мм (кривая 1, рис. 5), что соответствует при выбранных режимах УЗО пути трения 3600 м или технологической стойкости инструмента 70…75 мин.

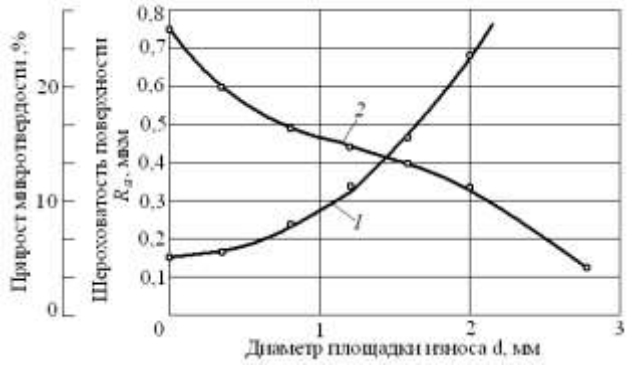


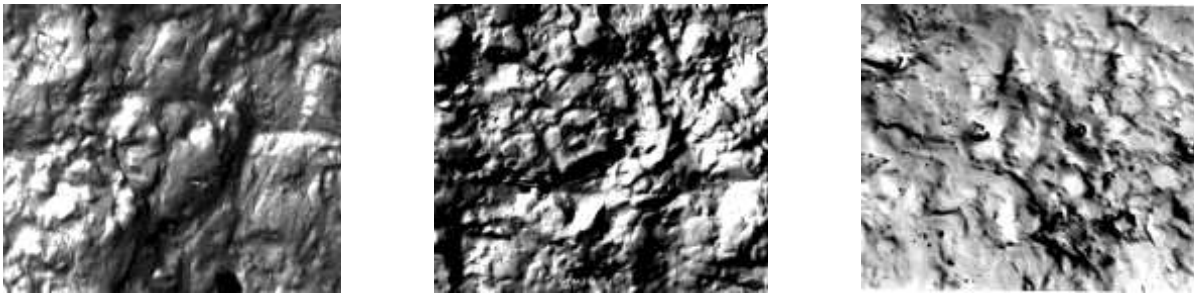
Рисунок5. Влияние износа индентора (ВК8) на качество поверхностного слоя обрабатываемой детали (ШХ15СГ):
1 – шероховатость поверхности;2 – прирост микротвердости

Как правило, в процессе трения одновременно наблюдается несколько видов изнашивания трущихся поверхностей [5], при этом их вклад в величине суммарного износа может быть как соизмеримым, так и проявляться ведущий вид (виды), ответственный за характер и величину износа.

Анализируя условия взаимодействия трущихся поверхностей при УЗО можно предположить, что наиболее характерными видами изнашивания индентора могут быть абразивный, кавитационный, адгезионный, усталостный.

Внешним проявлением абразивного вида изнашивания является наличие на площадке износа следов микрорезания и (или) борозд, которые возникают за счет пластического деформирования материала индентора отдельными свободными или закрепленными частицами. Оптические исследования показали, что на площадке износа ни зарапины, ни борозды не наблюдаются. Следовательно, абразивный вид изнашивания инденторов из твердого сплава ВК 8 не является характерным при УЗО.

Изучение роли адгезионного изнашивания в интегральном износе твердого сплава проводилось по наличию налипов материала детали на площадке износа. Электроннографические и электронномикроскопические исследования не выявили наличие упрочняемого материала на площадке износа (рис. 6). Наряду с указанными исследованиями изучался химический состав материала площадки износа с помощью рентгеноспектрального микроанализа, который показал, что содержание вольфрама, кобальта и их распределение соответствует исходному состоянию твердого сплава ВК 8, а интенсивность линии Fe на изношенной поверхности соответствует уровню фона.



а б в

Рисунок6. Поверхность износа твердого сплава при различной скорости детали; реплика х 7000:
а – V = 10 м/мин; б - V = 50 м/мин; в - V = 120 м/мин

Если образуется адгезия связь между поверхностями детали и индентора при УЗО, то она не прочная и разрушение происходит по месту ее возникновения. Неизменность химического состава изношенной поверхности и поверхности образца позволяет говорить о тот, что при рассматриваемых режимах интенсификации процессов диффузии Fe в твердый сплав ВК8 и W и Co в обрабатываемый материал не происходит. Диффузия углерода в работе не рассматривалась. Полученные результаты позволяют говорить о том, что адгезионный и диффузионный механизмы изнашивания при УЗО не являются основными, ответственными за интегральный износ.

Одним из видов изнашивания инденторов при УЗО может быть кавитационное, поскольку для этого имеются условия: наличие жидкой среды (масло «Индустриальное 45») и источника ультразвуковой энергии – концентратора-волновода. Кроме того, источником кавитации могут быть зоны разряжения, возникающие в потоке жидкости при обтекании неровностей поверхности.

Исследования морфологии поверхности инденторов из твердого сплава ВК8 показали, что явных следов кавитационного разрушения на площадке износа не обнаруживается, хотя вне зоны непосредственного контакта индентора через 20…25 минут изнашивания наблюдается матовый ореол и виде пояска. Низкая интенсивность кавитационных процессов может быть объяснена тем, что при УЗО в качестве СОЖ использовалось масло «Индустриальное 45», обладающее повышенной вязкостью, что сдерживает развитие кавитации. Таким образом, для рассматриваемых технологических режимов кавитационное изнашивание не является существенным и не может быть ответственным за интегральный износ инденторов из твердого сплава ВК8.

Для большинства твердых материалов одним из ведущих видов изнашивания является усталостный. Дальнейшими исследованиями будут направлены на подтверждение или опровержение этого факта применительно к твердому сплаву в условиях УЗО.

Проведенные комплексные исследования влияния материалов обрабатываемых деталей и инденторов, а также режимов УЗО на износ инструмента и формируемое им качество поверхностного слоя позволяют сделать следующие выводы.

Выводы

1. Испытанные материалы инденторов при УЗО по износостойкости располагаются в следующей последовательности: ВК8, ВК4М, ВК8М, ВК2, Т15К6, ВК60М, ВК15, Т30К4, Р18, Р6М5, ШХ15.
2. Режимы УЗО не однозначно влияют на износ инденторов: увеличение статической нагрузки и амплитуды колебаний приводит к интенсификации изнашивания. Зависимость износа от скорости для инденторов из твердых сплавов носит экстремальный характер, с наличием минимума в определенном ее интервале.
3. Износ инструмента снижает упрочняющий и выглаживающий эффекты. Допустимая величина площадки износа, с учетом граничных условий по степени изменения

шероховатости или микротвердости, позволяет определить технологическую стойкость инструмента.

4. Абразивный, адгезионный и кавитационные виды изнашивания не вносят существенный вклад в интегральный износ твердосплавного инструмента при УЗО.

Список литературы

1. Гилета В.П. Технологические возможности поверхностного пластического деформирования с использованием ультразвуковых колебаний / В.П. Гилета, В.Б. Асанов, А.И. Безнедельный // Труды межд. науч.-практ. конф. «Инженерия поверхностного слоя деталей машин», Кемерово, 2009.- С. 75-79.

2. Рахимянов Х.М. Повышение качества поверхностного слоя деталей с покрытиями ультразвуковым пластическим деформированием / Х.М. Рахимянов, Ю.С. Семенова, М.А. Третьяков // Механики XXI веку, Братск. – 2011. - № 10. – С. 83-85.

3. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987, - 328 с.

4. Гилета В.П. Технологические рекомендации по применению ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки /В.П. Гилета, В.Б. Асанов, А.И.Безнедельный // Труды 4-ой межд. науч.-практ. конф. «Инновации в машиностроении», Новосибирск, 2013.- С. 248-253.

5. Талантов И.В. Физические основы процесса резания, изнашивания и разрушения инструмента. М.: Машиностроение. 1992. – 240 с.

INVESTIGATION OF WEAR-RESISTANCE OF INDENTERS DURING REINFORCING FINISHING TREATMENT WITH ULTRASONIC TOOLS

Gileta V.P., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Beznedelnyy A.I., Ph.D. (Engineering), Associate Professor

Gileta V.P., Beznedelnyy A.I.

Novosibirsk State Technical University,
20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The wear resistance of indenters made of various materials during ultrasonic reinforcing finishing treatment (UST) was investigated. It was revealed that the wear rate depends essentially on the properties of the materials of the part, indenter and processing regimes. The highest abrasive capacity during UST was observed for high hardness materials, in particular, hardened steels. The appearance of a wear pad reduced the quality of the surface layer on the microgeometric and physicomechanical characteristics. The tests of indenters from tool steels P18 and P6M5 and hard alloys of VK and TK groups showed that hard alloys BK8 and BK4M have maximal wear resistance. Of technological parameters, the processing speed has the greatest influence on the wear of the indenter. Dependence of wear on speed is not monotonic. The speed corresponding to the minimum wear is mainly determined by the amplitude of the oscillations and is practically independent of the static force. Increasing the amplitude of the oscillations and the static force leads to an intensification of wear. Based on the study of the morphology of the wear site, it was revealed that the main type of wear is fatigue.

Keywords: surface plastic deformation by ultrasonic instrument, indenter, wear, wear pad, wear resistance, material, processing conditions, surface layer quality, surface roughness, microhardness, static load, amplitude and frequency of oscillations

УДК621.7.043

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНО-СИЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКЕ

ЩЕРБИНИН Д.С.[1], студент,
ГОРИН Е.Ю.[1], аспирант
КРЯЖЕВЮ.А.[1], канд. техн. наук, доцент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Щербинин Д.С., Горин Е.Ю, Кряжев Ю.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e-mail: sopromat116@mail.ru

Аннотация

Штампы для холодного деформирования работают в условиях высоких знакопеременных нагрузок, которые приводят к нагреву и изнашиванию рабочих поверхностей. В зависимости от вида операций штамповки, свойств штампуемого материала, состояния оборудования и других факторов будут меняться причины выхода из строя инструмента для штамповки.

Ключевые слова: штамп, холодное деформирование, метод конечных элементов

Введение

Основные причины выхода инструмента из строя:

1. малоцикловая усталость и хрупкое разрушение; 2. изменение размеров и формы штампов в результате абразивного износа; 3. изменение размеров и формы штампов в результате деформации и смятия. Поэтому для штампов в зависимости от их назначения, условий работы, формы размеров необходимо выбирать рациональные по составу стали, режимы термической и химико-термической обработки.

Пуансон ОЛСП-2 предназначен для высокопроизводительного процесса расправки дульца гильзы патрона стрелкового оружия. Принцип действия пуансона: гильза выталкивателем подаётся на пуансон, где головной частью пуансона происходит расправка дульца гильзы, на глубину не более 2 мм. После расправки пуансон выходит из гильзы и гильза, уперевшись в стенки матрицы, снимается с пуансона. В закрытом пространстве в матрице пуансон подвергает исходную заготовку патрона давлению с чрезвычайно большими усилиями. В случае если пуансон децентрирован, то образуются дополнительные изгибающие и растягивающие нагрузки, приводящие к его поломке из-за недостаточной устойчивости. Это может произойти в случае неравномерного износа пуансона. Изменение размеров и формы пуансона может привести к изменению глубины расправки дульца гильзы, а это в свою очередь при обжиме патрона способствует увеличению пулеизвлекающего усилия, что отрицательно сказывается на баллистических характеристиках патрона. В действующем технологическом процессе расправки (выдавливания) дульца гильзы головная (рабочая) и торцевая части пуансона хромированы. В качестве материала для изготовления пуансона используется инструментальная сталь У10А. В процессе работы пуансона его рабочая часть подвергается абразивному износу, в результате чего с поверхности пуансона стирается хромированный слой, что приводит к истончению головной части пуансона. Изношенный пуансон в процессе работы увеличивает количество забракованных изделий (царапины, трещины, вмятины на поверхности дульца). При истирании защитного (хромированного) слоя пуансона остается металл, который значительно меньше подвержен сопротивлению к абразивному износу.

Для увеличения срока службы рабочего инструмента предлагается провести исследования по подбору износостойкого покрытия на рабочей части пуансона и, как следствие, внесение изменений в технологический процесс изготовления инструмента. Исследования по износостойкости рабочей поверхности пуансона, изготовленного по различным технологиям, будут проводиться в условиях физического моделирования на установке, показанной на рисунке 1, схема работы моделирующей установки показана на рисунке 2. Для расчёта удельного давления на рабочей поверхности пуансона использована методика, изложенная в литературе [1,2].

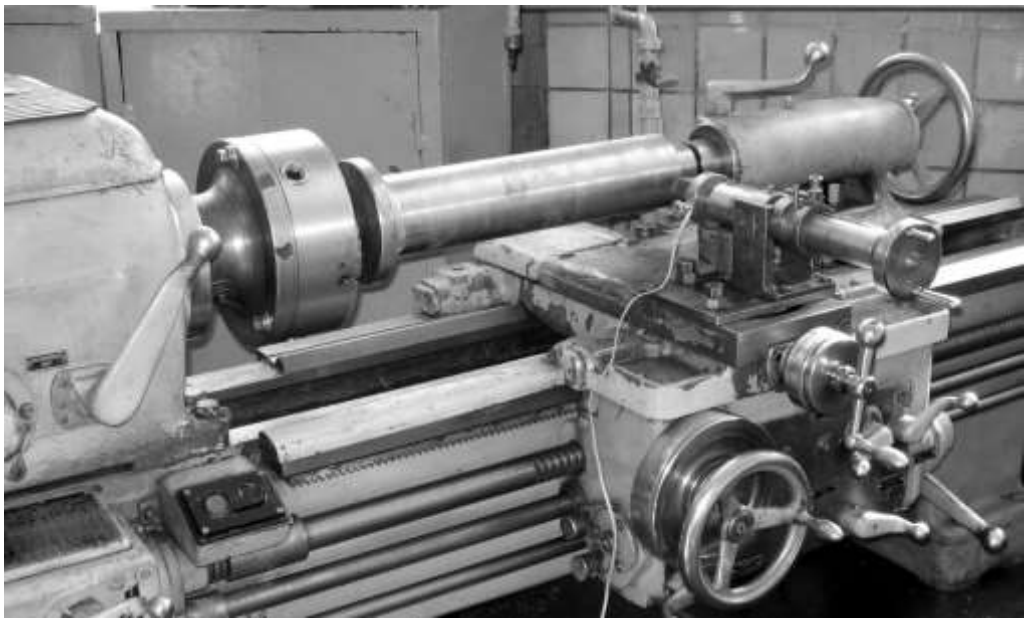


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для физического моделирования процесса изнашивания рабочей поверхности пуансона.

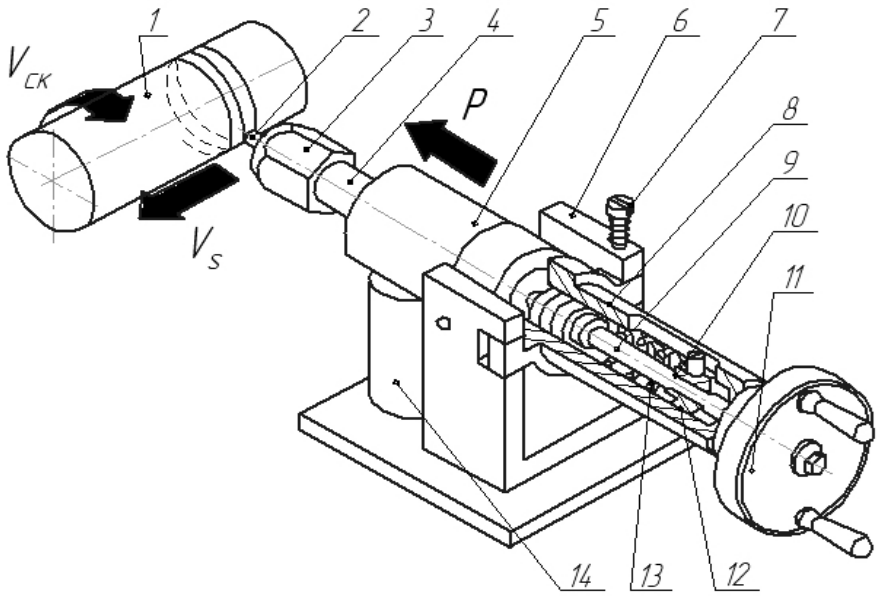


Рисунок 2 – Схема работы моделирующей установки. 1 – индентор, 2 – контртело, 3 – гайка, 4 – шток, 5 – корпус штока, 6 – стойка, 7 – зажим, 8 – корпус зажимного устройства, 9 – толкатель, 10 – вал, 11 – диск, 12 – ползун, 13 – пружина, 14 – датчик давления.

Расчет внешнего усилия $P_{вн}$ ведется из условия равенства его внутреннему сопротивлению:

$$P_{вн} = \sigma \cdot F\,, \qquad (1)$$

где σ-напряжение;

F-площадь сечения, на которое действует усилие раздачи.

Напряжение меридиональное σ:

$$\sigma = \sigma_{\text{ц.ч.}}, \quad (2)$$

где σ-напряжение в цилиндрической части с учетом трения.

Определение напряжения в цилиндрической части с учетом трения, изгиба, упрочнения:

$$\sigma_{\text{ц.ч.}} = \sigma_s \cdot (1 + f \cdot \cot\alpha) + \frac{\sigma_{02}}{2\cdot\frac{R_p}{S_s}+1}, \quad (3)$$

где $R_p = \frac{\sqrt{R_з \cdot S_з}}{\sin\alpha}$;

f- коэффициент трения, (0,1÷0,15);

α-угол конусности;

σ_{02}; σ_s – предел текучести, 210 МПа.

Площадь сечения F, на которую действует усилие раздачи:

$$F = \frac{\pi\cdot(R_1^2 - R_2^2)}{4}, \quad (4)$$

Произведенный расчет удельного давления, действующего на пуансон в процессе расправки дульца патрона– 238 кг/см^2 позволяет провести эксперименты на установке по исследованию износостойкости поверхности пуансона методом физического моделирования процесса с целью выбора рационального материала пуансона и поверхностного износостойкого покрытия [3].

Для проверки расчетного удельного давления, действующего на пуансон в процессе расправки дульца гильзы патрона стрелкового оружия, предлагается использовать метод конечных элементов, произведенный в программе SOLIDWORKS. На рисунках 3 и 4 показаны таблицы: свойства материала, применяемого для изготовления гильзы; загрузка исходных данных для расчёта удельного давления, действующего на пуансон.

Нагрузки

Имя нагрузки	Загрузить изображение	Загрузить данные
Давление-1		Объекты: 1 грани Тип: Перпендикулярно выбранной грани Значение: 270 Единицы измерения: kgf/cm^2 Угол фазы: 0 Единицы измерения: deg

Рисунок 3 – Исходные данные для расчёта удельного давления по перемещению стенок гильзы.

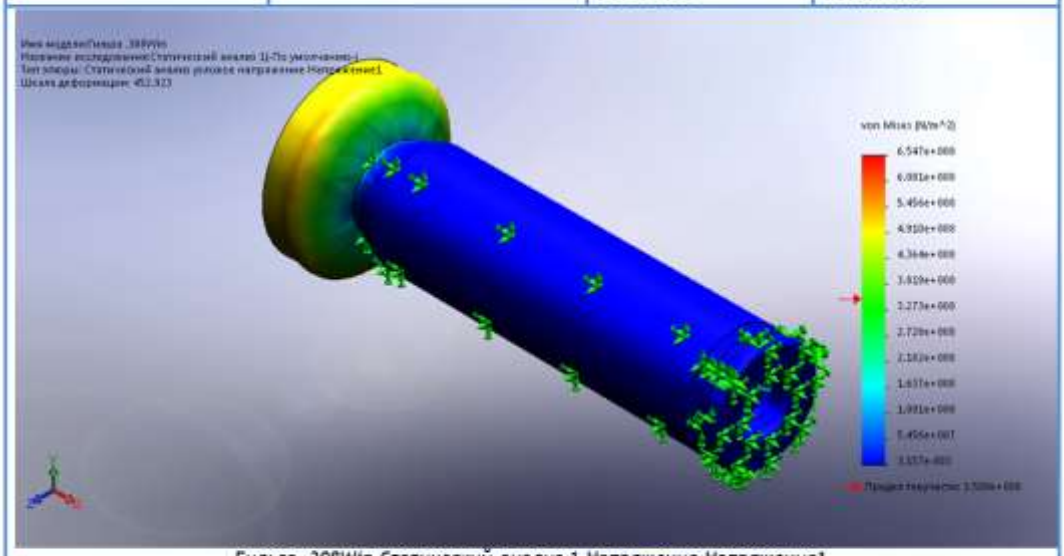
Свойства материала

Ссылка на модель	Свойства		Компоненты
	Имя:	18ЮА Сталь конструкционная углеродистая качественная	Твердое тело 1(Вырез-Вытянуть1)(Гильза .308Win)
	Тип модели:	Линейный Упругий Изотропный	
	Критерий прочности по умолчанию:	Максимальное напряжение von Mises	
	Предел текучести:	3.5e+008 N/m^2	
	Предел прочности при растяжении:	4.2e+008 N/m^2	
	Модуль упругости:	2.05e+011 N/m^2	
	Коэффициент Пуассона:	0.29	
	Массовая плотность:	7870 kg/m^3	
	Модуль сдвига:	8e+010 N/m^2	
	Коэффициент теплового расширения:	1.17e-005 /Kelvin	
Данные кривой:N/A			

Рисунок 4 –Свойства материала, применяемого для изготовления гильзы.

Результаты исследования

Имя	Тип	Мин	Макс
Напряжение1	VON: Напряжение Von Mises	0.0031566 N/m^2 Узел: 4306	6.54668e+008 N/m^2 Узел: 1028



Гильза .308Win-Статический анализ 1-Напряжение-Напряжение1

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение1	URES: Результирующее перемещение	0 mm Узел: 40	0.116718 mm Узел: 11086

Рисунок 5 – Определение удельного давления для расправки дульца гильзы патрона.

На рисунке 5 представлены результаты исследования методом конечных элементов в программе SOLIDWORKS. В результате исследования установлено, чтопри увеличении диаметра гильзы на 0,11 мм, по чертежу расправка дульца гильзы патрона составляет 0,1 мм, удельное давление на стенках дульца патрона - составляет 250 кг/см^2, которое с точностью - 95% совпадает со значением удельного давления, рассчитанного по формуле 1.

Список литературы

1. П.В. Верещагин, В.А. Беляев. Проектирование штампов: учебное пособие для студентов специальности 170104.65. – Бийск: Алт. гос. техн. ун-т, 67 с.

2. Н.П. Агеев, Г.А. Данилин, В.П. Огородников. Технология производства патронов стрелкового оружия, Ч1, Ч2. – СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2006-533 с.

3. Ю.А. Кряжев, Б.Д. Даниленко. Исследование эффективности использования различных методов поверхностного упрочнения спиральных свёрл в условиях физического моделирования (статья). Международный межвузовский сборник. Фундаментальные и прикладные исследования для производства. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. С. 62…68.

DETERMINATION OF CONTACT FORCE PARAMETERS OF THE PROCESS COLD FORMING DIE TOOLING

Shcherbinin D.S. Sstudent,
Gorin E.Yu., Post-graduate Student
Kryazhev Yu.A. PhD (Engineering), Associate Professor

Shcherbinin D.S., Gorin E.Yu., Kryazhev Yu.A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenin Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

Dies for cold deformation work in conditions of high alternating loads, which lead to heating and wear of the working surfaces.

Depending on the type of stamping operations, properties of the die material, the condition of the equipment and other factors, the causes of failure of the tool for stamping will change.

The main reasons for the failure of the instrument:

1. low-cycle fatigue and brittle fracture;

2. changing the size and shape of stamps as a result of abrasive wear;

3. .changing the size and shape of stamps as a result of deformation and crushing. So for stamps, depending on their assignment, working conditions, forms, dimensions, you must choose a rational for the composition of the steel, the regimes of thermal and chemical-thermal treatment.

To increase the service life of the working tool, it is proposed to conduct studies on the selection of wear-resistant coating on the working part of the punch and, as a consequence, changes in the technological process of manufacturing the tool.

Keywords: stamp, cold deformation, finite element method

УДК621.91.01

РАСЧЕТ СИЛ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

ЛЕОНОВ С.Л.[1], доктор техн. наук, профессор,
ИКОННИКОВ А.М.[1], канд. техн. наук, доцент,
ГРЕБЕНЬКОВ Р.В.[1], аспирант
КУЛЬАВИК А. А.[2],профессор
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия
[2]ЧТУ, г.Ченстохова, Польша)

Леонов С. Л., Иконников А.М., Гребеньков Р.В., Кульавик А. А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет,
42 – 201, г. Ченстохова, ул. Домбровского 73,
Ченхостовский технологический университет,
e-mail:sergey_and_nady@mail.ru

Аннотация

Работа посвящена вопросу расчета сил магнитного поля при магнитно-абразивной обработке. В процессе резания происходит хаотичное перемешивание и перемещение ферромагнитных зерен порошка, что может привести к изменению значений сил магнитного поля. Силы магнитного поля в процессе обработки рассчитываются методом конечных элементов. Был произведен расчет сил магнитного поля для трех случаев, отличие которых заключается в том, что матрица из зерен порошка каждый раз смещается на 0.1 мм вдоль оси абсцисс. Такие смещения матрицы из зерен порошка моделируют его перемещение и перемешивание в процессе резания. В процессе обработки изменение значений сил магнитного поля в рабочем зазоре не происходит.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, магнитное поле, сила магнитного поля, абразивное зерно, ряд абразивных зерен.

Введение

Магнитно-абразивная обработка является одной из эффективных операций отделочной обработки. Сущность магнитно-абразивной обработки заключается в воздействии на обрабатываемую деталь порошковой ферромагнитной массы, уплотненной силами магнитного поля[1]. Именно от величины и распределения магнитной индукции ферромагнитная масса будет тем или иным образом распределяться в рабочем зазоре между магнитным индуктором обрабатываемой поверхностью заготовки.

При магнитно-абразивной обработке роль режущего инструмента выполняет порция магнитно-абразивного порошка, а заготовку для обработки размещают на расстоянии, равном величине рабочего зазора до магнитного индуктора. Рабочий зазор частично или полностью заполняют магнитно-абразивным порошком. Под воздействием магнитного поля зерна ферромагнитного порошка формируются своеобразную «щетку». Данная щетка удерживается силами магнитного поля в рабочем зазоре, и при движении заготовки относительно индуктора осуществляет съем с поверхности обрабатываемой детали. Также в процессе резания происходит хаотичное перемешивание и перемещение ферромагнитных зерен порошка, что может привести к изменению значений сил магнитного поля в рабочем зазоре. Поэтому, проведенные в данной работе исследования [2], направленные на расчет сил магнитного поля, действующих на хаотично перемещающиеся зерна ферромагнитного порошка, являются актуальными.

Описание теоретических исследований

Сложность расчета сил магнитного поля, действующих на зерна внутри рабочего зазора усугубляется тем, что они имеют разнообразную форму и размеры. Учитывать это многообразие не представляется возможным и целесообразно принимать допущение о том, что зерна ферромагнитного порошка – упорядочены и имеют форму шара.

Силы магнитного поля, действующие на зерна ферромагнитного порошка, в процессе магнитно-абразивной обработки рассчитываются методом конечных элементов. В качестве программного обеспечения для этого используется среда Ansys [3].

При магнитно-абразивной обработке постоянные магниты располагаются в индукторе таким образом, чтобы магнитная система индуктора состояла из магнитных ячеек, каждая из которых состоит из магнита и двух стальных магнитопроводов, размещенных у полюсных боковых поверхностей магнита (рисунок 1).

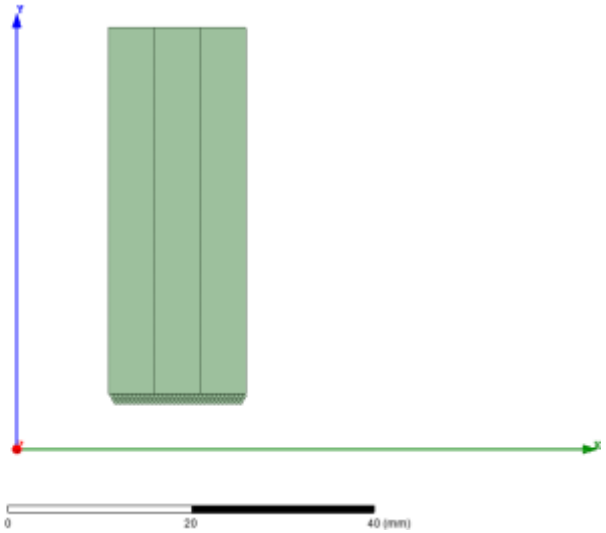


Рисунок 1 – Магнитная система

В данном исследовании был произведен расчет сил магнитного поля, действующих на зерна ферромагнитного порошка для трех случаев, отличие которых заключается в том, что матрица из зерен порошка каждый раз смещается на 0.1 мм вдоль оси абсцисс

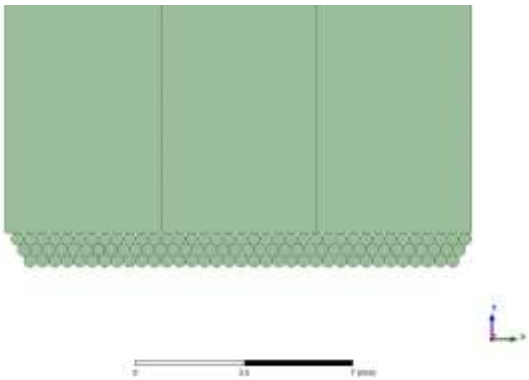


Рисунок 2 – Начальное положение зерен ферромагнитного порошка

. Первый случай является начальным (рисунок 2), во втором случае матрица из зерен смещена на 0.1 мм вправо по оси абсцисс относительно первого случая, в третьем случае матрица из зерен смещена на 0.1 мм влево по оси абсцисс относительно первого случая. Такие смещения матрицы из зерен порошка моделируют его перемещение и перемешивание в процессе магнитно-абразивной обработки.

Результаты и обсуждения

В итоге получены значения всех сил магнитного поля, действующих на все зерна ферромагнитного порошка, расположенные в рабочем зазоре [4] для всех трех случаев. Каждое зерно в каждом случае имеет свой индивидуальный номер, и свое значение магнитной силы. Все полученные значения экспортированы в среду MS Excel, в которой и проводились дальнейшие исследования (рисунок 3) Весь массив полученных значений сил магнитного поля для каждого случая был разделен на три ряда зерен, если считать от рабочей поверхности магнитного индуктора против оси ординат (рисунки 1, 2).

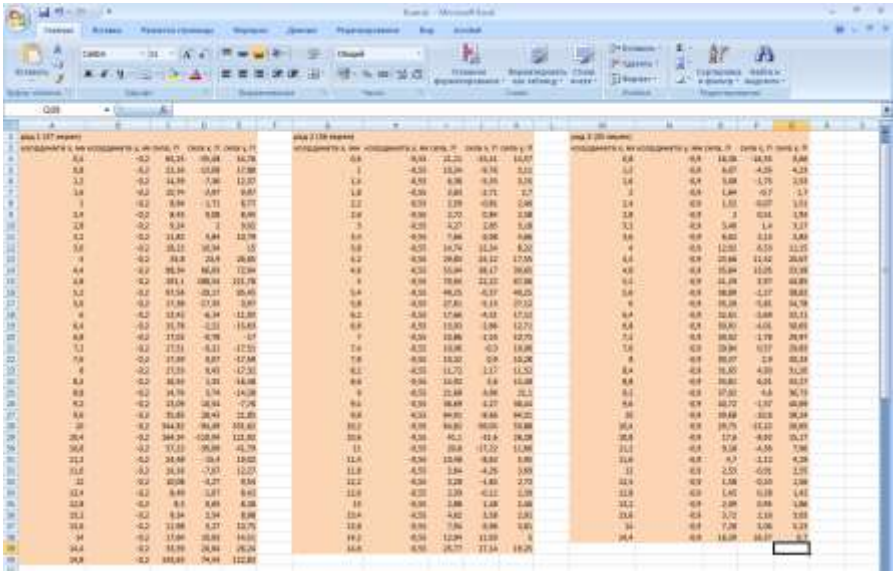
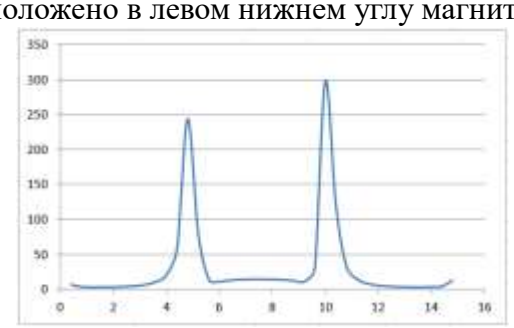


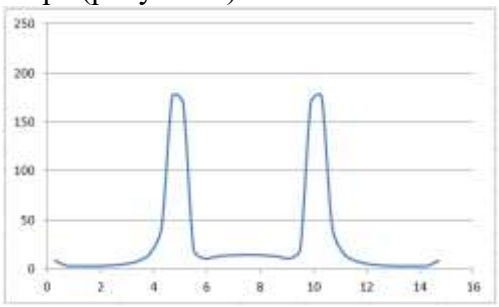
Рисунок 3 – Экранная форма результатов расчета в среде MS Excel

Для выявления изменений значений сил магнитного поля в рабочем зазоре в процессе магнитно-абразивной обработки были получены графики значений сил магнитного поля отдельно для каждого ряда матрицы зерен в каждом случае (рисунки 4, 5, 6).

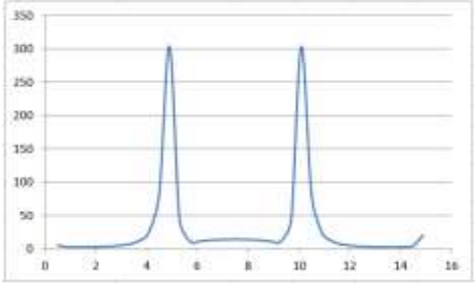
На графиках по осям абсцисс и ординат отложены значения, показывающие расположение центров ферромагнитных зерен порошка (мм). При этом начало координат расположено в левом нижнем углу магнитного индуктора (рисунок 2).



Первый случай

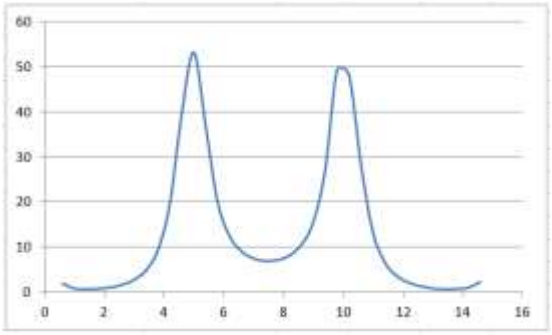


Второй случай

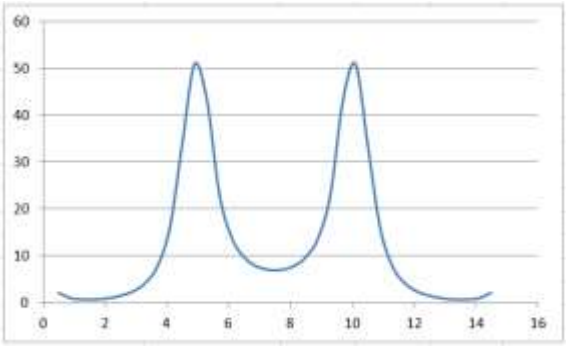


Третий случай

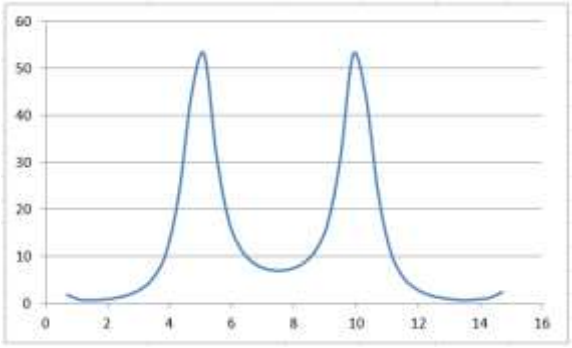
Рисунок 4 – Значения сил магнитного поля для первого ряда матрицы зерен



Первый случай

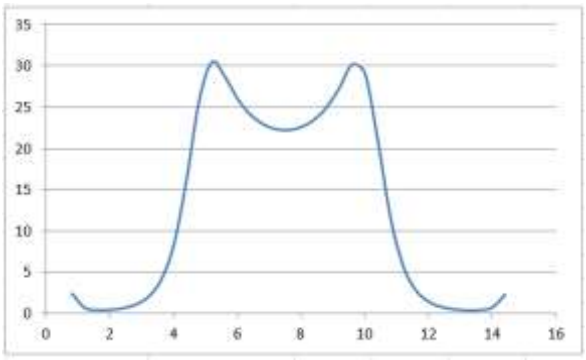


Второй случай

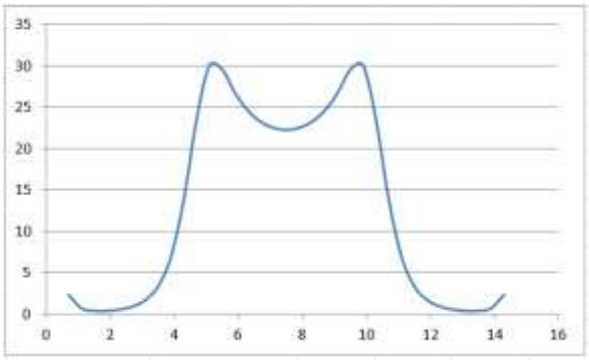


Третий случай

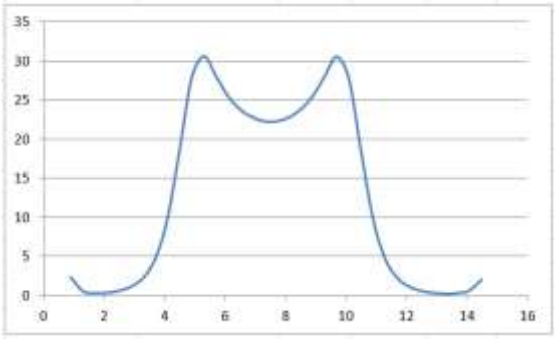
Рисунок 5 – Значения сил магнитного поля для второго ряда матрицы зерен



Первый случай



Второй случай



Третий случай

Рисунок 6 – Значения сил магнитного поля для третьего ряда матрицы зерен

При сравнении графиков значений сил магнитного поля каждого ряда зерен для всех трех случаев расчета можно сделать вывод, что значения сил существенно, а в некоторых случаях практически, не изменяются.

Выводы

В процессе резания происходит хаотичное перемешивание и перемещение ферромагнитных зерен порошка, что не приводит к изменению значений сил магнитного поля

в рабочем зазоре в процессе магнитно-абразивной обработки. Данный факт позволяет с уверенностью судить о стабильности сил резания, и, как следствие, стабильности качества обработанной поверхности в процессе магнитно-абразивной обработки [5].

Список литературы

1. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. – 176 с.

2. Татаркин, Е. Ю. Методы творчества: учеб. пособие / Е. Ю. Татаркин, А. М. Марков, А. А. Ситников. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1998. – 84 с.

3. Леонов, С. Л. Особенности применения метода конечных элементов при моделировании магнитного поля индуктора на постоянных магнитах в процессе магнитно – абразивной обработки / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, А. А. Кульавик, Р. В. Гребеньков // Сборник трудов VIII международной научно-практической конференции 28-30 сентября 2017 г. «Инновации в машиностроении (ИНМАШ-2017)», Изд-во НГТУ, Новосибирск, 2017. – С. 140-145.

4. Леонов, С. Л. Автоматическое регулирование рабочего зазора при магнитно-абразивной обработке пространственного сложных поверхностей / С. Л. Леонов, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков // Материалы 1-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы в машиностроении», Новосибирск, 2014 - С. 162-166.

5. Татаркин, Е. Ю. Совершенствование технологических процессов изготовления деталей с помощью методики функционально-стоимостного анализа / Е. Ю. Татаркин, А. М. Иконников, Р. В. Гребеньков, С. С. Просеков // Ползуновский вестник. - 2016. - №3. - С. 57-62.

CALCULATION OF THE MAGNETIC FIELD FOR MAGNETIC-ABRASIVE MACHINING

Leonov S.L., D.Sc. (Engineering), Professor,
Ikonnikov A.M., PhD (Engineering), Associate Professor,
Grebenkov R.V., Post-graduate Student,
Adam Kulawik, Professor

Leonov S.L., Ikonnikov A.M., Grebenkov R.V., Adam Kulawik,

Polzunov Altai State Technical University,
Prospekt Lenina, 46, Barnaul, 656038, Russian Federation
Czestochowa University of Technology,
73 ul. J. H. Dąbrowskiego, Częstochowa, 42 – 201, Polska

Abstract

The work is devoted to the calculation of magnetic field forces during magnetic abrasive machining. In the process of cutting, there is a chaotic mixing and movement of ferromagnetic powder grains, which can lead to a change in the values of the magnetic field forces. The forces of the magnetic field during processing are calculated by the finite element method. The magnetic field forces were calculated for three cases, the difference of which is that the matrix of powder grains is shifted by 0.1 mm along the abscissa axis each time. Such displacements of the matrix of powder grains simulate its movement and mixing in the cutting process. During processing, the values of the magnetic field in the working gap do not change.

Keywords: magnetic abrasive machining, magnetic field, magnetic field strength, abrasive grain, a number of abrasive grains.

УДК 621.9.048.4

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

КОРОТИН В.О.[1], магистрант,
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Коротин В.О.

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
e – mail: korotinvo@kuzstu.ru

Аннотация

В статье рассматривается нанесение защитного покрытия компактным электродом с помощью вибрации, методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Проведено экспериментальное исследование; получены зависимости химического состава покрытия, шероховатости, микротвердости от частоты вибрации электрода и режимов напряжения. По результатам исследования сформулированы выводы и рекомендации по нанесению покрытий с помощью данного метода.

Ключевые слова: электроискровое легирование (ЭИЛ), шероховатость, частота вибраций, микротвердость.

Введение

Развитие современного машиностроения требует повышения качества, надежности и долговечности деталей, узлов и механизмов. Одним из эффективных путей решения этих задач является применение различных функциональных покрытий, полученных методом электроискрового легирования (ЭИЛ). К достоинствам ЭИЛ относятся простота процесса, высокая адгезия покрытий, низкая энергоемкость и высокая экологичность. В качестве электродов при ЭИЛ применяют специальные вольфрамсодержащие твердосплавные материалы, обеспечивающие получение покрытия с заданными физико-механическими свойствами. Поверхности электродов подвергаются локальному действию высоких давлений ударной волны и температур. При этом происходит мгновенный разогрев анода, и капля или твердая частица материала анода перемещается к катоду. Летящие от анода к катоду фрагменты нагреваются до высокой температуры. Искровой разряд происходит в микроскопически малых объемах и продолжается 50–400 микросекунд. На катоде образуются лунки и микрованны, в которых частицы анода и катода взаимодействуют между собой и окружающей средой, активизируются диффузионные процессы, что приводит к образованию новых фаз и изменению структуры в поверхностном слое[1].

Описание теоретических и экспериментальных исследований

Одной из важных особенностей процесса ЭИЛ является возможность формирования покрытия на рабочих поверхностях деталей и режущих инструментов с обеспечением ряда физико-химическихи эксплуатационных свойств. Варьируя электрические режимы, материал электродов и другие параметры, можно изменять структуру, толщину, шероховатость, контролировать уровень остаточных напряжений и многие другие свойства формируемых легированных слоев [2].

Цель исследования: проведение экспериментальных исследований процесса ЭИЛ и определение влияния мощности разряда (напряжения) и частоты вибрации анода на химсостав покрытия, шероховатость и микротвердость.

Суть эксперимента заключается в следующем: На вал, который имеет три шейки, изменяя электрические режимы и частоту вибрации электрода, наносили покрытие.

Исследования проводились на образцах из стали 30ХГСА ГОСТ 4543-71[3], имеющих твердость *45-55HRC*, шероховатость *Ra 3,2*; химический состав стали представлен в табл. 1, механические свойства стали в табл. 2.

Таблица 1 – Химический состав стали 30ХГСАГОСТ 4543-71

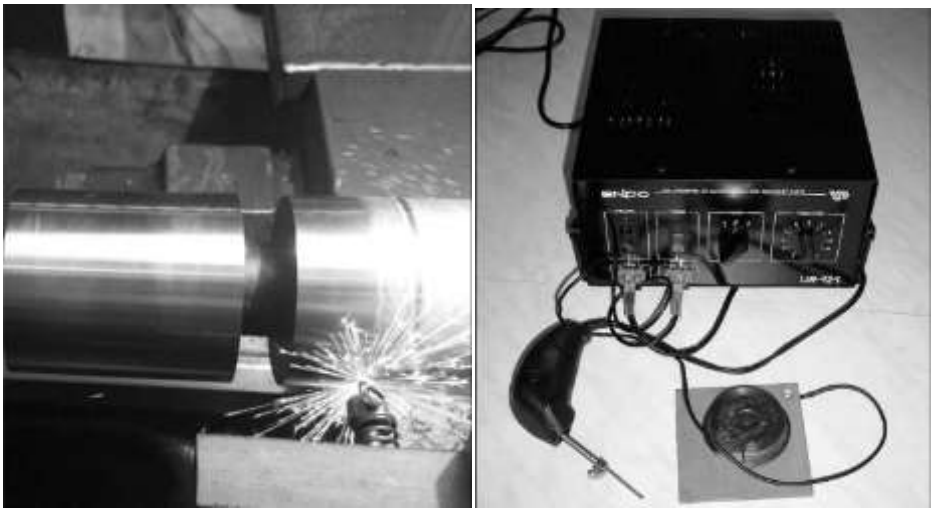
Химическийэлемент	**%**
Углерод (C)	0,28-0,34
Фосфор (P)	до 0,03
Кремний (Si)	0,80-1,10
Хром (Cr)	0,80-1,10
Марганец (Mn)	0,9-1,20
Никель (Ni)	до 0,30
Медь (Cu)	до 0,30
Сера (S)	до 0,03

Таблица 2 - Механические свойства стали 30ХГСАГОСТ 4543-71

$\sigma_{0,2}$ (МПа)	$\sigma_в$ (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	**KCU (кДж/м^2)**
830	1080	10	45	49

Нанесение покрытия осуществлялось на воздухе компактным электродом с помощью вибрации на установке UR-121, предназначенной для электроискрового упрочнения легированием как наружных, так и внутренних поверхностей деталей машин, режущего инструмента и пр. Принцип работы установки основан на периодических разрядах накопительных конденсаторов при касании вибрирующим электродом поверхности обрабатываемой детали. При разряде накопительных конденсаторов происходит перенос материала электрода в поверхностный слой обрабатываемой детали, в нашем случае поверхности вала. В качестве материала легирующего электрода (анода), был выбран твердый сплав ВК6, содержащий карбид вольфрама WC 92% и кобальт Co 8%[4]. Была поставлена цель, изменяя электрические режимы и частоту вибрации на установке UR-121, исследовать как изменится шероховатость покрытия, посмотреть структуры после легирования, провести исследования химического состава после легирования.

На установке имеется 3 электрических режима, которые отличаются друг от друга подаваемым напряжением (*50В, 100В, 150В*), на каждом из режимов настраивалась определенная частота вибрации (*130–500Гц*) электрода, всего режимов вибрации на установке 11. Эксперимент проводился на всех трех режимах, частоты вибраций на каждом режиме выбрали одинаковые. Покрытие наносилось на участки шириной 60мм, разделенные между собой канавками. Для получения более точных показателей, покрытие на всех трех электрических режимах и выбранных частот вибрации наносилось на два участка. Покрытие на поверхность каждого участка наносилось за одинаковое число рабочих ходов электрода, чтобы этот показатель не влиял на показатели шероховатости, микротвердости и др. и для придания сплошности покрытию. На рис.1 показана установка UR-121 и процесс ЭИЛ, а на рис. 2– вал с нанесенным покрытием.



а) б)

Рисунок 1– Электроискровое легирование а) – установка для ЭИЛ UR-121;
б)– процесс нанесения покрытия на вал

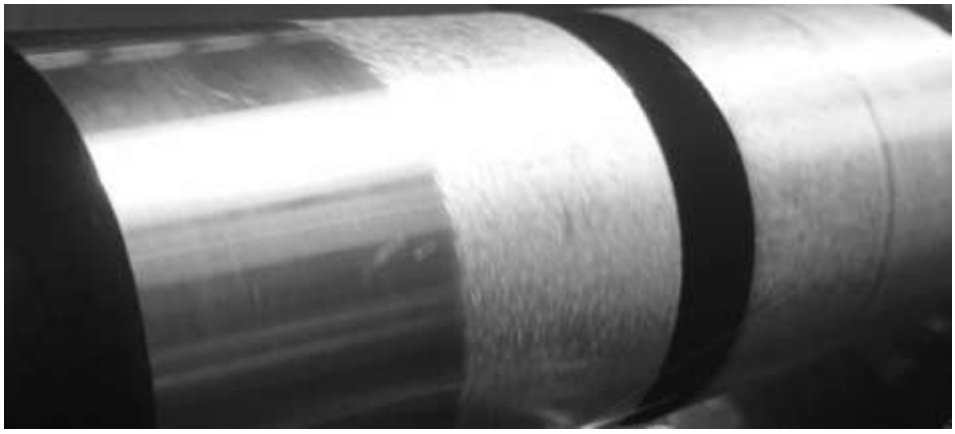


Рисунок 2 – Поверхность вала с нанесенным покрытием ВК6

Результаты и обсуждение

Исходя из полученных зависимостей, можно дать следующие рекомендации:

– для нанесения покрытия методом электроискрового легирования на поверхность, от которого зависит высокое качество обработки деталей, наиболее приемлемым режимом является 1 электрический режим с напряжением 50В. Это вызвано тем, что этот режим является более «мягким» и ввиду того, что шероховатость поверхности на данном режиме меньше, чем на остальных;

– электрический режим 2 с напряжением 100В является «средним». Он больше подходит для нанесения покрытий на те детали, для которых допустима значительная шероховатость поверхности, получаемая на деталях при ЭИЛ (например, детали сельскохозяйственных машин и др.);

– электрическийрежим 3 с напряжением 150В является «более грубым», чем два предыдущих, из-за получения высокой шероховатости поверхности покрытия. Вследствие этого, для уменьшения шероховатости полученного покрытия на электрических режимах 2 и 3, а в некоторых случаях и на первом рекомендуется ввести дополнительную финишную обработку поверхности, которая бы уменьшала шероховатость поверхности, но не снимала бы покрытие полностью[5].

Выводы

В качестве дополнительной обработки для уменьшения шероховатости поверхности обработанной электроискровым методом можно использовать шлифование. С помощью шлифования можно добиться получения поверхности необходимого качества путем удаления

части ранее нанесенного материала. Также в качестве обработки поверхности можно воспользоваться поверхностной пластической деформацией (ППД). Данный способ позволяет снизить не только шероховатость обрабатываемой поверхности, а также уменьшить остаточные растягивающие напряжения[6-7].

Список литературы

1. Верхотуров, А. Д. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей: Текст // А. Д. Верхотуров, И. М. Муха – Киев: Техника. 1982. – 184с.

2. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М. Электроискровое легирование металлических поверхностей. – Кишинев: Изд-тво «Штиинца». – 1985. – 196 с.

3. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали.

4. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд. доп. и испр. / А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. А.С. Зубченко – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.

5. Верхотуров, А. Д. Формирование износостойкого покрытия методом ЭИЛ твердыми сплавами и переходными металлами IV – VI групп: Текст // А. Д. Верхотуров, Л. А. Коневцов, Я. А. Востриков // Вест.Института тяги и подвижного состава. 2014. Вып. 10. – С.3-8.

6. Логинов Н.Ю., Логинов Ю.Н., Упрочнение инструмента методом электроискрового легирования // Извест.ТулГУ. Инструментальные и метрологические системы. 2004.Вып. 1-1. – С. 93–96.

7. Туренко А.Н., Полянский А.С., Лузин С.А. Интегрированные технологии газотермического напыления покрытий и метода Электроискрового легирования. // Автомобильный транспорт.2011.Вып. 28. – С. 109-113.

STRENGTHENING OF SURFACE STEEL PARTS BY ELECTRIC-SCREEN METHOD DIESING

Korotin V.O. Graduate Student

Korotin V.O.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),
650000, Vesennayastreet, 28, Kemerovo, Kemerovo region, Russian Federation

Abstract

The article deals with the application of a protective coating with a compact electrode by means of vibration, by the method of electrospark alloying (ESA). An experimental study was carried out, which resulted in the production of data on the basis of which the surface roughness and microhardness dependences will be constructed and analyzed, the chemical composition after doping from the vibration frequency of the electrode and the voltage regimes is analyzed. Based on the results of the study, conclusions and recommendations on the application of coatings using electrospark alloying are formulated.

Keywords: Electrospark alloying, ESA, roughness, purity of vibrations, electric regimes, microhardness.

УДК 621.9

ПЛАЗМЕННО-НАПЫЛЁННЫЕ ПОРОШКОВЫЕ ПОКРЫТИЯ

ИКОННИКОВ А. М. [1] *канд. техн. наук, доцент,*
МАЛЫШЕВ С. О. [1] *магистрант,*
ФЕДОРОВ В. А. [1] *канд. техн. наук, доцент.*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Иконников А. М., Малышев С. О., Федоров В. А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
e – mail: iamagtu@mail.ru
e – mail: 22unbb@gmail.com
e – mail: fvaagtu@mail.ru

Аннотация

Обосновывается актуальность выбранной темы исследований, рассматриваются современные проблемы данной области и анализируются их причины. Рассматриваются цель работы, задачи, методы исследований, научная новизна и практическая ценность.

Проанализированы научные труды и составлена классификация покрытий и виды напылений.

Спроектирован профиль поверхности детали под напыление, сознаны 3D модели, проведены эксперименты. Определены зависимости напряжений от геометрических параметров профиля. Даны рекомендации к общему случаю подготовки поверхности к напылению.

Ключевые слова: Эксплуатационные свойства изделий, детали с покрытиями, плазменное напыление, прочность соединения напыляемого слоя, метод конечных элементов, геометрические параметры.

Введение

Часто эксплуатационные свойства изделий определяются характеристиками их поверхностного слоя. Производство деталей с различными покрытиями является многообещающим. Плазменное напыление это один из результативных способов нанесения покрытий различного назначения и состава: металлы, сплавы, оксиды, бориды, карбиды, нитриды, пластмассы и т.п. Процесс плазменного напыления легко автоматизируется и механизируется. Плазменным напылением представляется возможным существенно изменить механические, физические, химические свойства материала основы. Например, возможно получить изделие с хорошим сопротивлением коррозии и фреттинг-коррозии. Что особенно насущно с экологической точки зрения. Преимущество плазменно-напылённых порошковые покрытий в том, что механическая прочность детали гарантируется за счет применения одного материала, а специальные свойства поверхности обеспечиваются сплошным или локальным формированием на ней слоев других материалов в виде покрытий.

Плазменную струю массово используют в качестве источника нагрева, распыления и ускорения частиц при напылении покрытий. Обладая высокой скоростью истечения и температурой, она даёт возможность напыления практически любых материалов. [1, с.178].

В данной работе в том числе будем учитывать один из факторов, определяющих свойства покрытий: его связывают с состоянием подложки, покрытия и всей системы подложка/покрытие в целом. [2, с.33].

Цели: Повысить прочность соединения напыляемого слоя защитного покрытия деталей машин путем формирования специальной геометрии поверхности деталей основы.

Описание исследований

На основании изучения применяемых в машиностроении деталей с покрытиями, а также полученных экспериментальных данных, моделировались геометрические параметры профиля шлицев поверхности деталей основы, которые могут быть использованы для повышения прочности сцепления покрытия детали с поверхностью детали основы.

Теоретически исследовались силовые явления при эксплуатации деталей с покрытиями, прочностные характеристики различных участков областей соединения деталей с покрытием, выявлялись потенциально опасные области, склонные к разрушениям при перегрузках.

Решение поставленных задач было реализовано посредством численных алгоритмов, а именно - методом конечных элементов. Моделирование осуществлялось в программной среде SolidWorks Simulation.

Имитационная модель, позволяет в программной среде выбрать оптимальные конструктивные геометрические параметры шлицевой поверхности под напыление износостойких покрытий, под действием эксплуатационных нагрузок по критерию минимальности возникающих напряжений, в области соединения детали с покрытием.

Разработаны рекомендации по практическому применению напыления с развитым профилем геометрии поверхности под напыление на производстве.

Даны рекомендации к нанесению напыления на деталь, имеющую развитый профиль поверхности под напыление.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов зависимости напряжения от геометрических параметров развитого профиля поверхности детали.

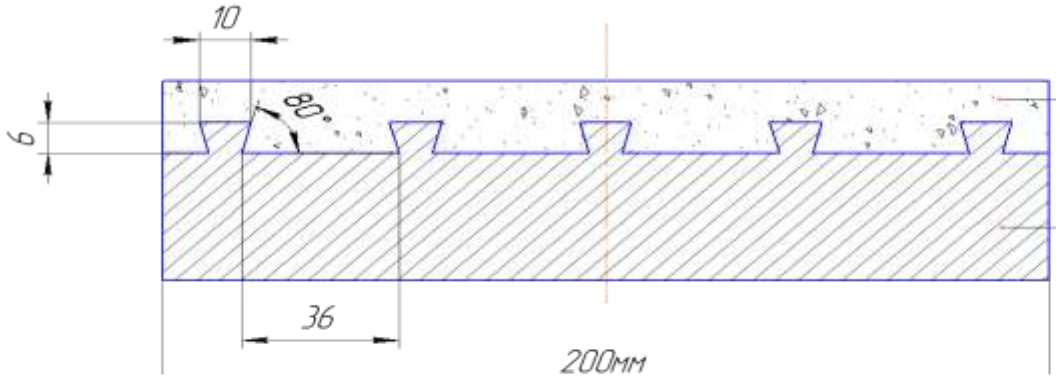


Рисунок 1.

Зависимость напряжений от высоты шлицев, чем меньше высота шлицев, тем меньше напряжения.

Зависимость напряжений от угла "Ласточкиного хвоста", для уменьшения возникающих напряжений, следует создавать шлицы с углом, 95 градусов.

Зависимость напряжений от расстояния между шлицами, чем меньше расстояние между шлицами, тем меньше напряжения.

Рекомендуемый профиль рисунок 1.

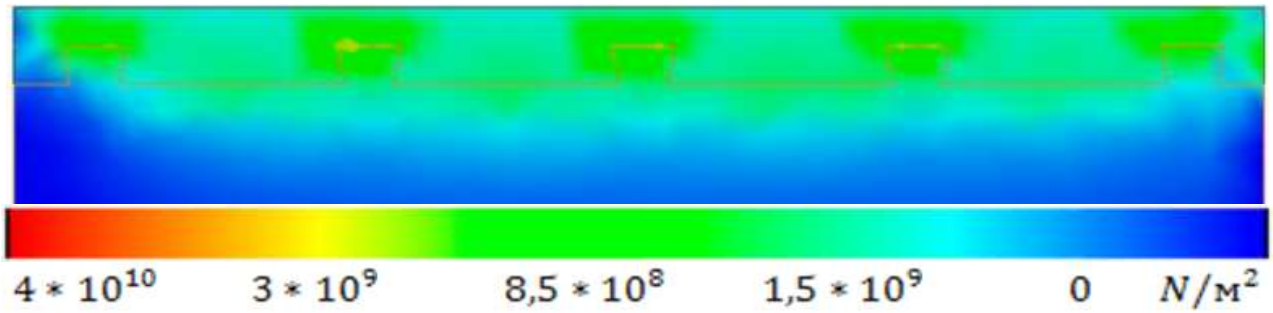


Рисунок 2.

Существующие напряжения в модели значительно ниже допустимых. Рисунок 2.

Выводы

Исследование механизма формирования напряжений в покрытиях в ходе изготовления и эксплуатации деталей с покрытиями позволило выявить основные пути управления их напряженным состоянием.

Разработаны рекомендации по практическому использованию предложенной методики, а также по проектированию технологических процессов изготовления деталей с покрытиями.

Данного вида геометрия очень перспективна, особенно в судостроении. И для развития отечественного машиностроения очень важно в данный момент проектировать, и создавать детали, которые будут конкурентоспособны. Предложенный способ позволяет избегать капитальных модернизаций производств и повышает машиностроительный потенциал экспорта нашей страны.

Список литературы

1. Кудинов В.В. Нанесение покрытий напылением. Москва «Металлургия» 1992. ;

2. Кривобоков В.П. Плазменные покрытия. ТПУ г. Томск 2011г.;

3. Соснин Н.А. Плазменные технологии. СПб: Изд-во Политехн, ун-та. 2013. ;

4. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. Х12 В.Н. Попова; Под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985 – 240 с., ил.;

5. Основы научных исследований: Учебник для технических вузов/ В.И. Крутов, И.М. Глушко, В.В. Попов и др. Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 2009. – 400 с.;

6. АлямовскийА.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. - М.: ДМКПресс, 2004. - 432 с.: ил.

PLASMA SPRAING OF POWDER COATINGS

Ikonnikov A.M., PhD (Engineering),Aassociate Professor,
Malyshev S.O., Graduate student
Fedorov V.A., PhD (Engineering), Associate Professor

Ikonnikov A.M.,Malyshev S.O.,Fedorov V.A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation

Abstract

The urgency of the chosen research topic is substantiated, the modern problems of this field are considered and their causes are analyzed. The aim of the work, tasks, research methods, scientific novelty and practical value are considered.

Scientific works are analyzed and a classification of coatings and types of sputtering is made.

The surface profile of the part has been designed for spraying, 3D models are conscious, experiments have been carried out. The dependences of stresses on the geometric parameters of the profile are determined. Recommendations are given for the general case of surface preparation for deposition.

Keywords: operational properties of products, parts with coatings, plasma spraying, bond strength of the sprayed layer, finite element method, geometric parameters.

УДК 621.787:621.7.011:620.179.16

ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МИКРОТВЕРДОСТИ С ПАРАМЕТРАМИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

МИРОШИН И. В.[1] канд. техн. наук, доцент,
ПЕТРЕНКО К. П.[2] канд. техн. наук, доцент
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия
[2]КузГТУ г. Кемерово, Россия, филиал КузГТУ в г. Прокопьевске, Россия)

Мирошин И.В., Петренко К. П

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Филиал Кузбасского государственного технического университета
им. Т.Ф. Горбачева в г. Прокопьевске – 653033, Кемеровская обл., г.Прокопьевск,
ул.Ноградская, 19а,
e – mail: konst.petr@mail.ru
e – mail: imiroshin@rambler.ru

Аннотация

Приведены методика и результаты идентификации микротвердостиметодом акустической структуроскопии. Показано, что данный метод позволяет контролировать изменение микротвердости металла, вызванное его упрочнением. Представлена связь между микротвердостью алюминиевого сплава после различных схем его упрочнения и временем задержки поверхностной акустической волны.

Ключевые слова: деформация, микротвердость, акустическая эмиссия, акустическая структуроскопия, время задержки поверхностной акустической волны.

Введение

Основной задачей данной работы является создание простой и эффективной методики контроля деформационных параметров металла в процессах механической обработки и, в особенности, в процессе поверхностного пластического деформирования (ППД). Пластическое течение металла в данных процессах изменяет физическое состояние поверхностного слоя (ПС) и в значительной мере влияет на его структуру и свойства [1-4].

Повышение эффективности технологий механической обработки возможно путем учета технологического наследования (ТН). Существует ряд подходов к оценке влияния ТН на формирование показателей состояния поверхностного слоя [5, 6]. Однако большинство из них используют сложные для оценки в производственных условиях критерии и методики их определения. На практике для контроля состояния металла широко используют методы измерения твердости и микротвердости. Необходимо отметить, что показатели твердости напрямую не характеризуют физико-механическое состояние материала. В то же время существуют установленные зависимости между твердостью HV и деформацией [7], что позволяет, контролируя твердость, оценить деформационные параметры наследуемого состояния поверхностного слоя на каждой стадии технологического процесса и эксплуатации.

Установлено, что физический характер теории ТН позволяет использовать для оценки накопленных свойств поверхностного слоя физические методы контроля [8-10]. Анализ показал, что наиболее адаптированными для решения таких задач являются акустические методы. Активные акустические методы основаны на излучении и приёме упругих волн, пассивные – только на приёме волн, источником которых служит сам контролируемый объект. Пассивный акустико-эмиссионный(АЭ) метод предполагает, что объект контроля должен находиться в динамике, чтобы излучать сигнал.

В [11] авторы исследовали влияние отдыха и предварительной деформации на релаксацию упругих напряжений монокристаллов оксида магния. В результате установлено, что микротвердость зависит от времени старения и усилия внедрения индентора. Также обнаружена чувствительность сигналов АЭ к изменению состояния деформированных кристаллов. В частности, в процессе отдыха происходит перераспределение активности сигналов АЭ и релаксации упругих напряжений.

В работе [12] проводились исследования повреждаемости углеродистой конструкционной стали методом АЭ. Повреждаемость образцов из стали 20 возникала вследствие разрушающего воздействия водорода, после чего образцы подвергались одноосному сжатию без пластической деформации с регистрацией сигналов АЭ. В результате установлено появление в образцах пластически деформируемых микрообъемов при низкой нагрузке. Изменение характера сигналов АЭ свидетельствует о смене механизмов деформации в металле.

А. М. Апасов [13] исследовал сигналы АЭ при испытании на одноосное растяжение бездефектных образцов и образцов с различными сварочными дефектами, изготовленных из высоколегированной листовой стали. Оценивались суммарный счет и суммарная величина амплитуд АЭ. Установлено существенное различие сигналов АЭ бездефектных образцов и образцов с дефектами. Раннее появление сигналов АЭ наблюдается у образцов с высокой степенью концентрации внутренних напряжений и низким временным сопротивлением.

В работе [14] проводились исследования деформации пластичных материалов с применением метода АЭ. В результате обнаружено, что метод позволяет выделить ряд стадий, характеризующихся как смена механизмов пластической деформации. Количество стадий зависит от прочностных и пластических свойств материала, а также его структурного состояния. Характер изменения скорости счета и суммарной энергии сигналов АЭ соответствует различным участкам диаграммы растяжения. Метод позволяет количественно определить накопление повреждений и механизм структурных изменений в металле.

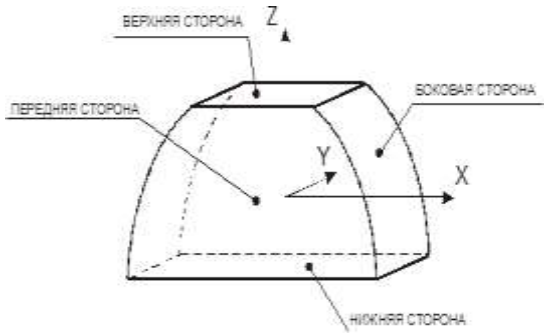
В исследовании [15] проводились исследования влияния предварительной деформации сжатия на характер последующего растяжения образцов из деформируемых магниевых сплавов различной структуры с применением АЭ. Установлено, что исходная микроструктура и напряжение предварительного сжатия оказывают существенное влияние на характер механизма пластической деформации при последующем растяжении. Моменты всплесков сигналов АЭ соответствуют достижению предела текучести металла и заключительной стадии деформации и моменту разрушения. Также более высокие значения сигналов наблюдаются у образцов с большим размером зерна.

Метод прохождения, относящийся к активным акустическим методам, лишен определенных недостатков пассивных методов и, в частности, не требует деформации материала для проведения испытаний. Он дает возможность контролировать состояние объекта на различных пройденных этапах его жизненного цикла, оценивая накопленную поврежденность и позволяя прогнозировать остаточный ресурс [16, 17].

Методика экспериментального исследования

Исследования авторов [18]получили развитие в направлении оценки микротвердости образцов, описанных в работах [18, 19], и предоставленных Ю. Г. Калпиным с соавторами для оценки акустических сигналов. Данные образцы были изготовлены из алюминиевого сплава Д16Т размерами 20х20х30 мм (рис. 1) и подвергнуты холодной пластической деформации по различным траекториям с повторностью опытов не менее 5.

Влияние траектории деформации при нагружении на акустические параметры исследовали с помощью системы «АСТРОН» [17]. Основная область применения – исследование структурных особенностей материалов технических объектов, оценка их физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния.



а) б)

Рисунок 1. Образцы после испытания в щелевом штампе: а) схема; б) фото

В основу работы системы положен способ регистрации серии отраженных импульсов упругих волн, возбуждаемых в объекте контроля пьезоэлектрическим преобразователем и последующей ее обработки программными средствами.

В качестве поверхностной акустической волны (ПАВ) использовали волны Рэлея, определяемые типом датчика. Рэлеевские волны, распространяющиеся вдоль границы твердого тела. Фазовая скорость таких волн направлена параллельно поверхности, а их энергия локализована в поверхностном слое, в связи с чем они наиболее чувствительны к поверхностным дефектам.

Прибор позволяет регистрировать следующие параметры: R – время задержки поверхностной акустической волны, нс; $K_{зат}$ – коэффициент затухания ПАВ, 1/мкс; величину амплитуды ПАВ.

Время задержки определяется длиной пути, проходимого упругими волнами от входного преобразователя до выходного, и скоростью распространения ультразвука. Коэффициент затухания определяется как величина, обратная времени, за которое амплитуда волны уменьшается в e (2,71828) раз.

Исследования проводились на шести сериях образцов, по 4-7 образцов в каждой серии. Серия соответствовала определенной траектории нагружения. Датчик устанавливали поочередно на каждую из шести поверхностей образца и по максимальному значению коэффициента затухания ПАВ определяли поверхность, полностью исчерпавшую запас пластичности. В дальнейшем для расчетов использовали значения, полученные для поверхностей, на которых была измерена микротвердость.

Значения регистрируемых параметров, полученные для одного образца приведены в табл. 1. Номер п/п указывает сторону образца, в примечании номер траектории (серии) и номер образца. Величина амплитуды указана относительно оси абсцисс.

Таблица 1

Фрагмент таблицы с промежуточными результатами по регистрируемым параметрам

№ п/п	R, нс	$K_{зат}$, 1/мкс	Амплитуда, дБ		Примечание
			Верхняя	Нижняя	
1	5082	0,053	153	180	1(1)
2	5065	0,069	131	186	
3	5103	0,08	129	169	
4	5078	0,111	133	123	
5	5094	0,113	127	125	
6	5075	0,128	112	123	

Измерение микротвердости H_{μ} проводили вдавливанием методом восстановленного отпечатка четырехгранной пирамиды с квадратным основанием (по Виккерсу). Испытания

проводили на микротвердомере DuraScan20 (рис. 2). Шероховатость поверхности образцов была не грубее Ra = 0,32 мкм.

Рисунок 2. Микротвердомер DuraScan 20

Поскольку испытуемый образец должен быть установлен на предметном столике прибора так, чтобы в процессе испытания он не смещался и не поворачивался и, кроме того, поверхность изделия (образца), подлежащая испытанию, должна быть установлена перпендикулярно к оси алмазного наконечника, измерения были проведены только на четырех поверхностях образцов из шести (см. рис. 1). При получении отпечатка применялась нагрузка HV1.

Всего было измерено около сорока образцов. На каждой поверхности проводилось по три измерения, что в итоге позволило получить более 450 экспериментальных точек. В дальнейшем для обработки средние значения измерений по каждой поверхности. Фрагмент протокола испытаний приведен в таблице 2.

Таблица 2

Протокол измерений микротвердости экспериментальных образцов

№ серии	№ образца	Сторона			
		1	3	5	6
1	1	128	129	130	135
		125	135	131	140
		131	131	138	138
Среднее значение		128	131,67	133	137,67

Результаты и обсуждение

Результаты исследований были представлены в виде графиков по каждой из серий (траекторий) нагружения (рис. 3). После комплекса акустических исследований было установлено, что время задержки поверхностной акустической волныRвзаимосвязано со значениями микротвердости и увеличивается в полном соответствии сними для всех серий проведенных испытаний.

Таким образом установлено, что метод акустической структуроскопии позволяет контролировать микротвердость в поверхностном слое материала.

Поскольку изменение микротвердости напрямую связано с траекторией деформации при нагружении, характеризующей ее программу, акустические характеристики ПАВ, в частности на время задержки поверхностной акустической волны, отражают изменение программы нагружения, что подтверждает результаты, полученные в работе [10].

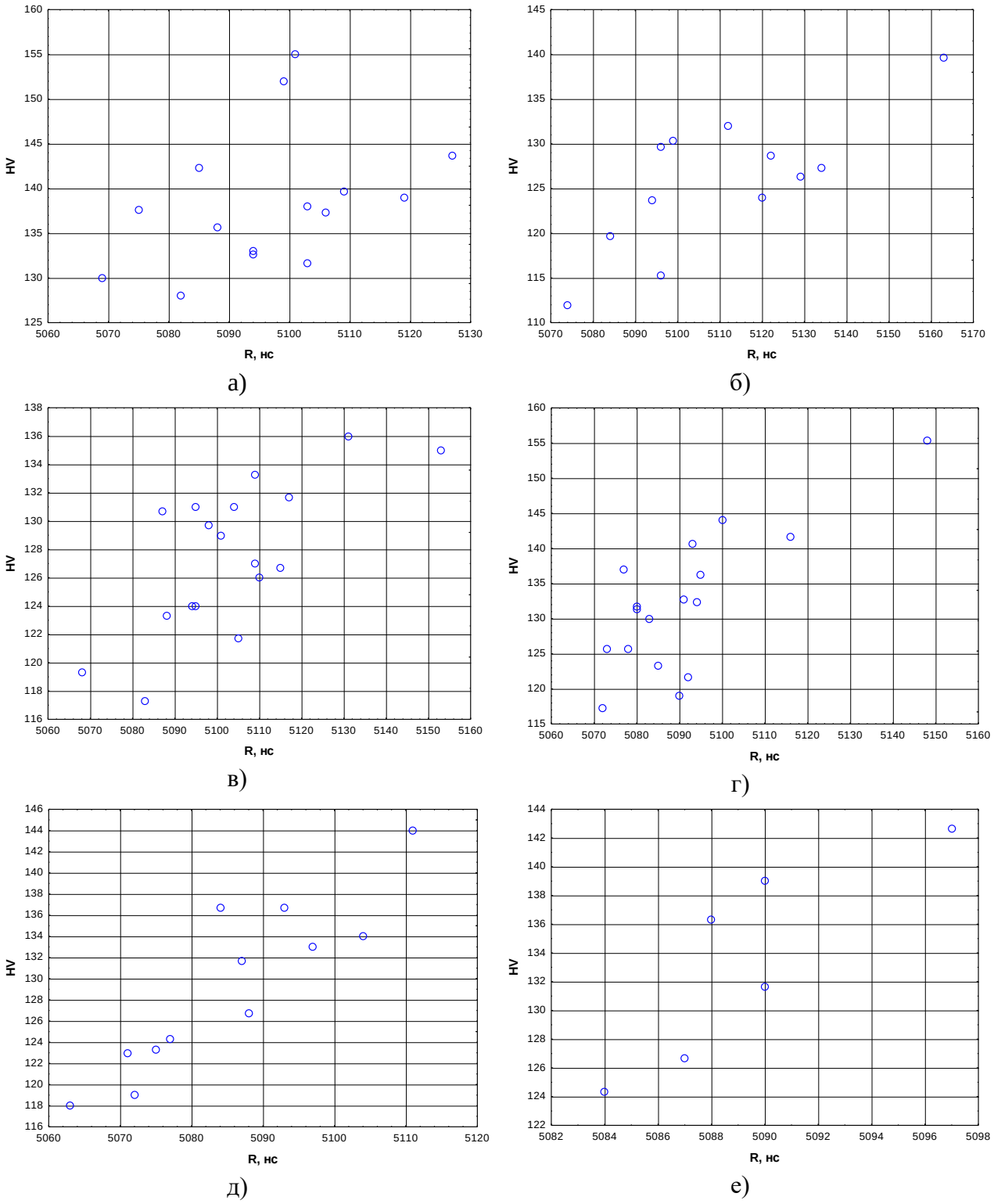


Рисунок 3. Взаимосвязь между временем задержки поверхностной акустической волны и микротвердостью для всех полученных серий измерений: а) – первая; б) – вторая; в) – третья; г) – пятая; д) – шестая; е) – седьмая

Как было отмечено выше, для ряда металлов и сплавов существует зависимость между твердостью и деформацией [7, 20]. Направлением дальнейших исследований является получение аналогичных взаимосвязей для алюминиевых сплавов, а именно установление зависимости вида «акустический сигнал – микротвердость – деформация».

Результаты исследований могут быть использованы при разработке методики контроля формирования поверхностного слоя при обработке резанием и ППД, позволяющей определять

наследуемые параметры качества, включая степень деформации сдвига и исчерпания запаса пластичности с целью прогнозирования циклической долговечности деталей машин, работающих в условиях усталостного нагружения.

Список литературы

1. Старков В. К. Физика и оптимизация резания металлов. М.: Машиностроение, 2009. 640 с.

2. Смелянский В. М. Механика упрочнения поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.

3. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 1. / под общ. ред. А. Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2014. 480 с.

4. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 2. / под общ. ред. А. Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2014. 444 с.

5. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / под ред. А.М. Дальского. – М. : Изд-во МАИ, 2000. – 364 с. : ил.

6. Блюменштейн В. Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. М.: Машиностроение-1, 2007. 400 с.

7. Дель Г. Д. Технологическая механика. М.: Машиностроение, 1978. 174 с.

8. Блюменштейн В. Ю., Мирошин И. В., Останин О. А. Оценка взаимосвязей феноменологических параметров металла с сигналами акустической эмиссии // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. №2. С. 44-50.

9. Блюменштейн В. Ю., Мирошин И. В., Останин О. А. Оценка взаимосвязей феноменологических параметров металла с сигналами акустической эмиссии // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. №2. С. 44-50.

10. Мирошин И. В. Исследование влияния программы нагружения на сигналы акустической эмиссии // Упрочняющие технологии и покрытия. 2012. №11. С. 47-48.

11. Р. П. Житару, В. А. Рахвалов. Влияние старения на прочность и релаксационные процессы упругих напряжений предварительно деформированных монокристаллов MgO // Электронная обработка материалов, 2006, № 5, С. 42-50.

12. А. Н. Чуканов, А. Н. Никитин, Р. Н. Васин, М. В. Жачко. Исследование повреждаемости углеродистой стали методом акустической эмиссии // Известия Тульского государственного университета Естественные науки. 2012. Вып. 1. С. 203-210.

13. А. М. Апасов. Исследование сигналов акустической эмиссии при статическом нагружении плоских образцов из высокопрочной стали // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. № 2. С. 32-41.

14. О. В. Башков, Н. А. Семашко Акустическая эмиссия при смене механизмов деформации пластичных конструкционных материалов // Физическая мезомеханика 7, 6 (2004). С. 59-62.

15. Patrik Dobroň, Daria Drozdenko, Sangbong Yi, and Jan Bohlen An Acoustic Emission Study of Deformation Behavior of Wrought Mg Alloys // The Minerals, Metals & Materials Society 2017 K.N. Solanki et al. (eds.), Magnesium Technology 2017, The Minerals, Metals & Materials Series. pp. 613-617.

16. ПолупанА. В. Ультразвуковойконтрольповерхностнымиволнами: практ. пособие. М.: Спектр, 2014. 119 с.

17. Современное методическое обеспечение для оценки состояния металла потенциально опасного оборудования. Часть 2. Спектрально-акустический метод контроля / Н. В. Абабков, А. В. Бенедиктов, А. Н. Смирнов и др. // Вестн. КузГТУ. 2010. № 5. С. 101-106.

18. Блюменштейн В. Ю., Мирошин И. В., Петренко К. П. Оценка взаимосвязей деформации и запаса пластичности с параметрами сигналов акустической структуроскопии.

Инновации в машиностроении сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. 2017. С. 510-522.

19. Сопротивление деформации и пластичность при обработке металлов давлением / Калпин Ю. Г., Перфилов В. И., Петров П. А. и др. М.: Машиностроение, 2011. 244 с.

20. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. М.: Машиностроение, 1971. 199 с.

CORRELATION EVALUATION OF MICROHARDNESS WITH SIGNAL PARAMETERS OF ACOUSTIC STRUCTURE EXAMINATION

Miroshin I. V., PhD (Engineering), Associate Professor,
Petrenko K. P., PhD (Engineering), Associate Professor,

Miroshin I. V., Petrenko K. P.

28, Vesennyaya str., Kemerovo, 650000, Russia,
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
19ª Nogradskaya str., Prokop'evsk, Kemerovo region, 653033, Russia, Branch of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in Prokop'evsk

Abstract

Acoustic emission (AE) is a non-destructive method for locating and investigation plastic deformation in metals and alloys under stress. In this article, technique and results of micro-hardness identification by acoustic structure examination method are presented. It has been shown, that above-mentioned method allows monitoring micro-hardness changing of metals. This paper focuses on relationship between micro-hardness of aluminum alloy after various hardening modes and surface acoustic wave damping ratio. It has been revealed, that deformation path while loading has great effect on acoustic parameters of surface acoustic waves, in particular damping ratio.

Keywords: deformation, micro-hardness, acoustic emission, acoustic structure examination, damping ratio.

УДК621.7.011

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ППД

МИТРОФАНОВА К.С.[1], аспирант,
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Митрофанова К.С.

650000, ул. Весенняя, 28, Кемерово, Россия
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»
e-mail:kirmeetzz@mail.ru

Аннотация

В статье приведен анализ современного состояния научных исследований метода поверхностного пластического деформирования (ППД)технологических возможностей известных и новых комбинированных и совмещенных процессов обработки, даны прогнозы по перспективе их развития и эффективному применению в современном машиностроении.

Ключевые слова: Поверхностное пластическое деформирование, совмещение и комбинирование процессов обработки, сложнопрофильные инструменты, поверхностный слой, гидростатическое давление

Введение

В настоящее время современное машиностроение требует применения новых технологий и методов их обработки материалов, которые обеспечивают специальные физические и высокие эксплуатационные свойства. В связи с этим расширяются области применения и совершенствуются различные способы обработки материалов.

Одним из таких способов является метод поверхностного пластического деформирования (ППД). На взгляд автора, ППД развивается в направлениях: исследования с использованием метода конечно-элементного моделирования (МКЭ), создания и совершенствования новых деформирующих инструментов и устройств для обкатывания, совмещения и комбинирования процессов обработки, процессов, происходящие в очаге деформации и тонком поверхностном слое (ПС) и др. Кроме того в последние годы была показана возможность создания тонкой мелкодисперсной структуры в ПС материала благодаря применению схем, создающих высокое гидростатическое давление в очаге деформации.

Описание теоретических и экспериментальных исследований

Одним из перспективных направлений развития ППД является совмещение и комбинирование ППД с различными технологическими методами.

В работах В.М. Смелянского представлен способ размерно-совмещенного обкатывания (РСО), при котором пластическая волна металла, образующаяся перед деформирующим элементов (ДЭ) в направлении подачи, срезается резцом. Преимущества метода РСО заключаются в возможности создания благоприятных сжимающих напряжений, близких к пределу текучести металла и накопления больших деформаций без разрушения ПС. Особенностью также является то, что функции размерообразования изделия в значительной мере переданы от резца к ролику, благодаря чему снижается влияние износа резца на точность обработки. При этом натяг может достигать 1 мм на ролик без разрушения поверхности материала [1].

К настоящему времени в ряде работ [2-6] исследованы возможности применения ППД с нанесением покрытий различного рода: осажденных, гальванических, диффузионных,

наплавленных лазером, электроискровых и др. Показано что, покрытия большинства типов способны к обработке ППД без разрушения ПС.

Анализ показал, что к положительным качествам комбинированных методов с нанесением покрытий можно отнести: уменьшение высоты неровностей микрорельефа, диспергирование хрупких частиц соединений в покрытиях, наклепывание твердорастворной матрицы с повышением прочности и износостойкости, создаются остаточные напряжения, однако на не большой глубине поверхностного слоя. При этом практически не проводились исследования, касающиеся функциональной связи параметров ППД, параметров структуры и свойств покрытий.

Работы [7-9] свидетельствуют о возможности совмещения выглаживания с наложением ультразвука (УЗК). Данный процесс позволяет уменьшить высоту микронеровностей, создать в ПС благоприятную эпюру остаточных сжимающих напряжений, уменьшить предел текучести σ_T и снизить коэффициент трения между индентором и обрабатываемым материалом за счет прерывистого контакта.

Метод ППД нашел применение в таких областях, как медицина (для упрочнения искусственных тазобедренных суставов, хирургических инструментов), в горно-шахтном оборудовании (упрочнение штоков и гильз гидроцилиндров), в авиационной и аэрокосмической промышленности (поверхности лопаток турбины), появилась необходимость в инструментах, позволявших обрабатывать поверхности нестандартной формы, например, гидростатические упрочняющие инструменты, применяемые для станков с ЧПУ (рис. 1) [4].

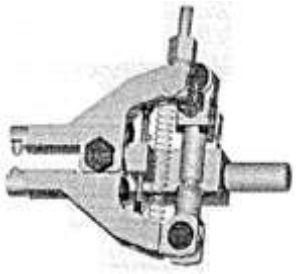


Рисунок 1.Двусторонний гидростатический инструмент обкатывания лопаток турбины

Авторы [10], занимаясь вопросами совершенствования конструкций деформирующих инструментов для ротационного обкатывания, разработали математическую модель для определения геометрических параметров контактной зоны между деформирующим роликом с прямолинейной и выпуклой образующими и наружной поверхностью длинномерной тонкостенной трубы. С помощью полученных зависимостей появилась возможность обоснованно подобрать такую длину контакта, при которой будет происходить полное перекрытие следов, оставляемых деформирующими роликами.

Расширяя технологические возможности инструмента, применяемого для совмещенной обработки плоских поверхностей, авторы [11-12], усовершенствовали инструмент для импульсивно-ударной пневмовибродинамической обработки, в основе которого лежит механизм импульсивного воздействия деформирующих элементов (шаров) на обрабатываемую поверхность. Новый инструмент отличается от традиционного по динамике процесса обработки, что позволяет повысить производительность обработки и увеличить глубину упрочнения.

Разработан инструмент для обработки магнитным полем и ППД внутренних поверхностей отверстий деталей машин из магнитопроводных материалов[13]. Особенностью устройства является то, что в качестве ДЭ используются диски. Проведенные исследования на стали 45 показали, что данный инструмент позволяет в 1,8-2,5 раза увеличить глубину упрочненного слоя.

Результаты, представленные в работе [14], свидетельствуют о том, что, меняя геометрические параметры ДЭ, можно управлять параметрами качества ПС. Автором проведено конечно-элементное моделирование с применением разных типов роликов.

В работе [15] для реализации процесса обработки ППД в массовом производстве был предложен способ выглаживания широким самоустанавливающимся инструментом без применения смазочно-охлаждающих технологических средств. Данный способ обеспечивает низкую шероховатость обработанной поверхности и высокую степень упрочнения, которые способствуют повышению надежности изделий. Этот процесс может быть реализован в условиях гибкого производства.

Имеются данные о том, что при одновременной обработке двумя разнорадиусными инструментами улучшаются условия пластической деформации. В результате повышаются качество изделий и производительность процесса. Одновременная обработка двумя и более инструментами, установленными в плоскости, перпендикулярной оси вращения заготовки, позволяет увеличить подачу пропорционально числу инструментов. Имеются сведения об улучшении качества поверхностей изделий при обработке двумя и более инструментами, расположенными в приспособлении таким образом, что один из них, двигаясь по поверхности детали, опережает другие. Одним из направлений увеличения производительности обработки является выглаживание многоэлементными алмазными инструментами. Результаты опытов показывают увеличение микротвердости поверхностного слоя при данной обработке в 1,5 раза и уменьшение высоты неровностей в 2,5–3 раза [16].

На каф. технологии машиностроения КузГТУ при решении вопроса обеспечения высокой эффективности метода ППД, а также создании большого гидростатического давления в поверхностном слое металла, разработали 3 типа роликов специального профиля [17-19].

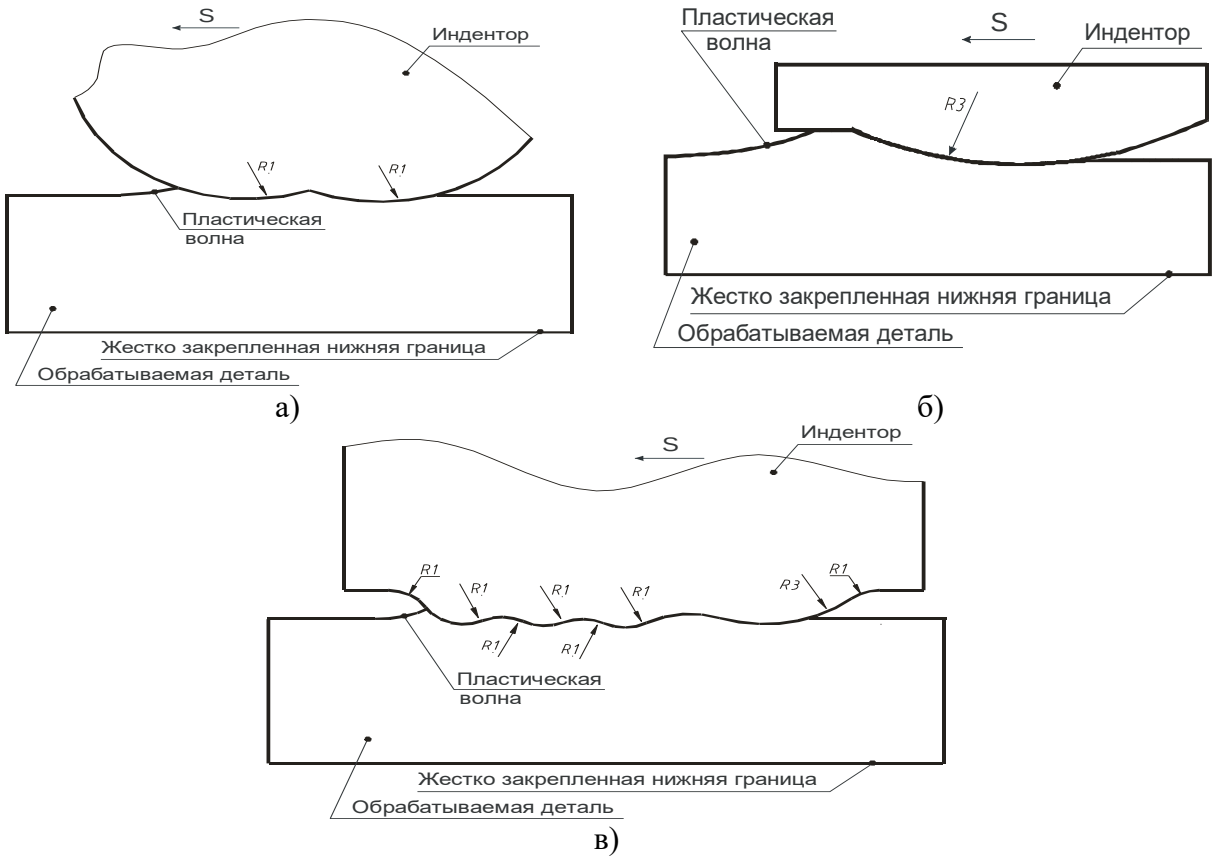


Рисунок 2. Схемы взаимодействия с обрабатываемой деталью:
а) двухрадиусного ролика;
б) комбинированного ролика; в) мультирадиусного ролика

Первый тип профиля представляет собой комбинацию 4-х последовательно расположенных инденторов, расположенных относительно друг друга с некоторым смещением в радиальном направлении. Второй тип профиля представлял собой комбинацию деформирующего элемента профильного радиуса $R_{пр}$=3 мм и цилиндрической части,

расположенной относительно вершины деформирующего элемента с зазором 0,15 мм. Третий тип профиля представлял собой комбинацию 2-х близко расположенных инденторов, имеющих относительно друг друга некоторое смещение в радиальном направлении (рис. 2, а, б, в). Теоретические и экспериментальные исследования показали высокую эффективность применения данных инструментов[20-21].

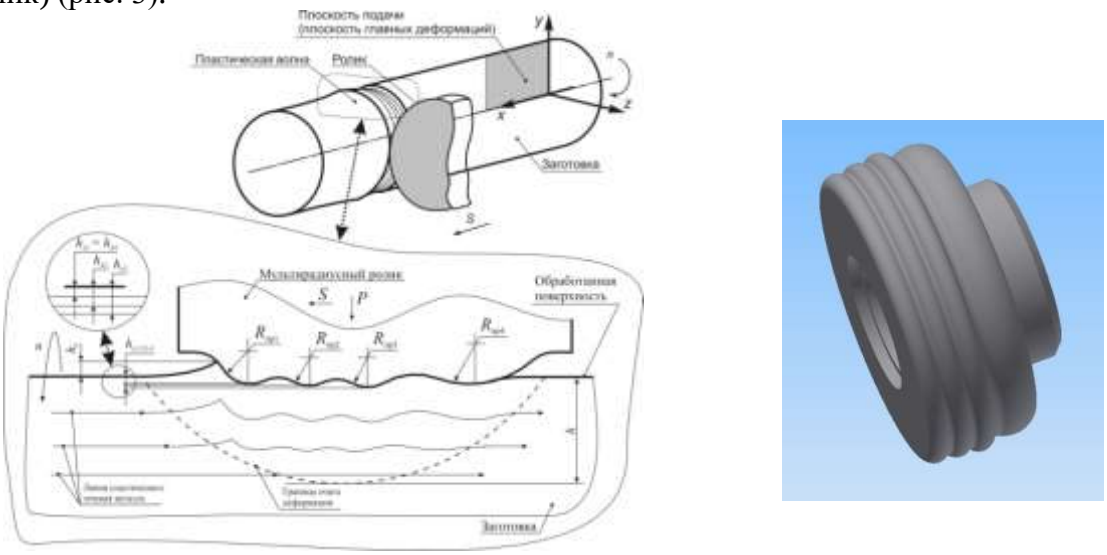
Результаты и обсуждение

В последние годы при исследовании качества ПС после обработки ППД определены численные значения остаточных напряжений [22-23].

Было установлено, что высокое среднее нормальное напряжение в очаге деформации позволяет накапливать в упрочняемом материале большие деформации без его разрушения. Об этом свидетельствуют диаграммы пластичности металлов.

Интерес для исследователей представляет установление взаимосвязей между конструктивными параметрами деформирующих элементов (ДЭ) и физико-механическими процессами, происходящими в тонком ПС и очаге деформации.

Ранее проведенные исследования показали, что реализовать схему с высокой гидростатикой в очаге деформации можно благодаря применению мультирадиусного ролика (МР-ролик) (рис. 3).



а) б)

Рисунок 3. Схема обработки (а) и 3-D модель МР-ролика (б)

Были проведены комплексные исследования, позволившие выявить следующие закономерности:

1. Большую степень упрочнения и максимальные пики деформации на малой глубине (5-600 мкм), можно наблюдать под тремя малыми радиусами ролика ($R_{1,2,3}$=1 мм), а меньшую степень упрочнения, но увеличенную глубину упрочнения, можно наблюдать под наибольшим, четвертым радиусом ролика (R_4=3 мм). Отсюда следует вывод, что наибольшая локализация очага деформации происходит там, где радиус инструмента наименьший.

2. Установлено, что обработка МР-роликом приводит к существенному возрастанию плотности дефектов кристаллической решетки в поверхностном слое, увеличению его микротвердости в ≈ 2 раза, а также к деформационно-индуцированному растворению цементитных частиц Fe_3C.

3. Выявленные закономерности процесса упрочнения мультирадиусным инструментом с высоким гидростатическим давлением и большим числом участков квазимонотонной деформации свидетельствуют о накоплении существенных деформаций (упрочнении) без разрушения металла, что позволяет повысить свойства обкатанных изделий в условиях приложения эксплуатационных нагрузок.

Выводы

Актуальными задачами в области ППД можно считать:

1. Разработку и усовершенствование схем обработки и деформирующих инструментов, способных создать большое гидростатическое давление в очаге деформации без разрушения ПС.

2. Проведение тонких физических исследований на однофазных материалах с целью выявления новых закономерностей в тонком поверхностном слое и очаге деформации.

3. Получение новых зависимостей, позволяющие провести качественный анализ физико-механических процессов, протекающих в очаге деформации, объяснить закономерности формирования мелкодисперсной структуры при использовании сложнопрофильных инструментов.

Список литературы

1. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.:Машиностроение. – 2002. – 300 с.

2. Белый А.В. Инженерия поверхностей конструкционных материалов с использованием плазменных и пучковых технологий / А.В. Белый и др.; НАН Беларуси, Физ.-техн. ин-т, Объед. ин-т машиностроения, Белорус. нац. техн. ун-т. - Минск: Беларуская навука. – 2017. – 457 с.

3. Бородий Ю.П., Маковей В.А. Экспериментальные исследования особенностей формирования поверхностного износостойкого слоя рабочих элементов разделительных штампов / Ю.П. Бородий, В.А. Маковей. – Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер. : Галузеве машинобудування, будівництво. – 2013. – № 2. – С. 61-65.

4. Altenberger I. On the effect of deep-rolling and laser-peening on the stress-controlled low- and high-cycle fatigue behavior of Ti–6Al–4V at elevated temperatures up to 550 C / I. Atenberger, R. K. Nalla, Y. Sano, L. Wagner, R. O. Ritchie; International Journal of Fatigue. – 2012. - № 44. – P. 292 - 302 .

5. Патент РФ № 2581955, МПК B24B39/00. Способ комбинированного упрочнения поверхности деталей / В. П. Багмутов, И. Н. Захаров, С. Н. Паршев; ВолгГТУ. – 2016.

6. Минаков, А. П. Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежёстких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос ; под ред. П. И. Ящерицына. – Мінск :Навука і тэхніка. – 1995. – 304 с.

7. Лесюк, Е.А. Влияние режима ультразвуковой упрочняющей обработки на качество обрабатываемой поверхности / Е.А. Лесюк, В.П. Алехин, Ким Чанг Сик. – Вестник машиностроения. – 2008. - № 9. – С. 52-55.

8. Артемьев, В. В. Ультразвуковые виброударные процессы / В. В. Артемьев, В. В. Клубович, В. Н. Сакевич. – Мн. : БНТУ. – 2004. – 258 с.

9. Овчинникова, Н.В. Модельная задача для исследования процессов поверхностного упрочнения пластическим деформированием с применением ультразвуковых воздействий / Н.В. Овчинникова, Д.Г. Павлов, Ю.В. Чеботаревский. – Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2007. – Т. 1. – № 4. – С. 14-18.

10. Отений Я.Н., Лаврентьев А.М. Разработка математической модели определения параметров контактной зоны между роликом и обрабатываемой заготовкой при ротационном обкатывании роликами с прямолинейной и выпуклой образующими / Fundamentalresearch. – 2016. - № 12, – P. 766-770.

11. Минаков, А. П. Технологические основы пневмовибродинамической обработки нежёстких деталей / А. П. Минаков, А. А. Бунос ; под ред. П. И. Ящерицына. – Мінск :Навука і тэхніка, 1995. – 304 с.

12. Патент BY № 158 U, МПК6 B 24 B 39 / 06. Инструмент для пневмовибродинамической обработки плоских поверхностей / А. П. Минаков, О. В. Ящук ;

заявители и патентообладатели А. П. Минаков, О. В. Ящук. – № u 20000003 ; заявл. 12.01.00 ; опубл. 30.09.00. – 2 с.

13. Патент BY № 15364, МПК B 24B 39/02. Упрочняющий инструмент / А.М. Довгалев, Д.М. Свирепа, Д.М. Рыжанков, С.А. Сухоцкий. – № a 20091852 ; заявл. 23.12.09 ; опубл. 28.02.12. – 4 с.

14. D.K. Leu, Modeling of size effect on tensile flow stress of sheet metal in microforming / ASME Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2009. - № 131 – P. 102-108.

15. Бобровский Н.М., Ежелев А.В., Мельников П.А., Бобровский И.Н. Устройство для гиперпроизводительной финишной обработки поверхностей деталей выглаживанием / Известия Самарского науч. центра Российской академии наук. – 2012. - т. 14, - №6, с. 93-96.

16. Бобровский, Н.М. Инновационные технологии механической обработки деталей машин поверхностно-пластическим деформированием : учеб. пособие / Н.М. Бобровский, И.Н. Бобровский. – Тольятти : Изд-во ТГУ. – 2013. – 80 с.

17. Патент РФ № 2530600.Ролик обкатной двухрадиусный : пат. 2530600 Рос. Федерация. № 2013135794/02 ; заявл. 30.07.2013; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28 (II ч.). 7 с.

18. Патент РФ № 2529335. Ролик обкатной комбинированный : пат. 2529335 Рос. Федерация. № 2013135796/02 ; заявл. 30.07.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27 (IIч.). 6 с.

19. Патент РФ № 2557377. Ролик обкатной мультирадиусный : пат. 2557377 Рос. Федерация. № 2013135797/02 ; заявл. 20.07.20153; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 27 (II ч.). 6 с.

20. Блюменштей В.Ю., Митрофанова К.С. Моделирование процесса упрочняющего обкатывания сложнопрофильным инструментом / Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. Инновации в машиностроении (ИНМАШ - 2017). Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2017. – С. 528-537.

21. Митрофанова К.С. Модификация поверхностного слоя детали обработкой сложнопрофильным инструментом / Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Новые конструкционные материалы. Новосибирск : Изд-во НГТУ. – 2016. – 73 с.

22. Зайдес С.А., Нго К.К. Повышение напряженного состояния в очаге деформации при поверхностном пластическом деформировании цилиндрических деталей / Известие высших учебных заведений. Машиностроение. – 2017. – № 5. – С. 52–59.

23. Махалов М.С. Расчетные модели остаточных напряжений поверхностного слоя после упрочнения способами поверхностного пластического деформирования / Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты. –2012. – № 3. – С. 110-115.

CURRENT STATE AND PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF SPD PROCESSES

Mitrofanova K.S., Post-graduate Student,

Mitrofanova K.S.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Vesennyaya st. 28, Kemerovo, Russian Federation

Abstract

The article analyzes the current state of scientific research on the method of surface plastic deformation (PPD) of technological capabilities of known and new combined and combined processing processes, forecasts are given on the prospects of their development and effective application in modern machine building.

KeyWords: Surface plastic deformation, combination and combination of processing, complex tools, surface layer, hydrostatic pressure.

УДК 621.89

МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ТВЕРДОСМАЗОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

ГИЛЕТА В. П.[1], канд. техн. наук, доцент
НИКИТИН В. Ю. [1], магистрант
ИВАНОВА М.В.[1], ассистент,
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Гилета В. П., Никитин В. Ю., Иванова М.В.

630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail, Nikitin.2013@stud.nstu.ru
e-mail: v.gileta@corp.nstu.ru
e-mail: ivanova777888@yandex.ru

Аннотация

Оценена эффективность нанесения твердосмазочных покрытий методом натирания. Установлено что для поверхности с низкой шероховатостью и высокой твердостью рассмотренный метод не обеспечивает создание сплошных покрытий и хорошее их удержание. Исследована возможность применения смазочных композиций на основе твердых смазок, смол и растворителя для создания сплошных покрытий равномерной толщины на поверхностях трения. Найден состав смазочной композиции, включающий дисульфид молибдена фенолформальдегидную смолу и растворитель, обладающий высоким адгезионными свойствами к поверхности. Отработана технология их нанесения. Показано что физико-механические и микрогеометрические свойства смазочных покрытий могут быть улучшены за счет применения ультразвуковой обработкой.

Ключевые слова: Твердая смазка, метод нанесения покрытий, шероховатость поверхности, дисульфид молибдена, адгезия.

Введение

Вопросы теоретического и экспериментального исследования самоорганизации фрикционных систем изучены недостаточно полно, что затрудняет ведение целенаправленного поиска оптимальных условий, обеспечивающих длительное, экономически выгодное, технически и экологически обоснованное функционирование узлов трения современной техники. Это подтверждается, например, при нанесении неметаллических антифрикционных покрытий методом галтовки (габариты колокола, скорость вращения и угол наклона устанавливают экспериментально) [1].

Наиболее простыми являются механические методы нанесения покрытий из суспензий и паст с «транспортирующей» дисперсионной средой (окунание, распыление пульверизатором, нанесение кистью или валиком, галтовка и виброгалтовка). Обязательным условием получения качественных твердо-смазочных покрытий является тщательная предварительная подготовка поверхности под покрытие [2]:

- механической обработкой;
- обезжириванием с последующей промывкой теплой и холодной проточной водой;
- декапированием с последующей промывкой в холодной проточной воде.
- После очистки наносится покрытие следующими методами:
- окунанием детали в суспензию;
- кистью или валиком;
- обработкой в галтовочных аппаратах;

• натиранием.При нанесении твердых смазок окунанием деталь погружают в кипящую суспензию, затем вынимают и просушивают. После чего деталь выдерживают при комнатной температуре 10…12 ч. Достоинствами данной технологии является получение тонкого покрытия, обладающего достаточной адгезией к поверхности. Этот способ применяют при для поверхностей, работающих на воздухе, в вакууме и среде инертных газов при малых и средних давлениях, умеренных температурах и скоростях скольжения.

На практике так же применяется метод нанесения покрытий с помощью кисти или валика. При этом стараются обеспечить равномерность покрытия, для лучшего удержания применяют сушку в течение 2 ч и выдержку при комнатной температуре около 10…12 ч.

Кроме указанных методов покрытие может быть нанесено виброгалтовкой. Виброгалтовка позволяет получать покрытия толщиной до 100 мкм, которые сохраняет работоспособность даже в вакууме в широком интервале температур -200…850 ºС [3]. При этой технологии деталь помещается в барабаны, внутри которых также располагаются рабочие тела и определенное количество порошкового дисульфида молибдена. Барабану сообщается вибрационное движение с определенной частотно-амплитудной характеристикой. Длительность обработки составляет 0,5…1 ч, после чего деталь извлекается и просушивается в течение 1 ч. Последним шагом является стабилизация покрытий при комнатной температуре около 10…12 ч. Недостатком данной технологии является необходимость применения специального оборудования.

При нанесении покрытии натиранием к рабочей поверхности детали прижимаются под небольшим усилием специальный брусок, ролик или зубчатое колесо из спрессованных твердосмазочных компонентов. Этот метод не требует сложного оборудования и имеет низкую себестоимость.

Применение указанных методов для нанесения твердой смазки на поверхности высокой твердости и низкой шероховатости показало, что они малоэффективны. Поэтому целью работы было нахождение методов нанесения твердых смазок на поверхности трения, обеспечивающих равномерность покрытия и их высокую адгезию к основе.

Материалы, оборудование и методика экспериментального исследования

Нанесение твердых смазок осуществлялось на поверхности цилиндрических образцов диаметром 40 мм, изготовленных из стали 45, закаленных до твердости HRC 48…52 и шлифованных до Ra 0,8…0,45 мкм. Пример профиля исходной поверхности представлен на рис. 1. Микрогеометрия поверхности оценивалась оптически и с помощью профилографа модели 252.

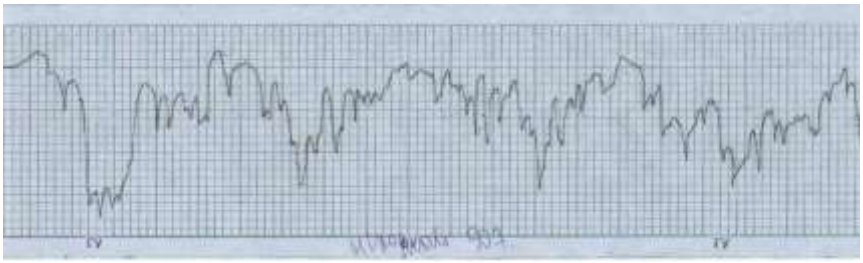


Рисунок 1 – Профилограмма исходной поверхности
Ra=0,58 мкм. Вертикальное увеличение 10000, горизонтальное увеличение 200

Нанесение твердой смазки (дисульфида молибдена) натиранием проводилось на токарном станке в течение 30 минут со скоростью 4 м/мин.

Результаты и обсуждения

Как показали эксперименты натирание не обеспечивает нанесение покрытие на всю поверхность и дисульфида молибдена сохраняется только в наиболее глубоких впадинах профиля (рис. 2). Увеличение исходной шероховатости образцов перед натиранием в пределах

исследуемого диапазона, обеспечивает сохранение большего количества твердой смазки на поверхности.

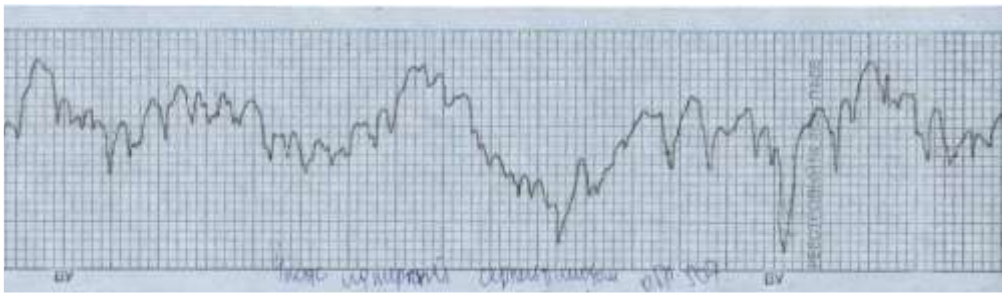


Рисунок 2 –Профилограмма поверхности закаленного образца после натирания дисульфида молибдена
Ra = 0,45 мкм. Вертикальное увеличение 10000, горизонтальное увеличение 200

Для повышения износостойкости поверхности исследовалась возможность нанесения твердых смазок с помощью композиций, содержащий твердую смазку, клеящий состав и растворитель. В работе исследовалась смазочная композиция, состоящая из дисульфида молибдена, фенолформальдегидной смолы и растворителя. На основе исследования различных вариантов соотношения компонентов композиций был выбран процентный состав и отработана технология его нанесения (рис. 3).

Рисунок 3 – Поверхность образца с покрытием на основе дисульфида молибдена, фенолформальдегидной смолы и растворителя

Для улучшения эксплуатационных свойств, поверхности с покрытиями подвергались пластическому деформированию инструментом, колеблющимся с ультразвуковой частотой (УЗО). Как показали эксперименты, данная обработка позволяет не только снизить высоту микрогеометрии поверхности, но и не нарушает целостность твердосмазочного покрытия. Профиль поверхности после УЗО представлен на рис. 4.

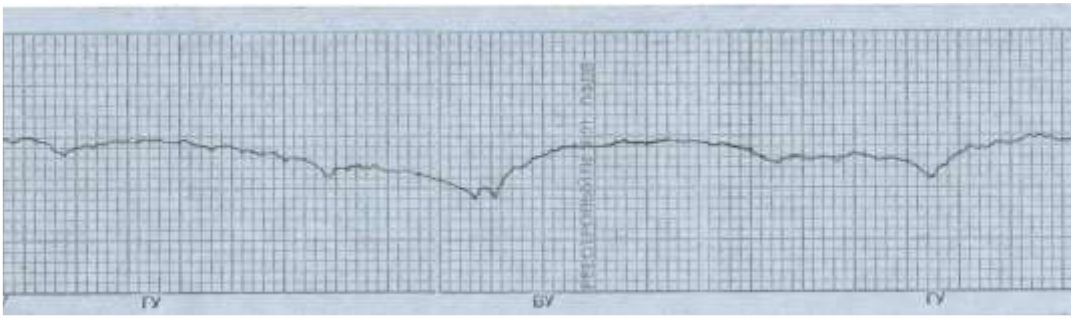


Рисунок 4 – Профилограмма покрытия после УЗО
Ra = 0,18 мкм. Вертикальное увеличение 10000, горизонтальное увеличение 200

Как видно из профилограммы, на поверхности отсутствуют глубокие впадин, профиль обладает плавным очертанием и имеет большую опорную поверхность.

Выводы

На основании проделанной работы можно сделать следующее заключение. Использование смазочной композиции на основе твердой смазки, смол и растворителя позволяет создать на поверхности равномерное покрытие, обладающее высокой адгезией к исходной поверхности. Улучшения свойств покрытия может быть достигнуто применением упрочняющей ультразвуковой обработки.

Список литературы

1. Анищенко О.И., Гилета В.П. Использование смазочных композиций с дисульфид молибденом, графитом, при ультразвуковой поверхностной обработке // Annual Russian national conference on nanomaterials and microsystems technologies, NMST – 2016 = 1 ежегодная Российская национальная конференция с международным участием по нанотехнологиям, наноматериалам и микросистемной технике, НМСТ-2016: conf. proc., Novosibirsk, Sedova Zaimka, 26-29 June 2016 – Novosibirsk: NSTU, 2016. – P. 86-88.

2. Беркович И.И., Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Изд-во Самар. гос. техн. ун-т.Самара, 2000. 268 с

3. Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экстремальных условиях. – М.: Машиностроение, 1986. – 223 с.

4. Брейтуэйт Е.Р. Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия. – М.: Химия, 1967. – 342 с.

5. Сентюрихина Л.Н., Опарина Е.М. Твердые дисульфид молибденовые смазки. – М.: Химия, 1966. – 152 с.

6. Цеев Н.А., Козелкин В.В., Гуров А.А. Материалы для узлов сухого трения, работающих в вакууме. – М.: Машиностроение, 1986. – 188 с.

7. Пучков В.Н., Семенов А.П. Твердые смазки: опыт применения и перспективы // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007. – № 11. – С. 36–47.

8. Панов В.В., Панок К.К. Смазочные масла в современной технике. – М.: Наука, 1965. – 130с.

9. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Технологические возможности поверхностного пластического деформирования с использованием ультразвуковых колебаний // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: труды международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2009. – С. 75–79.

10. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Бесцентровая упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом // Система. Методы. Технологии. – 2015. – № 4. – С. 49–54Фролов К.В. Современная трибология. Итоги и перспективы. – М.: ЛКИ, 2008. – 480 с.

11. Бабичев А.П., Иванов В.В., Булгаков Я.С. Исследование коэффициента трения, износостойкости и микро/нанопрофиля поверхности вибрационного механохимического покрытия дисульфида молибдена // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 1. – С. 35–40.

12. Одинцов П.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

13. Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И. Технологические рекомендации по применению ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки // Труды 4-й международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении». – Новосибирск, 2013. – С. 248–253

14. Рахимянов Х.М., Семенова Ю.С. Прогнозирование геометрического состояния поверхности цилиндрических деталей из стали 45 при ультразвуковом пластическом деформировании металлов // Обработка металлов (технологии, оборудование, инструменты). – 2011. – № 3. – С. 11–13

METHODS OF APPLICATION OF SOLID COATINGS

Gileta V.P., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Nikitin V.Yu., Graduate Student
Ivanova M.V.,Assistant

Gileta V.P., NikitinV.Yu.,Ivanova M.V.

Novosibirsk State Technical University,
20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

Abstract

The effectiveness of solid-coating coatings by rubbing is evaluated. It is established that for a surface with a high roughness and high hardness, the method considered does not ensure the creation of continuous coatings and their good retention. The possibility of using lubricant compositions based on solid lubricants, resins and a solvent to create continuous coatings of uniform thickness on friction surfaces is investigated. A composition of a lubricating composition comprising molybdenum disulphide phenol formaldehyde resin and a solvent having high adhesion properties to the surface is found. The technology of their application has been worked out. It is shown that the physico-mechanical and microgeometric properties of lubricating coatings can be improved by using ultrasonic treatment.

Keywords: Solid lubrication, coating method, surface roughness, molybdenum disulphide, adhesion.

УДК 621.762

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НАПЛАВКОЙ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

ЩЕРБАКОВ В.Г.[1], ст. преподаватель,
([1]БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Щербаков В.Г.

220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65,
Белорусский национальный технический университет,
e – mail: vg.stcherbakov@bntu.by

Аннотация

В работе приведены результаты исследований комплексной технологии получения диффузионно-легированных сплавов из металлических отходов производства и последующего формирования на основе данных сплавов износостойких покрытий наплавкой токами высокой частоты. Исследовано повышение наплавляемости сплавов для наплавки токами высокой частоты и описан эффект контактного эвтектического плавления в получаемых сплавах при кратковременной высокотемпературной обработке. Установлена целесообразность использования комплексной технологии упрочнения быстроизнашиваемых деталей наплавкой токами высокой частоты при защите изделий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

Ключевые слова: диффузионное легирование, металлические отходы, наплавка токами высокой частоты, контактное эвтектическое плавление, износостойкость, твердость, абразивное изнашивание.

Введение

За более чем 25 лет [1-9] исследована и подробно описана технология, связанная с получением диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов из металлических отходов производства. ДЛ сплавы нашли широкое распространение при упрочнении и восстановлении быстроизнашиваемых деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания при различных условиях эксплуатации.

Известно [10], что среди дисперсных металлических отходов, годных для дальнейшей переработки и использования, значительную долю составляют отходы производства дроби. Ежегодно в Республике Беларусь машиностроительные предприятия производят тысячи тонн дроби как для собственных нужд, так и для реализации потребителям, в том числе и на экспорт. Отходами производства дроби являются частицы размером менее 1 мм, которые уже нецелесообразно использовать для дробеструйной обработки. Для предприятий, выпускающих стальную и чугунную дробь, проблема утилизации отходов производства также является одной из важнейших, поскольку некондиционную дробь (размерами менее 1 мм) так же, как и стружечные отходы невыгодно отправлять на переплавку вследствие значительного угара [11]. Данные отходы дроби, по сути, являются готовым материалом для создания диффузионно-легированных сплавов [10]. Авторами [1-9] разработаны новые самофлюсующиеся ДЛ бором порошки, содержащие от 4,4 до 13,4 масс % бора, частицы которых состоят из ядер исходных материалов – отходов производства дроби и боридных оболочек типа Fe_XB_Y. Диапазон применения новых материалов широк: самофлюсующиеся диффузионно-борированные порошки можно использовать как в технологиях восстановления и упрочнения деталей машин, так и для механической, в том числе финишной, обработки [10].

В данной работе описаны результаты разработки и создания комплексной технологии и специального оборудования для создания диффузионно-легированных сплавов из металлических отходов производства и последующее их использование при упрочнении быстроизнашиваемых деталей наплавкой токами высокой частоты.

Описание теоретических и экспериментальных методик

Для исследований были выбраны металлические отходы чугунной дроби ДЧЛ 08 и стружки ШХ15, образующиеся на промышленных предприятиях. Диффузионное легирование (борирование) осуществлялось в специально разработанных электрических печах с вращающимся одним либо несколькими контейнерами из нержавеющей стали. Температура процесса составляла 950 °С, время выдержки – 1 час. Наплавку ТВЧ проводили на установки ФТИ-40/10-50. Подготовка образцов из ДЛ сплавов и покрытий на их основе осуществлялась согласно стандартным методам и методикам. Анализ микроструктуры проводили на микроскопах Leica P2500P и VEGA II при различных увеличениях. Кратковременную высокотемпературную обработку (оплавление) проводили на экспериментальной установке. В качестве источника питания использовался сварочный выпрямитель ВД-306.

Результаты и обсуждение

ДЛ в подвижных порошковых средах с использованием герметичного вращающегося контейнера позволяет интенсифицировать процесс ХТО в несколько раз [6-7]. Интенсификация процесса ДЛ осуществляется за счет многократных микропластических деформаций с одновременно проходящими рекристаллизационными процессами, приводящими в свою очередь к повышению концентрации точечных и линейных дефектов в структуре и росту коэффициента диффузии при насыщении.

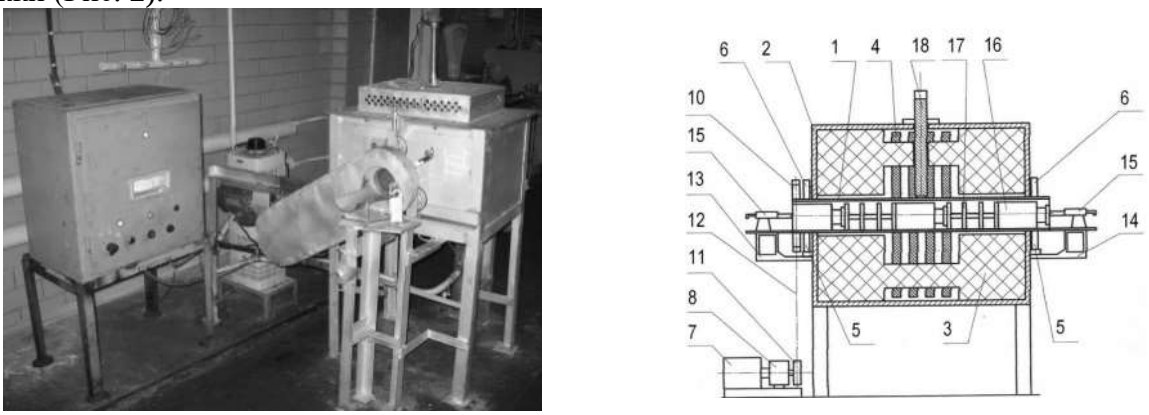
Обработка во вращающемся контейнере позволяет снизить энергозатраты при обработке за счет отсутствия труднореализуемых процессов сепарирования насыщаемых материалов от насыщающей среды после обработки. Однако обработка в подвижной порошковой насыщающей среде с использованием одного контейнера из нержавеющей стали имеет и ряд недостатков: малая производительность используемых установок с вращающимся контейнером (0,1…1,0 кг/час); необходимость предварительного подогрева электрической печи для проведения процесса насыщения; отсутствие точной регулировки и последующего контроля температурно-временных параметров обработки; малая эффективность оборудования при осуществлении различных режимов насыщения и необходимость высокой квалификации работающего персонала.

Известно [12] что, использование вращающихся электрических печей для термической обработки порошковых материалов является экономически целесообразным и вращающиеся печи нашли широкое распространение в химической промышленности, на металлургических, огнеупорных и машиностроительных заводах, а также в цементной промышленности. Авторами [13] разработана установка для термической обработки металлической стальной и чугунной дроби. Ранее [6-7] разработано несколько видов вращающихся печей для химико-термической обработки порошков. Авторами сконструирована и изготовлена промышленная установка (Рис. 1, а) для химико-термической обработки металлических дискретных материалов [14]. Установка состоит (Рис. 1, б) из металлической трубы 1, изолированной в корпусе 2 с помощью теплоизолирующего материала 3. Карбидокремниевые нагреватели 4 расположены вертикально с двух сторон вдоль трубы 1. Труба 1 размещена на двух опорах, состоящих из двух опорных роликов 5 и одного поджимного ролика 6. Механизм вращения трубы 1 состоит из электродвигателя 7, червячного редуктора 8 и цепной передачи, соединяющего ведомую звездочку 10, закрепленную неподвижно на трубе 1 и ведущую звездочку 11 на редукторе 8 с помощью цепи 12. Загрузочный 13 и разгрузочный 14 механизмы представляют собой металлические лотки со стопорным приспособлением 15 для фиксации герметизированных металлических контейнеров 16 в трубе 1. Расположение контейнеров 16 в трубе 1 по трем тепловым зонам (предварительный подогрев, нагрев с выдержкой при

диффузионном легировании, охлаждение) регулируется металлоасбестовыми теплоизоляторами 17.

Технические характеристики вращающейся установки для ДЛ металлических отходов производства представлены в табл. 1.

Для ДЛ могут применяться металлические дискретные материалы в виде дроби и стружки (Рис. 2).



а) б)

Рисунок 1. Установка для ДЛ металлических порошков [14]
а – внешний вид; б – продольный разрез

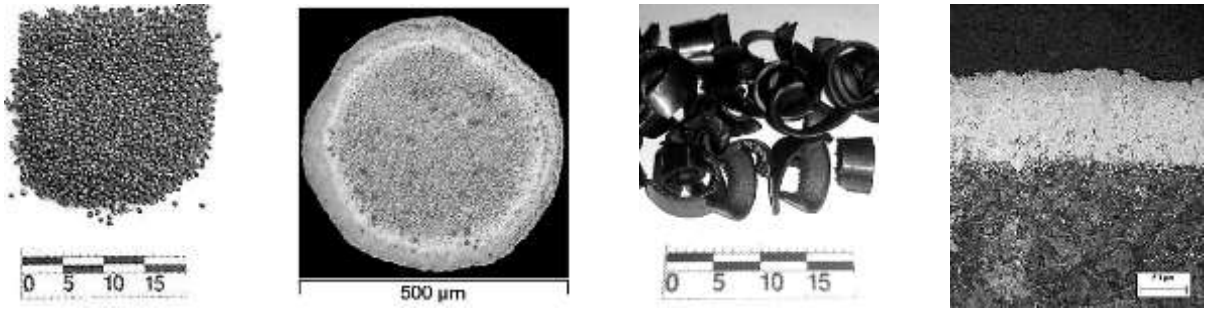
Таблица 1
Технические характеристики установки для ДЛ

Характеристика	Значение
Рабочая температура диффузионного легирования	600…1000 °С
Рабочая частота вращения трубы	60 мин$^{-1}$
Объем контейнера	0,75 дм^3
Полный цикл ДЛ в одном контейнере	60±5 мин
Расчетная производительность установки	1,0 кг/ч

Микроструктура ДЛ металлических дискретных материалов представлена на рис. 2, б, г. После обработки на поверхности каждой отдельной частицы в виде дроби или стружки формируется диффузионный слой. Регулируя температурно-временные параметры ДЛ при непрерывно-последовательной обработке можно достаточно точно прогнозировать толщину формирующегося диффузионного слоя, а, следовательно, и прогнозировать технологические свойства получаемых материалов.

Одним из основных факторов при ДЛ является производительность описываемого оборудования. Особенность конструкции данной печи позволяет проводить ДЛ в трех (как минимум) одновременно расположенных в рабочей камере контейнерах. Для повышения производительности установки можно использовать дополнительные контейнеры и ДЛ осуществляется уже в пяти контейнерах, расположенных в металлической трубе. Таким образом, при ДЛ во вращающейся электрической печи за счет использования большего числа контейнеров, рост производительности оборудования составляет более 60 % (Табл. 2).

Ранее [15-17] установлено, что для повышения технологических свойств ДЛ сплавов для наплавки токами высокой частоты (ТВЧ) целесообразно проводить предварительную кратковременную высокотемпературную обработку. Авторами сконструирована и запатентована [18] установка (Рис. 3, а-б) для кратковременной высокотемпературной обработки металлических порошков.



а) б) в) г)

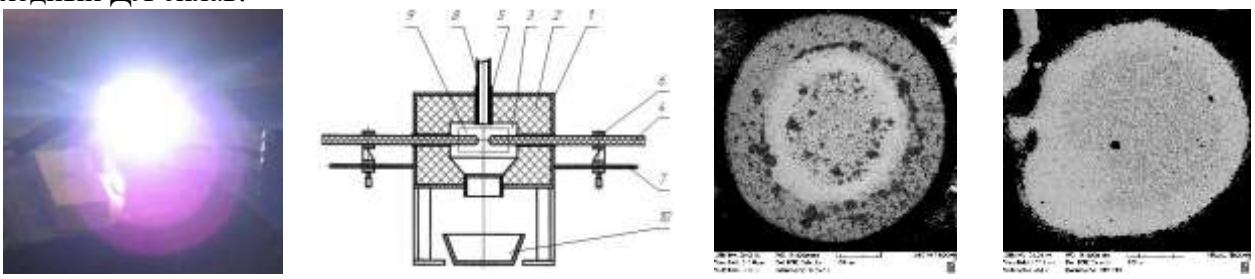
Рисунок. 2. Внешний вид и микроструктура после ДЛ металлических дискретных материалов: а, б – чугунная дробь ДЧЛ 08; в, г – стружка ШХ15;

Таблица 2

Производительность установки для ДЛ

Производительность установки, кг	Количество используемых контейнеров, шт	
	3	5
Работа1 ч/кг	1…1,15	1,6…1,84
Работа 1 смену (8 ч) / кг	8…9,2	12,8…14,72

Изменяя силу тока при оплавлении ДЛ сплавов из чугунной дроби в каждой отдельной частице можно формировать эвтектические структуры, концентрация которых изменяется в интервале 5…100 % (Рис. 3, в-г), обладающие пониженной температурой плавления, чем исходный ДЛ сплав.



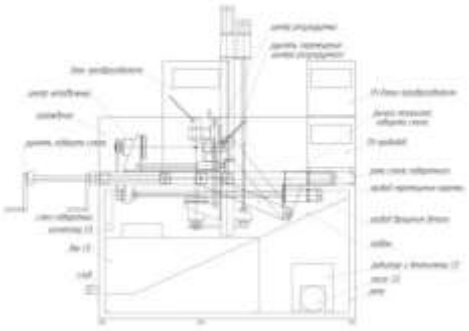
а) б) в) г)

Рисунок 3 Установка для обработки металлического порошка[18] и микроструктура ДЛ сплава: а – внешний вид установки для КВТО; б – продольный разрез установки; в – исходный ДЛ сплав; г – ДД сплав после оплавления

Для наплавки ТВЧ ДЛ сплавов из металлических отходов совместно со специалистами ФТИ НАН Беларуси, был выполнен комплекс работ по разработке, созданию и вводу в эксплуатацию универсальной установки индукционного нагрева. Универсальная установка индукционного нагрева ФТИ-40/10-50 (Рис. 4) [19] обеспечивает преобразование трехфазного электрического сигнала промышленной частоты 50 Гц с однофазной частотой в диапазоне 10,0…70,0 кГц. Технические характеристики установки для наплавки и термической обработки деталей и образцов представлены в табл. 3.

Конструкция установки позволяет производить оперативную замену индукторов для конкретных типоразмеров детали с возможностью подключения спрейерного охлаждения или без дополнительного охлаждения в процессе нагрева, в зависимости от вида обработки деталей. Установка оснащена пирометром с элементами крепления. Стационарный пирометр «Compact» CTLaser-2MH-CF4 обеспечивает постоянный контроль температуры с погрешностью измерения не более 5 °С и связан с системой управления для обеспечения возможности автоматического измерения темпа нагрева для возможности автоматической разбраковки заготовок по температуре. Наплавка ТВЧ ДЛ сплавов может осуществляться как на плоские, так и циллиндрические детали (Рис. 5). Твердость полученных покрытий из диффузионно-легированных металлических отходов производства составляет 55…63 HRC.

а)



б)

Рисунок. 4. Установка ФТИ-40/10-50 а – внешний вид установки; б – схема установки

Таблица 3
Технические характеристики ФТИ-40/10-50

Наименование	Значение
Максимальная установленная мощность, кВт	40
Питающее напряжение – трехфазная сеть системы ТТ или TN-S – напряжением, В – частотой, Гц	 380±10% 50±1
Частота преобразования, кГц	от 10 до 70
Подстройка частоты при смене индуктора	автоматическая
Температура нагрева, °С	от 600 до 1500
Скорость нагрева и охлаждения, °С/с	от 1 до 50
Максимальное время термообработки, час	8
Рекомендуемый объем FLASH-накопителя, Гб	не более 4

а)

б)

Рисунок. 5. Наплавка ТВЧ ДЛ сплавов: а – плоские детали; б – цилиндрические детали

Выводы

Разработана комплексная технология упрочнения быстроизнашиваемых изделий наплавкой токами высокой частоты из диффузионно-легированных сплавов на основе металлических отходов производства с повышенной наплавляемостью за счет предварительной кратковременной высокотемпературной обработки концентрированными источниками энергии. Наличие эвтектических структур в ДЛ сплаве после оплавления позволяет снизить продолжительность наплавки и повысить эксплуатационные свойства защитных покрытий с сохранением значения твердости в интервале 55…63 HRC.

Список литературы

1. Егоров, М.И. Исследование структуры и свойств борсодержащих (1-5%) сталей и разработка экономнолегированного безникелевого порошка для напыления и наплавки : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.16.01 / М.Д. Егоров; Лен. гос. ун-т. – Ленинград, 1990. – 17с.

2. Любецкий, С.Н. Разработка технологии диффузионного легирования железных порошков и получение наплавленных износостойких покрытий: автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.16.01 / С.Н. Любецкий; БПИ – Минск, 1991. – 20 с.

3. Пантелеенко, Ф.И. Теоретические и технологические основы получения самофлюсующихся порошков на железной основе диффузионным легированием и разработка износостойких композиционных покрытий из них. автореф. дис. ... докт. техн. наук. - Мн., 1992.-40 с.

4. Константинов, В.М. Разработка самофлюсующихся наплавочных материалов на железной основе и защитных покрытий из них специализированного назначения с использованием металлоотходов: автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.16.01 / В.М. Константинов; БГПА – Минск, 1992. – 19 с.

5. Сороговец, В.И. Получение износостойких покрытий плазменной наплавкой диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков: автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.02.01 / В.И. Сороговец; ПГУ – Новополоцк, 2001. – 23 с.

6. Штемпель, О.П. Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.02.01 / О.П. Штемпель; ПГУ – Новополоцк, 2003. – 23 с.

7. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий : дис. …докт. техн. наук : 05.02.01 / В.М. Константинов. – Минск, 2008. – 474 л.

8. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

9. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

10. Современные перспективные материалы / Под редакцией В.В. Клубовича – Витебск: Изд-вл УО «ВГТУ», 2011. – 562 с.

11. Демин, М.И. Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий и оборудования производства стальной литой дроби в условиях машиностроительных предприятий: дис. … канд. техн. наук : 05.02.01 / М.И. Демин, – Минск, 2002. – 120 л.

12. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание: В 2-х книгах / Под ред. В.Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2004. – 592 с.

13. Производство стальной литой термообработаиюй дроби в условиях машиностроительных предприятий / П. С. Гурченко [и др.]. - Минск : Беларус. навука, 2014. — 113 с.

14. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала : пат. 15412 Респ. Беларусь, МПК7 F27B 7/14 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков ; заявитель Белорусский национальный технический университет. - № a 20091415 ; заявл. 05.10.09 ; опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці . – 2012. № 1. – С. 143.

15. Щербаков, В.Г. Предварительная высокотемпературная обработка диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2015. – С 341–348.

16. Щербаков, В.Г. Особенности формирования индукционной наплавкой диффузионно-легированных сплавов из отходов чугунной дроби после кратковременной

высокотемпературной обработки концентрированными источниками энергии / В.Г. Щербаков // Литейные процессы – 2016. – №15. – С. 58–67.

17. Щербаков, В.Г. Эффект контактного эвтектического плавления в диффузионно-легированных сплавах из металлических отходов производства при кратковременной высокотемпературной обработке концентрированными источниками энергии / В.Г. Щербаков // Металлургия : Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск : БНТУ, 2016. – Вып. 37 – С. 108- 117

18. Установка для обработки металлического порошка : пат.№ 10051 Респ. Беларусь, МПК B 22F 1/00 / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков; заявитель Белорусский национальный технический университет. - № u 20130804 ; заявл. 08.10.2013 ; опубл. 30.04.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці . – 2014. № 2. – С. 136.

19. Константинов, В. М. Многофункциональная научно-исследовательская установка индукционного нагрева сталей и сплавов / В. М. Константинов и [др.] // Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск : БНТУ, 2015. – Вып. 36 - С. 255-262.

TECHNOLOGY FOR OBTAINING A DIFFUSIVELY ALLOYED WEAR-RESISTANT COATINGS MADE OF METAL DISCARD BASED ON THE HARD FACING PROCESSES USING HIGH-FREQUENCY CURRENTS

Shcherbakov V.G. Senior Lecturer

Shcherbakov V.G.

Belarusian National Technical University,
220013, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti ave., 65;

Abstract

The result of investigation related to the implementation of the technology for obtaining a diffusively alloyed wear-resistant coatings made of metal discard based on the hard facing processes using high-frequency currents are presented in the work. The effect of contact eutectic melting that was acquired using short-term high temperature surface processing using high-frequency currents and technological ability to surfacing of developed alloys were discussed. It is shown that implementing of the developed technology for improvement of metal parts working in conditions of high abrasion wear increases the endurance and life-time of the treated articles.

Keywords: diffusing alloying, metal discard, high-frequency currents fusing, contact eutectic melting, wear resistance, hardness, abrasion wear.

УДК 621.787

АНАЛИЗ СХЕМ НАКАТЫВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

УЧАЙКИН С.Е.[1], магистрант
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Учайкин С.Е.

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
e – mail: uchaikinserega@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются схемы накатывания цилиндрических и сложнопрофильных заготовок на токарном станке с числовым программным управлением (ЧПУ). Выполнен анализ результатов обкатывания галтельных переходов, а также процесса стабилизации очага деформации. По результатам анализа сформулированы выводы и рекомендации по выбору рациональных схем ППД с использованием станков с ЧПУ.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование (ППД), накатывание, очаг деформации (ОД), качество поверхностного слоя (ПС), галтельные переходы, станок с ЧПУ, схемы обкатывания.

Введение

Повышение качества, долговечности и надежности машин достигается различными, в том числе, технологическими средствами.

Разработка и внедрение в производство методов поверхностного пластического деформирования (ППД) позволяет успешно производить высокопроизводительную чистовую обработку, получая высокую усталостную прочность деталей машин.

Простота, высокая производительность и эффективность ППД поверхностного слоя создали необходимые предпосылки для широкого применения этих видов обработки, прежде всего самого простого и доступного из них — обкатывания роликами, в различных отраслях машиностроения.

При чистовой обработке обкатыванием роликами получают поверхности высокого качества. Несмотря на то, что деформирование роликом исходной шероховатости на большинстве конструкционных сталей при достаточном контактном давлении достигается сравнительно просто, область оптимальных сочетаний параметров режима обкатывания ограничена определенными пределами из-за появления волнистости обкатанной поверхности. В связи с этим определение оптимального режима в каждом конкретном случае представляет известные трудности [1].

Анализ схем обкатывания и экспериментальных исследований

При изготовлении деталей машин применяют поверхностное пластическое деформирование (ППД) - обработку давлением, при которой пластически деформируется только поверхностный слой детали. В качестве деформирующих тел (ДТ) используют ролики, шарики, дробь и т.д., которые взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью по схемам, представленными на рис. 1.

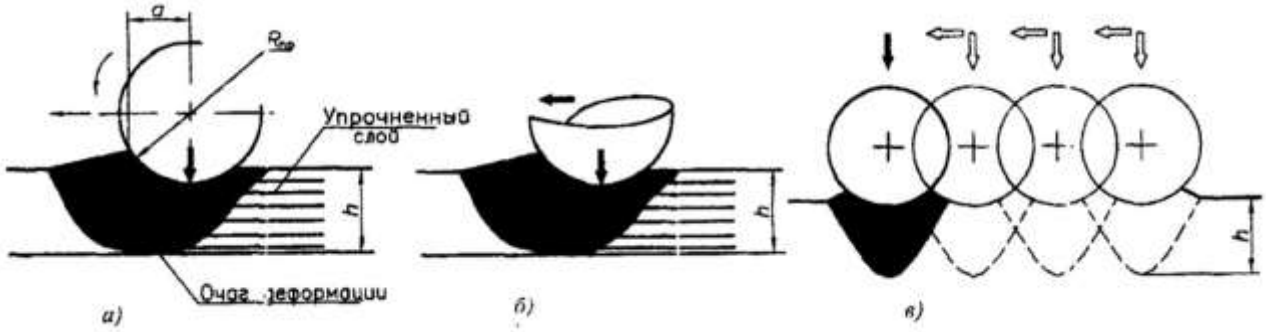


Рисунок 1 – Основные схемы взаимодействия ДТ с обрабатываемой поверхностью:
а) – качение; б) – скольжение; в) – внедрение

По схеме качения или скольжения ДТ прижимается к поверхности детали с фиксированной силой Р и перемещается относительно нее, соответственно, с вращением или без него (рис. 1, а и б).В зоне локального контакта ДТ с обрабатываемой поверхностью возникает очаг пластической деформации (далее очаг деформации - ОД), который перемещается вместе с инструментом, благодаря чему поверхностный слой детали последовательно деформируется на глубину *h*. Размеры ОД и интенсивность пластической деформации, возникающей в ОД, зависят от технологических факторов обработки - силы *P*, формы и размеров ДТ, подачи, твердости обрабатываемого материала и др.

Характерным признаком методов ППД, основанных на схемах качения и внедрения, является стабильность формы и размеров ОД, а, следовательно, и сил обработки в стационарной фазе процесса. Поэтому они относятся к методам статического ППД [2].

Все дальнейшее внимание будет уделено схеме а) – ППД при качении. В соответствии с [3] поверхностное пластическое деформирование при качении инструмента по поверхности деформируемого материала называется накатыванием. В свою очередь накатывание подразделяется на обкатывание и раскатывание, в зависимости от того, какие поверхности обрабатываются: выпуклые (валы, галтели), плоские или вогнутые (например, отверстия). Накатывание осуществляют роликами и шариками.

Сочетанием вращательного и поступательного перемещений детали и деформирующих элементов методами обкатывания и раскатывания обрабатывают плоские, цилиндрические, переходные поверхности, фасонные поверхности и канавки. В связи с тем, что на токарном станке с ЧПУ можно обрабатывать в основном тела вращения, то наиболее приемлемые схемы обкатывания представлены на рис. 2.

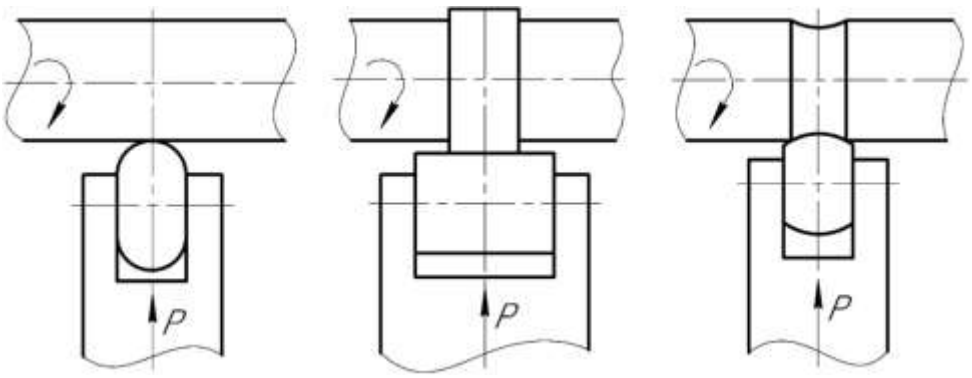


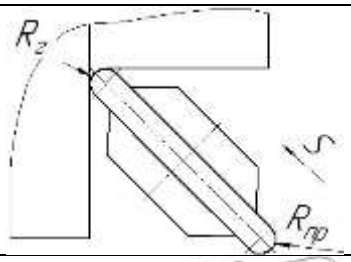
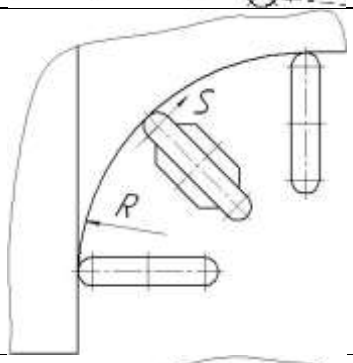
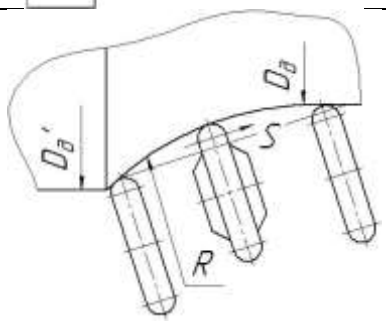
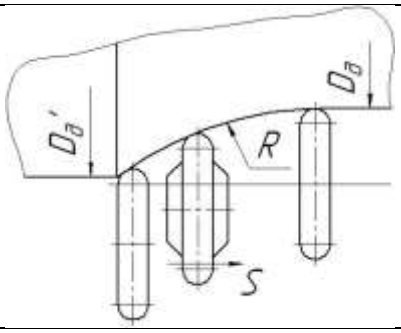
Рисунок 2 – схемы процесса обкатывания: а-роликом с продольной подачей;
б-роликом с поперечной подачей; в-фасонным роликом с поперечной подачей

В табл. 1 приведены способы обкатывания переходных поверхностей. При обкатывании наклонными и клиновыми роликами не требуется больших усилий, так как деформация на обрабатываемом участке происходит постепенно, при весьма малой мгновенной площади контакта. Однако такие ролики сложны в изготовлении. Обкатывание с подачами по хорде и вдоль оси вала происходит при неодинаковых условиях нагружения по длине хода. Поэтому

обработку следует проводить так, чтобы наибольшее упрочнение металла происходило в зоне концентрации эксплуатационных напряжений. В этом случае эффективным является применение станков с ЧПУ [2].

Таблица 1

Способы обкатывания переходных поверхностей

Способ обкатывания	Схема обработки	Радиус переходной поверхности *R*, мм
Роликом с радиусом равным радиусу галтели		$R_г$=$R_{пр}$, до 25
Роликом с подачей по дуге образующей переходной поверхности		Св. 50
Роликом с подачей по хорде		Св. 2,5 (D_d'-D_d)
Роликом с подачей по оси вала		Св. 4 (D_d'-D_d)

Проф. Смелянским В.М. были проведены исследования зависимости профиля очага деформации на галтели от режима обработки[4]. Показано, что при рассмотрении очага в направлении, касательном к галтели, линейные параметры и профиль очага подчиняются зависимостями, полученным для цилиндрических поверхностей. При этом возникающая погрешность не превышает погрешности предсказания этих зависимостей (±10-15%).

Так как основным граничным условием, определяющим параметры состояния поверхностного слоя, является профиль очага деформации, а связь его параметров с режимом обработки при обкатывании галтели такая же, как при обкатывании цилиндрических

поверхностей, то полученные для цилиндра зависимости параметров поверхностного слоя от технологических факторов будут справедливы и для галтельных переходов.

При обкатывании цилиндрических поверхностей с постоянной силой обкатывания процесс пластического течения в очаге деформации быстро стабилизируется. Процесс обкатывания фасонных поверхностей имеет ряд отличий от процесса обкатывания цилиндрических поверхностей. Этот процесс более нагляднее рассмотрен на примере обкатывания галтельных переходов.

Известно, что при обкатывании цилиндрических деталей на режимах, обычно используемых в практике, профиль очага деформации становится стационарным через 3-5 оборотов детали после момента приложения силы (рис. 3).

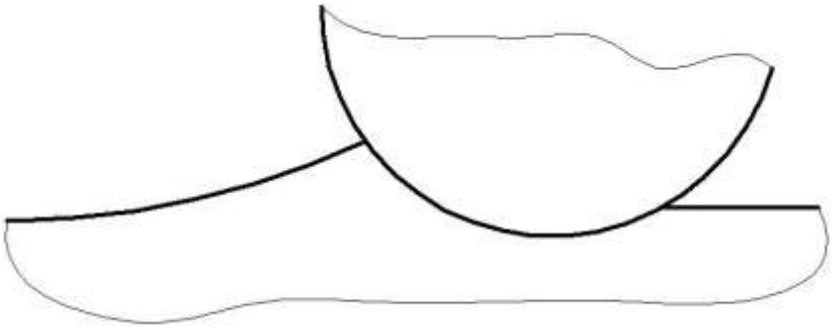


Рисунок 3 – Профиль установившегося (стационарного) ОД

При обкатывании галтели такой картины добиться значительно сложнее. Так во время эксперимента при использовании схемы с наклонным роликом и подачей по вдоль оси вала были выявлены некоторые особенности. На протяжении некоторого периода времени обработки сила обкатывания изменяется от нуля до своего максимального значения и превышает период стабилизации ОД при скачкообразном изменении силы обкатывания примерно в 30 раз. Из теории автоматического управления известно, что при таком соотношении скорости изменения управляемого воздействия и скорости стабилизации системы инерционность проявится лишь в самом начале процесса обкатывания и практически сразу станет незначительной[5]. Схема обкатывания и ОД представлены на рис. 4.

По результатам экспериментов и проведенных расчетов было выявлено, что при обкатывании галтельного перехода для достижения заданного уровня деформации требуется приложить несколько большую, чем при обкатывании цилиндра, силу обкатывания [4].

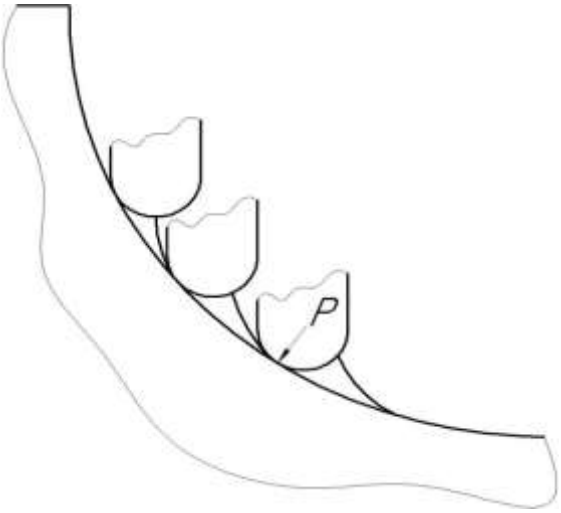


Рисунок 4 – Схема обкатывания галтели и ОД

Выводы

При обкатывании цилиндрических поверхностей ролик, расположенный перпендикулярно к поверхности образца, либо с некоторым наклоном, но с постоянным

положением на протяжении всей обработки, дает стационарный очаг деформации уже через несколько оборотов детали. Отсюда следует, что самой рациональной схемой обкатывания галтелей и различных фасонных поверхностей будет являться схема, при которой инструмент, в частности ролик, будет находиться перпендикулярно касательной к профилю обработки в каждый момент времени. Это легко реализовать на станке с ЧПУ.Это схемыобкатывания роликом с подачей по оси вала либо по хорде дуги галтели, и схема обкатывания роликом с подачей по дуге образующей переходной поверхности.

Список литературы

1. Браславский, В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский – М.: Машиностроение, 1976. – 158 с.

2. Дальский, А.М. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/ А.М. Дальский [и др.] – М.: Машиностроение-1, 2001. – 944 с.

3. ГОСТ 18296-72. Обработка поверхностным пластическим деформированием. Термины и определения.

4. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с., ил.

5. Боронов, А.А. Теория автоматического управления / А.А. Боронов. – М.: высшая школа, 1977. – 303 с.

ANALYSIS OF SCHEMES OF ROLLING CYLINDRICAL AND CURVILINEARSURFACES ON TURNING MACHINE WITH CNC

Uchaikin S.E. Graduate student,

Uchaikin S.E.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),
650000, Vesennaya street, 28, Kemerovo, Kemerovo region, Russian Federation

Abstract

The article deals with processes and various schemes for processing cylindrical and curvilinear profiles on a CNC lathe. The experimental studies of research works on the processing of rounded transitions, as well as the process of stabilization of the focus of deformation are analyzed. Based on the results of the analysis, conclusions and recommendations on the selection of the most rational schemes for surface plastic deformation using CNC machines are formulated.

Keywords: Surface plastic deformation, deformation center, computer numerical control (CNC), schemes, rolling, surface layer quality, curve.

УДК 621.785

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА АДСОРБЦИИ АКТИВИРОВАННЫХ АТОМОВ БОРА, ХРОМА И ТИТАНА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ БОР-ХРОМ-ТИТАНИРОВАНИИ СТАЛЕЙ

ГУРЬЕВ А.М.[1,2], докт. техн. наук, профессор,
ИВАНОВ С.Г.[3], канд. техн. наук,
ГУРЬЕВ М.А.[2], канд. техн. наук, доцент
ИВАНОВА Т.Г.[4], канд. техн. наук,
ШУНЧИ МЭЙ[1], докт. техн. наук, профессор
([1]Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай,
[2]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия,
[3]ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, Россия
[4]ПАО «Росводокананл». г. Барнаул, Россия)

Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Иванова Т.Г., Мэй Шунчи

430073, г. Ухань, ул. Фангши, 1,
Уханьский текстильный университет,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова,
656063, г. Барнаул, ул. Туриногорская, 39А
656037, г. Барнаул, пр. Калинина, 116
ООО «Росводоканал Барнаул»
e – mail: gurievam@mail.ru
e – mail: serg225582@mail.ru
e – mail: gurievma@mail.ru
e – mail: serg225582@mail.ru
e – mail: shunchimay@china.com

Аннотация

В работе приведены экспериментально полученные и расчетные показатели адсорбции атомов бора, хрома и титана при одновременном диффузионном трехкомпонентном насыщении сталей. По результатам исследования установлено, что адсорбция протекает по хемосорбционному механизму.

Ключевые слова: сталь, диффузия, адсорбция, бор, хром, титан.

Введение

Химико-термическая обработка является актуальным направлением повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и инструмента. По результатам изучения элементного состава диффузионных покрытий на поверхности сталей выявлены зависимости распределения бора, хрома и титана на поверхности сталей.

Описание исследований.

При допущении, что поглощенные при адсорбции элементы (бор, хром, титан) покрывают поверхность насыщаемого изделия моноатомным слоем, а глубина анализа EDX-детектора не превышает 1-4 мкм, то, если пренебречь результатами анализа по железу и кремнию, можно посчитать парциальные коэффициенты адсорбции для бора, хрома и титана. И таким образом установить парциальное содержание адсорбированных бора, хрома и титана на поверхности насыщаемого материала.

Результаты и обсуждение.

Как ранее отмечено в работах [1-9], наиболее точным способом определения параметров адсорбции, таких как концентрация адсорбированных атомов и т.д., является весовой метод. Таким образом, применительно к исследованным сталям Ст3, сталь 45, У8, 5ХНВМФ, Х12М, Р6М5 изменение веса приведено в таблице 1.

Таблица 1. Изменение массы образцов в результате одновременного насыщения бором, хромом и титаном при температурах 850, 950, 1050°С

Ст 3		Сталь 45		У8		5ХНВМФ		Х12М		Р6М5	
Δ m, кг	среднее	Δ m, кг	среднее	Δ m, кг	среднее	Δ m, кг	среднее	Δ m, кг	среднее	Δ m, кг	среднее
850°С											
1,355 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}355 \cdot 10^{-8}$	1,334 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}335 \cdot 10^{-8}$	1,291 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}293 \cdot 10^{-8}$	1,304 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}303 \cdot 10^{-8}$	1,185 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}187 \cdot 10^{-8}$	1,165 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}164 \cdot 10^{-8}$
1,354 $\cdot 10^{-8}$		1,336 $\cdot 10^{-8}$		1,293 $\cdot 10^{-8}$		1,302 $\cdot 10^{-8}$		1,188 $\cdot 10^{-8}$		1,165 $\cdot 10^{-8}$	
1,357 $\cdot 10^{-8}$		1,335 $\cdot 10^{-8}$		1,295 $\cdot 10^{-8}$		1,304 $\cdot 10^{-8}$		1,187 $\cdot 10^{-8}$		1,163 $\cdot 10^{-8}$	
950°С											
1,979 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}981 \cdot 10^{-8}$	1,897 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}899 \cdot 10^{-8}$	1,483 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}485 \cdot 10^{-8}$	1,545 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}548 \cdot 10^{-8}$	1,296 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}296 \cdot 10^{-8}$	1,285 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}284 \cdot 10^{-8}$
1,983 $\cdot 10^{-8}$		1,901 $\cdot 10^{-8}$		1,486 $\cdot 10^{-8}$		1,547 $\cdot 10^{-8}$		1,294 $\cdot 10^{-8}$		1,283 $\cdot 10^{-8}$	
1,980 $\cdot 10^{-8}$		1,899 $\cdot 10^{-8}$		1,485 $\cdot 10^{-8}$		1,551 $\cdot 10^{-8}$		1,298 $\cdot 10^{-8}$		1,283 $\cdot 10^{-8}$	
1050°С											
2,327 $\cdot 10^{-8}$	$2{,}325 \cdot 10^{-8}$	2,305 $\cdot 10^{-8}$	$2{,}304 \cdot 10^{-8}$	1,947 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}945 \cdot 10^{-8}$	1,895 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}893 \cdot 10^{-8}$	1,468 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}467 \cdot 10^{-8}$	1,483 $\cdot 10^{-8}$	$1{,}484 \cdot 10^{-8}$
2,325 $\cdot 10^{-8}$		2,303 $\cdot 10^{-8}$		1,943 $\cdot 10^{-8}$		1,893 $\cdot 10^{-8}$		1,463 $\cdot 10^{-8}$		1,485 $\cdot 10^{-8}$	
2,323 $\cdot 10^{-8}$		2,305 $\cdot 10^{-8}$		1,945 $\cdot 10^{-8}$		1,892 $\cdot 10^{-8}$		1,469 $\cdot 10^{-8}$		1,483 $\cdot 10^{-8}$	

Концентрацию адсорбированных бора, хрома и титана можно посчитать:

$$\chi_Э = \frac{m_Э}{\Delta m} \cdot 100\% \quad (1)$$

где $\chi_Э$ – массовый процент вещества, определяемый аналитическим методом;
$m_Э$ – масса элемента в исследуемом материале;
Δm – изменение массы образца в процессе адсорбции.

$$C_Э = \frac{m_Э}{m_0 V} \quad (2)$$

где m_0 – элементарная масса одного атома;
V – занимаемый объем.
Тогда:

$$C_Э = \frac{\chi_Э \cdot \Delta m}{100 \cdot m_0 \cdot V} = \frac{\chi_Э \cdot \Delta m \cdot N_A}{100 \cdot V \cdot M} \quad (3)$$

где N_A – число Авогадро;
M – молярная масса;

За занимаемый адсорбированными атомами объем можно принять изменение объема образцов, вычисленное как разность между объемом до и после насыщения в диффузионно-

активной среде (Таблица 2). Для измерения образцов использовали измерительный микроскоп ИМЦ 150х50, имеющий максимальную погрешность измерения линейных размеров 3·10-6м. Размер в каждом из трех направлений измеряли не менее чем в 5 точках. После чего вычисляли среднее, которое в свою очередь приводили к среднему значению изменения размера ребра куба.

Таблица 2 Изменение размеров и объема образцов в результате насыщения в диффузионно-активной среде.

Изменение размеров, $м^{-6}$						Изменение объема, $м^{-18}$					
Ст 3	Сталь 45	У8	5ХНВМФ	Х12М	Р6М5	Ст 3	Сталь 45	У8	5ХНВМФ	Х12М	Р6М5
850°С											
2,362	2,434	2,332	2,562	2,308	1,987	13.178	14.420	12.682	16.817	12.294	7.845
950°С											
2,592	2,658	2,564	2,766	2,536	2,316	17.414	18.779	16.856	21.162	16.310	12.423
1050°С											
2,814	2,876	2,908	2,946	2,762	2,618	22.283	23.789	24.591	25.568	21.070	17.944

Поверхностную концентрацию атомов с учетом допущений Лэнгмюра, по поверхности стали-адсорбера, можно рассчитать по формуле:

$$C_Э = \frac{N}{S} \quad (4)$$

где N – число адсорбированных атомов;

S – площадь адсорбирующей поверхности;

Зная радиусы соответствующих атомов бора, хрома и титана, можно рассчитать с достаточно высокой точностью поверхностную концентрацию атомов, потребную для покрытия площади в $1м^2$. Исходя из того, что радиусы атомов бора, хрома и титана соответственно равны 85, 128 и 147 пм, можно вычислить соответствующие поверхностные концентрации.

Таблица 4. Средние значения поверхностной концентрации бора, хрома и титана, $м^{-2}$

	Ст 3	Сталь 45	У8	5ХНВМФ	Х12М	Р6М5
850°С						
B	$3{,}3\cdot10^{21}$	$3{,}1\cdot10^{21}$	$2{,}7\cdot10^{21}$	$1{,}3\cdot10^{21}$	$1{,}1\cdot10^{21}$	$8{,}5\cdot10^{20}$
Cr	$6{,}1\cdot10^{19}$	$4{,}4\cdot10^{19}$	$3{,}5\cdot10^{19}$	$3{,}1\cdot10^{19}$	$1{,}8\cdot10^{19}$	$2{,}6\cdot10^{19}$
Ti	$7{,}2\cdot10^{19}$	$6{,}5\cdot10^{19}$	$6{,}1\cdot10^{19}$	$4{,}3\cdot10^{19}$	$4{,}4\cdot10^{19}$	$3{,}7\cdot10^{19}$
950°С						
B	$4{,}5\cdot10^{21}$	$4{,}2\cdot10^{21}$	$3{,}9\cdot10^{21}$	$2{,}7\cdot10^{21}$	$1{,}9\cdot10^{21}$	$1{,}2\cdot10^{21}$
Cr	$5{,}9\cdot10^{19}$	$6{,}3\cdot10^{19}$	$4{,}9\cdot10^{19}$	$4{,}6\cdot10^{19}$	$2{,}5\cdot10^{19}$	$3{,}5\cdot10^{19}$
Ti	$6{,}9\cdot10^{19}$	$7{,}1\cdot10^{19}$	$8{,}7\cdot10^{19}$	$4{,}8\cdot10^{19}$	$5{,}6\cdot10^{19}$	$4{,}8\cdot10^{19}$
1050°С						
B	$5{,}3\cdot10^{21}$	$5{,}8\cdot10^{21}$	$4{,}7\cdot10^{21}$	$3{,}3\cdot10^{21}$	$2{,}6\cdot10^{21}$	$1{,}8\cdot10^{21}$
Cr	$7{,}1\cdot10^{19}$	$6{,}4\cdot10^{19}$	$5{,}5\cdot10^{19}$	$5{,}1\cdot10^{19}$	$4{,}8\cdot10^{19}$	$4{,}2\cdot10^{19}$
Ti	$8{,}4\cdot10^{19}$	$7{,}7\cdot10^{19}$	$9{,}1\cdot10^{19}$	$6{,}3\cdot10^{19}$	$6{,}4\cdot10^{19}$	$5{,}9\cdot10^{19}$

Согласно теоретическим оценкам параметра диффузии при условии покрытия всей площади образца моноатомным слоем, поверхностная концентрация бора, хрома и титана

соответственно будет: для бора – 3,46·1019 $м^{-2}$, для хрома – 1,53·1019 $м^{-2}$, для титана – 1,16·1019 $м^{-2}$. Далее, разделив полученные экспериментальным поверхностные концентрации на данные, полученные теоретическими расчетами, получим, что адсорбированные атомы покрывают поверхность более, чем одним слоем.

Выводы

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что при химико-термической обработке методом одновременного насыщения бором, хромом и титаном адсорбированные атомы покрывают поверхность не моноатомным слоем. А, следовательно, процесс адсорбции имеет хемосорбционный механизм, когда адсорбированные атомы вступают в химические реакции с веществом-адсорбером.

Список литературы

1. Лыгденов Б.Д., Влияние состава насыщающей среды на структуру и свойства диффузионного слоя при титанировании сталей. / Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2000. Т. 43. № 11. С. 269.

2. Гурьев А.М., Анализ влияния природы легирующих элементов в высоколегированных сталях на процессы комплексного многокомпонентного диффузионного борирования. / Гурьев М.А., Гурьев А.М., Иванов А.Г., Иванов С.Г. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 5. С. 155-157.

3. Гурьев А.М., Новые методы диффузионного термоциклического упрочнения поверхности стальных изделий бором совместно с титаном и хромом. / Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Гармаева И.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // Успехи современного естествознания. 2007. № 10. С. 84-85.

4. Иванов С.Г., Исследование процессов диффузионного насыщения сталей из смесей на основе карбида бора. / Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 3. С. 33.

5. Гурьев А.М., Теория и практика получения литого инструмента. / Гурьев А.М., Хараев Ю.П. // Барнаул, 2005. – 221с.

6. Гурьев А.М., Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей. // Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // Пат. на изобретение RUS 2345175, опубл. 03.04.2007

7. Гурьев А.М., Способ упрочнения деталей из штамповых сталей. // Гурьев А.М., Иванов С.Г., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. // Пат. на изобретение RUS 2360031, опубл. 18.07.2007

8. Власова О.А., Оптимизация многокомпонентной химико-термической обработки стали 30Х. / Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Чех С.А. // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 3. С. 32.

9. Иванова Т. Г., Разработка и исследование процессов одновременного насыщения поверхности стальных изделий бором, хромом и титаном / Иванова Т. Г. // Новокузнецк : 2017 г. - Дисс. канд. техн. наук. - 142с.

DETERMINATION OF THE MECHANISM OF ADSORPTION OF ACTIVATED OF BORON, CHROME AND TITANIUM ATOMS AT THE SIMULTANEOUSBOR-CHROME-TITANATION OF STEELS

Guriev A.M., D.Sc. (Engineering), Professor,
Ivanov S.G., PhD (Engineering),
Guriev M.A., PhD. (Engineering), Associate Professor
Ivanova T.G., PhD (Engineering),
May Shungchi, D.Sc. (Engineering), Professor,

Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Ivanova T.G., May Shungchi

Wuhan Textile University, 430073, 1 Fangzhi Rd, Hongshan Qu, Wuhan Shi, Hubei Sheng, China
Polzunov Altai State Technical University,
656038, LeninaAvenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation
LLC “Hardening Technology”, 656063, Turinogorskaya Rd, 39A, Barnaul, Russian Federation
LLC “Rosvodokanal Barnaul”, 656037, Kalinina Avenue, 116, Barnaul, Altay Region, Russian Federation

Abstract

The experimentally obtained and calculated exponents of adsorption of boron, chromium and titanium atoms are presented in the work with simultaneous diffusion of three-component saturation of steels. According to the results of the study, it has been established that adsorption proceeds according to the chemisorption mechanism.As a result of the calculations carried out, it can be concluded that when chemically treated by simultaneous saturation with boron, chromium and titanium, the adsorbed atoms cover the surface not with a monoatomic layer.

Keywords: steel, diffusion, adsorption, boron, chromium, titanium.

УДК 621.785

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОВОГО БОРИРОВАНИЯ ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОШКОВЫХ СРЕД

ГУРЬЕВ А.М.[1,2], докт. техн. наук, профессор,
ИВАНОВ С.Г.[3], канд. техн. наук,
ГУРЬЕВ М.А.[2], канд. техн. наук, доцент
ДОН ЯДЖИ[1], аспирант
([1]Уханьский текстильный университет, г. Ухань, Китай,
[2]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия,
[3]ООО «Технологии упрочнения», г. Барнаул, Россия)

Гурьев А.М., Иванов С.Г., Гурьев М.А., Дон Яджи

430073, г. Ухань, ул. Фангши, 1,
Уханьский текстильный университет,
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова,
656063, г. Барнаул, ул. Туриногорская, 39А
e – mail: gurievam@mail.ru
e – mail: serg225582@mail.ru
e – mail: gurievma@mail.ru
e – mail: jadzhie@china.com

Аннотация

Проведены исследования по газовому насыщению образцов из титана ВТ-1,0 в закрытом тигле, газогенератором активных газов в котором являлась порошковая насыщающая среда на основе карбида бора. Установлено, что при газовом борировании влияние оказывает расстояние от источника газообразования: так, при расположении образцов на расстоянии 10, 25 и 50 мм боридный слой обнаружен только на образцах, расположенных на расстоянии 10 и 25 мм от насыщающей среды. толщина слоя боридов титана достигает соответственно 75 и 65 мкм.

Ключевые слова: диффузия, бор, хром, титан, химико-термическая обработка.

Введение

Внедрение новых технологических процессов в промышленности в ряде случаев тормозится отсутствием материалов, способных работать в экстремальных условиях. Изыскание новых возможностей изменения комплекса физико-механических свойств металлов в заданном направлении является актуальной задачей современного фундаментального материаловедения и физики твердого тела. Решение этой задачи требует совершенствования существующих и создания новых принципов и методов обработки материалов. Наиболее интенсивным внешним воздействиям зачастую подвергаются поверхностные слои деталей и инструмента, поэтому структура и свойства именно поверхностных слоев оказывает важное влияние на работоспособность и ресурс изделий в целом.

Одним из основных, наиболее перспективных и практически повсеместно осуществимым способом нанесения покрытий является химико-термическая обработка (ХТО). Ее применение особенно эффективно, когда необходимо получить детали с заранее заданными свойствами. Это экономически более выгодно, чем получение объемнолегированных материалов с аналогичными свойствами и как правило, может производиться на любом предприятии, имеющем термическое оборудование.

Методика эксперимента

Чаще всего для борирования применяют порошковые среды, реже – жидкие. Газообразные среды для борирования практически не имеют перспектив к применению в силу их высокой экологической опасности. Для нейтрализации отработанных газов при газовом борировании необходимо устройство специальных поглотителей-нейтрализаторов.

В качестве насыщающих сред использовали порошковые насыщающие среды на основе карбида бора, дополнительно содержащие добавки хрома и титана при следующем соотношении элементов (ат %):

B:C:Fe:Cr:Al=15:5:2:1:0,3 – при одновременном насыщении бором и хромом [13-21]

B:C:Fe:Cr:Ti:Al=15:5:2:1:0,7:0,3 – при при одновременном насыщении бором, хромом и титаном. В качестве активатора использовали комплексный активатор, содержащий тетрафторборат калия (KBF4), фторид аммония и хлорид аммония. Количество активатора во всех случаях было одинаковым и составляло 5% масс. от массы диффузионно-активной смеси[1-29].

Насыщение производили в герметизируемых контейнерах из жаростойкой стали. Для нагрева контейнеров использовали камерную печь типа СНОЛ, оснащенную ПИД-контроллером «Термодат-16Е3». Все образцы, упакованные в индивидуальные насыщающие контейнеры, таким образом, что сам образец не контактировал непосредственно с насыщающей средой, а находился на определенном расстоянии от ее поверхности, одновременно загружались в предварительную прогретую до 950°С печь и выдерживались 1,5 ч после прогрева образцов в контейнерах до 950°С. После окончания выдержки контейнеры извлекали из печи и охлаждали на воздухе до 60°С, после чего осуществляли их распаковку. Извлеченные образцы охлаждали на воздухе до комнатной температуры и промывали в теплом мыльно-содовом растворе. Промытые образцы высушивали на воздухе.

Толщину и микроструктуру диффузионного покрытия контролировали на образцах-свидетелях при помощи программно-аппаратного комплекса «Thixomet Pro», а также электронной микроскопии. Съемку дифрактограмм осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6.0 Cu-Kα излучении. Идентификацию фаз проводили при помощи программного комплекса «Match! v 3.4.2» с входящими в комплект базами данных «COD» (Crystallography Open Database), PDF Database и ICDD Database. Программный комплекс Match! позволяет индицировать дифрактограммы, производить их предварительную обработку, а также благодаря подключаемым базам данных дифрактограмм эталонных веществ, производить идентификацию фаз. Кроме того, комплекс позволяет рассчитывать относительное содержание идентифицированных фаз.

В качестве критерия правильности идентификации был выбран критерий совпадения пиков на дифрактограмме и эталонах с точностью не менее 0,8.

Результаты и обсуждение.

В настоящей работе проведены исследования по газовому насыщению образцов из титана ВТ-1,0 в закрытом тигле, газогенератором активных газов в котором являлась порошковая насыщающая среда на основе карбида бора. При такой реализации процесса в замкнутом объеме, не требуется устройств нейтрализации отработанных газов, так как генерация и распад активных насыщающих газов происходит в замкнутом объеме. При охлаждении до комнатной температуры борсодержащие газы самопроизвольно распадаются на безопасные соединения.

Установлено, что при газовом борировании влияние оказывает расстояние от источника газообразования: так, при расположении образцов на расстоянии 10, 25 и 50 мм боридный слой обнаружен только на образцах, расположенных на расстоянии 10 и 25 мм от насыщающей среды. На образце, расположенном на расстоянии 50 мм от насыщающей среды слоя боридов не обнаружено. При этом толщина слоя боридов титана достигает соответственно 75 и 65 мкм на образцах, расположенных на расстоянии 10 и 25 мм.

Выводы.

1. Впервые показана возможность насыщения титановых сплавов в газофазной насыщаемой смеси, генерируемой из порошковой насыщающей среды в замкнутом объеме.
2. Исследована насыщающая способность газофазной насыщающей среды, получаемой путем термодиссоциации порошковой насыщающей среды.
3. Установлена максимальная толщина диффузионного покрытия, получаемого путем борирования из газовой фазы, достигающая 75 мкм на титановом сплаве ВТ-1,0.

Список литературы.

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: Справочник // Под ред. Л.С. Ляховича. М.: Металлургия, 1981. 424 с.

2. Федюкин В.К., Смагоринский М.Е. // Термоциклическая обработка металлов и деталей машин.–Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989.–255 с.

3. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 216 с., ил.

4. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of ferrite - pearlite steels Under the thermocyclic conditions A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Kirienko, E.V. Chernykh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, №2.- 2004.- С.54 – 60.

5. Transformation of the phase composition and the mechanism of transition region structuring in a ferrite-pearlite steel subjected to thermal-cycling borating Gur'ev A.M., Kozlov E.V., Zhdanov A.I., Ignatenko L.I., Popova I.A. Russian Physics Journal. 2001. Т. 44. № 2. С. 183-188.

6. Гурьев А.М. Новые материалы и технологии для литых штампов.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ.- 2000.-216 с.

7. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом карбоборировании феррито-перлитной стали Гурьев А.М., Козлов Э.В., Крымских А.И., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Известия высших учебных заведений. Физика. 2000. Т. 43. № 11. С. 60.

8. Изменение фазового состава и механизм формирования структуры переходной зоны при термоциклическом борировании феррито-перлитной стали Гурьев А.М., Козлов Э.В., Жданов А.Н., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. № 2. С. 58.

9. Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение сталей Гурьев А.М., Ворошнин Л.Г., Хараев Ю.П., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Гурьева О.А., Колядин А.А., Попова О.В. Ползуновский вестник. 2005. № 2-2. С. 36-43.

10. Особенности формирования структуры диффузионного слоя на литой стали при химико-термической обработке Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Махаров Д.М., Мосоров В.И., Черных Е.В., Гурьева О.А., Иванов С.Г. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2005. Т. 2. № 1. С. 39-41.

11. Особенности формирования структуры диффузионного слоя и разработка технологии упрочнения литых инструментальных сталей с учетом дендритной ликвации Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Гармаева И.А., Мижитов А.Ц., Мосоров В.И. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2006. Т. 3. № 3. С. 84-86.

12. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии Гурьев А.М., Хараев Ю.П., Гурьева О.А., Лыгденов Б.Д. Современные проблемы науки и образования. 2006. № 3. С. 65-66.

13. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Мосоров В.И., Инхеев Б.С. Современные наукоемкие технологии. 2006. № 5. С. 35-36.

14. Диффузионное термоциклическое упрочнение поверхности стальных изделий бором, титаном и хромом Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева

Е.А., Гармаева И.А., Гурьев М.А. Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. Т. 4. № 1. С. 30-35.

15. Способ упрочнения деталей из конструкционных и инструментальных сталей Гурьев А.М., Иванов С.Г., Лыгденов Б.Д., Земляков С.А., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А. патент на изобретение RUS 2345175 03.04.2007.

16. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Попова Н.А., Козлов Э.В. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. – 250 с.

17. Фазовый состав и механизм образования диффузионного слоя при борировании сталей в условиях циклического теплового воздействия Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А., Иванов С.Г., Козлов Э.В., Гармаева И.А. Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 1. С. 20-27.

18. Интенсификация процессов химико-термической обработки металлов и сплавов Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. Фундаментальные исследования. 2008. № 8. С. 10.

19. Исследование влияния различных факторов при борировании на механические свойства стали с применением математической модели Гармаева И.А., Лыгденов Б.Д., Гурьев А.М., Власова О.А. Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 10. С. 30-32.

20. Исследование процессов диффузионного насыщения сталей из смесей на основе карбида бора Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Власова О.А., Гурьев М.А. Современные наукоемкие технологии. 2008. № 3. С. 33.

21. Способ упрочнения стальных деталей Гурьев А.М., Иванов С.Г., Власова О.А., Кошелева Е.А., Гурьев М.А., Лыгденов Б.Д. патент на изобретение RUS 2381299 12.05.2008.

22. Совершенствование технологии химико-термической обработки инструментальных сталей Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Власова О.А. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2009. № 1. С. 14-15.

23. Комплексное диффузионное упрочнение тяжелонагруженных деталей машин и инструмента Гурьев М.А., Иванов С.Г., Кошелева Е.А., Иванов А.Г., Грешилов А.Д., Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., Околович Г.А. Ползуновский вестник. 2010. № 1. С. 114-121.

24. Термоциклирование. Структура и свойства / Лыгденов Б.Д., Хараев Ю.П., Грешилов А.Д., Гурьев А.М. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. – 252с.

25. Chemicothermal Treatment of Tool Materials. A. M. Gur’ev, S. G. Ivanov, M. A. Gur’ev, E. V. Chernykh, T. G. Ivanova // Steel in Translation, 2015, Vol. 45, No. 8, pp. 555–558.

26. Перспективные методы получения упрочняющих покрытий / М.А. Гурьев, Е.А. Кошелева, А.М. Гурьев, Б.Д. Лыгденов, О. Галаа. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – 182с.

27. Сравнительное исследование насыщающей способности борирующих сред различного состава. Гармаева И. А., Гурьев А. М., Иванова Т. Г., Гурьев М. А., Иванов С. Г. Письма о материалах. 2016. Том 6. № 4. С. 262-265.

28. Idzikowski B., Szajek A., "Formation of the nanocrystalline cubic (Fe Ni)23B6 phase in the nickel-rich Fe Ni Zr B alloys and its magnetic behaviour", Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 5, 239-244 (2003)

29. Pietrokowsky P., Duwez P., "Crystal structures of Ti5Si3, Ti5Ge3, and Ti5Sn3", Journal of Metals 3, 772-772 (1951)

DETERMINATION OF THE MECHANISM OF ADSORPTION OF ACTIVATED OF BORON, CHROME AND TITANIUM ATOMS AT THE SIMULTANEOUSBOR-CHROME-TITANATION OF STEELS

Guriev A.M., D.Sc. (Engineering), Professor,
Ivanov S.G., PhD (Engineering),
Guriev M.A., PhD (Engineering), Associate Professor,
Don Jadzhie, Graduate student,

Guriev A.M., Ivanov S.G., Guriev M.A., Don Jadzhie

Wuhan Textile University, 430073, 1 Fangzhi Rd, Hongshan Qu, Wuhan Shi, Hubei Sheng, China
Polzunov Altai State Technical University,
656038, LeninaAvenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation
LLC “Hardening Technology”, 656063, Turinogorskaya Rd, 39A, Barnaul, Russian Federation

Abstract

Studies were carried out on the gas saturation of samples from titanium VT-1.0 in a closed crucible with the gas generator of active gases in which was a powder saturating medium based on boron carbide. It is established that during gas boronizing of the influence is exerted by the distance from the source of gassing: so, when the samples are located at a distance of 10, 25 and 50 mm, the boride layer is found only on samples located at a distance of 10 and 25 mm from the saturating medium. The thickness of the titanium boride layer reaches 75 and 65 microns, respectively.

Saturation was carried out in sealed containers of heat-resistant steel. To heat the containers, a chamber furnace of the SNOL type equipped with the PID controller "Thermodat-16E3" was used. All samples packed in individual saturating containers, in such a manner that the sample itself did not contact directly with the saturating medium, but was at a certain distance from its surface, were simultaneously loaded into a preheated furnace to 950 ° C and held for 1.5 hours after heating the samples in containers up to 950 ° C. After the containers were removed from the oven and cooled in air to 60 ° C, which were unpacked. The extracted samples were cooled in air to room temperature and washed in a warm soapy-soda solution. The washed samples were air dried.

Keywords: diffusion, boron, chromium, titanium, chemical-thermal treatment.

УДК 621.789

КОМПЛЕКСНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ПОВЕРХНОСТНЫМ И ОБЪЕМНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

КОНСТАНТИНОВ В.М. [1]*, докт. техн. наук, профессор,*
ТКАЧЕНКО Г.А. [1]*канд. техн. наук, доцент,*
ЩЕРБАКОВ В.Г. [1] *ст. преподаватель*
([1]БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Константинов В.М., Ткаченко Г.А., Щербаков В.Г.

220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65,
Белорусский национальный технический университет
e-mail: vm.konstantinov@bntu.by

Аннотация

Приведены результаты разработки концептуального подхода, позволяющего повысить долговечность корпуса плуга за счет комплексного упрочнения всех быстроизнашиваемых деталей узла (индукционная наплавка, ХТО, ТО). Промышленная реализация предложенных научно-технических решений позволит расширить конкурентные возможности почвообрабатывающих агрегатов и обеспечить более широкое импортозамещение.

Ключевые слова: абразивная износостойкость, поверхностное упрочнение, химико-термическая обработка, индукционная наплавка, термическая обработка.

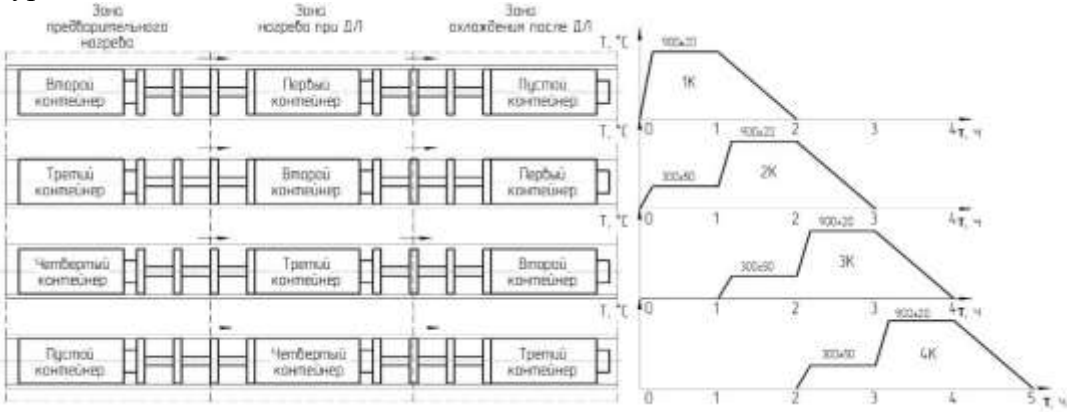
Исследования, посвященные использованию металлических отходов производства в качестве основы для получения диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов, проводятся длительное время [1-5]. ДЛ сплавы находят применение в современной промышленности. Были проведены обширные исследования и осуществлено крупномасштабное промышленное внедрение технологий наплавки токами высокой частоты (ТВЧ) деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин [6-7]. В настоящее время развитие технологий наплавки ТВЧ сельскохозяйственной техники в Республике Беларусь в значительной степени связано с успехами теории и технологии синтеза доступных ДЛ наплавочных порошковых сплавов (научная школа чл. корр. НАН Беларуси Ф.И. Пантелеенко) [1]. Были разработаны дешевые ДЛ сплавы из чугунной стружки для наплавки различных быстроизнашиваемых деталей. Рациональные схемы легирования и оптимизация термической обработки позволили достичь высокой абразивной износостойкости наплавки и привлекательных экономических параметров упрочнения лемехов и долотьев отечественного производства [8]. Ранее достигнутые результаты позволили поставить комплексную задачу – повышения ресурса всего почвообрабатывающего агрегата. Действительно, существенное повышение износостойкости наиболее быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающего агрегата выдвинуло на первый план задачу повышения долговечности деталей, ранее не привлекавших внимания. Речь идет о крепежных болтах плужных долотьев и лемехов, а также полевых досках и отвальных поверхностях. Многолетний опыт выполненных работ подтверждает идею о том, что для повышения ресурса всего узла почвообрабатывающего агрегата необходимо обеспечивать комплексное упрочнение всех изнашиваемых деталей в соответствии и условиями их работы [9].

В статье описаны результаты разработки комплексной технологии повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с помощью поверхностного и объемного упрочнения.

На первом этапе было исследовано упрочнение плужного лемеха наплавкой ТВЧ. Известно, что интенсивное абразивное изнашивание в почве обуславливает быстрое затупление лезвия лемеха и потерю работоспособности [10]. Основными критериями работоспособности лемехов, во многом определяющими их ресурс, являются абразивная износостойкость лезвия и толщина лезвия при эксплуатации. В настоящее время лишь некоторые европейские производители выпускают наплавленные почворежущие детали, предназначенные для обработки особо твердых почв. Чаще всего используется наплавка белых износостойких чугунов, но следует отметить повышенную хрупкость указанных наплавок в условиях интенсивных ударных нагрузок. Многолетний опыт свидетельствует, что свойства ряда традиционных наплавочных сплавов на железной основе (ФБХ-6-2, ПС-5, ПГ С27 и др.) близки, а стоимость может отличаться значительно. Для условий РБ упрочнение лемехов наплавкой ТВЧ износостойкими сплавами является одним из эффективных способов повышения их работоспособности. Диффузионное насыщение чугунной стружки и дроби приводит к образованию после наплавки гетерогенных дисперсных структур эвтектического типа, отличающихся высокими механическими и трибологическими свойствами, а абразивная износостойкость таких сплавов не уступает износостойкости сплавов типа «Сормайт». Для достижения высоких эксплуатационных свойств лемехов, как правило, проводится окончательная термическая обработка после наплавки ТВЧ. Термическая обработка по оптимизированным режимам в ряде случаев позволяет обеспечивать самозатачиваемость лезвия в заданных агроклиматических условиях [8].

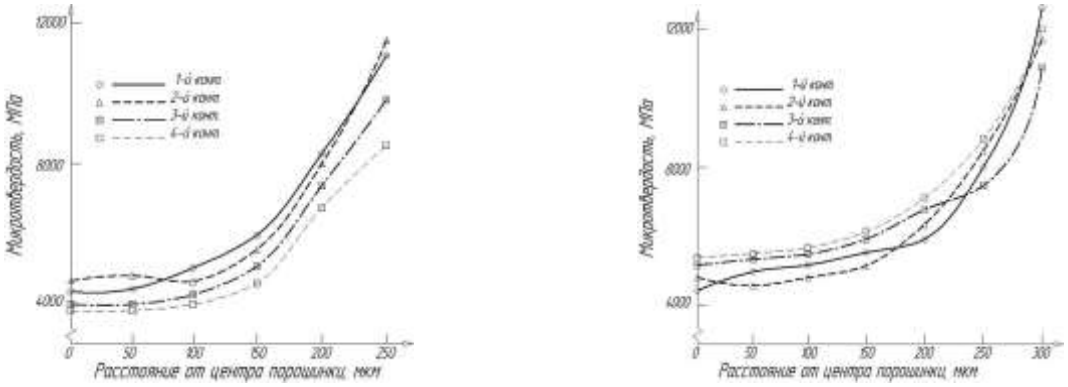
При использовании ДЛ сплавов для наплавки ТВЧ были обнаружены некоторые недостатки, которые в дальнейших работах были устранены. Первоначально для ДЛ использовались тупиковые барабанные печи с одним герметизируемым вращающимся контейнером [11]. Указанные печи имели относительно низкую производительность из-за наличия лишь единственного контейнера. В дальнейшем были разработаны и изготовлены для ряда заказчиков барабанные печи проходного типа с поступательным перемещением в процессе обработки нескольких контейнеров через различные зоны печи [10].

Промышленное применение разработанных печей потребовало проведения исследований по изучению стабильности результатов получения ДЛ сплавов при непрерывно-последовательном режиме обработки во вращающихся контейнерах с трех - и четырехконтейнерной загрузкой. Общая температурно-временная схема работы установки с непрерывно-последовательной обработкой контейнеров изображена на рисунке 1, а. На рисунке 1, б показана температурно-временная схема непрерывно-последовательного процесса диффузионного легирования чугунной дроби ДЧЛ 08 в четырех контейнерах при температуре 950° С и темпе толкания – 1 час.



а) б)

Рисунок 1 – Схема перемещения и температурно-временных параметров циклической обработки четырех контейнеров во вращающейся электрической печи
а – схема перемещения контейнеров в установке; б – последовательность режимов нагрева контейнеров при ДЛ

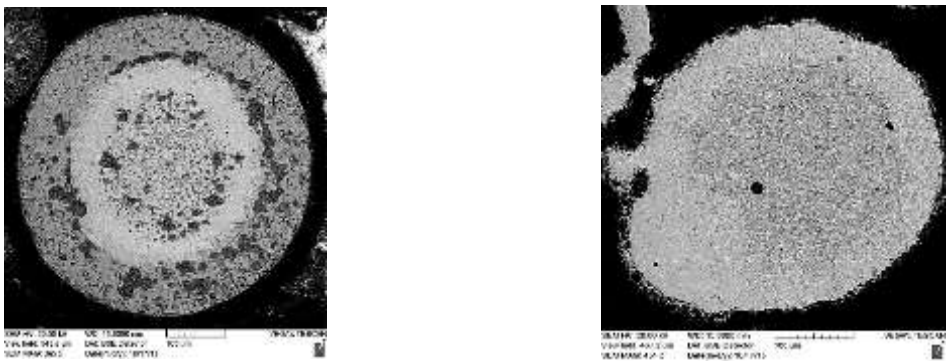


а) б)

Рисунок 2 – Распределение микротвердости от края к центру в чугунной дроби ДЧЛ 08 после диффузионного легирования в четырех вращающихся контейнерах
а) – размером 400…630 мкм; б) – размером более 630 мкм

Изучение проводили при ДЛ отходов чугунной дроби ДЧЛ 08 фракцией 400…630 мкм. Полученные результаты подтвердили достаточную для производственных условий равномерность диффузионного легирования порошка в различных контейнерах для всего требуемого диапазона размеров частиц (рис. 2). Применение многоконтейнерной схемы и дискретно-последовательного режима обработки позволило существенно повысить производительность диффузионного легирования

Каждая гранулометрически самостоятельная частица ДЛ сплава содержит относительно тугоплавкую боридную оболочку (1389 °С – Fe_2B и 1540 °С – FeB) и металлическое ядро (рис.3 а). Это создает определенные трудности при наплавке ТВЧ. В ранее выполненных исследованиях было установлено предпочтительное наличие в боридной оболочке низкобористой фазы Fe_2B [1]. Однако даже такой ДЛ сплава требовал специальных приемов для получения качественной наплавки ТВЧ. Качественное расплавление ДЛ сплава происходило после нескольких циклов кратковременного нагрева с обязательным наличием флюса [8]. Теоретический анализ и экспериментальные работы позволили предложить технологический подход по снижению температуры плавления ДЛ сплава для наплавки ТВЧ. Высокотемпературная обработка при частичном или полном оплавлении ДЛ сплава в плазме электрической дуги позволяет получить эвтектическую легкоплавкую оболочку или полностью эвтектическую структуру всей частицы (рис. 3, б) [12-13].



а) б)

Рисунок 3 – Микроструктура диффузионно-легированного сплава на основе чугунной дроби ИЧХ28Н2
а) – после ДЛ бором; б) – ДЛ бором и дополнительная обработка концентрированными источниками энергии

Технико-экономическая целесообразность проведения процесса предварительной кратковременной высокотемпературной обработки концентрированными источниками энергии ДЛ сплавов перед наплавкой ТВЧ подтверждена расчетами [10, 12]. Суммарное значение затраченной энергии при получении защитного покрытия из 1 кг ДЛ сплава на основе дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 без предварительного оплавления составляет 16,67 кВт, а с предварительным оплавлением 15,46…15,92 кВт, что на 4,5…7,2% ниже. Таким образом, энергозатраты использованные для предварительного оплавления ДЛ сплава снижают общие энергозатраты при получении защитного покрытия наплавкой ТВЧ. Твердость наплавленного слоя до 58 HRCэ, толщина наплавленного слоя до 2,5 мм. Полевые испытания на Белорусской МИС свидетельствуют, что детали с упрочнением наплавкой ТВЧ, изнашиваются в 1,2…3,0 раза менее интенсивно, чем детали, изготовленные по традиционной технологии.

На втором этапе исследовали упрочнение плужных оборотных долотьев. Отечественные детали корпусов плугов имеют ресурс наработки в 1,5…2,0 раза меньше западных аналогов. В отечественном производстве используют недорогие низколегированные конструкционные стали 65Г, 40Х и др. Термическая обработка такой стали предполагает индукционный нагрев с последующим спреерным охлаждением и самоотпуском. Значения твердости поверхности – 60…65 HRC, а сердцевины – 40…45 HRC, что может обеспечить надежность и долговечность готового изделия в определенных условиях пахоты. Упрочнение заключается в локальной нитроцементации режущей части с последующей циклической термической обработкой. Полученная дисперсная структура мартенсита отпуска на режущей части позволила добиться улучшения механических свойств стали. Благодаря циклической термической обработке, комплексному упрочнению поверхности стали (нитроцементация) и сердцевины (сквозная закалка) с макрогетерогенным распределением микроструктур, рабочая часть детали имеет твердость до 66 HRC на поверхности, а в сердцевине до 55 HRC и ударную вязкость 35±3 Дж/см2. Средняя часть долота имеет твердость до 45 HRC и ударную вязкость до 60±3 Дж/см2. Полевые испытания опытной партии упрочненных долот на Белорусской машиноиспытательной станции подтвердили повышение долговечности упрочненных долот по сравнению с серийно выпускаемыми в 1,4…1,7 раза. Ресурс упроченных долот находится на уровне продукции фирмы «Kverneland» (22…25 га) [10].

На третьем этапе исследовали упрочнение крепежных болтов. Для крепежных элементов из стали 40Х, прошедших предварительную термическую обработку, была рассмотрена возможность использования локальной закалки с последующим низким отпуском для снятия термических напряжений. Технологическая операция заключалась в быстром индукционном нагреве до 850 ºС и охлаждении в масле и дополнительном низком отпуске при 180 ºС в течение 2-х часов. Эта технологическая операция проводилась для получения максимально возможной глубины упрочненного слоя с высоким значением твердости по сечению головки болта. При обработке требовалось учитывать, что максимальная глубина закаленного слоя с мартенситной структурой не должна располагаться на границе межу головкой и резьбовой частью болта, т. е. в самом нагруженном месте. Это является нежелательным явлением, снижающим прочность. Глубина упрочненного слоя регламентируется, исходя из того, что крепежный болт должен работать с закрепляемой деталью согласованно и до предельного износа детали. Таким образом, требуется добиться равномерного изнашивания с закрепляемой деталью за счет твердости, сопоставимой с основной деталью.

Для получения требуемой глубины упрочненного слоя были подобраны оптимальные параметры индукционного нагрева. Частота генератора влияет на глубину проникновения тока в металл, чем она выше, тем ниже глубина, а мощность установки определяет глубину зоны термического влияния, возникающей из-за теплоотвода с поверхности детали. Таким образом, необходим высокочастотный генератор с большой мощностью, который обеспечивает упрочненный слой в 5…8 мм. Выбранные параметры установки позволили получить требуемое распределение твердости по сечению головки и ножке болта (рис. 4).

Испытания крепежных элементов позволили установить, что изготовление износостойкого крепежа с высокими показателями прочности и пластичности резьбовой части в сочетании с требуемыми трибологическими свойствами технически возможно [14-15].

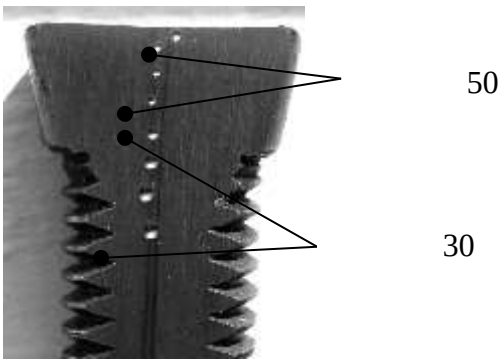


Рисунок 4 – Распределение твердости по сечению крепежного элемента после локальной закалки с отпуском

На производственной базе Минского завода шестерен в рамках выполнения ряда заданий Государственных научно-технических программ был освоен комплекс технологий повышения долговечности быстро-изнашиваемых деталей корпусов плугов отечественного производства (рис. 5). Выполненные работы обеспечили повышение долговечности деталей и ресурса корпуса плуга и позволили снизить удельные затраты при использовании более долговечных корпусов и повысить конкурентоспособность продукции [10].

В течение более 10 лет были проведены многочисленные полевые испытания упрочненных лемехов в различных почвенно-климатических условиях (Белорусская машиноиспытательная станция, Северо-западная машиноиспытательная станция Российской Федерации, различные сельхозпредприятия Беларуси). Во всех случаях упрочнение обеспечивало повышение долговечности лемеха. Наибольший эффект зафиксирован на тяжелых суглинистых и субпесчаных почвах – до 2,5 раз. Технико-экономические оценки показывают, что применение упрочненных лемехов позволяет снизить суммарные затраты на обработку 1 га земли на 0,6…2,9 €.

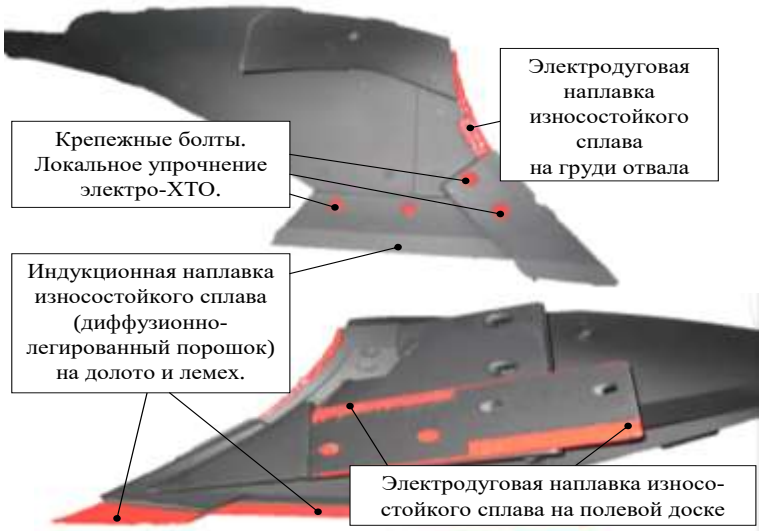


Рисунок 5 – Корпус плуга Минского завода шестерен с упрочненными быстроизнашиваемыми деталями

Выводы

Таким образом, создан, теоретически обоснован и практически реализован в промышленности концептуальный подход, позволяющий повысить долговечность корпуса плуга за счет комплексного упрочнения всех быстроизнашиваемых деталей узла (индукционная наплавка, ХТО, ТО). Усовершенствована технология получения диффузионно-легированных сплавов для наплавки ТВЧ из металлических отходов производства. Данная технология позволяет формировать износостойкие наплавки толщиной 1,5…2,0 мм с минимальной (1…1,5 %) пористостью и твердостью 850…950 HV. Широкомасштабная промышленная реализация разработанных и апробированных научно-технических решений позволит расширить конкурентные возможности белорусских почвообрабатывающих агрегатов и обеспечить более широкое импортозамещение.

Список литературы

1. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф.И. Пантелеенко. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 300 с.

2. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

3. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий : дис. докт. техн. наук : 05.02.01 / В.М. Константинов. – Минск, 2008. – 474 л.

4. Пантелеенко, Ф.И. Теоретические и технологические основы получения самофлюсующихся порошков на железной основе диффузионным легированием и разработка износостойких композиционных покрытий из них: автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.02.01 / Ф.И. Пантелеенко. – Минск, 1992 – 32 с.

5. Современные перспективные материалы / Под редакцией В.В. Клубовича – Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2011. – 562 с.

6. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995. – 335 с.

7. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов: Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1992. – 36 с.

8. Константинов В.М., Пантелеенко Ф.И., Жабуренок С.Н. Повышение износостойкости при упрочнении плужных лемехов диффузионно-легированной чугунной стружкой // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2003. – № 5. – С. 17–20.

9. Константинов В.М. Комплексное повышение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга // Упрочняющие технологии и покрытия – 2014, №12. С.3-7.

10. Перспективные материалы и технологии : монография. В 2-х т. Т. 2 / А.В. Алифанов [и др.] ; под ред. В.В. Клубовича. – Витебск: УО «ВГТУ», 2017. – 509 с.

11. Константинов, В.М. Пантелеенко Ф.И., Штемпель О.П. Синтез наплавочных порошков диффузионным легированием // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – №5. – С. 15-18.

12. Щербаков В.Г. Диффузионно-легированные сплавы из металлических отходов производства с пониженной температурой плавления для формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой токами высокой частоты / В.Г.Щербаков //Литье и металлургия. – 2016. № 4(85). – С. 89-96

13. Щербаков В.Г. Эффект контактного эвтектического плавления в диффузионно-легированных сплавах из металлических отходов производства при кратковременной высокотемпературной обработке концентрированными источниками энергии / В.Г.Щербаков // Металлургия: Республ. Межведом. сб. науч.тр. / БНТУ. – Минск, 2016. – Вып. 37. – С. 108-117.

14. Константинов В.М., Ткаченко Г.А. Упрочнение быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающих плугов нитроцементацией с локальным циклическим индукционным нагревом // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – №2. – С. 44 – 50.

15. Ткаченко Г.А. Особенности термической обработки железоуглеродистых сплавов в условиях циклического нагрева / Г.А.Ткаченко // Металлургия: Республ. Межведом. сб. науч.тр. / БНТУ. – Минск, 2016. – Вып. 37. – С. 155-164.

COMPREHENSIVE INCREASE OF DURABILITY OF WORKING BODIES OF SOIL PROCESSING MACHINES WITH SURFACE AND VOLUME SURFACE

Constantinov V.M. D.Sc. (Engineering), Professor,
Tkachenko G.A. Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Shcherbakou V.G. senior lecturer

Constantinov V.M., Tkachenko G.A., Shcherbakou V.G.

Belarusian national technical university,
220013, Republic of Belarus, Minsk, Nezavisimosti ave., 65;

Abstract

The results of the development of the conceptual approach allowing to increase the durability of the plow body due to the complex hardening of all wear parts of the unit (induction surfacing, HTO, TO) are presented. Industrial implementation of the proposed scientific and technical solutions will expand the competitive capabilities of soil cultivating units and ensure a broader import substitution.

Keywords: abrasive wear resistance, surface hardening, chemical-thermal treatment, induction hardfacing, heat treatment.

УДК 621.787

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СДВИГА В ПРОЦЕССЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

ОСТАНИН О.А.[1], ст. преподаватель
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Останин О.А.

650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
e – mail: ooa.tma@kuzstu.ru

Аннотация

Приведены результаты исследования наследуемого физического состояния упрочненного поверхностного слоя деталей в условиях поверхностного пластического деформирования. Исследования проводились по оригинальной методике контроля накопления свойств в очагах деформации в зависимости от режимов обработки. Особенностью методики является использование визуальной записи пластического течения металла, получаемой для последующего расчета наследуемых параметров качества поверхностного слоя. Описана теоретическая модель распределения интенсивностей скоростей деформации сдвига в процессе поверхностного пластического деформирования (ППД).

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, очаг деформации, качество поверхностного слоя, интенсивность скоростей деформаций сдвига.

Современное машиностроение совершенствуется совместно с повышением требований к качеству, надежности и долговечности деталей машин. В связи с внедрением высокоэффективных технологических процессов, систем автоматизированного проектирования и производства, сложных систем, обеспечивающих высокий уровень производительности труда, требования к надежности, долговечности и работоспособности постоянно возрастают. Задача повышения эксплуатационной надежности машин приобретает все большее значение. При этом общепризнано существенное влияние качества поверхностного слоя деталей машин на их долговечность [1,2]. Однако обеспечение требуемого качества деталей машин представляет собой достаточно сложную технологическую задачу.

Одним из базовых положений технологии машиностроения является учение о технологическом наследовании [3,4], в соответствии с которым состояние поверхностного слоя детали формируется и трансформируется на всех стадиях обработки и эксплуатации, что должно учитываться при проектировании технологических [5], особенно, упрочняющих процессов поверхностного пластического деформирования [6-7].

В основу теории технологического наследования качества поверхностного слоя на стадиях механической обработки положена базовая феноменологическая модель формирования поверхностного слоя при ППД, разработанная в МГТУ «МАМИ» В. М. Смелянским [11]. Оценка состояния металла проводится с использованием таких известных параметров механики, как степень деформации сдвига и степень исчерпания запаса пластичности. Рассматривается непрерывное накопление и по ходу технологического процесса и последующего эксплуатационного усталостного нагружения. В соответствии с этой моделью, воздействие на поверхностный слой инструментом с профильным радиусом *Rnp* в плоскости подачи *S* приводит к возникновению очага деформации *ABCDEFG*, в котором

происходит пластическое течение материала в условиях определенного напряженно-деформированного состояния (НДС) (рис. 1).

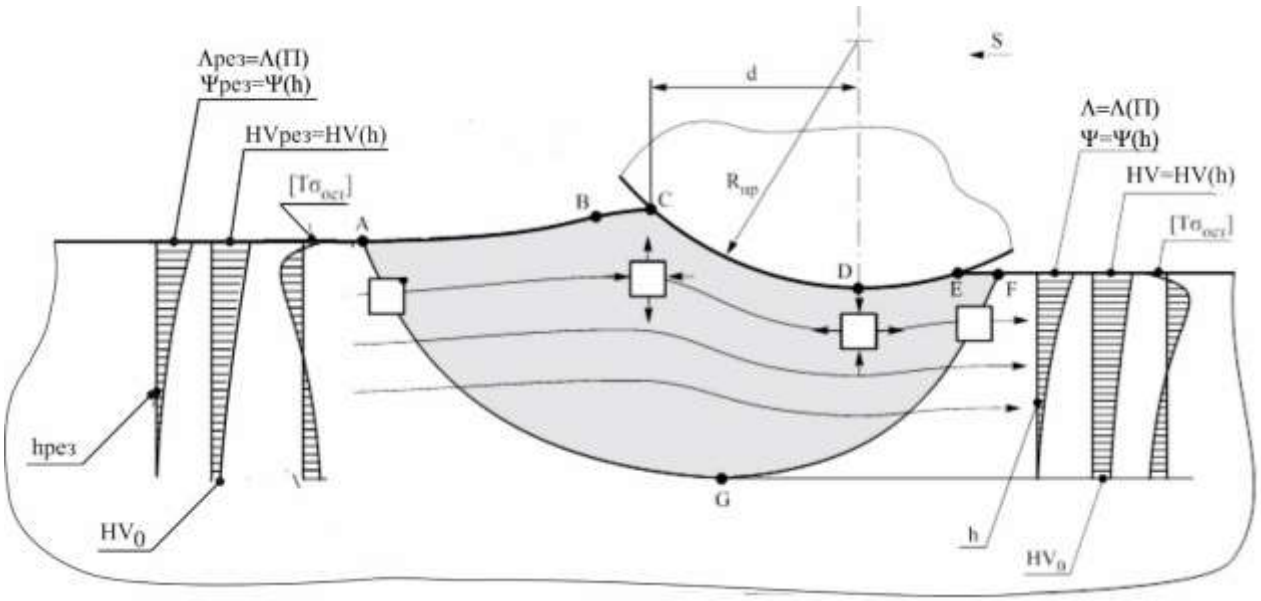


Рисунок 1 - Модель формирования поверхностного слоя при поверхностном пластическом деформировании

Формирование поверхностного слоя происходит в результате деформации его частиц по линиям тока, например, линиям 1, 2, 3, определяемым из решения соответствующей задачи механики деформируемого твердого тела. Начальные параметры состояния, которые частицы имели до входа в очаг деформации (линия AG), трансформируются в накопленные к моменту выхода их из очага деформации (линия FG). В качестве накопленных параметров состояния используются степень деформации сдвига, степень исчерпания запаса пластичности, компоненты тензора остаточных напряжений $[T_{\sigma_{ост}}]$ и др.

Особенностью модели является то, что состояние поверхностного слоя детали рассматривается не как результат «застывшей» картины напряженно-деформированного состояния (НДС), а как результат пластического течения металла, протекающего под влиянием программы нагружения Λ=Λ(П), где П – показатель схемы напряженного состояния.

В процессе решения краевой задачи теории пластичности рассчитывается НДС очага деформации, определяются траектории движения материальных частиц металла (линии тока) в очаге деформации и вдоль них характеристики поля напряжений и поля скоростей – показатель схемы напряженного состояния П, интенсивность скоростей деформаций сдвига Н, показатель вида напряженного μ_σ или деформированного μ_ξ состояния (показатель Лоде), а также накопленные значения степени деформации сдвига Λ.

Использование деформационных критериев для комплексной оценки состояния поверхностного слоя позволяет не только проследить за накоплением в нём повреждений, но и количественно оценить влияние накопленной поврежденности на процесс зарождения и развития усталостной трещины.

Таким образом, описание сложного явления технологического наследования – это, в первую очередь, описание влияния сложного знакопеременного характера протекания пластической деформации в предшествующие периоды времени на формирование свойств рассматриваемой стадии нагружения.

Программа экспериментальных исследований процессов резания и ППД в наследственной постановке включала в себя:

экспериментальные исследования влияния режимов обработки, интегральных параметров качества поверхностного слоя на параметры сигналов акустической эмиссии;

регистрацию сигнала акустической эмиссии из зоны деформации на всех этапах экспериментальных исследований с обработкой полученной информации;

экспериментально-аналитические исследования напряженно-деформированного состояния очагов деформации и обработанного поверхностного слоя.

Исследования проводились в широком диапазоне режимов, параметров режущих и деформирующих инструментов на плоских образцах в условиях свободного ортогонального резания и поверхностного пластического деформирования. Использовались различные траектории нагружения: «резание – резание»; «резание – ППД», «резание – ППД1 – ППД2»; «ППД1–ППД2–ППД3»

В качестве объекта исследования была выбрана одна из характеристик поля скоростей - интенсивность скоростей деформаций сдвига *H.*

На основе полученных экспериментальных данных были построены графики распределения интенсивность скоростей деформаций сдвига *H*по линиям тока вдоль очага деформации (рис. 2).

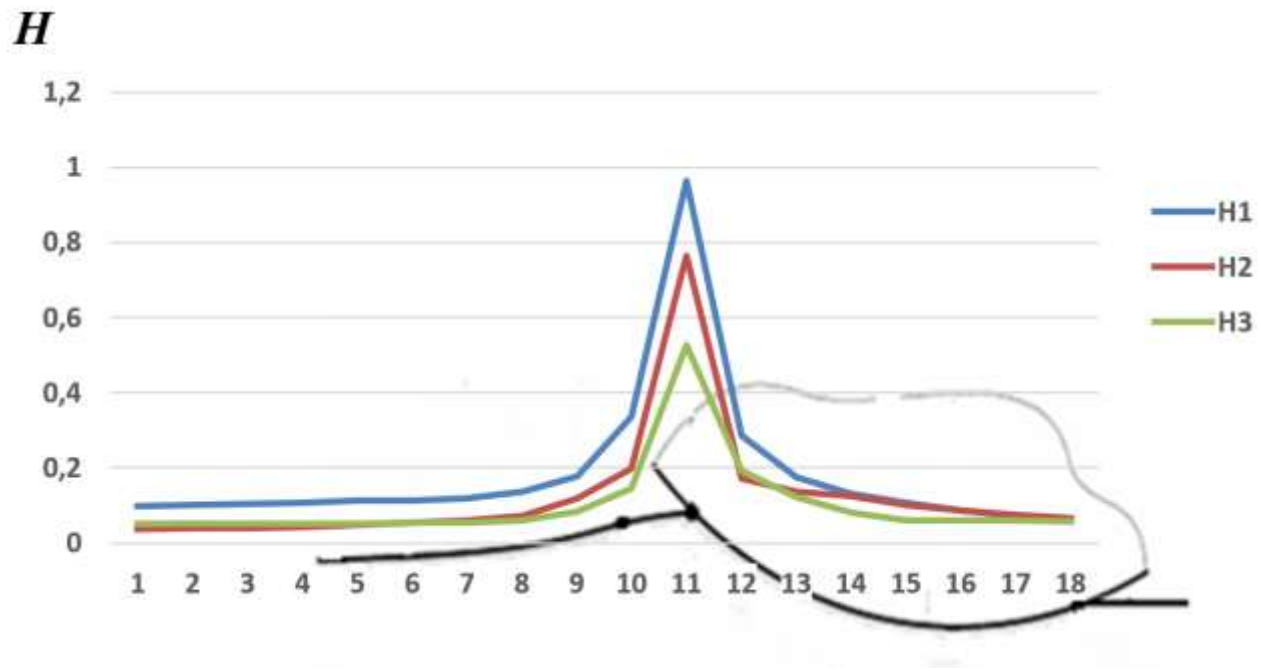


Рисунок 2 – Распределение интенсивность скоростей деформаций сдвига по линиям тока (образец 20, схема нагружения «резание – ППД»)

Формула распределения интенсивности скоростей деформаций сдвига *H* в общем виде для каждой линии тока, согласно проведенным исследованиям и ранее полученными результатами[11], имеет вид:

$$H = a + b\exp\left(-\frac{(x-c)^2}{d^2}\right), \quad (1)$$

где *a, b, c, d* – коэффициенты, которые имеют наследственный характер и отражают изменение геометрических параметров очага деформации. Показано, что они изменяются по глубине очага деформации по линейной зависимости $k = a_k^h y + b_k^h$.

После подстановки наследственных коэффициентов *a, b, c, d* получили интегральную зависимость распределения интенсивности скоростей деформаций сдвига *H* в каждой точке очага деформации:

$$H = z\iint\left(\left(a_a^h y + b_a^h\right) + \left(a_b^h y + b_b^h\right)\exp\left(-\frac{\left(x - \left(a_c^h y + b_c^h\right)\right)^2}{\left(a_d^h y + b_d^h\right)^2}\right)\right)dxdy, \quad (2)$$

где z – толщина образца (величина постоянная величина); y – ордината (глубина очага деформации); x – длина очага деформации; $a_a^h, b_a^h, a_b^h, b_b^h, a_c^h, b_c^h, a_d^h, b_d^h$ - наследственные коэффициенты, характеризующие распределение свойств по глубине упрочненного поверхностного слоя.

В настоящее время проводятся расчеты и получение распределение интенсивности скоростей деформаций сдвига H в очаге пластической деформации экспериментальных образцов, как вдоль линий тока, так и по глубине очага деформации.

Сопоставление предварительных результатов, полученных расчетным путем, и при проведении экспериментов по методу визиопластичности, показало высокую сходимость, что свидетельствует о корректности допущений и модели в целом.

Таким образом, при проектировании технологических процессов упрочняющей обработки, наряду с контролем степени исчерпания запаса пластичности, определяющей циклическую долговечность изделия, необходим учет программы нагружения поверхностного слоя, что требует дальнейших исследований в данном направлении.

Список литературы

1. Иванов, Ю. Ф. Структура поверхностного слоя и усталостная долговечность рельсовой стали, облученной высокоинтенсивным электронным пучком / Ю. Ф. Иванов, В. Е. Громов, В. А. Гришунин, А. Д. Тересов, С. В. Коновалов // Физическая мезомеханика. – 2013. – № 2. – С. 47-52.

2. Панин, С. В. Повышение усталостной долговечности стали 12Х1МФ наноструктурированием поверхностного слоя ионным пучком ZR+. исследование деформации и разрушения на мезомасштабном уровне / С. В. Панин, И. В. Власов, В. П. Сергеев, Б. Б. Овечкин, П. О. Марущак, Сундер Рамасуббу, П. С. Любутин, В. В. Титков // Физическая мезомеханика. – 2014. – №4. – С. 97-110.

3. Сычев, Л. С. Проблема технологической наследственности в современной литературе / Л. С. Сычев, А. Е. Калитин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. – №4. – С.56.

4. Ярославцев, В. М. Общий подход к оценке параметров качества изделия при восстановлении / В. М. Ярославцев, Н. А. Ярославцева // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2012. – №05. – С.2.

5. Смирнова, Е. Н. Проблема автоматизированного проектирования технологических процессов с учетом технологической наследственности / Е. Н. Смирнова, Е. Г. Крылов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – №7. – С.100-102.

6. Ежелев, А. В. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием / А. В. Ежелев, И. Н. Бобровский, А. А. Лукьянов // Фундаментальные исследования. – 2012. – №6-3. – С. 642-646.

7. Кочетков, А. В. Обзор исследований отделочно-упрочняющей обработки методом поверхностного пластического деформирования / А. В. Кочетков, Ф. Я. Барац, И. Г. Шашков // Интернет-журнал Науковедение. – 2013. – №4 (17). – С.37.

8. Зубенко, Д. Ю. Прогнозирование долговечности деталей ПС ЭТ методом акустической эмиссии // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №7 (53). – С.14-16.

9. C. Beggan, M. Woulfe, P. Young and G. Byrne, Using Acoustic Emission to Predict Surface Quality, Int J Adv Manuf Technol. 15 (1999) 737–742.

10 H. K. Tönshoff, B. Karpuschewski and C. Regent Process, Monitoring in Grinding Using Micromagnetic Techniques, Int J Adv Manuf Technol. 15 (1999) 694–698

11. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

THE ORETICAL MODEL OF DISTRIBUTION OF THE INTENSITY OF THE SHEAR STRAIN RATES IN THE PROCESS OF SURFACE PLASTIC STRAIN

Ostanin O.A., Senior Lecturer,

Ostanin O.A.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Vesennyaya street, 28, Kemerovo, Kemerovo region, Russian Federation

Abstract

The results of the investigation of the inherited physical state of the hardened surface layer of parts in the conditions of surface plastic strain are presented. The investigations were carried out according to the original technique of controlling the accumulation of properties in deformation zones depending on the treatment modes. A special feature of the technique is the use of visual recording of metal yielding obtained for the subsequent calculation of the inherited quality parameters of the surface layer. The theoretical model of the distribution of the intensity of shear strain rates in the process of surface plastic strain is described.

Keywords: surface plastic strain, deformation zone, quality of surface layer, intensity of shear strain rates.

УДК 621.787.4

МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ ППД С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА УПРОЧНЯЕМОГО ТЕЛА

МАХАЛОВ М.С.[1], канд.техн.наук, доцент
([1]КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Махалов М.С.

650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
E-mail: maxim_ste@mail.ru

Аннотация

Показана актуальность вопросов исследования и создания алгоритмов расчета параметров механического состояния и остаточных напряжений (ОН) при сложных видах нагружения на стадиях жизненного цикла изделия. Представлена конечно-элементная модель формирования механического состояния и ОН при упрочняющей обработке поверхностным пластическим деформированием, учитывающая явление технологического наследования. Особенностью модели является не только учет трансформации свойств, полученных на предыдущих стадиях изготовления, но и учет изменения этих свойств по мере продвижения частиц металла через пространство очага деформации на рассматриваемой стадии нагружения.

Ключевые слова: Остаточные напряжения, механическое состояние металла, технологическое наследование, поверхностный слой, упрочняющая обработка, поверхностное пластическое деформирование

Введение

Известно, что механическое состояние металла, в частности степень его деформирования и остаточные напряжения (ОН) первого рода являются одними из ключевых параметров, которые в значительной степени определяют эксплуатационную долговечность изделий, особенно в условиях приложения знакопеременных нагрузок [1].

При этом точный расчет деформированности и ОН, как при ППД, так и при других видах механической обработки, не всегда представляется возможным, поскольку многие расчетные методики и алгоритмы зачастую охватывают только простые (одно-, двухосные) виды нагружения.

Ряд методик и подходов, позволяет определять параметры механического состояния для различных методов механической обработки металла, в том числе и с учетом явления технологического наследования (ТН) свойств, полученных заготовкой на предыдущих стадиях обработки. Однако, несмотря на большое количество проведённых исследований, необходимо развитие модельных представлений в направлении учета эволюции свойств металла от внешних воздействий на текущей стадии обработки, т.е. в направлении учета эффекта упрочняемого тела.

Теория

Среди способов механической обработки широкими возможностями по созданию в поверхностном слое (ПС) упрочняющего эффекта и благоприятных сжимающих ОН близких по величине к пределу текучести металла обладают способы отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) (рис. 1) [2].

При обработке ППД в зоне контакта деформирующих инструментов с деталью возникает асимметричный очаг деформации (ОД), в котором частицы металла смещаются вдоль некоторых вдоль линий тока, формируя ПС детали. Начальные параметры состояния, которые частицы металла имели до входа в очаг деформации (линия ***AG***), трансформируются в накопленные к моменту их выхода из ОД (линия ***GF***).

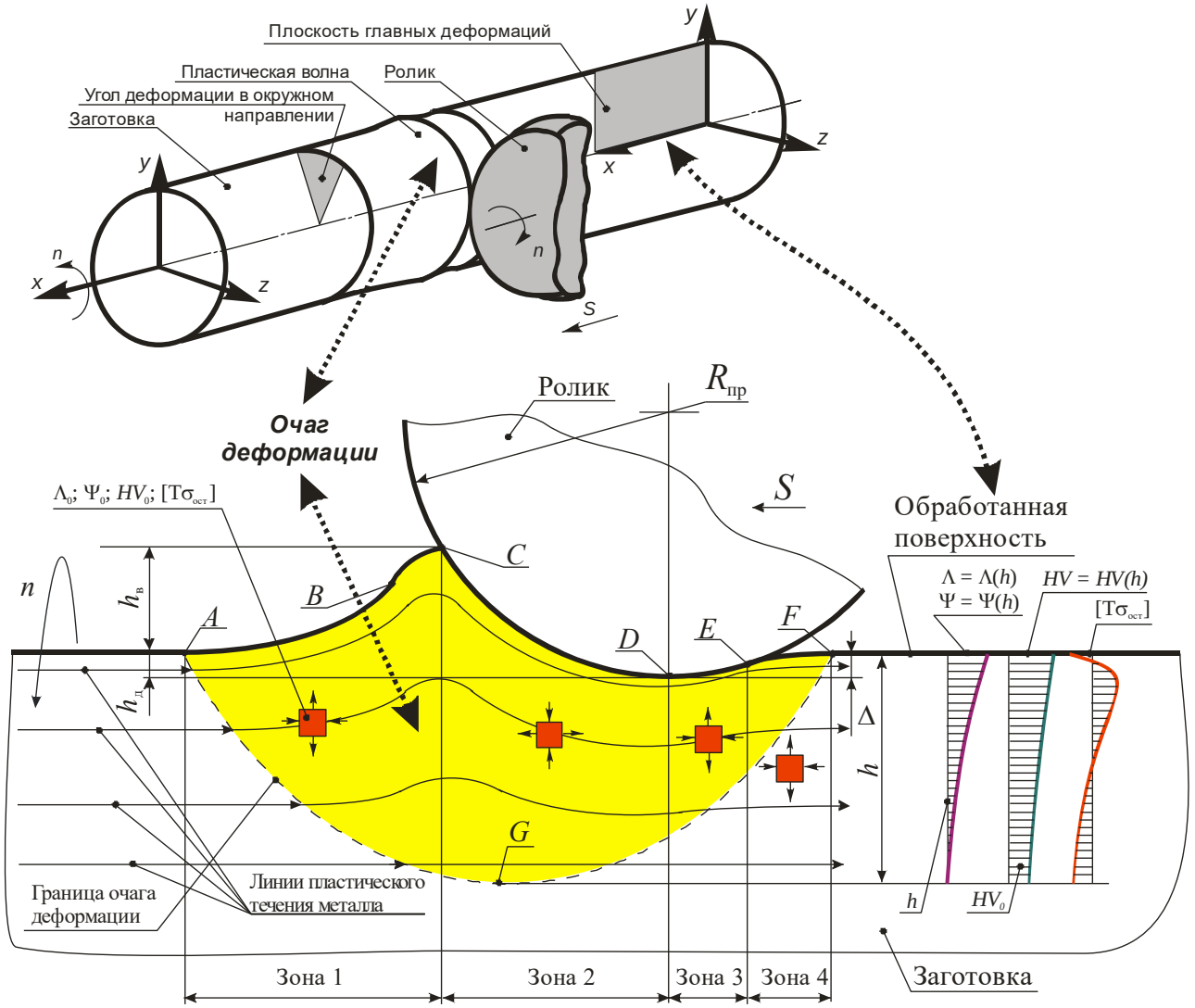


Рисунок 1. Схема очага деформации в плоскости подачи при обработке ППД

Решение задачи аналитического определения механического состояния ПС после сложных видов нагружения, в том числе и после обработки ППД возможно на основе механики технологического наследования, в рамках которой [2-3]:

– формирование и трансформация состояния поверхностного слоя (ПС) на стадиях механической обработки и последующего эксплуатационного нагружения рассматриваются как единый непрерывный процесс накопления деформации, исчерпания запаса пластичности и трансформации ОН металлом ПС. При этом, наряду с традиционными параметрами качества, для описания свойств ПС используются соответственно: накопленная степень деформации сдвига (СДС) Λ, степень исчерпания запаса пластичности (СИЗП) Ψ и компоненты тензора остаточных напряжений $[T\sigma_{ост}]$ в системе координат, связанной с формой детали;

– формирование механического состояния и ОН происходит в условиях изменяющихся вследствие пластической деформации механических свойств металла, т.е. на протекание процессов в каждой точке траектории внутри ОД влияет история нагружения;

– итоговое механическое состояние и ОН проявляют себя в процессе эксплуатации, трансформируясь в каждом цикле эксплуатационного нагружения; долговечность определяется всей предысторией нагружения;

-в процессе эксплуатационного усталостного нагружения продолжается процесс накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности, протекающий в условиях непрерывной релаксации остаточных напряжений. Бездефектному материалу соответствует значение $\boldsymbol{\Psi} = 0$. При накоплении предельных деформаций ($\Lambda = \Lambda_p$) происходит полное исчерпание запаса пластичности ($\boldsymbol{\Psi} = 1$). Этому состоянию соответствует релаксация тензора остаточных напряжений первого рода до пренебрежимо малых значений ($[T\sigma_{ост}] \approx 0$) и появление усталостной трещины. Накопление предельных деформаций, полное исчерпание запаса пластичности и зарождение усталостной трещины происходит в некоторой точке вероятного разрушения, которая может быть расположена как на поверхности, так и на некотором удалении от нее.

Однако, как было отмечено, для полноценного учета явления ТН и его влияния на формирование итоговых свойств металла ПС необходимо создание модельных представлений о трансформации напряженно-деформированного состояния металла не только с учетом трансформации свойств, полученных на предыдущих стадиях, но и с учетом изменения этих свойств по мере продвижения частиц через пространство ОД на текущей стадии нагружения.

Для решения такой задачи была разработана конечно-элементная модель упрочняющей обработки ПС металла ППД роликовым инструментом, при создании которой были приняты следующие начальные условия и допущения:

1. Моделируемый материал принимался изотропным с параметрами механического состояния, соответствующими параметрам стали 45 (ГОСТ 1050-88) в состоянии поставки.
2. Возникающие деформации имели только механическую природу малого нагрева при рассматриваемом нагружении.
3. Использовалась билинейная аппроксимация кривой течения, учитывающая упрочнение металла.
4. Для упрощения расчетов, ввиду относительно невысокой величины возникающей погрешности, не учитывался эффект Баушингера.
5. Тензор напряжений упругой разгрузки при раскреплении детали был принят нулевым, поскольку для случая обработки ППД выполнялся ряд условий, указанных в работе [4].
6. Использовалась плоско-деформированная постановка, при этом процесс моделировался в плоскости подачи, проходящей через ось вращения обрабатываемой заготовки. По мнению В.М. Смелянского [5], поскольку высота волны и, соответственно, значения деформации в направлении подачи значительно больше, чем в окружном, плоскость подачи с механической точки зрения в большей степени отвечает понятию плоскости главных деформаций.

В качестве обрабатываемой поверхности моделировался фрагмент плоскости главных деформаций цилиндрической детали длиной $\boldsymbol{L} = 50$ мм и высотой $\boldsymbol{h} = 20$ мм (рис. 2). Нижняя и боковые границы фрагмента жестко закреплялись по обеим осям. Размеры возникающего при обработке очага напряженно-деформированного состояния значительно меньше моделируемого фрагмента, поэтому возникающие при такой постановке краевые эффекты, вносят в результаты моделирования весьма незначительную погрешность.

Индентор моделировался как абсолютно жесткое тело и представлял собой окружность, моделирующую ролик заданного профильного радиуса. Такое допущение правомерно, поскольку многочисленными исследованиями доказано, что при обработке ППД, деформирующие инструменты подвергаются весьма малому износу, при этом каких-либо значимых деформаций роликов или шариков зафиксировано не было.

Если рассматривать плоскость главных деформаций (рис. 1-2), перемещение ОД в направлении подачи носит дискретный характер: новый ОД возникает со смещением относительно предыдущего на величину подачи, которая при обработке ППД обычно варьируется в пределах 0,05-0,3 мм/об.

Учет этого обстоятельства является новизной модели и позволяет определять параметры механического состояния с учетом эффекта упрочняемого тела. При этом в предыдущих КЭ-моделях процессов ППД, резания и размерного совмещенного обкатывания, предложенных авторами [3,6], указанная дискретность не моделировалась, что с одной стороны упрощало саму модель и последующие расчеты, а с другой – являлось ее недостатком.

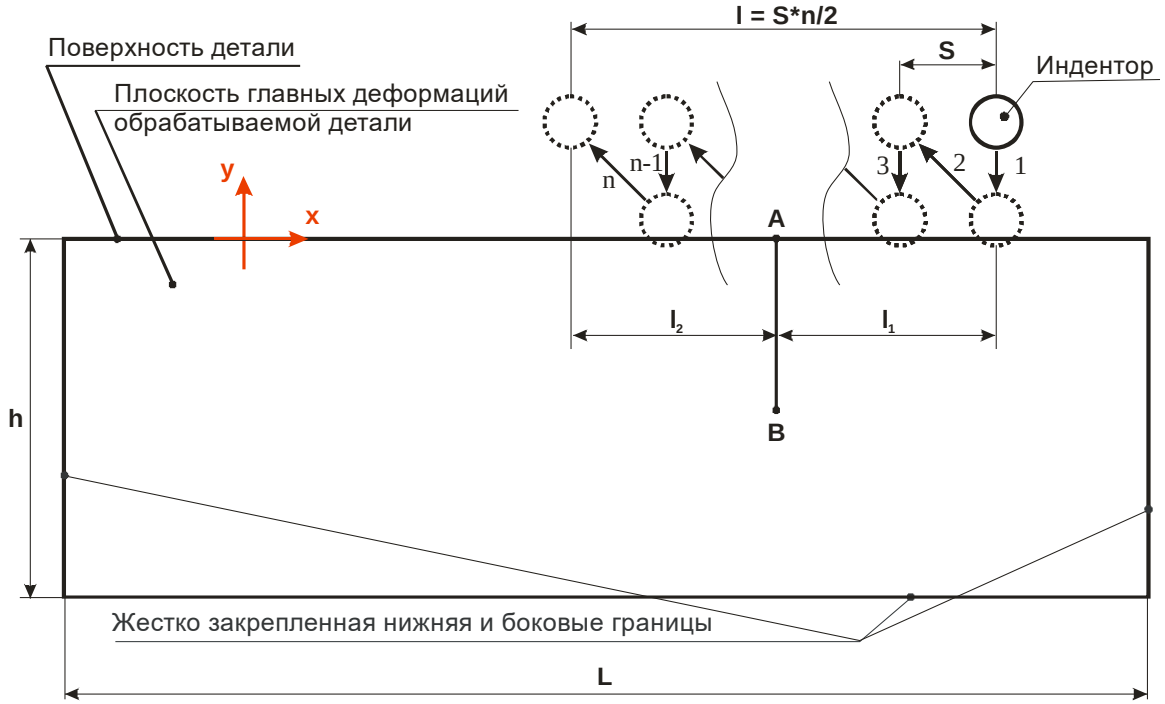


Рисунок 2. Постановка задачи моделирования процесса обработки ППД

В исходном положении индентор находился относительно поверхности с некоторым зазором.

На 1-ом и любом последующем нечетном шаге моделирования осуществлялось нагружение – перемещение индентора в направлении поверхности на некоторую величину, предполагающую внедрение и создание заданного при моделировании натяга.

На 2-ом и любом последующем четном шаге моделирования осуществлялась разгрузка – отвод индентора от поверхности на исходное расстояние с его одновременным перемещением вдоль поверхности на величину подачи.

Всего было смоделировано 300 шагов – 150 шагов нагружения и 150 шагов разгрузки. При этом длина обработанной поверхности в представленной модели составила $\boldsymbol{l} = \boldsymbol{S}*\boldsymbol{n}/2 = 15$ мм.

Основная идея моделирования заключалась в том, что некоторое сечение ***AB*** моделируемого фрагмента расположено таким образом, что на 1-ом шаге нагружения оно еще не попадает в пространство ОД. В то же время на предпоследнем шаге нагружения это сечение уже покинуло пространство ОД. В рассматриваемой модели расстояние $\boldsymbol{l_1}$ в направлении подачи от стартового положения индентора до сечения ***AB*** составило 5 мм, расстояние $\boldsymbol{l_2}$ от сечения ***AB*** до конечного положения индентора составило 10 мм (рис. 2).

Таким образом, в процессе реализации всех шагов моделирования указанное сечение проходит через пространство ОД и является тем сечением по глубине обработанного ПС, в котором произошло накопление деформаций, частичное исчерпание запаса пластичности и формирование тензора ОН с учетом изменяющихся свойств ПС.

После решения модели в выделенном сечении ***AB*** для каждого шага моделирования фиксировались следующие значения: координаты узлов, составляющие вектора смещений узлов, компоненты тензора напряжений, а также компоненты тензора упругой, пластической и суммарной упруго-пластической деформации.

Для дальнейших расчетов по данным работ [2,5]угол деформации (пространство ОД) в окружном направлении был принят равным 10^0. Частота вращения детали принята равной 300 об/мин. Таким образом, время одного оборота детали составило 0,2 с, а время одного цикла нагрузки-разгрузки ПС составило 0,0054 с. Было принято, что половину этого времени (0,0027 с) осуществляется нагружение и столько же - разгрузка ПС.

Результаты и обсуждение

В качестве примера приведены результаты, полученные при моделировании следующих параметров режима обработки: профильный радиус ролика $R_{пр}$ = 10 мм; заданный натяг ролика $h_з$ = 0,05 мм; подача S= 0,1 мм/об; частота вращения детали n= 300 об/мин.

Наибольшие значения сжимающих остаточных напряжений (до -560 МПа) характерны для осевого компонента σ_x, при этом экстремум располагается на глубине 0,5 мм от поверхности детали. Глубина распространения сжимающих ОН составляет примерно 4 мм при общей глубине распространения существенных по величине напряжений 7 мм (рис. 3, а).

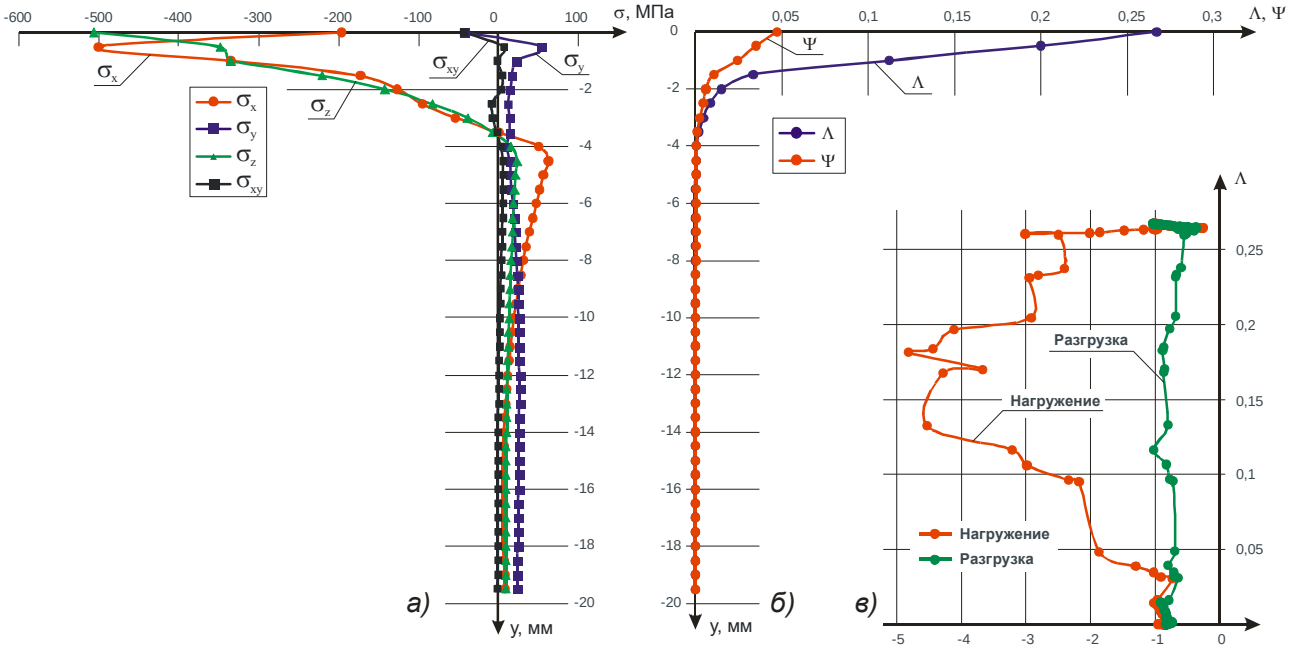


Рисунок 3. Параметры механического состояниеметалла на уровне обрабатываемой поверхности (y = 0 мм): а) распределение компонент тензора остаточных напряжений по глубине ПС после 300-го шага моделирования; б) распределение накопленной степени деформации сдвига (Λ), степени исчерпания запаса пластичности (Ψ); в) программа нагружения

Распределение накопленной степени деформации сдвига (СДС) по глубине поверхностного слоя, также представленное на рисунке 3, б, имеет максимальные значения Λ = 0,267 на поверхности детали и непрерывно убывает по мере удаления от поверхности. Степень исчерпания запаса пластичности имеет аналогичный характер распределения, максимальные значения для рассматриваемого режима обработки составляют Ψ = 0,047. Глубина распространения существенных по величине значений Λ и Ψ составляет 2-3 мм.

На рис. 3, в также представлены программы нагружения (ПН) ($\Lambda = f(\Pi)$) на уровне поверхности (y = 0 мм), построенные соответственно по циклам нагружения и разгрузки металла ПС: фактически представленные кривые иллюстрируют диапазон (размах) изменения Πв процессе нагружения/разгрузки ПС в ОД.

На старте ПН значения показателя схемы, как по циклам нагружения, так и по циклам разгрузки практически совпадают и имеют значения в диапазоне $\boldsymbol{\Pi}$ = -1...-0,5. Полученные значения соответствуют результатам работы [2], в которой показано, что значение $\boldsymbol{\Pi}$< -0,577 соответствует началу пластического течения металла в ОД. Также полученный результат позволяет сделать вывод о том, что на первом шаге моделирования рассматриваемое сечение находится на входе в пространство ОД.

ПН по линии нагружения отличается значительными (до $\boldsymbol{\Pi}$ = -4,8) значениями показателя схемы напряженного состояния, что является благоприятным с точки зрения меньшей величины исчерпания запаса пластичности, при этом ПН по линии разгрузки отличается небольшими (до $\boldsymbol{\Pi}$ = -1) значениями показателя схемы, соответствующими остаточному напряженному состоянию на промежуточных шагах нагружения.

На финише ПН значения показателя схемы по циклам нагружения и разгрузки также совпадают, что позволяет сделать вывод о том, что на последнем шаге моделирования рассматриваемое сечение покинуло пространство ОД.

Динамика накопления деформации и исчерпания запаса пластичности по мере продвижения металла через пространство ОД (рис. 4) говорит о том, что наиболее интенсивно процесс происходит в зоне передней контактной поверхности (***CD***, на рис. 1), а также в зоне передней внеконтактной поверхности в районе вершины пластической волны (***BC***, на рис. 1). Суммарно, в этих зонах накапливается свыше 90% от общей степени деформации и примерно на такую же долю от итогового значения исчерпывается запас пластичности.

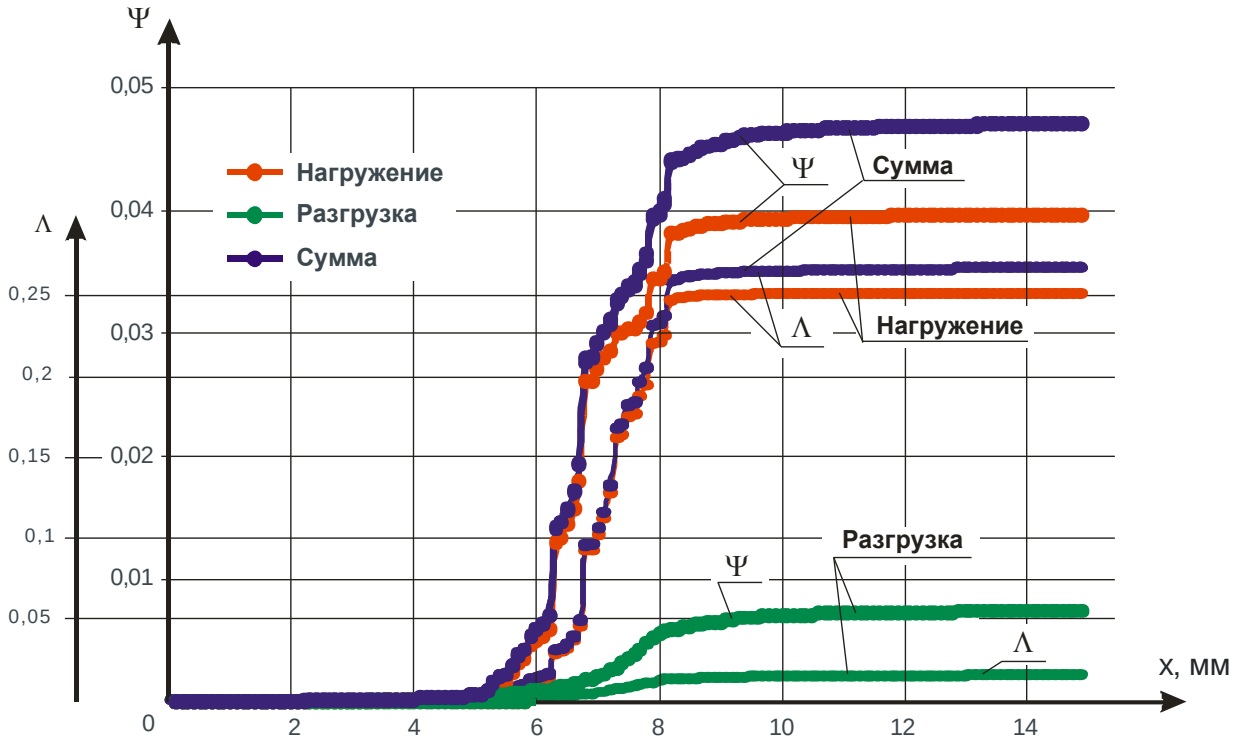


Рисунок 4. Распределение накопленных значений степени деформации сдвига $\boldsymbol{\Lambda}$и степени исчерпания запаса пластичности $\boldsymbol{\Psi}$(по циклам нагружения, разгрузки и суммарное)

В циклах нагружения накапливается 94% степени деформации сдвига, однако при этом степень и исчерпания запаса пластичности лишь 84% от общей накопленной, что по мнению автора, обусловлено менее благоприятными значениями показателя схемы напряженного состояния.

Выводы

В результате моделирования были получены распределения параметров напряженно-деформированного, а также расчетные параметры механического состояния поверхностного слоя и остаточные напряжения, формируемые в процессе упрочняющей обработки ППД.

Особенностью предложенной модели является учет явления ТН не только на уровне предыдущих стадиях нагружения (обработки или эксплуатации), но и на уровне текущей стадии по мере продвижения частиц металла через пространство очага деформации (учет эффекта упрочняемого тела).

Учитывая сказанное, для оценки доли влияния эффекта упрочняемого тела (ТН на текущей стадии нагружения), в дальнейшем требуется построение моделей обработки ППД без учета явления упрочняемого тела с использованием предложенного в работе подхода. Для реализации такой модели, на взгляд автора, требуется соответствующее изменение формы кривой течения металла, исключающее учет эффекта упрочнения.

Список литературы

1. Иванов, С. И. Влияние остаточных напряжений и наклепа на усталостную прочность / С. И. Иванов, В. Ф. Павлов // Пробл. прочности. - 1976. - №5. - С. 25-27.

2. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.: ил.

3. Блюменштейн В. Ю. Расчетно-аналитическая модель механического состояния поверхностного слоя упрочненной детали на стадии циклического нагружения после обработки размерным совмещенным обкатыванием / В.Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов // Упрочняющие технологии и покрытия. – М: Машиностроение, 2009. –№ 3. – С. 33-39.

4. Овсеенко А. Н. Формирование состояния поверхностного слоя деталей машин технологическими методами / А. Н. Овсеенко, M. M. Gajek, В. И. Серебряков. – Opole: Politechnika Opolska, 2001. – 228 с.

5. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.: ил.

6. Блюменштейн В. Ю. Модель процесса исчерпания ресурса пластичности на стадиях жизненного цикла изделия / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов // Инструмент Сибири. – №2. – 2000. – с. 20–23.

THE SURFACE LAYER MECHANICAL CONDITION TRANSFORMING MODEL IN SURFACE PLASTIC DEFORMATION PROCESS WITH THE HARDENED BODY EFFECT CONSIDERATION

Mahalov M.S., PhD (Engineering), Associate Professor

Mahalov M.S.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650026, Vesennyaya street 28, Kemerovo,Russian Federation

Abstract

The mechanical condition and residualstresses (RS) research andcomputationalalgorithmscreationin complextypes of loadingon theproduct lifecycle stagesrelevance is shown. The mechanical condition and RS forming finite elementmodel atsurface plastic deformation strengthening machining, including technological inheritance effect, is presented.A model feature is theproduction previous stages obtainedtransformationproperties consideration,as well astheseproperties evolution during metal particlesdisplacement through the deformationspacein the present loading step.

KeyWords: Residual stresses, metal mechanical condition, technologicalinheritance,surface layer,hardeningtreatment, surface plastic deformation.

УДК 621.787:621.91

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

КРЕЧЕТОВ А. А.[1], канд. техн. наук, доцент
([1] КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Кречетов А.А.

650026, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28,
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
e-mail:krechetovaa@kuzstu.ru

Аннотация

В рамках механики технологического наследования (ТН) выполнены исследования и разработаны алгоритмы и компьютерные программы по расчету циклической долговечности деталей, упрочненных методом поверхностного пластического деформирования (ППД). Решение прямой задачи предполагает определение циклической долговечности деталей машин по выбранной структуре технологического процесса с назначенными режимами обработки. Решение обратной задачи носит итерационный характер и позволяет по заданной или требуемой циклической долговечности деталей в процессе эксплуатации определить последовательность и технологические режимы операций упрочняющего технологического процесса.

Ключевые слова: Поверхностное пластическое деформирование (ППД), стадии жизненного цикла, степень деформации сдвига, степень исчерпания запаса пластичности, циклическая долговечность.

Введение

Рассматривается жизненный цикл детали на стадиях резания, поверхностного пластического деформирования и последующего нагружения в условиях приложения эксплуатационных циклических усталостных нагрузок. При этом принято, что наиболее характерным видом усталостного нагружения является многоцикловое нагружение эксплуатируемой детали, состоящее, в свою очередь, из двух стадий – циклической долговечности и циклической трещиностойкости [1-3].

Для решения задач используются известные из механики деформируемого твердого тела параметры:

- показатель схемы напряженного состояния:

$$\Pi = \frac{\sigma}{\mathrm{T}} = \frac{1/3(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{1/\sqrt{6}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}};$$

- степень деформации сдвига:

$$\Lambda = \langle \frac{2}{\sqrt{3}} \int_0^t \sqrt{\frac{1}{2}\left[\left(\xi_x - \xi_y\right)^2 + \left(\xi_y - \xi_z\right)^2 + (\xi_z - \xi_x)^2\right] + + \frac{3}{4}\left(\eta_{xy}^2 + \eta_{yz}^2 + \eta_{zx}^2\right)} \rangle \, dt;$$

- тензор остаточных напряжений:

$$[\mathrm{T}\sigma_{\text{ост}}]_{ij} = \left[\mathrm{T}\sigma_{\text{деф}}\right]_{ij} + \left[\mathrm{T}\sigma_{\text{раз}}\right]_{ij} + [\mathrm{T}\sigma_t]_{ij};$$

- степень исчерпания запаса пластичности [4]:

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 = \Psi_1 + (\Psi_{21} + \Psi_{22}) = n\varphi_0 \int_0^{\Lambda_k} \Lambda_i^{n-1} d\Lambda + \left(\int_0^{\Lambda_k} \frac{d\Lambda}{\Lambda_p} - \varphi_0 \int_0^{\Lambda_k} \Lambda_p^{n-1} d\Lambda \right),$$

где σ – среднее нормальное напряжение; Т – интенсивность касательных напряжений; $\sigma_1, \sigma_{2,}\sigma_3$ – главные компоненты тензора напряжений; $\xi_x, \xi_y, \xi_z, \eta_{xy}, \eta_{yz}, \eta_{zx}$ – компоненты тензора скоростей деформаций; $\left[\mathrm{T}\sigma_{\text{деф}}\right]_{ij}$ – тензор напряжений нагрузки; $\left[\mathrm{T}\sigma_{\text{раз}}\right]_{ij}$ – тензор напряжений разгрузки; $[\mathrm{T}\sigma_t]_{ij}$ – тензор тепловых напряжений; Ψ_1 – составляющая, зависящая от напряжения текучести или от накопленной деформации; Ψ_2 – составляющая, зависящая от пластичности металла в условиях $\Pi = const$; Λ и Λ_p – накопленная и предельная степень деформации сдвига при данном показателе схемы напряженного состояния П; n – коэффициент деформационного упрочнения; φ_0 – коэффициент, определяемый на основе испытаний на пластичность. В неупрочненном металле $\Psi = 0$, а при полном исчерпании запаса пластичности $\Psi = 1$.

В основе механики ТН лежат представления о непрерывном накоплении деформаций и исчерпании запаса пластичности металла в поверхностном слое детали под влиянием программ нагружения.

В качестве исходных характеристик металла используется кривая упрочнения $\sigma_s = \sigma_s(\Lambda)$, кривая предельной пластичности $\Lambda_p = \Lambda_p(\Pi)$ и диаграмма циклической трещиностойкости $V = V(K)$ в координатах «коэффициент интенсивности напряжений K – скорость роста усталостной трещины V».

Теоретические исследования

Автором проведены теоретические исследования процессов резания и ППД с использованием метода конечных элементов (МКЭ), а также последующего эксплуатационного усталостного нагружения. Разработана структурно-аналитическая модель накопления деформации и исчерпания запаса пластичности на стадии циклической долговечности, позволяющая выполнять расчеты продолжительности стадии циклической долговечности упрочненных ППД деталей машин. Отличие модели от известных решений в данной области заключается в том, что процесс накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности металла на стадии циклической долговечности впервые описан в категориях диаграммы циклического деформирования, определяющей закономерности неупругого деформирования упрочненных ППД деталей машин.

Особенностью полученного описания является учет истории нагружения поверхностного слоя на стадиях механической обработки путем трансформации диаграммы циклического деформирования. При этом учитывается сложный комплексный характер влияния отдельных показателей состояния поверхностного слоя на закономерности неупругого деформирования.

Разработана и апробирована методика конечно-элементного моделирования и расчета параметров механического состояния на стадии резании и ППД с учетом технологического наследования. Методика доведена до уровня расчетного алгоритма и реализована в виде программы для ЭВМ, прошедшей официальную регистрацию и включенной в реестр программ для ЭВМ Российского агентства по патентам и товарным знакам.

Выполнен детальный анализ напряженно-деформированного состояния в каждом цикле эксплуатационного усталостного нагружения, который показал, что трансформация показателей напряженно-деформированного состояния в процессе циклического нагружения имеет сложный, немонотонный характер. С увеличением количества циклов нагружения изменяются распределения мгновенных значений показателей напряженно-деформированного и механического состояний в точках дискретизации цикла, что обуславливает нелинейность накопления деформации и исчерпания запаса пластичности на стадии циклической долговечности.

Расчетным путем получены коэффициенты моделей, характеризующих влияние наследуемой деформации и остаточных напряжений поверхностного слоя на закономерности эксплуатационного неупругого деформирования деталей машин. При этом данная система

наследственных коэффициентов учитывает сложный характер комплексного влияния показателей состояния поверхностного слоя на величину неупругой деформации.

Получены зависимости влияния режимов механической обработки на интенсивность накопления деформации и исчерпания запаса пластичности на стадии циклической долговечности. Установлено, что при малых усилиях обкатывания усталостная трещина возникает на поверхности изделия, что отрицательно сказывается общей долговечности деталей машин.

Результаты и обсуждение

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритмы и компьютерные программы по расчету циклической долговечности деталей, упрочненных методом поверхностного пластического деформирования (ППД) [5-8].

Для решения прямой задачи по известным моделям определяются геометрические параметры очага деформации при резании, определяющие его форму и размеры, в зависимости от заданных режимов резания. Далее расчетным путем определяется распределение Λ и Ψ по глубине поверхностного слоя после стадии резания с текущими режимами. Затем, в зависимости от заданных режимов ППД и распределения Λ и Ψ после стадии резания, определяются геометрические параметры очага деформации при ППД, создается послойная конечно-элементная модель процесса ППД и определяется распределение $\Lambda_{\text{мех}}$ и $\Psi_{\text{мех}}$ после стадий резания и ППД. Далее рассчитывается циклическая долговечность, которая определяется механическим состоянием поверхностного слоя.

Исходными данными для расчета циклической долговечности являются: глубина h, на которой рассчитывается циклическая долговечность; численное значение степени деформации сдвига на данной глубине после механической обработки $(\Lambda_{\text{мех}})_h$; численное значение степени деформации сдвига на поверхности детали $(\Lambda_{\text{мех}})_0$; степень исчерпания запаса пластичности на данной глубине после механической обработки $\Psi_{\text{мех}}$; численные значения компонент тензора остаточных напряжений после механической обработки $(\mathrm{T}_{\sigma}^{\text{ост}})_{\text{мех}}$ на данной глубине.

Расчет циклической долговечности проводится в следующем порядке.

1. Определяется коэффициент $k_{\Lambda_{\text{мех}}}$, характеризующий влияние истории нагружения на величину неупругой деформации, в зависимости от значения степени деформации сдвига, накопленной на поверхности $(\Lambda_{\text{мех}})_0$, и степени деформации сдвига, накопленной на заданной глубине $(\Lambda_{\text{мех}})_h$.

2. Рассчитываются суммарные накопленные значения Λ_{Σ} и Ψ_{Σ}.

2.1. По разработанным моделям определяются коэффициенты характеризующие степень релаксации остаточных напряжений в процессе усталостного нагружения $k_{\sigma_{\text{рел}}}$, и влияние остаточных напряжений на неупругую деформацию для каждой компоненты тензора неупругих деформаций $k_{\sigma_{\text{ост}}}$.

2.2. Определяются параметры диаграммы циклического деформирования исходя из наследуемых свойств металла поверхностного слоя.

2.3. Рассчитываются накопленные значения Λ_{i} и Ψ_{i} в текущем цикле усталостного нагружения.

2.3.1. Определяются значения компонент тензора эксплуатационных напряжений в текущей точке дискретизации цикла.

2.3.2. Определяются компоненты тензора неупругих деформаций по диаграмме циклического деформирования в текущей точке дискретизации цикла.

2.3.3. Рассчитываются компоненты тензора неупругих деформаций с учетом накопленной степени деформации сдвига на стадии механической обработки и текущих остаточных напряжений в текущей точке дискретизации цикла.

2.3.4. Определяются компоненты тензора скоростей неупругих деформаций по изменению компонент тензора неупругих деформаций в текущей точке дискретизации цикла.

2.3.5. Определяются мгновенные значения параметров механического состояния поверхностного слоя в текущей точке дискретизации цикла Λ_i и Ψ_i.

2.3.6. Определяются накопленные значения Λ_i и Ψ_i в текущем цикле усталостного нагружения суммированием мгновенных значений во всех точках дискретизации цикла.

2.4. Суммарные значения Λ_Σ и Ψ_Σ увеличиваются на величину накопленных Λ_i и Ψ_i в текущем цикле усталостного нагружения.

2.5. Если значение $\Psi_\Sigma < 1$, то повторяются пункты 2.1-2.4 для следующего цикла нагружения. Если $\Psi_\Sigma = 1$, расчет заканчивается. Тогда циклическая долговечность $N_{\text{цд}}$ для данного исходного механического состояния на данной глубине соответствует текущему циклу нагружения.

Решение обратной задачи может быть получено с помощью итеративной процедуры (рис. 1). На первом этапе задаются начальные режимы резания и последующего ППД с учетом имеющихся ограничений (минимальная допустимая производительность, наличие оборудования с возможностью обработки с заданными режимами резания и ППД и т.д.). Далее решается прямая задача с назначенными режимами резания и последующего ППД. Затем рассчитывается циклическая долговечность, которая определяется механическим состоянием поверхностного слоя. В случае если рассчитанная циклическая долговечность меньше заданной, технологические режимы изменяются с учетом имеющихся ограничений и описанная процедура повторяется до тех пор, пока не будут определены режимы, обеспечивающие заданное значение циклической долговечности.

Для упрощенного определения циклической долговечности по известным параметрам механического состояния поверхностного слоя после механической обработки была разработана номограмма (рис. 2), которая предназначена для определения циклической долговечности изделий из стали 45, подвергаемых усталостному нагружению по схеме поперечного изгиба с вращением в условиях мягкой схемы нагружения.

Исходными данными для упрощенного определения циклической долговечности являются: численное амплитудное значение эксплуатационного напряжения – компоненты тензора эксплуатационных напряжений, действующей по оси образца, σ_x на данной глубине в кгс/мм^2; численное значение степени деформации сдвига на поверхности $(\Lambda_{\text{мех}})_0$; численное значение степени деформации сдвига на данной глубине после механической обработки $(\Lambda_{\text{мех}})_h$; численной значение компоненты тензора остаточных напряжений после механической обработки по оси образца $(\sigma_{\text{ост}})_x$ на данной глубине в кгс/мм^2; степень исчерпания запаса пластичности на данной глубине после механической обработки $\Psi_{\text{мех}}$.

Значения исходных данных в зависимости от заданных режимов резания и ППД могут быть определены или с использованием конечно-элементного моделирования, или по известным инженерным моделям.

В качестве примера на номограмме показано определение циклической долговечности для следующих исходных данных: амплитудное эксплуатационное напряжение, действующее по оси образца на данной глубине – σ_x=28,5 кгс/мм^2; численное значение степени деформации сдвига, накопленной на поверхности на стадиях механической обработки, – $(\Lambda_{\text{мех}})_0$=0,3; численное значение степени деформации сдвига, накопленной на данной глубине на стадиях механической обработки, – $(\Lambda_{\text{мех}})_h$=0,1; численное значение компоненты тензора остаточных напряжений после механической обработки, действующей по оси образца, на данной глубине – $\sigma_{\text{ост}}$=-50 кгс/мм^2; численное значение степени исчерпания запаса пластичности, на данной глубине на стадиях механической обработки, – $\Psi_{\text{мех}}$=0,2.

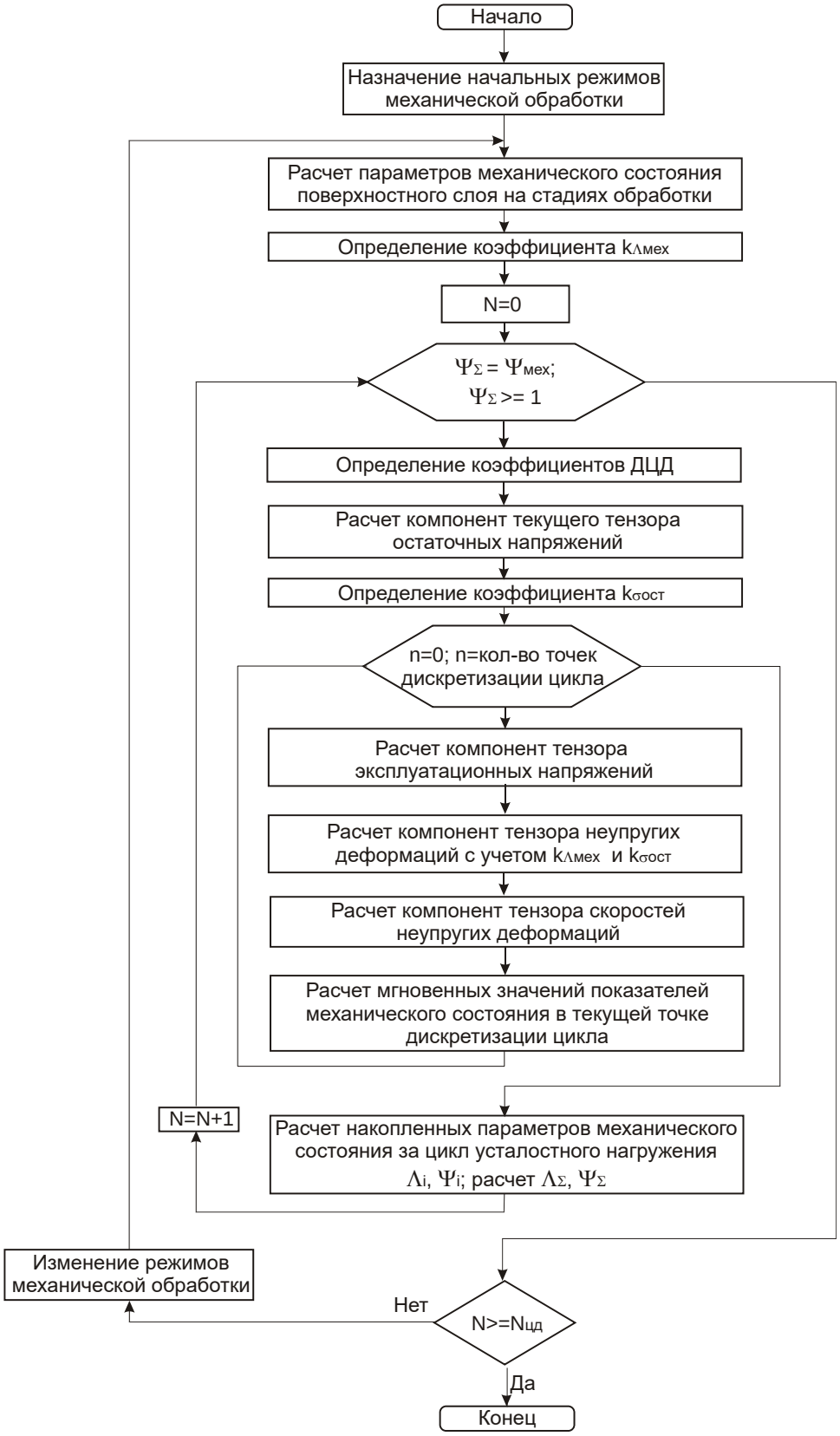


Рис. 1 – Алгоритм назначения режимов механической обработки по заданному значению циклической долговечности

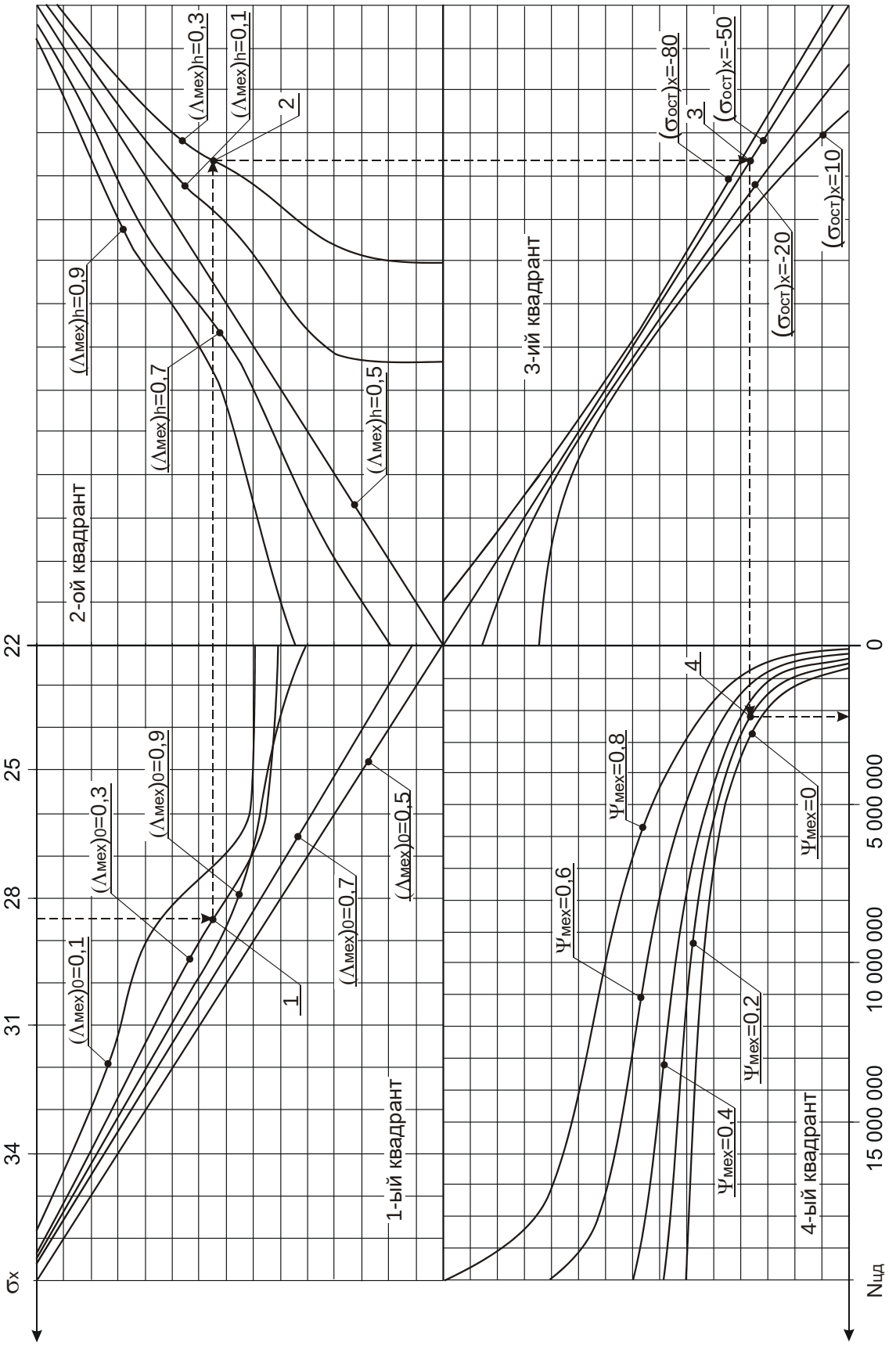


Рис. 2 – Номограмма для определения циклической долговечности по заданным значениям параметров механического состояния поверхностного слоя

Номограмма, подобная показанной на рис. 2, может быть построена и для других материалов и условий нагружения. Для этого необходимо получить коэффициенты

структурно-аналитической модели для данного материала и условий нагружения, рассчитать значения циклической долговечности для различных значений исходных данных и повторить процедуру построения номограммы.

Погрешность упрощенного определения циклической долговечности по номограмме относительно расчета циклической долговечности с помощью структурно-аналитической модели не превышает 8,6%, что позволяет использовать полученную номограмму определения циклической долговечности по значениям показателей механического состояния поверхностного слоя при решении прямой и обратной задач обеспечения циклической долговечности.

Порядок решения прямой и обратной задачи с использованием упрощенного определения циклической долговечности совпадает с порядком решения соответствующих задач с помощью структурно-аналитической модели.

Выводы

1. Разработана методика проектирования технологических процессов обкатывания, обеспечивающих заданную циклическую долговечность деталей машин. Решение прямой задачи предполагает определение циклической долговечности деталей машин по выбранной структуре технологического процесса с назначенными режимами обработки. Решение обратной задачи носит итерационный характер и позволяет по заданной или требуемой циклической долговечности деталей в процессе эксплуатации определить последовательность и технологические режимы операций упрочняющего технологического процесса.

2. Получена номограмма для определения циклической долговечности по известным значениям параметров механического состояния поверхностного слоя деталей машин Данная номограмма позволяет решать прямую и обратную задачу технологического обеспечения циклической долговечности без использования ЭВМ. Описан порядок построения номограммы, что позволяет при необходимости получать подобные номограммы для других материалов и условий усталостного нагружения.

Список литературы

1. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.

2. Блюменштейн В. Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

3. Смелянский В.М., Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А. Информационная поддержка жизненного цикла упрочненных ППД деталей машин. функциональная модель механики технологического наследования // Упрочняющие технологии и покрытия. ¬ 2005. ¬ № 1. ¬ С. 14-23.

4. Филиппов Ю. К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объемной штамповкой // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 2. – С. 3-9.

5. Блюменштейн В. Ю., Кречетов А. А. Модель процесса исчерпания ресурса пластичности на стадиях жизненного цикла изделия // Инструмент Сибири. – №2. – 2000. – С. 20–23.

6. Кречетов А. А. Моделирование механического состояния очага деформации при ППД // Инструмент Сибири. – 2000. – №3. – с. 32.

7. Кречетов А. А. Методика расчета параметров механического состояния поверхностного слоя деталей машин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2001. – №5. – с. 27-31.

8. Кречетов А. А. Расчет циклической долговечности. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2003611306. Заявка №2003610712, дата поступления 4 апреля 2003 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 мая 2003 г.

METHOD FOR CALCULATING THE CYCLIC LIFE OF HARDENED MACHINE PARTS TAKING INTO ACCOUNT TECHNOLOGICAL HEREDITY

Krechetov A.A., PhD (Engineering), Associate Professor

Krechetov A.A.

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Vesennyaya st. 28, Kemerovo, Russian Federation

Abstract

Within the framework of the mechanics of technological heredity (TH), studies have been performed and algorithms and computer programs have been developed to calculate the cyclic life of parts hardened by the surface plastic deformation method (SPD). The solution of the direct problem involves determining the cyclic life of machine parts according to the selected process structure with the assigned machining conditions. The solution of the inverse problem has an iterative character and allows us to determine the sequence and technological modes of operations of the hardening technological process for the given or required cyclic life of parts during operation.

Keywords: surface plastic deformation (SPD), life cycle stages, degree of shear deformation, depletion of plasticity reserve, cyclic life

УДК621.787

МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПРОЧНЯЕМОГО МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССАХ ППД

БЛЮМЕНШТЕЙН В. Ю.[1], докт.техн. наук, профессор
([1] КузГТУ, г. Кемерово, Россия)

Блюменштейн В. Ю.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
Ул. Весенняя, 28, 650000, Кемерово, Россия
e-mail: blumenstein@rambler.ru

Аннотация

Выполнен анализ и проведены МКЭ-исследования процессов ППД, реализуемых по различным схемам. Расчеты напряженно-деформированного состояния позволили установить роль гидростатического напряжения в исчерпании запаса пластичности и упрочнении металла. Показано, что совмещение в одной наладке режущего и деформирующего инструментов, а также применение сложнопрофильных роликов позволяют создавать высокое гидростатическое напряжение в очаге деформации и обеспечивать мощное упрочнение без разрушения металла поверхностного слоя детали.

Ключевые слова: Пластичность, среднее нормальное напряжение, гидростатическое напряжение, степень деформации сдвига, степень исчерпания запаса пластичности, размерное совмещенное обкатывание, мультирадиусный ролик

Введение

Эксплуатационные свойства и долговечность деталей машин в существенной мере зависят от качества поверхностного слоя, включая микрогеометрию, упрочнение и остаточные напряжения.

Упрочнение в условиях холодной деформации определяется схемой напряженно-деформированного состояния очага пластической деформации, где существенную роль играет среднее нормальное напряжение σ. Среднее нормальное напряжение равно одной трети суммы главных напряжений или одной трети первого инварианта тензора напряжений. При этом под гидростатическим напряжением понимают среднее нормальное напряжение, взятое с противоположным знаком.

Исследования, проведенные в последние 30-40 лет, показали, что высокое среднее нормальное напряжение позволяет накапливать в упрочняемом материале большие деформации без его разрушения. Об этом свидетельствуют диаграммы пластичности металлов. Так, по данным [1], степень деформации сдвига (пластичность), накопленная металлом к моменту разрушения, в зависимости от показателя схемы напряженного состояния, равного $\Pi = \sigma/\mathrm{T} = -1{,}0$ (где T – интенсивность касательных напряжений), составила: для стали 20 - $\Lambda_p \sim 3{,}3$; стали 45 – $\Lambda_p \sim 2{,}6$; стали 12Х18Н10Т – $\Lambda_p \sim 5{,}6$; стали 30ХГСА – $\Lambda_p \sim 5{,}1$. При увеличении гидростатического напряжения предельные накопленные деформации существенно возрастают.

В максимально возможной мере использовать высокое гидростатическое напряжение удается в процессах равноканального углового прессования (РКУП), комбинированного воздействия интенсивной пластической деформацией и термической обработки, кручения с наложением высокого гидростатического давления и др. [2-6].

Анализ результатов исследований процессов поверхностного пластического деформирования (ППД) свидетельствуют о стремлении авторов получить в очаге деформации схемы с максимальными сжимающими напряжениями.

К числу базовых моделей следует отнести модель проф. В.М. Смелянского, рассматриваемая в меридиональном сечении обрабатываемой заготовки [7]. Автором впервые выполнен полный анализ сложного напряженно-деформированного состояния очага деформации. Анализ показал, что при достижении среднего нормального напряжения в очаге деформации σ=1500 МПа накопленная интенсивность деформаций сдвига составила Г=1,10, а степень исчерпания запаса пластичности – Ψ=0,28. При этом до встречи с роликом накапливается свыше 70% всей деформации, под инструментом в условиях сжатия – 20-25%. Степень исчерпания запаса пластичности в этих зонах составила Ψ=0,25 и Ψ=0,03 соответственно.

В настоящее время разработаны и реализуются схемы ППД, включая выглаживание, совмещенные процессы, процессы с опережающим пластическим деформированием и другие, которые позволяют достичь высокого качества и, в ряде случаев, получить наноструктурированный металл поверхностного слоя детали.

Цель данной работы – исследование процессов ППД и оценка влияния гидростатического напряжения в очаге пластической деформации на упрочнение металла. В задачи исследований входили МКЭ-анализ традиционных и совмещенных схем ППД, в том числе, в наследственной постановке с расчетами гидростатического напряжения и накопленных деформаций; исследование процесса ППД сложнопрофильным инструментом, обеспечивающим высокое гидростатическое напряжение в очаге деформации.

Теоретические исследования

Автором проведены теоретические исследования процессов ППД с использованием метода конечных элементов (МКЭ) и показана роль гидростатического напряжения в накоплении деформаций и исчерпании запаса пластичности [8]. Исследованию подлежали процессы ППД образцов из стали 45 (ГОСТ 1050-88 HV160-180): обкатывания торовым роликовым инструментом в наследственной постановке, размерного совмещенного обкатывания и обкатывания мультирадиусным инструментом – 4-х радиусным роликом.

Проводились экспериментальные исследования в наследственной постановке, для чего образцы обкатывались торовым роликом по одинаковым режимам в три рабочих хода вплоть до начала разрушения металла поверхностного слоя. Режим обкатывания: частота ω=630 об/мин; подача S=0,21 мм/об; профильный радиус ролика $R_{\text{пр}}$=2,5 мм; диаметр роликов $D_{\text{р}}$=95 мм; сила P=2 500 Н. Начало разрушения означало полное исчерпание запаса пластичности материалом поверхностного слоя детали. Степень исчерпания запаса пластичности рассчитывалась по критерию Калпина-Филиппова по формуле [9]:

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 = \Psi_1 + (\Psi_{21} + \Psi_{22}) = n\varphi_0 \int_0^{\Lambda_k} \Lambda_i^{n-1} d\Lambda + \left(\int_0^{\Lambda_k} \frac{d\Lambda}{\Lambda_p} - \varphi_0 \int_0^{\Lambda_k} \Lambda_p^{n-1} d\Lambda \right),$$

где Ψ_1– составляющая, зависящая от напряжения текучести или от накопленной деформации; Ψ_2 – составляющая, зависящая от пластичности металла в условиях $\Pi = const$; Λ и Λ_p – накопленная и предельная степень деформации сдвига при данном показателе схемы напряженного состояния Π; n – коэффициент деформационного упрочнения; φ_0 – коэффициент, определяемый на основе испытаний на пластичность. В неупрочненном металле $\Psi = 0$, а при полном исчерпании запаса пластичности $\Psi = 1$. По результатам экспериментальных исследований проведено МКЭ-моделирование одно- двух и трехходовой обработки ППД.

На основе начальных и граничных условий, полученных при проведении экспериментальных исследований на трехроликовой установке, выполнено МКЭ-моделирование процесса размерного совмещенного обкатывания (РСО) [7-8]. Принципиальным в данном способе является то, что в зону волнообразования помещена резцовая пластина, частично или полностью удаляющая пластическую волну. Натяги деформирующих роликов существенно (в 2-10 раз) превышают принятые для ППД и

достигают величин 0,1-1,0 мм. При этом разрушения поверхности не происходит вследствие удаления резцом части металла в районе пластической волны, в которой произошло накопление наибольших деформаций. Обрабатывались образцы из стали 45 на режиме: частота ω=1275 об/мин; подача S=0,22 мм/об; профильный радиус торового ролика $R_{\text{пр}}$=3,0 мм; диаметр роликов $D_{\text{р}}$=100 мм; натяг роликов 0,08 мм, зазор между резцом и поверхностью детали 0,2 мм.

Анализ показал, что повышение эффективности (интенсификация) процессов «холодной» механической упрочняющей обработки, возможно, в том числе, путем создания в очаге деформации сложного напряженно-деформированного состояния с преобладающим схемами с высоким гидростатическим давлением. В свою очередь, такие схемы реализуются инструментами, имеющими сложную геометрию и обеспечивающими определенную кинематику течения металла [10].

Ролик обкатной мультирадиусный (МР-ролик) имеет форму профиля рабочей поверхности в виде комбинации последовательно расположенных деформирующих элементов (ДЭ) с радиусами постоянной величины, расположенными относительно друг друга с некоторым смещением в радиальном и осевом направлениях [11]. Мультирадиусный ролик имеет профильные радиусы и действительные натяги инденторов соответственно: $R_{\text{пр1}} = 1$ мми $h_{\text{д1}} = 0{,}05$ мм; $R_{\text{пр2}} = 1$ мми $h_{\text{д2}} = 0{,}1$ мм; $R_{\text{пр3}} = 1$ мми $h_{\text{д3}} = 0{,}15$ мм; $R_{\text{пр4}} = 3$ мми $h_{\text{д4}} = 0{,}05$ мм.

Моделирование осуществлялось в плоско-деформированной постановке, в соответствии с которой создавались конечно-элементные модели, состоящие из обрабатываемой детали и абсолютно жестких инденторов. Принятая модель материала - упругопластическое изотропное тело в виде пластины. Верхняя граница модели обрабатываемой детали представляла собой контур очага деформации, восстановленный по соответствующей профилограмме, а нижняя жестко закреплялась по обеим осям. Индентору придавалось смещение по оси x на величину подачи S. Начальными и граничными условиями для моделирования являлись механические свойства металла, кривая течения, диаграмма пластичности, режим обработки, а также форма и геометрические размеры очага деформации.

Выполнены расчеты компонент тензоров напряжений и деформаций с последующим перерасчетом σ, Т, П, Λ и Ψ в точки линий тока в очаге деформации.

Результаты и обсуждение

Результаты моделирования представлены на рис. 1-3.

Анализ показал, что при обработке ППД торовым роликом большая часть материала очага деформации находится в условиях сжатия, причем наибольшее значение среднего нормального напряжения σ соответствует зоне контакта инструмента с деталью (рис. 1). Наибольшие значения интенсивности касательных напряжений имеют место в зоне вершины волны перед деформирующим инструментом. При перемещении вглубь поверхностного слоя происходит уменьшение абсолютных значений, однако характер распределения этих компонент практически не изменяется. Такой характер схемы нагружения приводит к тому, что наиболее интенсивно накопление деформаций происходит в передней зоне очага деформации. По мере упрочнения металла каждый последующий рабочий ход приводит к более «жестким» схемам нагружения, уменьшению гидростатического напряжений и интенсивности касательных напряжений, приводящим в итоге к накоплению предельных деформаций и полному исчерпанию запаса пластичности металла после третьего рабочего хода инструмента.

При обработке РСО среднее нормальное напряжение σ вдоль всего очага деформации принимает отрицательные значения, достигая величин -600 МПа (рис. 2). Экстремум наблюдается в зоне контакта ролика с деталью с переходом в область незначительных (около 50 МПа) растягивающих значений в районе вершины ролика (точкаD). Интенсивность касательных напряжений Т, нарастая в зоне передней внеконтактной поверхности ОД, достигает максимальной величины 200 МПа и стабилизируется на этом уровне в зоне срезания

пластической волны (отрезок C_1C_2) и передней контактной поверхности ролика, затем постепенно снижается в районе выхода из ОД (точка F). Наиболее резкие перепады наблюдаются в точках перехода передней внеконтактной поверхности в поверхность контакта с резцом (точкаC_1), а также в районе вершины ролика (точкаD). Такое распределение напряжений говорит о том, что большая часть металла очага деформации находится в условиях сжатия.

Применение большого натяга роликов и срезание пластической волны приводит к тому, что на участке AC_1C_2до точки встречи с роликом накапливается 66%степени деформации сдвига и на 77% исчерпывается запас пластичности металла. При этом до вершины ролика в точке Dнакапливается 93% деформации и на 96% исчерпывается запас пластичности.

Анализ рис. 1 и 2 показывает, что при обработке РСО численные значения деформационных параметров составляют $\Lambda_{\text{РСО}} = 3{,}0$ и $\Psi_{\text{РСО}} = 0{,}65$, а для ППД после первого рабочего хода – 0,72 и 0,58 соответственно. Как видно, при РСО накопилось примерно в 4 раза больше, чем при ППД, степени деформации сдвига, а степень исчерпания запаса пластичности увеличилась лишь на 12%. Таким образом за счет применения больших натягов и создания высокого гидростатического давления в очаге деформации привело к накоплению больших, чем при ППД, деформаций без разрушения поверхностного слоя.

При ППД мультирадиусным инструментом среднее нормальное напряжение повторяет геометрию ОД и тенденции изменения компонент напряженного состояния, и показывает, что очаг деформации постоянно находится в условиях сжатия (рис. 3). При этом под вторым и третьим деформирующими элементами достигаются условия, при которых действуют максимальное гидростатическое давление, достигающее -1150 МПа.

Тем самым накопление степени деформации сдвига и исчерпания запаса пластичности металла происходят непрерывно в условиях мощной гидростатики. Видно, что даже при существенной накопленной деформации $\Lambda \approx 7$вследствие благоприятной схемы деформации степень исчерпания запаса пластичности не превышает значений $\Psi \leq 0{,}62$.

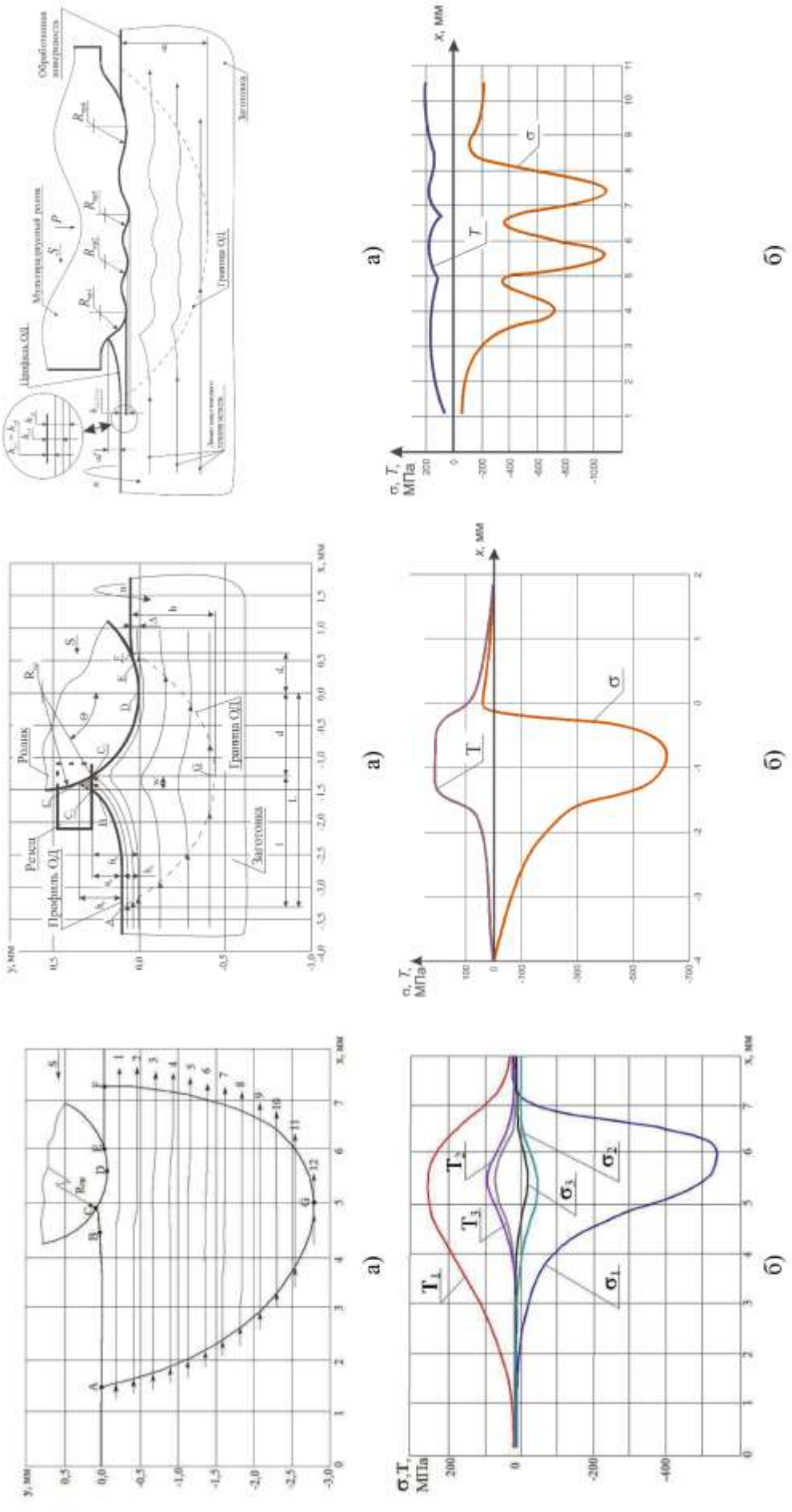
Результаты исследований показали, что при обработке торовым роликом традиционной конструкции[10]:

– накопление предельной деформации $\Lambda \approx 1{,}24$ привело бы к предельному состоянию металла $\Psi = 1$ при профильном радиусе $R_{\text{пр}} = 1$ мм и натяге $h_{\text{д}} = 0{,}03$ мм;

– накопление предельной деформации $\Lambda \approx 1{,}24$ привело бы к предельному состоянию металла $\Psi = 1$ при профильном радиусе $R_{\text{пр}} = 3$ мм и натяге $h_{\text{д}} = 0{,}05$ мм;

– натяг $h_{\text{д}} = 0{,}15$ мм при профильном радиусе $R_{\text{пр}} = 1$ мм недопустим, т.к. при внедрении инструмента в течение нескольких оборотов детали приводит к нестационарному очагу деформации. Это заключается в катастрофическом росте пластической волны перед деформирующим инструментом и разрушению в районе ее вершины;

– обработка ППД с указанными натягами и профильными радиусами последовательно вторым и третьим рабочими ходами приводит к накоплению предельных деформаций и полному исчерпанию запаса пластичности металла уже после первого рабочего хода.


а)
б)
Профиль ОД
Ролик
Заготовка
Граница ОД
Мультипредельный ролик
Обработанная поверхность
σ, T, МПа
x, мм
y, мм
σ1
σ2
σ3
T1
T2
T3

в)

Рис. 1. Результаты моделирования процесса ППД торовым роликом в наследственной постановке: а – схема очага деформации, 1-12 - линии тока; б – распределение среднего нормального напряжения и интенсивности касательных напряжений вдоль 1-ой линии тока; в – накопление степени деформации сдвига и исчерпание запаса пластичности металла вдоль 1-ой линии тока; индексы 1,2,3 – номера рабочих ходов ролика

в)

Рис. 2. Результаты моделирования процесса размерного совмещенного обкатывания: а – схема очага деформации; б – распределение среднего нормального напряжения и интенсивности касательных напряжений вдоль 1-ой линии тока; в – накопление степени деформации сдвига и исчерпание запаса пластичности металла вдоль 1-ой линии тока

в)

Рис. 3. Результаты моделирования процесса ППД мультирадиусным инструментом: а – профиль очага деформации; б – распределение среднего нормального напряжения и интенсивности касательных напряжений вдоль 1-ой линии тока; в – накопление степени деформации сдвига и исчерпание запаса пластичности металла вдоль 1-ой линии тока

Выводы

1. Выполнен анализ и проведено МКЭ-моделирование способов обкатывания традиционным торовым роликом, размерным совмещенным обкатыванием и обкатыванием мультирадиусным инструментом.
2. Выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния и оценка накопленной деформации сдвига и степени исчерпания запаса пластичности в зависимости от среднего нормального напряжения.
3. Показано, что создание в очаге деформации сложного напряженно-деформированного состояния с преобладающим высоким гидростатическим напряжением позволяет накапливать большие деформации без разрушения металла поверхностного слоя.
4. Развитие методов ППД возможно путем реализации схем, создающих мощную гидростатику, и позволяющих существенно повысить ресурс обрабатываемых деталей.

Список литературы

1. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. - М.: Металлургия, 1984. - 144 с.

2. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные ма¬териалы, полученные интенсивной пластической деформа¬цией М.: Логос, 2000. 272 с.

3. Figueiredo, R.B., Langdon, T.G. Evaluating the Superplastic Flow of a Magnesium AZ31 Alloy Processed by Equal-Channel Angular Pressing (2013) Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, pp. 1-8. Article in Press. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880735842&partnerID=40&md5=e0627e0393223439dc41e58a86485b39

4. Chrominski, W., Kulczyk, M., Siwek, M., Lewandowska, M. Tailoring microstructure and me-chanical properties of 6063 aluminium alloy for lightweight structural parts (2013) Materials Science Forum, 765, pp. 388-392. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883031133&partnerID=40&md5=24ab0c0b9fa0c507069a7524d4761e24

5. Santamaría, J.A., Alkorta, J., Sevillano, J.G. Mechanical properties of PBTE processed by HPT (high-pressure torsion) (2014) Materials Science and Technology Conference and Exhibition 2013, MS and T 2013, 4, pp. 2623-2629. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893454326&partnerID=40&md5=0ba28771a77e66c8d88a948e7ba2c0ea

6. Liu, B., Liu, R., Li, Q.-J., Yao, M.-G., Zou, B., Cui, T., Liu, B.-B., Liu, J. Study of high pres-sure structural stability of CeO2 nanoparticles (2013) Chinese Physics C, 37 (9), art. no. 098003,. Cited 1 time. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885598631&partnerID=40&md5=01b5be96dc6727b4b7669438c359d4fc

7. Смелянский, В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.

8. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

9. Филиппов Ю.К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объемной штамповкой // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 2. – С. 3-9.

10. Блюменштейн В.Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования сложнопрофильных инструментов для упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием // Наукоемкие технологии машиностроения. – 2017. – №8. – С. 7-16.

11. Пат. 2557377 Российская Федерация, МПК B24B 39/04 (2006.01) Ролик обкатной мульти-радиусный [Текст] / Блюменштейн В.Ю., Кречетов А.А., Махалов М.С., Останин О.А.; заявитель и патентообладатель КузГТУ. – №2013135795/02; заявл. 30.07.2013; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

THE HARDENED METAL FEMODELING AND PLASTIC PROPERTIES CALCULATIONS IN THE SPD PROCESSES

Blumenstein V.Yu., D.Sc. (Engineering), Professor,

Blumenstein V.Yu.,

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University,
650000, Vesennyaya st. 28, Kemerovo, Russian Federation

Abstract

The FE analysis and investigation of the various schemes of surface plastic deformation (SPD) processes is performed. The stress-strain state calculations allowed to establish the hydrostatic stress role in the plasticity reserve exhaustion and metal hardening. It is shown that the one setup cutting and deforming tools combination, as well as the complex-profile rollersusing, allow to create high deformation zone hydrostatic stress and provide powerful non-destructive workpiece surface layer metal hardening.

Keywords: Plasticity, average normal stress, hydrostatic stress, shear strainlevel, plasticityreserveexhaustion level, dimensional joint running-in, multiradius roller

УДК 378.1

СОВРЕМЕННАЯ ЦИФРОВАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА КАК ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ (НА МАТЕРИАЛАХ АЛТГТУ)

АБСАЛЯМОВА Г.А.[1], аспирант
([1]АлтГТУ, г. Барнаул)

Абсалямова Г.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: rozina128@mail.ru

Аннотация

Цифровизация и информатизация напрямую затрагивают систему образования. Инженерное образование, являющееся фундаментом развития инновационной экономики России, становится ключевым элементом данного процесса. Первостепенной задачей становится синтез лучших концепций и школ инженерного образования с передовыми разработками в сфере ИКТ, признание их равноценности и дополняемости. Включение в образовательный процесс информационных технологий и создание онлайн-курсов является приоритетным направлением деятельности современного технического вуза, так как возникают уникальные возможности получения непрерывного образования у всех групп населения.

Ключевые слова: непрерывное образование, цифровизация, инженерное дело, цифровые технологии, образовательная среда, университет

Введение

В качестве основного целевого ориентира в Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года указано создание конкурентоспособной экономики знаний и высоких технологий, основанных на инновациях.

Понятие «экономика, основанная на знаниях» в современной научной литературе, является синонимом инновационной экономики. Это обстоятельство подчеркивает зависимость развитых мировых экономик от знаний, информации и высокой квалификации трудовых ресурсов [1].

Экономика России является многоукладной. Так, по данным академика РАН Евгения Каблова, в России доля технологий второго уклада – 10%, третьего – около 30%, четвертого – 50% (в основном, в военно-промышленном комплексе и авиакосмической отрасли), пятого – примерно 10%. В США, например, доля третьего технологического уклада составляет 15%, четвертого – 20%, пятого – 60%. И на шестой технологический уклад приходится уже около 5% [6]. На сегодняшний день, скорость технологических изменений стремительно нарастает. В связи с этим, перед отечественной наукой и промышленностью стоит первоочередная задача – вхождение в число государств с шестым технологическим укладом.

Движение экономики от низших технологических укладов к высшим определяется состоянием инженерного дела, которое в свою очередь тесно связано с уровнем и качеством инженерного образования и подготовки инженеров.

Современное состояние подготовки инженеров в России большинством экспертов оценивается как кризисное. Отмечено, что критическое состояние инженерного образования обусловлено неспособностью адекватно и своевременно ответить на вызовы последнего времени, среди которых наиболее острыми являются:

– Конкуренция на мировом рынке инженерного труда;
– Вступление России в ВТО;
– Переход на подготовку специалистов в соответствии с принципами Болонской декларации;
– Отсутствие общих требований к квалификации специалистов в области техники и технологии, а также профессиональных стандартов, учитывающих переход на уровневую систему подготовки;
– Рыночные отношения с работодателями;
– Противоречие между прежней системой подготовки инженеров и новыми требованиями к ним со стороны промышленности;
– Стареющая материальная и кадровая база вузов;
– Резкое снижение престижа инженерного труда и инженерной профессии;
– Снижение качества школьного, начального и среднего профессионального образования [2].

Тенденции развития современного общества, его ярко выраженная цифровизация и информатизация напрямую затрагивают систему образования. Цифровизация меняет привычные связи и модели, создавая новые возможности получения непрерывного образования, в том числе с учетом особых потребностей социально-незащищенных групп населения. Сегодня активно развиваются онлайн-курсы, создаются информационные онлайн ресурсы. На необходимость перехода к принципиально новым, в том числе индивидуальным технологиям обучения в период цифровой эпохи указал в Послании Федеральному собранию 1 марта 2018 года Президент России В.В. Путин.

В этих условиях, первостепенной задачей является синтез лучших педагогических концепций инженерного образования с передовыми разработками в сфере ИКТ, признание их равноценности и дополняемости.

Рисунок1. – Распределение приведенного контингента студентов в Алтайском крае по отрасли науки «Инженерное дело, технологии и технические науки», 2017 г. [5]

Результаты и обсуждение

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) играет важную роль в системе подготовки инженерных кадров для промышленности Алтайского края.

Вместе с филиалами в г. Бийске (Бийский технологический институт) и г. Рубцовске (Рубцовский индустриальный институт) приведенный контингент студентов по отрасли науки «Инженерное дело, технологии и технические науки» составляет 6560,85 человек из 8146,5 человек в регионе. (Рис.1).

АлтГТУ (совместно с филиалами) готовит 100% выпускников по направлению «Машиностроение», тем самым обеспечивая регион высококвалифицированными специалистами в данной области (Таблица 1).

Таблица 1 - Роль АлтГТУ в системе подготовки кадров для региона по УГНС 15.00.00 – Машиностроение [5].

	Приведенный контингент студентов, *чел.*	Доля приведенного контингента студентов от общего приведенного контингента студентов, обучающихся по данной УГН в регионе, *%*
АлтГТУ	553	77,69
Бийский технологический институт	67,3	9,45
Рубцовский индустриальный институт	91,5	12,28

Об уровне использования цифровых технологий в образовательной организации могут свидетельствовать следующие показатели:

1) Обеспеченность персональными компьютерами;
2) Использование интернета;
3) Использование специальных программных средств.

Обеспеченность организаций высшего образования персональными компьютерами по данным 2015 года достаточно высокая – 96.9%, на таком же уровне находится использование интернета; веб-сайты есть у 78,7% вузов России.71,8% работников в процессе трудовой деятельности используют персональный компьютер и 66,2 % – интернет [4].

Информацию о том, с какой целью в вузах используется интернет, можно увидеть на Рис.2. Помимо использования электронной почты и поиска информации в сети, для вуза большое значение имеет проведение видеоконференций, доступ к электронным библиотечным системам и базам данных.

Рисунок 2. - Цели использования интернета, 2015 г. [4]

Специфика использования специальных программных средств в организациях высшего образования представлена на Рис.3.

Рисунок 3. - Организации высшего образования, использующие специальные программные средства, 2015 (в % от общего числа) [4]

Выводы

Потенциал цифровой образовательной среды позволяет достичь планируемых образовательных результатов и предоставляет педагогу широкие возможности в выборе и сочетании инновационных образовательных технологий. Ее преимуществами являются вариантность, гибкость, целостность, полифункциональность и открытость [3].

Вузы являются региональными площадками для развития цифровых технологий в образовательном пространстве.

АлтГТУ ставит приоритетной задачей создание цифровой образовательной среды. Так, планируется в ближайшее время создать площадку онлайн-образования по программам среднего профессионального, высшего и дополнительного образования по инженерным специальностям. Это направление деятельности включает в себя достаточно большой комплекс мероприятий, направленных на

– создание единого центра, на базе которого осуществляется весь комплекс работ по созданию, применению, оценке, научно-методическому сопровождению и коммерциализации электронных образовательных ресурсов для образовательных программ;

– создание и совершенствование базы локальных нормативных актов, программно-аппаратной инфраструктуры для организации электронного обучения в вузе;

– разработку, создание и применение отдельных электронных образовательных ресурсов, электронных курсов, модулей и образовательных программ для всех уровней и форм обучения в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов.

Стоит отметить, что за счет диверсификации разработки электронных курсов, отвечающих федеральным образовательным стандартам, повысится доступность и качество образования для всех категорий обучающихся.

Список литературы

1. Абсалямова Г.А. Анализ инновационной деятельности предприятий машиностроения: пути сотрудничества с университетским комплексом // Актуальные проблемы в машиностроении. - 2016. - № 3. - С. 492-497.

2. Абсалямова Г.А. Ситуационный подход к совершенствованию образования в области машиностроения // Инновации в машиностроении: сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции, 2017. - С. 295-300.

3. Абсалямова Г.А. Современная цифровая образовательная среда как фактор развития цифровой экономики /Гарантии качества профессионального образования: материалы Международной научно-практической конференции. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – С. 198-201.

4. Индикаторы цифровой экономики: 2017: статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, Л. М. Гохберг, М. А. Кевеш и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2017. – 320 с.

5. Информационно-аналитические материалы по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования 2017 года – Режим доступа: http://indicators.miccedu.ru/monitoring/ (дата обращения: 10.04.2018)

6. Розина Г.А., Бородин В.А., Марков А.М., Ганеман Е.К. Создание учебно-производственных центров на базе промышленных предприятий Алтайского края // Вестник алтайской науки. - 2015. - № 1 (23). - С. 42-50

MODERN DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT AS A TOOL OF DEVELOPMENT OF ENGINEERING EDUCATION (ON MATERIALS OF ASTU)

Absalyamova G. A., Post-graduate Student

Absalyamova G. A.

Polzunov Altai State Technical University,
46 Lenina st., Barnaul, 656038, Russian Federation

Abstract

Digitalization and informatization directly affect the education system. Engineering education, which is the basis for the development of Russia's innovative economy, is becoming a key element of this process. The main task is the synthesis of the best concepts and schools of engineering education with advanced developments in the field of IT, the recognition of their equivalence and complementarity. Inclusion of information technologies in the educational process and creation of online courses is a priority of the modern technical university, since there are unique opportunities for lifelong education in all population groups.

The potential of the digital educational environment allows us to achieve the planned educational results. Its advantages are variance, flexibility, integrity and openness.

Keywords: lifelong education, digitalization, engineering, digital technologies, educational environment, university

УДК 65.011.56

ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

КРЯЖЕВЮ.А. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
АНДРЕЕВ М.В. [1]*, магистрант*
ШИТЮК А.А. [1]*, аспирант*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Андреев М.В. Кряжев Ю.А. Шитюк А.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: m194@mail.ru

Аннотация

В статье предлагается создание базы данных полимерных композитов для совместной автоматизированной работы специалистов разного профиля: конструкторов, технологов, материаловедов. Это обеспечит эффективное создание и применение новых полимерных композитов в действующем производстве.

Ключевые слова: автоматизация, база данных, полимерные композиты, механическая обработка, режимы резания.

Введение

Создание и применение новых полимерных композитов зачастую определяет конкурентоспособность продукции во многих отраслях, как например в сфере беспилотных летательных аппаратов. Прежде всего, это конструкционные, фрикционные и антифрикционные материалы узлов и механизмов машин, а также широкая гамма теплоизоляционных, электроизоляционных и других компонентов различного назначения.

В настоящее время технология полимерных композитов идет по пути создания материалов, в которых путем направленного сочетания компонентов достигается требуемый комплекс эксплуатационных свойств. Но, помимо эксплуатационных свойств, большое значение имеют параметры качества поверхности и точности размеров, достижимые современными методами обработки. Отсутствие информации о результатах научных исследований в этом направлении не позволяет прогнозировать данные параметры, что в дальнейшем приводит к образованию дефектов. К ним относятся: растрескивание и расслоение матрицы, ее термическая деструкция, образование очагов несрезанных волокон наполнителя, расслоение волокна, неравномерная шероховатость, трещины и царапины, отклонение формы и взаимного расположения поверхностей, большая волнистость, вырывы материала и сколы на торцах, а также стенках и кромках отверстий. Мероприятия по устранения дефектов связаны с оптимизацией конструктивно-геометрических параметров инструмента, выбором рациональных режимов и условий обработки, снижающих теплонапряженность процесса. Последнее особенно актуально, так как при обработке полимерных композитов невозможно применение смазочно-охлаждающих жидкостей. Температура, при которой происходит термодеструкция большинства таких материалов, составляет около 250…350 °С, а их теплопроводность примерно в 100 – 600 раз меньше чем у цветных металлов, конструкционных сталей и чугунов. Поэтому при обработке в соответствии с действующими нормативами и справочными материалами технологи вынуждены назначать «мягкие» режимы, в частности скорость резания. К тому же при резании помимо стружки образуется мелкодисперсная пыль, оказывающая вредное воздействие, как на подвижные узлы станка, так и на здоровье операторов-станочников. Низкие скорости резания, необходимость подбора конструктивно-геометрических параметров инструмента и введение дополнительных

мероприятий по устранению вредного влияния мелкодисперсной пыли приводят к временным затратам и возрастанию себестоимости обработки [9]. Для эффективного решения подобных задач требуется автоматизация проектно-конструкторской деятельности. Важность автоматизации при подготовке производства изделий из полимерных композитов обусловлена необходимостью параллельного принятия решений о применяемых материалах, конструктивных параметрах изделий и технологии их изготовления по причине их взаимного влияния друг на друга и на свойства изделия [11]. Помимо этого, реализация возможностей, заложенных в композитах, во многом зависит от степени гарантированного обеспечения качества изделий на этапе их обработки резанием [12].

На сегодняшний день существуют обширные базы данных полимерных композитов:

1) Total Materia швейцарской компании Key to Metals AG [8];

2) Material Data Center германского разработчика M-Base Engineering + Software GmbH [7];

3) Plastinfo.ru локализованная для переработчиков России и стран СНГ база MaterialDataCenter российской ООО Пластинфо.ру[5].

Но в них нет информации об обрабатываемости композитов.

Таким образом, разработка функциональной и информативной базы данных полимерных композитов, доступной для образовательных учреждений и производственных предприятий, с целью повышения эффективности, качества и надежности работы является на сегодняшний день актуальной задачей. Такая база данных должна аккумулировать экспертные знания специалистов разного профиля: конструкторов, технологов, материаловедов, а также содержать данные об обрабатываемости полимерных композитов различными методами, как традиционными, так и современными, такими как высокоскоростная обработка, лазерная и гидравлическая резка и др.

Описание теоретических исследований

Как показывает история, создание функциональных систем управления базами данных (СУБД) может растянуться на десятилетия и требует участия большой команды разработчиков. Таких компании как Oracle, Microsoft и IBM, занимаются разработкой СУБД уже более 30 лет и имеют бюджеты, сравнимые с ВВП некоторых государств.

Рейтинг 10 наиболее популярных СУБД, согласно ресурсу DB-Engines [6], по информации на апрель 2018 г. выглядит следующим образом:

1) Oracle – коммерческая система американской корпорации Oracle;

2) MySQL – система с открытым кодом американской корпорации Oracle;

3) Microsoft SQL Server – коммерческая система транснациональной компании Microsoft;

4) PostgreSQL – система с открытым кодом разрабатываемая международным сообществом с существенным российским участием;

5) MongoDB – система с открытым кодом американской компании MongoDB Inc;

6) DB2 – коммерческая система американской компании IBM;

7) Microsoft Access – коммерческая система транснациональной компании Microsoft;

8) Elasticsearch – система с открытым кодом нидерландской компании Elastic;

9) Redis – система с открытым кодом создателя Сальваторе Санфилиппо, работающего на Сицилии;

10) Cassandra – система с открытым кодом американской организации-фонда Apache Software Foundation.

Системы с открытым кодом и свободной лицензией, поддерживаемые международным сообществом, дают возможность взять за основу готовую СУБД, и адаптировать ее для реализации конкретных целей. В настоящее время все больше государственных структур (правительство Москвы и Московской области, ФНС, Росаккредитация) и крупных российских компаний (Сбербанк, «Яндекс», «Ростех») выбирают PostgreSQL, мигрируя с

зарубежных решений. Этой стратегии придерживаются и за рубежом. Франция с 2009 г. решила использовать PostgreSQL в государственных информационных системах (Национальном фонде семейных пособий и Национальной метеослужбе) [10]. Поэтому, для разработки базы данных полимерных композитов, целесообразно воспользоваться системой с открытым кодом и свободной лицензией PostgreSQL.

Согласно ГОСТ 33742-2016 классификация полимерных композитов осуществляется по следующим признакам[3]:

1) по количеству исходных компонентов для изготовления полимерных композитов;
2) по природе материала матрицы;
3) по природе материала армирующих наполнителей;
4) по типу армирующего наполнителя;
5) по форме армирующих наполнителей;
6) по структуре полимерного композита
7) по способу изготовления полимерного композита

Целесообразно расширить данный перечень классификационных признаков добавив в него, в частности, данные об обрабатываемости полимерных композитов различными методами.

В соответствии с ГОСТ Р 56806-2015для идентификации полимерных композитов в базе данных необходимо создать следующие блоки [4]:

1) идентификации композитных материалов;
2) информации о волокнах;
3) информации о матрицах;
4) информации о пресс-формах;
5) информации о препреге;
6) технологического процесса;
7) информации о детали;

Элементы данных для идентификации полимерных композитов заносятся в таблицы.

Таблица 1 – Элементы данных для идентификации полимерных композитов

Номер	Наименование элемента данных	Тип элемента данных или стандартный набор данных	Категория, значение или единица измерения	Уровень требований
1	2	3	4	5

Согласно ГОСТ 32588-2013 полимерные композиты обладают следующими показателями свойств [2]:

1) физико-механическими;
2) физико-химическими;
3) стойкости к внешним воздействиям;
4) надежности;
5) дизайна.

Их необходимо разделить на три группы оперативные, переменные и постоянные данные. Оперативные данные будут зависеть от изменения какого-либо параметра среды, например, температуры. Переменные данные, как правило, изменяютсяво времени. Иногда они могут изначально иметь несколько разных значений. К таким данным относятся, например: фирма-производитель, стоимость и т.д. К постоянным данным относятся наименованиеполимерного композита, разработчик, описание, наименование исходных компонентов и т.д.

В соответствии с [1] полимерные композиты и изделий из них обрабатываются следующими методами:

1) лезвийная:
– раскрой ножницами;
– раскрой пилами;

– раскрой и обрезка специальными ножами с одной стороны;
– вырубка ножевыми штампами;
– фрезерование;
– точение;
– строгание;
– сверление, развертывание, зенкерование, нарезание резьбы;
2) абразивная:
– раскрой абразивными и алмазными кругами;
– шлифование;
– хонингование;
– притирка;
3) ультразвуковая:
– резка пазов и отверстий свободным абразивом;
– сверление отверстий алмазным инструментом;
4) лазерная:
– резка;
– прошивка отверстий;
5) гидравлическая:
– резка.

Данная классификация является открытой и может пополняться по мере совершенствования методов обработки.

Обрабатываемость полимерных композитов может определяться:
1) по скорости резания (при точении, лазерной и гидравлической резке и др.);
2) по силе резания при точении;
3) по шероховатости обработанной поверхности.

В качестве основной характеристики обрабатываемости следует принимать скорость резания. Силу резания при точении и шероховатость обработанной поверхности в качестве дополнительных характеристик обрабатываемости, имеющих факультативное значение. Результаты испытаний должны оформляться в виде протокола.

При определении обрабатываемости полимерных композитов точением результаты испытаний заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты испытанийпри определении обрабатываемости точением

Дата	№ испытания	Марка материала	№ заготовки	Твердость материала НВ	Индекс резца	Твердость режущей части HRC	Порядковый номер прохода	Диаметр обработки, мм.		Режим резания				Длина прохода, мм.	Время прохода, мин.	Стойкость резца, мин.	Примечания
								до прохода	после прохода	Скорость резания, м/мин.	Частота вращения, об/мин.	Глубина резания, мм.	Подача, мм/об.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Полученные результаты обрабатываются в логарифмическом масштабе в виде графика (рисунок 1). Линейная зависимость стойкости резца T от скорости резания V должна быть нанесена по экспериментальным точкам таким образом, чтобы рассеивание (при наличии рассеяния) экспериментальных точек было по возможности минимальным. Скорость резания

V_{60}, соответствующая 60-минутной стойкости резца, можно определить по графику рисунка 1 или по формуле 1.

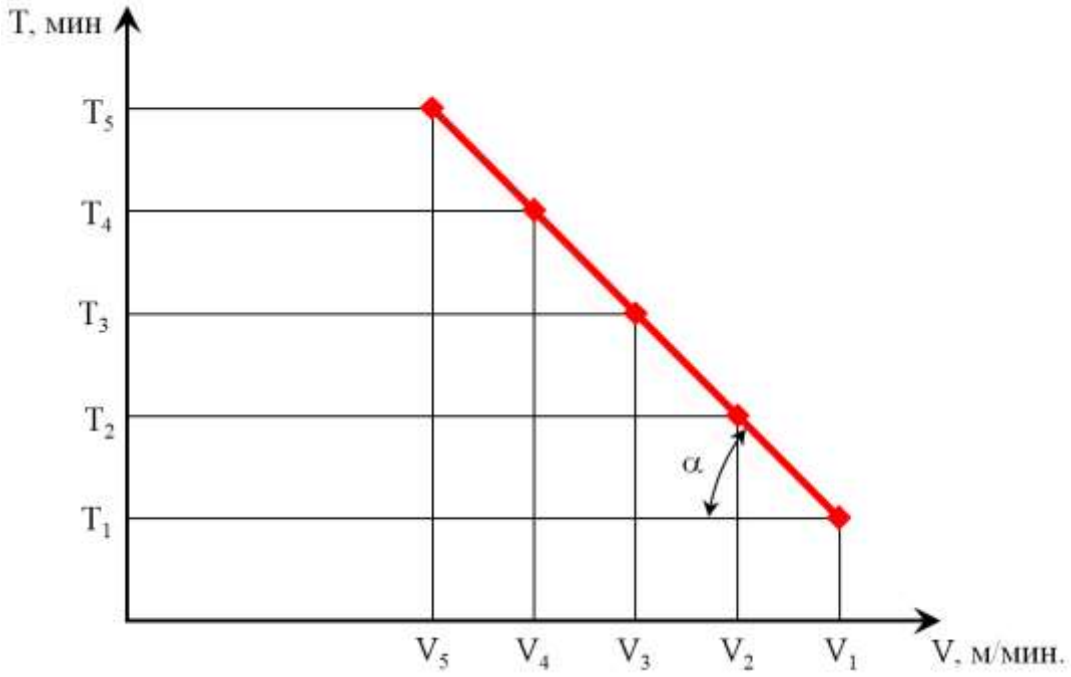


Рисунок 1 Зависимость стойкости резца T от скорости резания V

Приведенный на рисунке 1 график дает возможность установить параметры формулы, применяемой при расчетах скорости резания:

$$V = \frac{C}{T^{\frac{1}{m}}}, \text{ (м/мин)}, \qquad (1)$$

где C – постоянная величина, зависящая от свойств обрабатываемого материала;

m – показатель относительной стойкости резца.

Постоянная C определяется по графику рисунка 1 как значение скорости при стойкости резца, равной 1 мин. Показатель m определяется как тангенс угла α – наклона прямой T – V к оси абсцисс.

При определении обрабатываемости полимерных композитов по силе резания при точениирезультаты испытаний заносятся в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний при определении обрабатываемости по силе резания при точении

Дата	№ испытания	Марка материала	№ заготовки	Твердость материала HB	Индекс резца	Твердость режущей части HRC	Порядковый номер прохода	Диаметр обработки, мм.		Режим резания			Длина прохода, мм.	Продолжительность испытания, мин.	Сила резания, Н.	Примечания
								до прохода	после прохода	Скорость резания, м/мин.	Частота вращения, об/мин.	Глубина резания, мм.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Испытания проводят для каждого испытуемого образца при оптимальной геометрии резца и скорости резания V_{60}, соответствующей 60-минутной стойкости резца (которую определяют по вышеизложенной методике). Силу резания измеряют через 1 – 2 минуты, после начала резания (при работе незатупившимся резцом).

При определении обрабатываемости полимерных композитов по шероховатости обработанной поверхности при точении результаты испытаний заносятся в таблицу 4. Обработку производят на нескольких скоростях резания (например V = 25, 40, 60, 80, 100 м/мин). С целью экономии материала обработке могут подвергаться специальные пояски на обрабатываемой поверхности, каждый на своей скорости резания.

Таблица 4 – Результаты испытаний при определении обрабатываемости по шероховатости обработанной поверхности при точении

Дата	№ испытания	Марка материала	№ заготовки	№ пояска на заготовке	Диаметр заготовки, мм.	Глубина резания, мм.	Подача, мм/об.	Скорость резания, м/мин.	Шероховатость, мкм.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

На основании результатов испытаний могут быть построены графики зависимостей продольной h_w и поперечной h_F составляющих шероховатости от скорости резания V.

Результаты и обсуждение

Представленный материал поможет в будущем создать обширную базу данных полимерных композитов, использование которой позволит повысит эффективность, качество и надежности работы при создании конкурентоспособной продукции во многих отраслях. Такая база данных со временем должна совершенствоваться, пополняясь как новыми материалами, так и новыми их параметрами.

Выводы

Перспективой дальнейшей работы является установление взаимосвязи между свойствами полимерных композитов и их обрабатываемостью. Это даст возможность на этапе создания новых полимерных композиционных материалов, наряду с эксплуатационными свойствами, прогнозировать параметры качества, достижимые современными методами размерной обработки и предотвратит образование дефектов.

Список литературы

1. Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы: строение, получение, применение: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 384 с.

2. ГОСТ 32588-2013. Композиты полимерные. Номенклатура показателей. – Москва: Стендартинформ, 2016. – 11 с.

3. ГОСТ 33742-2016. Композиты полимерные. Классификация. – Москва: Стендартинформ, 2016. – 6 с.

4. ГОСТ Р 56806-2015. Композиты полимерные. Идентификация полимерных композитов в электронных базах данных. – Москва: Стендартинформ, 2016. – 31 с.

5. Интернет-ресурс База полимерных материалов. https://materialdatacenter.plastinfo.ru/m-base/.

6. Интернет-ресурсKnowledgeBaseofRelationalandNoSQLDatabaseManagementSystems. https://db-engines.com/en/ranking.

7. Интернет-ресурсMaterialData Center. https://www.materialdatacenter.com/mb/.

8. Интернет-ресурсTotal Materiaсамая обширная база данных материалов в мире.https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=RU.

9. Марков А.М., Счиггел Н. Обеспечение качества изготовления деталей из композита // Инновации в машиностроении – 2017. С. 219-225. https://elibrary.ru/item.asp?id=29989022 (РИНЦ)

10. Российская отрасль СУБД продвигается на «слонах» // CONNECT. – 2017. – № 5-6.https://postgrespro.ru/blog/media/246549

11. Яблочников Е.И., Васильков С.Д., Фомина Ю.Н. Интегрированные технологии проектирования изделий из полимерных композиционных материалов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 2 (78). С. 109-113. https://elibrary.ru/item.asp?id=17755137 (РИНЦ)

12. Ярославцев В.М. 77-30569/361759 Высокоэффективные технологии обработки изделий из композиционных материалов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 4. С. 1-24. https://elibrary.ru/item.asp?id=18126568 (РИНЦ)

ANALYSIS OF MACHINING REGIMES AND THEIR INFLUENCE ON SURFACE ROUGHNESS WHILE HIGH-SPEED TURN-MILLING

Kryazhev Yu. A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor,
Andreev M.V., Graduate student,
Shituk A.A., Post-graduatestudent,

Kryazhev Yu. A., Andreev M.V.,Shituk A.A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

In article proposes the creation of the database of polymer composites for different profile specialists team automated work: designers, production engineers, materials engineers. This will ensure the effective creation and application of new polymer composites in the existing production.

Keywords: automatization, database, polymer composite, machining, cutting data.

УДК 629.3.001

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА SOLIDWORKS ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ МАШИН»

БАЛАШОВ А.В. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
АНАНЬИН С.В. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
ЧЕРДАНЦЕВ П,О. [1]*, канд. техн. наук, доцент*
Черданцев А.О. [1] *аспирант*
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Балашов А.В., Ананьин С.В., Черданцев П.О., Черданцев А.О.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: bavagtu@mail.ru
e-mail: fitib@mail.ru
e-mail: p004092@mail.ru
e-mail: hypertigr@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрена возможность применения программного комплекса SolidWorks для решения задач кинематического и динамического анализа в дисциплине «Теория механизмов и машин». Приведенный пример иллюстрирует различные аспекты исследования движения кулисного механизма. Использование в учебном процессе программного комплекса SolidWorks при изучении дисциплины «Теория механизмов машин» может значительно повысить качество обучения, интерес студентов, объём усвоенного материала и успеваемость по данной дисциплине.

Ключевые слова: моделирование, движение, анализ, кинематика, динамика, теория механизмов машин, кулисный механизм, программный комплекс SolidWorks.

Введение

В современных условиях проектирование механизмов машин невозможно без сквозного моделирования в автоматизированных CAD и CAE системах. Использование CAD и CAE систем многократно сокращает трудоемкость проектирования и повышает качество полученных решений. Одной из таких систем является программный комплекс SolidWorks. Программный комплекс SolidWorks имеет множество приложений и охватывает весь процесс проектирования —создание модели механизма, кинематический, динамический, тепловой, прочностной, частотный, газодинамический и др. виды анализа. При этом передача данных между CAD и CAE системами в программном комплексе SolidWorks происходит напрямую, без применения сторонних форматов, что значительно сокращает трудоемкость проектирования.

Учитывая сокращение учебных занятий по дисциплине «Теория механизмов и машин», связанное с переходом на учебные планы подготовки бакалавров, особое внимание следует обращать на содержание практических занятий и курсового проектирования. При использовании на практических занятиях программного комплекса SolidWorks студенты будут иметь большую возможность рассматривать частные случаи, и различные варианты построений механизмов машин.

Рабочими программами по дисциплине «Теория механизмов машин» для большинства программ подготовки бакалавров технических направлений предусмотрено курсовое проектирование, в том числе направленное на кинематический и динамический анализ

кулисного механизма. Кинематический и динамический анализ в программном комплексе SolidWorks может выполняться в приложении SolidWorks Motion. Для расчета движения звеньев механизма в SolidWorks Motion применяется полное кинематическое и динамическое моделирование. Приложение SolidWorks Motion можно использовать для вычисления сил в многозвенных механизмах с пружинами, демпферами, двигателями, фрикционными муфтамисучетом силы тяжести и эффекта трения. Результатами расчета могут стать: перемещение, скорость, ускорение, сила, момент сил, импульс, энергия, работа для выбранного звена механизма в необходимом положении.

Использование в учебном процессе программного комплекса SolidWorks при изучении дисциплины «Теория механизмов машин» может значительно повысит качество обучения, интерес студентов, объём усвоенного материала и успеваемость по данной дисциплине.

Описание теоретических исследований

Примером применения современных технологий программного комплекса SolidWorks может служить работа по проектированию кулисного механизма. Весь процесс проектирования и расчета выполнялся исключительно в среде SolidWorks.

Определить зависимости перемещения, скорости, ускорения точки D и вращающего момента на кривошипе от времени работы кулисного механизма, согласно рисунку 1 и таблице 1.

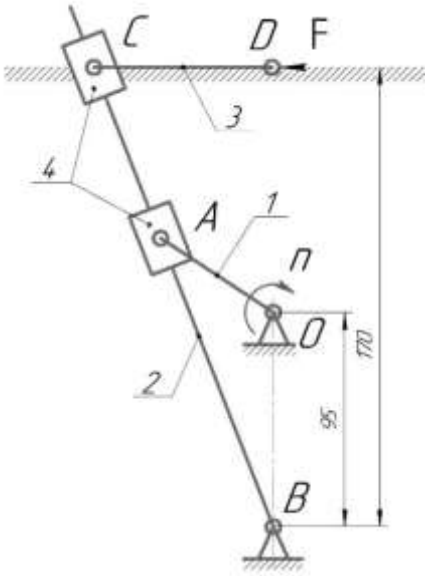


Рисунок 1 – Схема кулисного механизма
1 – кривошип, 2 – кулиса, 3 – ползун, 4 – кулисный камень

Таблица 1 – Исходные данные

Параметры	Обозначения	Значение
Размеры звеньев кулисного механизма, мм	L_{OA}	50
	L_{BC}	200
	L_{CD}	50
Массы звеньев кулисного механизма, кг	m_1	2,0
	m_2	6,0
	m_3	2,0
	m_4	0,5
Частота вращения кривошипа, мин$^{-1}$	n	50
Сила, действующая на ползун, Н	F	200

Для исследований необходимо создать полномасштабные блоки звеньев кулисного механизма, рисунок 2.

Рисунок 2 – Блок звена кулисного механизма

Далее в документе «Сборка» необходимо создать расположение звеньев кулисного механизма устанавливая их взаимосвязи: горизонтальный, вертикальный, перпендикулярно, параллельно, зафиксированный, коллиниарно, совпадение (рисунок 3).

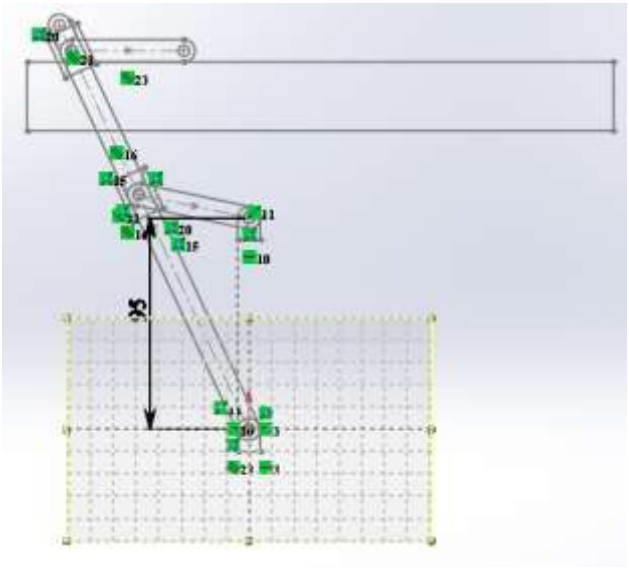


Рисунок 3 – Модель кулисного механизма

Для заданных исследований необходимо выбрать в приложении SolidWorks Motion в нижней части окна тип исследования – анализ движения.

Затем необходимо задать массы звеньев кулисного механизма (рисунок 4), если необходимо моменты инерции и центр тяжести звена.

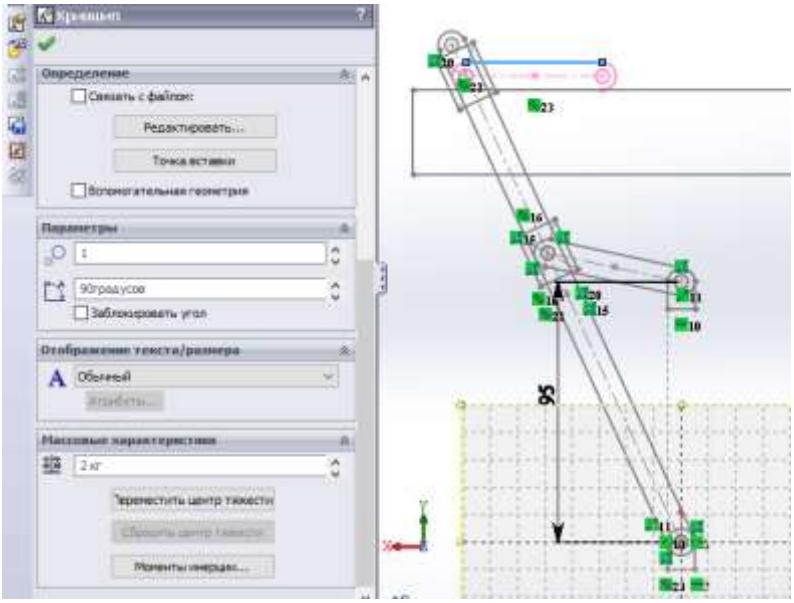


Рисунок 4 – Установка массы звеньев кулисного механизма

Для исследования движений следует выбрать двигатель вращения или линейный двигатель, (рисунок 5).

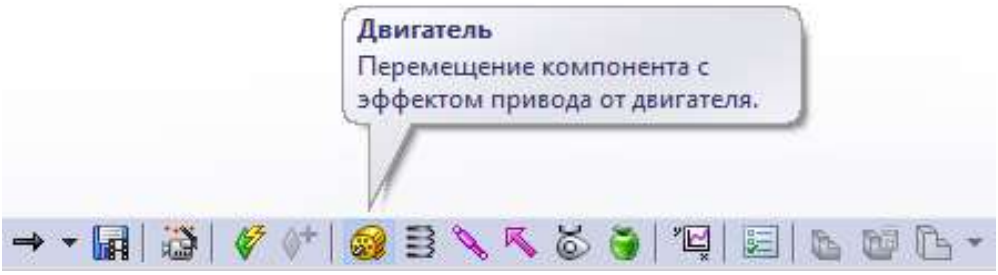


Рисунок 5 – Выбор источника энергии

Двигатель вращения имитирует крутящий момент (рисунок 6). При использовании этого типа двигателя следует указать элемент кривошипа, к которому приложен крутящий момент, и направление вращения кривошипа. Далее следует выбрать характеристику скорости вращения.

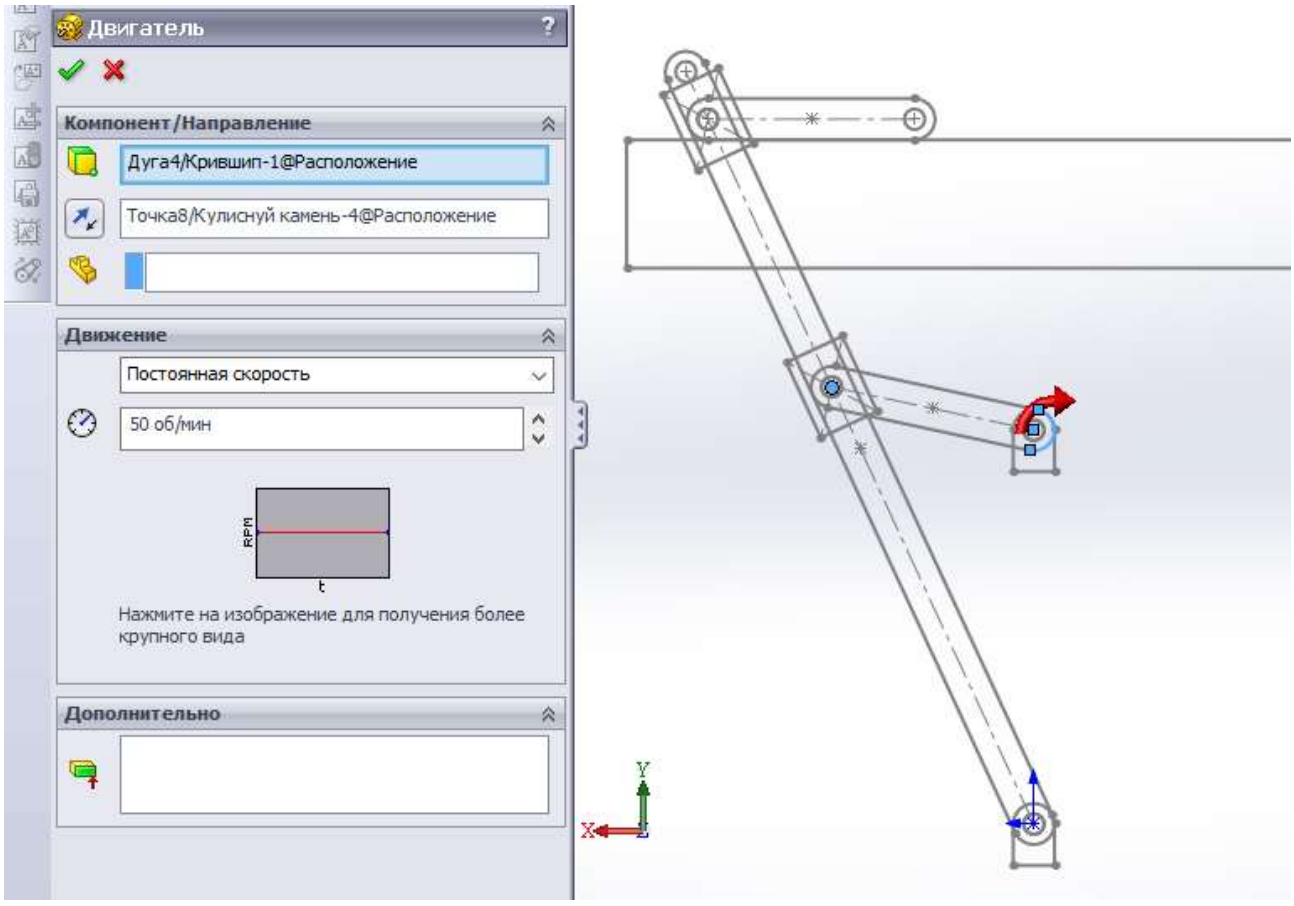


Рисунок 6 – Установка характеристик вращения

Далее необходимо в исследование добавить силу тяжести (рисунок 7), действующую по оси Y и силу, действующую на ползун.

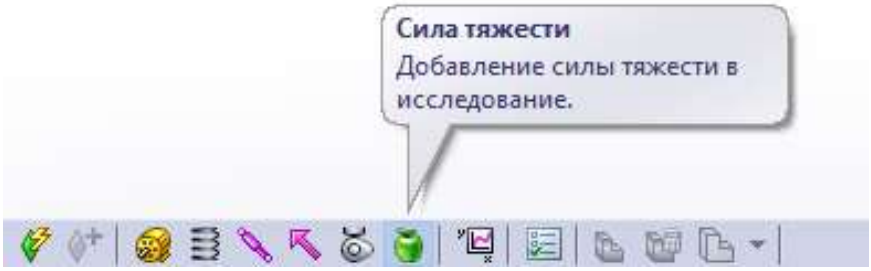


Рисунок 7 – Добавление силы тяжести

При этом имеется возможность добавления как постоянной, так и переменной силы (рисунок 8).

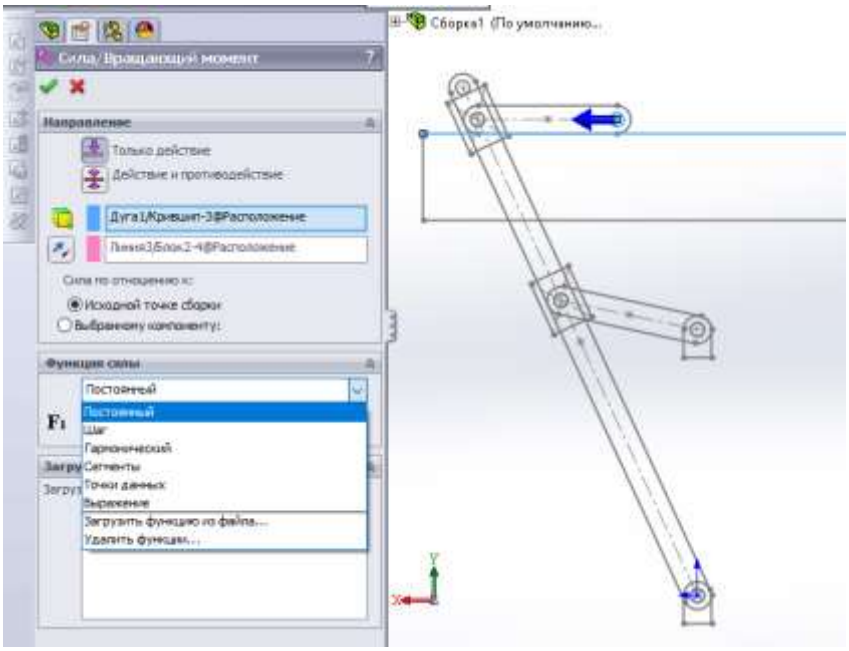


Рисунок 8 – Добавление силы

После указания характеристик следует провести расчет движения. На временной шкале отразится характер изменения параметров движения (рисунок 9) При необходимости можно в каждый интересующий исследователя момент времени установить ключевой кадр.

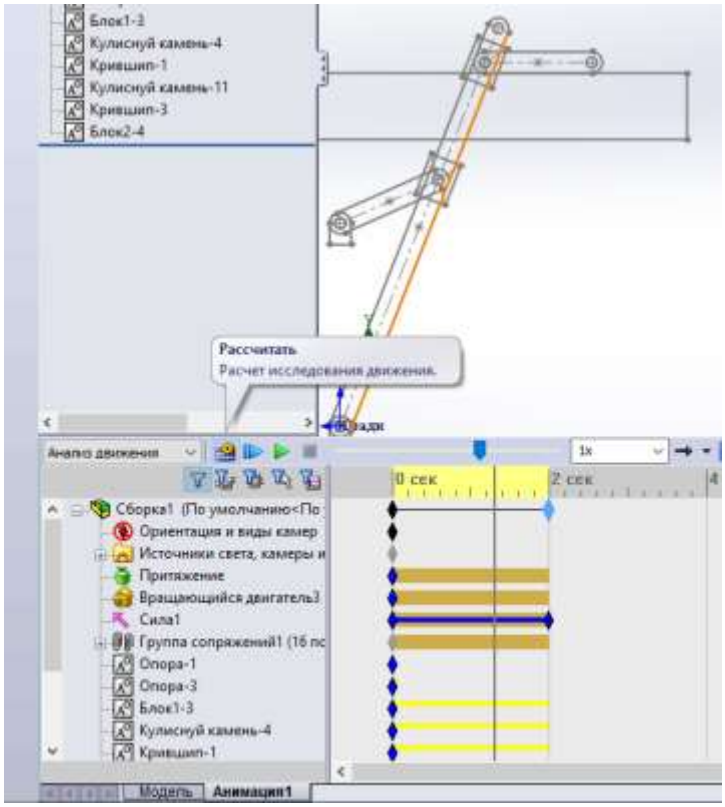


Рисунок 9 – Расчет исследования движения

Моделирующий комплекс обеспечивает возможность постарения графиков для различных характеристик движения, относящихся как к отдельным звеньям, так и ко всей

конструкции в целом. Для этого следует активировать кнопку представления результатов (рисунок 10) и указать (рисунок 11) характеристику движения, звено механизма, результат.

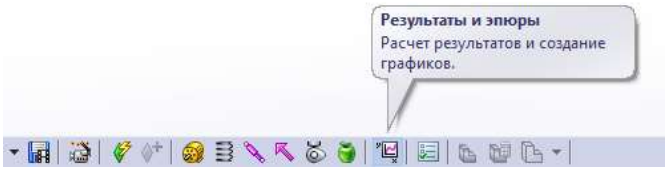


Рисунок 10 – Активизация вывода результатов исследования

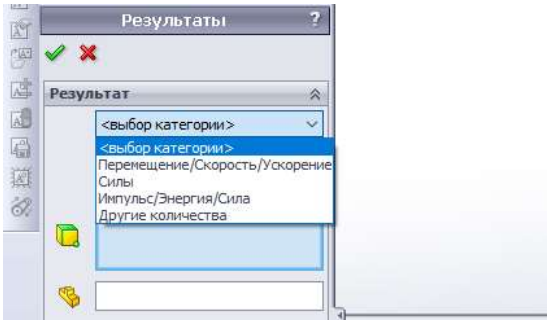


Рисунок 11 – Выбор категории исследований

Результаты и обсуждение

Результаты расчета перемещения ползуна по оси X показаны на рисунке 12. Здесь же показаны настройки вывода результатов.

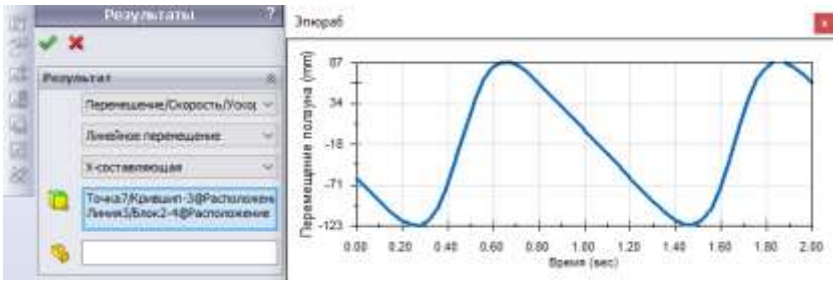


Рисунок 12 – Зависимость перемещения ползуна кулисного механизма по оси X от времени работы кулисного механизма

На рисунках 13, 14 и 15 показаны зависимости перемещения, скорости, ускорения точки D (рисунок 1) и вращающего момента на кривошипе от времени работы кулисного механизма

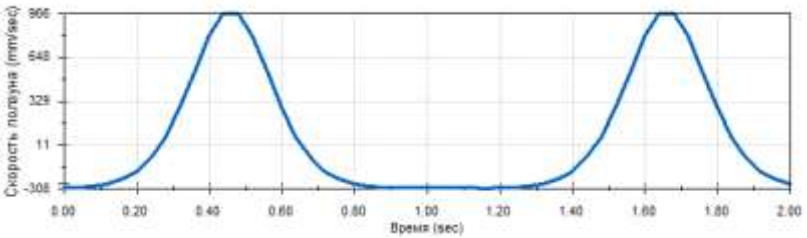


Рисунок 13 - Зависимость скорости ползуна кулисного механизма по оси X от времени работы кулисного механизма

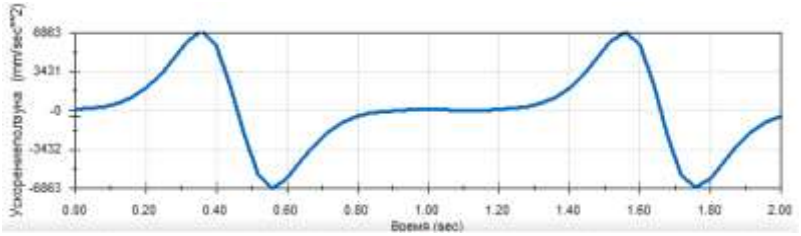


Рисунок 14 - Зависимость ускорения ползуна кулисного механизма по оси X от времени работы кулисного механизма

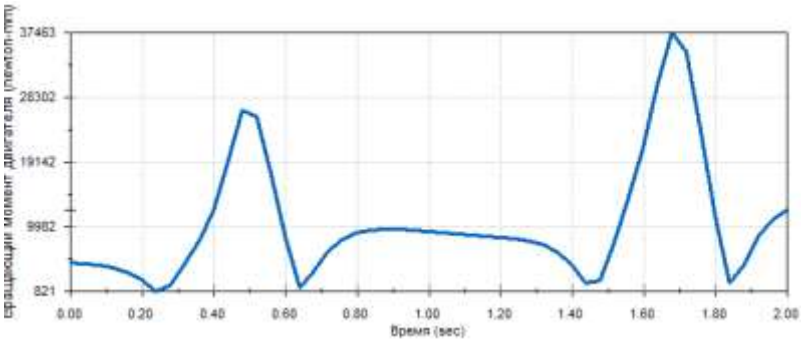


Рисунок 15 – Зависимость вращающего момента на кривошипе
от времени работы кулисного механизма

Выводы

Использование в учебном процессе программного комплекса SolidWorks при изучении дисциплины «Теория механизмов машин» может значительно повысить качество обучения, интерес студентов, объём усвоенного материала и успеваемость по данной дисциплине.

Приведенный пример исследования движений кулисного механизма показывает, что применение SolidWorks при изучении отдельных разделов дисциплины «Теория механизмов машин» позволяет более эффективно решать задачи, отраженные в ФГОС 3-го поколения.

Список литературы

1. Князьков В.В. Фазлулин Э.М. Геометрическое моделирование в SolidWorks. Известия МГТУ «МАМИ» №1(19), 2014, Т5. С. 170-176.

2. Дьячков Ю.А. Моделирование технических систем. Лабораторный практикум. / Ю.А. Дьячков, И.П. Торопцев. – Пенза: ПГУ, 2012 – 112 с.

USE OF A PROGRAM SET SOLIDWORKS DURING THE STUDY OF DISCIPLINE “THEORY OF THE MECHANISMS OF MACHINES”

BalashovA.V., PhD (Engineering), Associate Professor,
Ananin S.V., PhD(Engineering), Associate Professor
Cherdantsev P.O., PhD (Engineering), Associate Professor
Cherdantsev A.O., Post-graduate Student

Balashov A.V., Ananin S.V., Cherdantsev P.O., Cherdantsev A.O.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region, Russian Federation

Abstract

In the article is examined the possibility of applying the program set SolidWorks for the solution of the problems of kinematic and dynamic analysis in discipline “theory of mechanisms and machines”. Given an example illustrates different aspects of a study of the motion of link gear. Use in the training process of the program set SolidWorks during the study of discipline “theory of the mechanisms of machines” can it will considerably increase the quality of instruction, the interest of students, volume of the mastered material and progress on this discipline.

Keywords: simulation, motion, analysis, kinematics, dynamics, the theory of the mechanisms of machines, link gear, the program set SolidWork.

УДК 338.45

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМИРОВАНИЯМАТЕРИАЛЬНЫХ И ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

ДРОНОВА О.Б.[1], канд. экон. наук, доцент
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Дронова О.Б.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail:suholga.08@mail.ru

Анотация

В современных условиях в результате децентрализации ресурсов и полномочий на низшие уровни управления предприятием перераспределяется ответственность за нормирование ресурсов на уровень производственных участков.

Показатели результативности деятельности производственных участков отражают степень достижения запланированных результатов и представлены темпами роста показателей результативности команд процессов. Планирование материальных и трудовых ресурсов осуществляется с помощью нормативов затрат на проведение одного мероприятия. В этом случае используются способы прогнозирования материальных и трудовых затрат. Все это напрямую влияет на эффективность функционирования производственных предприятий и их ассортимент выпускаемой продукции, а также затрагивает не только вопросы нормирования, но и дает возможность повысить эффективность решения задач управления производственными ресурсами.

Ключевые слова: показатели результативности, материальные затраты, затраты труда, эффективность деятельности, производительность, ассортимент продукции, прогнозирование показателей деятельности

Введение

Одним из самых важных элементов работы любой компании или предприятия, на сегодняшний день, является управление ассортиментом. Внешняя среда создает условия, в рамках которых предприятия вынуждены постоянно совершенствовать не только технологию производства, но и систему управления [1]. Таким образом, компании повышают свою конкурентоспособность, усиливают эффективность деятельности. Исследования различных систем учета затрат становится необходимым, так как применение оптимального метода становится одним из эффективных способов совершенствования деятельности предприятия, в частности управления нормированием ресурсов.

Во времена СССР в условиях командно-административной экономики большое внимание уделялось материальных и трудовых затрат на предприятии. С целью совершенствования нормирования материальных и трудовых затрат осуществлялись научные разработки норм, создавались инструкции, а также подлежали регулярной модернизации нормы труда рабочих. Данное совершенствование приводило к постоянной корректировке количества рабочих и уменьшению производственных затрат. В целом главной целью предприятий и государства выступало увеличение объемов производства посредством сокращения затрат на его осуществление. Но все же все те результаты, которых удалось добиться в данный промежуток времени, были потеряны в 90-х годах при изменении политического строя государства, одним из последствий которого стало приостановление исследований в сфере нормирования труда. Основным методом работы производства в данном периоде времени стал «метод проб и ошибок», который зачастую приводил к большим

экономическим потерям предприятия. Безусловно, по истечении определенного времени рынок стал более развитым, появились законы, регулирующие рыночные отношение, а также значительно возросла конкуренция. Таким образом, перед предприятиями появилась проблема конкурентоспособности, одним из самых эффективных способов повышения которой выступает уменьшение себестоимости продукции и увеличение производительности труда, осуществление которых возможно посредством грамотной организации и нормирования труда работников [1].

Стоит отметить, что если во времена Советского Союза нормированием труда занималось исключительно государство, то при рыночной экономике данная обязанность перекладывается на предприятие. Грамотное нормирование труда становится одним из главных факторов эффективности работы предприятия и вследствие его конкурентоспособности. Таким образом, актуальность вопроса нормирования материальных и трудовых затрат обусловлена необходимостью решения проблемы конкурентоспособности российских предприятий, как на мировых, так и на отечественных рынках.

В настоящее время большинство российских предприятий применяют нормативы, несоответствующие современным требованиям и технологиям, использование которых приводит к производственным издержкам. При этом постоянная модернизация оборудования, оптимизация бизнес-процессов предприятия, новые технологии все это требует постоянного изменения нормативов. Также важно отметить, что в России используется устаревшие нормативы, а именно «Положение об организации нормирования труда в народном хозяйстве», утвержденном … в 1989 году. Не стоит отрицать полезность данного документа, но также важно считаться и с реальной ситуацией, которую диктует рыночная экономика, мировой опыт, а также внешние и внутренние особенности и факторы [2].

Прогноз временных затрат на производство номенклатуры изделий предприятия в условиях быстрой сменяемости ассортимента продукции машиностроения необходим и позволяет ему эффективно и обоснованно перераспределять свои ресурсы. Особенно значимой становится роль прогнозирования в ситуации внедрения нового изделия.

Термин «директ-костинг» был введен американским экономистом Д. Харрисом в 1936 г. и буквально переводится как «прямые затраты». В узком понимании, термин используется как метод исчисления себестоимости. В широком смысле – это способ организации управленческого учета [3].

Использование метода «директ-костинг» на предприятиях заключается в отделении постоянных расходов от переменных издержек. Ключевыми понятиями системы являются:

– постоянные затраты (не зависят от выпускаемой продукции);

– переменные затраты (находятся в прямой зависимости от объема выпуска, в сумме с постоянными затратами образуют общие затраты);

– маржинальный доход (разница между выручкой от реализации и переменными расходами).

Таким образом, метод «директ-костинга» включает в себестоимость только переменные затраты. Они подвергаются учету и планированию относительно производства. Постоянные затраты, при этом, вычитаются из прибыли в течение отчетного периода, в котором был произведен товар. На западе данный метод еще называют методом управления предприятием, подчеркивая единство анализа, учета и принятия управленческих решений.

Говоря о нашей стране, в последнее время «директ-костинг» приобретает все большее распространение и применяется в двух вариациях [4]:

1. Простой, предусматривающий учет финансовой и управленческой бухгалтерии отдельно друг от друга. Расчет себестоимости проводится только на основе прямых переменных затрат.

2. Развитой, предусматривающий объединение производственного и денежного учета, с расчетом себестоимости по прямым и косвенным переменным затратам.

Второй вариант является более полным, так как позволяет учитывать все виды переменных затрат, что позволяет более точно рассчитывать себестоимость продукции.

В расчете себестоимости используются следующие элементы учета расходов:

– по виду трат;
– по носителям затрат;
– по месту формирования расходов;
– затраты, за отдельно взятый период времени.

Однако главной проблемой в применении данного метода является сложность дифференциации расходов, так как на предприятиях нет четких границ разделения постоянных и переменных расходов.

Поэтому следует периодически пересматривать принципы разделения затрат, а также вычислять маржинальную прибыль (по отдельным видам производства и в целом по организации).

Для совершенствования методов управления ассортиментом руководством компании необходимо использовать не только традиционные подходы, суть которых заключается в нахождение оптимального ассортимента товаров по критерию максимизации прибыли. В таких подходах содержится ряд недостатков: подразумевается зависимость прибыли исключительно от внутренних ресурсов предприятия, что справедливо только при прочих равных условиях, без учета рынка, а также не учитывает различное поведение постоянных и переменных издержек при изменении объема продаж.

Поэтому необходимо сочетать эти методы с методом «директ-костинг», где в качестве критерия финансовой привлекательности используется маржинальный доход, который позволяет учитывать цели компании, ресурсы и внешние воздействия. На наш взгляд это верное решение, которое позволяет компании эффективно осуществлять свою деятельность на рынке, стабильно развиваться и получать прибыль.

Описание теоретических или экспериментальных исследований.

Ввиду того, что необходимо установить связь между изменением контролируемых показателей деятельности k-того производственного участка и внешней среды, выбор независимых переменных будет органичен. Он будет осуществляться из показателей контроля деятельности k-того производственного участка и влияния внешних процессов: инфляции, среднегодовой численности постоянного населения Алтайского края.

Корреляционный анализ позволит выделить существующие взаимосвязи и определить их направление между показателями. Приведем пример построения регрессионной модели для прогнозирования объема реализации по номенклатурной позиции «Ультратон». На первом этапе проведем первичную (общую) характеристику выделенных зависимых и независимых переменных. Объем реализации в шт. является показателем, характеризующим величину спроса на определенную продукцию, и в модели будет являться зависимой переменной. Как уже было отмечено выше, выбор независимых переменных будет осуществляться из показателей деятельности участка и внешней среды (таблица 1).

По результатам анализа данных, представленных в таблице 1, показатель объем реализации тесно взаимосвязан со всеми показателями деятельности. Причем связь прямая, чем больше значения показателей деятельности, тем выше объем реализации.

Для этого проведем анализ коэффициентов корреляции между отобранными факторными показателями (таблица 2).

С учетом устранения мультиколлинеарности для прогнозирования объема реализации по номенклатурной позиции «Ультратон» были отобраны следующие показатели:

– Стоимость приобретенного техоборудования в млн.руб.(коэф. корреляции 0,85);

– Количество клиентов, которым была предоставлена сервисная поддержка, чел. (коэффициент корреляции 0,8);

– Среднегодовая численность населения Алт. края, тыс.чел./100 (коэф. корреляции 0,84).

Так как на верхний предел изменения показателей результативности непосредственное влияние оказывает ограниченное состояние ресурсов организации, то для определения предела допустимого роста показателей деятельности необходимо решить задачу максимизации целевой функции: $\sum_{j=1}^{J_n^k} P_{jn}^k \to \max$ (1) при определенных ресурсных ограничениях.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции результативных и факторных показателей («Ультратон»)

Показатели деятельности производственных участков	Обозначение	Коэффициенты корреляции с показателем объема реализации в шт. (Y)
Время	t	0,96
Количество клиентов, у которых была оценена степень удовлетворенности $P_{клиент.}$	X1	0,93
Количество рекламных мероприятий $P_{рекл.}$	X2	0,98
Количество технологических изменений при производстве продукции $P_{тех.изм.}$	X3	0,91
Стоимость приобретенного современного техоборудования в млн.руб. $P_{тех.обор.}$	X4	0,85
Количество номенклатурных позиций товаров и услуг, подвергающихся проверке на соответствие стандартам качества, шт. $P_{кач.}$	X5	0,95
Количество клиентов, которым была предоставлена сервисная поддержка, $P_{сервис}$.	X6	0,8
Среднегодовая численность населения Алтайского края, тыс.чел./100 $K_{нас.}$	X7	0,84

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции факторных показателей

	Y	t	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
Y	1								
t	0,96	1							
X1	0,93	0,93	1						
X2	0,98	0,95	0,89	1					
X3	0,91	0,97	0,93	0,88	1				
X4	0,85	0,84	0,79	0,85	0,74	1			
X5	0,95	0,95	0,91	0,89	0,93	0,77	1		
X6	0,8	0,78	0,85	0,73	0,72	0,62	0,85	1	
X7	0,84	0,77	0,68	0,89	0,72	0,61	0,68	0,58	1

Расходы участка предприятия при составлении его бюджета включают только прямые затраты на изготовление.

Для составления бюджетов по проектам затраты по w-тому бизнес-процессу составляют перечисленные статьи расходов: «Оплата труда с начислениями»; «Материальные расходы»: сырье, материалы, полуфабрикаты, закупки основных средств.

Затраты на выполнение работ, формирующиеся в цехах предприятия (общепроизводственные затраты) и общехозяйственные затраты, включающие заработную плату АУП, связанные с содержанием и ремонтом помещений, на потребляемую тепловую и электрическую энергию, водопотребление и прочие коммунальные расходы, которые невозможно отнести на определенный вид изделия, составляют расходную часть общего бюджета предприятия. В случае, если участки действуют как самостоятельные бизнес-единицы, поступающие денежные средства от производственной деятельности подвергаются отчислениям на обеспечение данных статей расхода. В указанный процент заложен и налог на прибыль.

Условие бюджетного равновесия в случае, если на предприятии действуют k-тое количество производственных участков, на n-ный год рассматриваемого периода в формализованном виде можно представить:

$$\sum_{j=1}^{J_n^k}(З^{k}_{отjn} + З^{k}_{мрjn}) \le (\sum_{j=1}^{U^j} К^{k_j}_{цена_n} К^{k_j}_{объемреализ._n} - О^{k}_{рon}), \quad (2)$$

где $З^{k}_{отjn}$ - фонд оплаты труда и начислений на оплату труда k-того производственного участка за изготовление j-того изделия за n-ный год рассматриваемого периода, n =1,2….N,

$З^{k}_{мрjn}$ - материальные затраты k-того производственного участка за изготовление j-того изделия за n-ный год рассматриваемого периода,

$К^{k_j}_{цена._n}$ – цена j-того изделия, производимого k-ым участком за n-ный год рассматриваемого периода, n =1,2….N.

$К^{k_j}_{объемреализ._n}$ –объем реализации j-того изделия, производимого k-ым участком в n-ный год рассматриваемого периода, n =1,2….N,

$О^{k}_{рon}$ – отчисления k-того производственного участка на расходы предприятия в n-ный год рассматриваемого периода, n =1,2….N,

Планирование материальных затрат на n-ный год по k-тому производственному участку осуществляется с помощью нормативов материальных затрат на производство единицы j-той продукции ($Н^{мр}_{1P_j}$). Данные нормативы определяются на основе ретроспективных статистических данных по материальным затратам предприятия, которые имеют место в бухгалтерской отчетности[5]:

$$Н^{мр}_{1P_j} = \frac{Змр^{i}_{j(n-1)}}{P^{i}_{j(n-1)}}, \quad (3)$$

где $Змр^{i}_{j(n-1)}$ - материальные затраты предприятия на производство единицы j-той продукции в n-1 год.

$P^{i}_{j(n-1)}$ - показатель объема выпуска j-той продукции в n-1 год.

Таким образом, планирование материальных затрат k-того производственного участка с учетом индекса цен на n-ный год, по j-тому изделию производится по формуле:

$$З^{k}_{мрjn} = P^{k}_{jn} \cdot Н^{мр}_{1P_j} \cdot I_{цn}, \quad (4)$$

где P^{k}_{jn} - показатель объема выпуска j-той продукции k-того производственного участка на n-ный год,

$H_{1P_j}^{мр}$ – норматив материальных затрат на единицу j-той продукции,

$I_{цп}$ - индекс цен на n-ный год.

Фонд заработной платы k-того производственного участка на n-ный год по j-тому изделию $\Delta З_{omjn}^{k}$ рассчитывается исходя из трудоемкости работ и средней стоимости одного часа оплаты труда ($\overline{C_{1ч}}$):

$$З_{omjn}^{k} = Ч_{jn}^{k} \cdot H_{врj} \cdot C_{1ч}. \quad (5)$$

Аналогично материальным затратам, планирование затрат труда (количества работников, необходимого для изготовления единицы продукции), производится с помощью нормативов затрат труда $H_{1P_j}^{зт}$. Данные нормативы определяются на основе ретроспективных статистических данных по предприятию.

$$H_{1P_j}^{зт} = \frac{Ч_{j(n-1)}^{i}}{P_{j(n-1)}^{i}}, \quad (6)$$

где $Ч_{j(n-1)}^{i}$ - количество работников, привлеченных для изготовления единицы продукции в n-1 год.

$P_{j(n-1)}^{i}$ - показатель объема выпуска j-той продукции в n-1 год.

Таким образом, планирование человеческих ресурсов k-того производственного участка на n-ный год, по j-той продукции производится по формуле [5]:

$$Ч_{jn}^{k} = P_{jn}^{k} \cdot H_{1P_j}^{зт}, \quad (7)$$

где P_{jn}^{k} - показатель объема выпуска j-той продукции в n-ный год, шт.

$H_{1P_j}^{зт}$ – норматив затрат труда на единицу j-той продукции, чел.

Результаты и обсуждение.

На основании данных таблицы 1 линейное уравнение регрессии, характеризующее функциональную зависимость объема реализации по позиции «Ультратон» от выделенных факторных показателей, выглядит следующим образом:

$$Y^{*} = -5718{,}95 + 2945{,}26X_4 + 151{,}19X_6 + 420{,}99X_7, \quad (8)$$

где Y^{*}- показатель объема реализации в шт. по номенклатурной позиции «Ультратон» в n+1 год рассматриваемого периода,

X_4 – стоимость приобретенного современного техоборудования в млн.руб. при производстве номенклатурной позиции «Ультратон» в n год рассматриваемого периода,

X_6 – показатель количества клиентов, которым была предоставлена сервисная поддержка, чел., по номенклатурной позиции «Ультратон» в n год рассматриваемого периода,

X_7 – показатель среднегодовой численности населения Алтайского края, тыс.чел./100 в n+1 год рассматриваемого периода.

Таблица 3 – Результативный и факторные показатели

	Коэффициенты
Y-пересечение	-5718,95
X4	2945,26
X6	151,19
X7	420,99

Решение данного уравнения позволяет получить расчетным путем прогнозное значение показателя объема реализации по номенклатурной позиции «Ультратон» (Y^*) исходя из существующих условий.

Выводы

Задача прогнозирования показателей деятельности по каждой номенклатурной позиции может быть решена для производственного участка на каждый год и должна иметь целочисленное решение.

В неравенстве (2) в качестве независимых переменных выступают показатели результативности, так как через них можно выразить все составляющие данного неравенства:

– затраты на оплату труда через норматив затрат труда на единицу показателя деятельности $H_{1P_j}^{зт}$ и затрат труда на единицу j-той продукции $H_{врj}$;

– материальные затраты через норматив материальных затрат на единицу показателя деятельности $H_{1P_j}^{мр}$ и индекс цен.

Постоянными составляющими при решении задачи максимизации (1) на каждый n-ный год рассматриваемого периода в неравенстве (2) будут являться:

– цена реализации на n-ный год (определяется по функции прогнозирования);

– объем реализации (определяется по функции прогнозирования).

Список литературы

1. Брезгина, М.О. [Текст] Нормирование труда как фактор роста производительности труда: современное состояние и перспективы развития / М.О. Брезгина // Социально-экономические науки и гуманитарные исследования. – 2016. – № 11. – С. 80-83.

2. Постановление Минтруда РФ от 25.11.94 N 72 «Об утверждении Межотраслевых укрупненных нормативов времени по документационному обеспечению управления» [Электронный ресурс]. URL: http://www.zakonprost.ru/content/base/part/343367

3. Лапыгин, Ю., Прохорова Н. Управление затратами на предприятии. Планирование и прогнозирование, анализ и минимизация затрат [Текст]: учеб. пособие/ Ю.Лапыгин, Н. Прохорова. – М.: Изд.: Litres, 2017. – 1214 с.

4. Арутюнян, Ю.И., Тхакахова, М.О., Кузьмин, И.Д., Радченко, А.М. Теоретические основы системы «директ-костинг» [Текст] / Ю.И. Арутюнян и [др.]// Академическая наука - проблемы и достижения: Материалы XII междунар. науч. –практ. конф.. – Москва, 2017. – С. 188 -190.

5. Дронова, О.Б. [Текст] Методика выделения основных бизнес-процессов организации и проектирования организационной структуры управления / О.Б. Дронова// Вестник Алтайской науки. – №3. – 2013.-С.180-186.

IMPROVEMENT OF NORMATING OF MATERIAL AND LABOR RESOURCES OF THE ENTERPRISE

Dronova O.B., PhD (Economic), Associate Professor,

Dronova O.B.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenina Avenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation

Abstract

In modern conditions, as a result of decentralization of resources and authority to the lower levels of enterprise management, responsibility for rationing resources to the level of production sites is redistributed.

Performance indicators of production sites reflect the degree of achievement of the planned results and are represented by the growth rates of the performance indicators of the process teams. Planning of material and labor resources is carried out with the help of standard costs for one event. The increase in the efficiency of production activities occurs against the backdrop of a balanced growth of the enterprise, which includes the growth in turnover and market share through the formation of a competitive turnover structure, price policy and efficient use of resources. In this case, methods of forecasting material and labor costs are used. All this affects not only the issues of rationing, but also provides an opportunity to improve the efficiency of solving the tasks of managing production resources.

Keywords: performance indicators, material costs, labor costs, performance, productivity, product range, forecasting performance indicators

УДК 621.833.1.01

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

ДЬЯЧЕНКО А.Г.[1], канд. техн. наук, доцент,
САВОСТИНА Т.П.[1]ст. преподаватель,
([1]ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Дьяченко А.Г., Савостина Т.П.

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1,
Донской государственный технический университет,
e – mail: kovtanya@yandex.ru

Аннотация

В данной статье приведена разработка методологического использования параметризации в образовательном процессе. Данная методика позволяет сократить время на проектирование однообразных деталей, на выходе получить форму отчета, с выполненными расчетами и поясняющими картинками, получить параметрическую 3-D модель и чертеж данной детали. Использование данной методики нашло применение в курсовом проектировании по дисциплине «Основы конструирования и детали машин», на практических занятиях при изучение данного раздела. Студенты в процессе работы получают навыки проектирования параметрических моделей.

Ключевые слова: проектирование, параметризация, зубчатое колесо, вал, чертеж.

Введение

В современных условиях существенную роль при проектировании играет расширение возможностей проектировщиков, заключающееся в использовании современных программных продуктов [1], позволяющих активно влиять на процесс разработки различных объектов машиностроения для получения оптимальной конструкции на стадии проектирования [2].

Актуальность данной работы связана с тем, что при использовании встроенного модуля в программных продуктах «T-Flex» [3] и «КОМПАС-3D» для построения трёхмерной модели вводятся такие исходные данные [4], что спроектированные зубчатые передачи будут получаться только мелкомодульные. Из-за этой ограниченности их не рекомендуется использовать в учебном процессе.

Предлагаемая методика расчета зубчатой передачи устраняет вышеуказанный недостаток и рекомендуется к использованию в курсовом проектировании по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» [5] и «Конструкторская подготовка производства» [6]. Автоматизация процесса проектирования и получения расчетных данных [7] актуальна в современном мире, позволяет сократить время на проектирование и внесение своевременных корректирующих мероприятий на стадии проектирования. Использование САПР позволяет не только получать конструкторскую документацию, но и управляющие программы для станков ЧПУ [8].

Цель настоящей работы заключалась в предложении методики проектирования зубчатой прямозубой шестерни как объекта исследования с использованием параметризации в «КОМПАС-3D» и Excel.

Задачами данной работы являлись:

– создание параметрической трёхмерной модели шестерни;

– на основании построенной модели создать чертёж шестерни;

– при помощи Excel создать файл внешних данных с подключением базы данных со справочной литературой;

– провести расчёты созданного объекта с возможностью корректировки данных для получения оптимального результата.

Для реализации поставленной цели с помощью КОМПАС-3D была создана параметрическая модель шестерни. Все диаметры, высота и ширина шпоночного паза, были заданы буквенными значениями, которые получают внешние значения для построения конкретной трехмерной модели прямозубой шестерни. Особенностью для построения модели является задание шага зубьев через угловое значение, принятое как 360 градусов разделенное на число зубьев и 8. Построение восьми вспомогательных линий из центра шестерни с таким углом между двумя соседними линиями, позволяет определить точки пересечения с диаметрами вершин, делительным и впадин, соединение которых дают профиль зуба (рис.1).

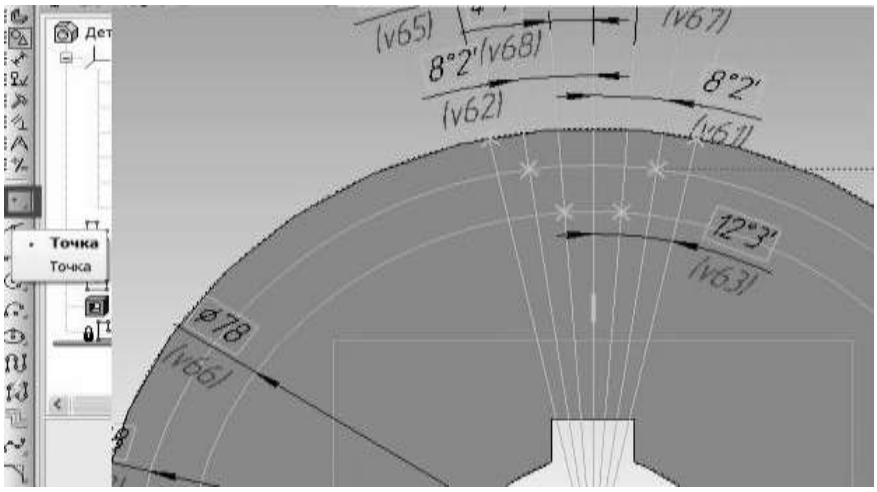


Рисунок 1 Создание профиля зуба шестерни.

Выдавливая полученный профиль зуба относительно оси, равное числу зубьев, получаем параметрическую трехмерную модель прямозубой шестерни (рис.2).

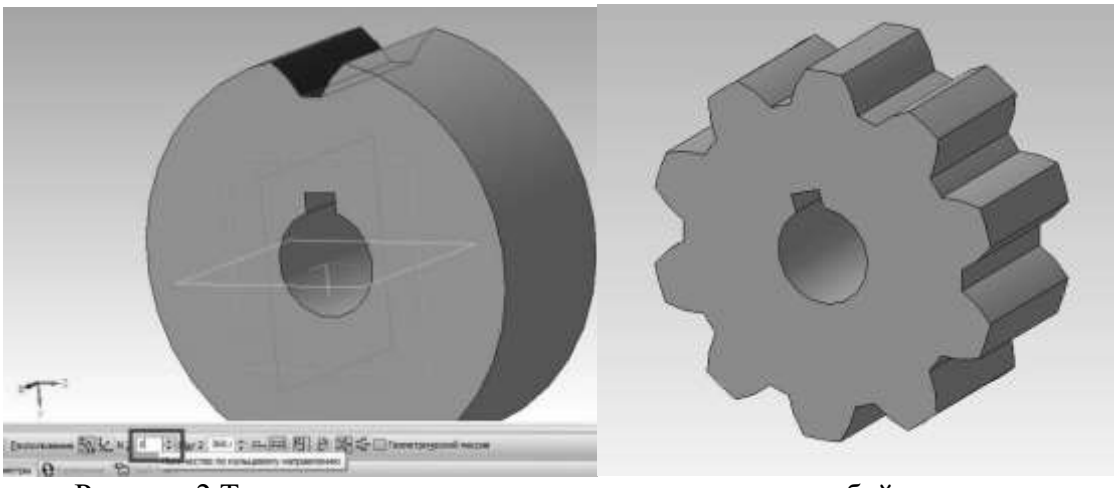


Рисунок 2 Трехмерная параметрическая модель прямозубой шестерни.

Файл внешних данных MS Exel представляет собой расчет цилиндрической прямозубой пары шестерни и колеса. Исходными данными для расчета и определения всех характеристик зубчатой пары являются: число зубьев, передаточное отношение передачи, модуль, который предлагается выбрать из выпадающего списка и является стандартным рядом, заложенным заранее и диаметр посадочного отверстия шестерни и колеса. Расчёт выполняется автоматически при изменении любого параметра из исходных данных, а также автоматически

выбирается шпоночный паз, который зависит от диаметра посадочного отверстия (рис.3). Полученный расчёт возможно распечатать и вложить в пояснительную записку.

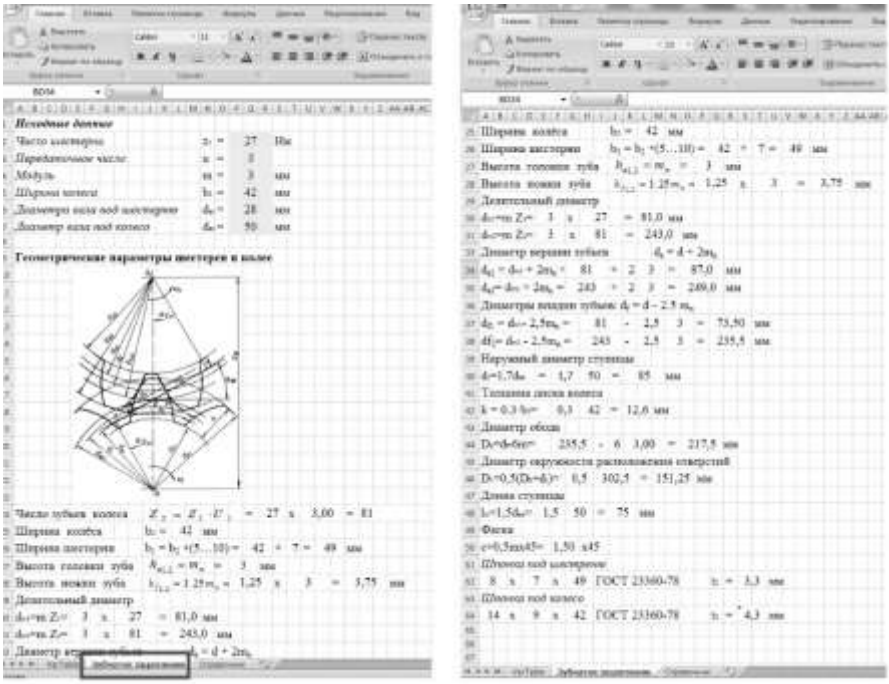


Рисунок 3 Файл внешних данных Exel.

В КОМПАС-3D используя внешние данные из Exel, которые сведены в отдельную таблицу, обновляем трехмерную модель по новым данным. Получаем новую трехмерную модель шестерни (рис.4).

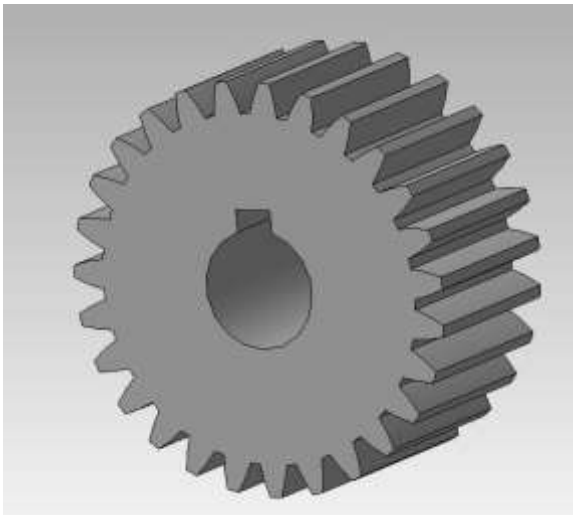


Рисунок 4 Перестроенная трехмерная модель по расчетным данным Exel.

С помощью функции создать Чертеж в КОМПАС-3D создаем чертеж данной шестерни. Указываем необходимые виды и сечения, проставляем размеры, шероховатости, допуски и посадки и получаем готовый чертеж шестерни (рис.5).

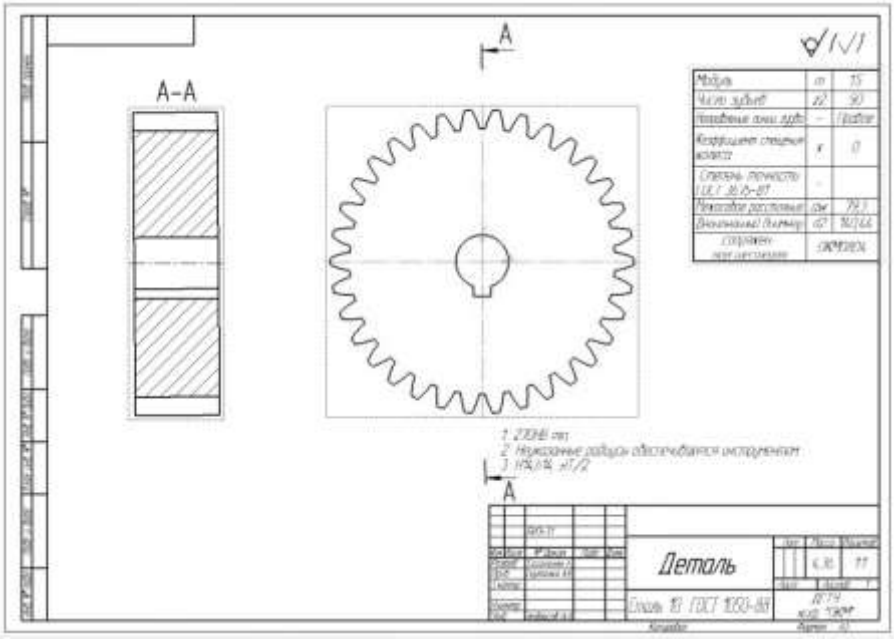


Рисунок 5 Чертеж прямозубой шестерни.

При необходимости можно легко изменить какие-либо исходные данные, которые использовались в расчете, автоматически пересчитываются все параметры шестерни, обновляя данные в КОМПАС-3D получаем новую скорректированную трехмерную модель прямозубой шестерни. Открыв чертеж шестерни, предлагается его обновить и автоматически получаем обновленный чертеж по новым скорректированным данным.

Результаты данной работы можно использовать в учебном процессе:

– в качестве практических занятий по курсам «Детали машин», «Детали машин и основы конструирования», «Конструкторская подготовка производства», «Основы проектирования» и «САПР технических систем»;

– при курсовом и дипломном проектировании;

– для формирования отчётов проектировочных и конструкторских разработок и т.д.

Список литературы

1. Партко С.А. Проектирование планетарных передач в отечественных CAD/CAE АРМ WINMACHINE И КОМПАС-3D/С.А. Партко //В сборнике: Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) Материалы V Международной научно-практической конференции. 2017. С. 552-556.

2. Савостина Т.П. Оптимизации профиля среза транспортирующего устройства от величины секундной подачи/ Т.П. Савостина, Б.И. Саед //Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 18. №4(91). С. 44-49.

3. Кушнарев В.И. Оптимальный вариант конструкции мотор-редуктора/ В.И. Кушнарев, Т.П. Савостина, Е.К. Куприянов //В сборнике: Новая наука: техника и технологии международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 78-80.

4. Кушнарев В.И. Выбор оптимального варианта экспериментальной конструкции двухступенчатого мотор-редуктора / В.И. Кушнарев, Т.П. Савостина // В сборнике: Инновационные технологии в науке и образовании (ИТНО-2017) Материалы V Международной научно-практической конференции. 2017. С. 151-154.

5. Дьяченко А.Г. Разработка конструкции подающего устройства для цилиндрических деталей / А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина, М.В. Колпаков //В сборнике: Инновационные материалы и технологии сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 11-13.

6. Дьяченко А.Г. Модернизация конструкции захватывающего устройства для цилиндрических деталей / А.Г. Дьяченко, Т.П. Савостина, Е.Г. Двоежилов // В сборнике: Инновационные материалы и технологии сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. С. 13-15.

7. Антибас И.Р. Моделирование профиля среза транспортирующего устройства/ И.Р. Антибас, Т.П. Савостина // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сборник статей 11-й международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш - 2018". 2018. С. 40-42.

8. Сиротенко А.Н. Отечественный модуль токарной обработки САПР "КОМПАС 3D" в обучении созданию управляющих программ для токарных ЧПУ / А.Н. Сиротенко, С.А. Партко //В сборнике: Инновационные технологии в науке и образовании "итно-2016" Сборник научных трудов международной научно-методической конференции. Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования "Донской государственный технический университет"; Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства". 2016. С. 398-402.

METHODOLOGICAL FEATURES OF USING PARAMETERIZATION IN THE DESIGN

Dyachenko A. G., Ph. D. (Engineering), Professor,
Savostina T.P., Senior Lecturer,

Dyachenko A. G., Savostina T.P.

344000, Rostov-on-don, Gagarin square, 1,
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation,

Abstract

This article describes the development of the methodological use of parameterization in the educational process. This technique allows to reduce time for design of monotonous details, to receive the report form, with the executed calculations and explaining pictures, to receive parametric 3-D model and the drawing of the given detail. The use of this technique has found application in the course of designing on the subject of "Fundamentals of design and machine parts", in practical classes in the study of this section. Students in the process of obtaining skills in designing parametric models.

Keywords: design, parameterization, gear, shaft, drawing.

УДК 621(571.150)

ОБЪЕМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛТАЙСКОГО КРАЯ В ЦИФРАХ

МЯГКОВА Н.А.[1], канд.экон. наук, доцент,
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Мягкова Н.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: kafedra-n@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследования темпов роста производства в машиностроении, представлены в динамике затраты на результаты исследований и разработок. В статье отражаются фактические данные с использованием различных источников, среди которых бухгалтерская отчетность, статистические данные. Приведенные результаты анализа фактических данных позволяют делать выводы о месте Алтайского края среди сопоставимых показателей по России. Кроме того, приведена динамика одного из ключевых показателей анализа - индекс производства.

Ключевые слова: машиностроение, промышленное производство, результаты исследований и разработок, объем производства, индекс производства

Введение

Машиностроение является базовой отраслью экономики. Инновационный подход к развитию технологий расширяет перспективы машиностроения, способствует выпуску новых видов конкурентоспособной продукции. В данной статье проанализированы фактические данные, характеризующие темпы роста машиностроительного производства в Алтайском крае.

В целом общая ситуация по уровню развития промышленного производства в Алтайском крае оценивается следующим образом. Темпы роста промышленности в крае за последние двенадцать лет выше и среднероссийских, и среднесибирских: выпуск промышленной продукции вырос в 1,7 раза (по России – в 1,2 раза, по Сибири – в 1,6 раза). В течение данного периода развивались как традиционные отрасли – вагоностроение, коксохимическая, химическая промышленность, сельхозмашиностроение, так и новые отрасли – биофармацевтика. Во многом динамичному развитию отдельных видов экономической деятельности способствовали сформированные кластерные объединения. В условиях «санкционных» ограничений дополнительные возможности развития получила «традиционная» отрасль края – пищевая и перерабатывающая промышленность: в 2006-2017 годах объем производства в данной сфере вырос в 1,8 раза при среднероссийском значении - в 1,5 раза. При этом существенное влияние на динамику развития отрасли оказали открытие новых и модернизация действующих производств, внедрение инновационных технологий на предприятиях перерабатывающей промышленности [1].

На долю машиностроения и металлообработки приходится около 21% всего промышленного производства края. Машиностроительная промышленность Алтайского края представлена более, чем 30 крупными предприятиями, крупнейшие из которых представлены ниже [2]. В качестве одной из характеристик предприятий будут рассмотрены затраты на исследования и разработки. Данный вид затрат отражает завершенные научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы. Однако не все среди

приведенных предприятий имеют данную статью расходов по причине особенностей отраслевой принадлежности и особенностей организации производственного процесса.

ОАО «Алтайвагон» - крупнейший производитель подвижного состава, производит почти 50% продукции машиностроения Алтайского края, около 20% вагоностроительного рынка России. Согласно данным бухгалтерской отчетности, результаты исследований и разработок на данном предприятии составили в 2015 г. 85 141 тыс. руб., в 2016г. 90 665 тыс. руб. [3], причем заметна динамика увеличения представленных затрат.

ОАО ХК «Барнаульский станкостроительный завод» - предприятие оборонной промышленности, производитель боеприпасов и промышленной продукции (тали, промышленный цепи, станки). Согласно данным бухгалтерской отчетности, результаты исследований и разработок на данном предприятии отсутствуют [4].

ОАО ХК «Барнаултрансмаш» - предприятие, специализирующееся на конструировании и производстве судовых, промышленных, транспортных дизелей. Согласно данным бухгалтерской отчетности, результаты исследований и разработок на данном предприятии составили в 2015 г. 13 070 тыс. руб., в 2016г. 3 266 тыс. руб. [5].

ПК «Сибэнергомаш» - осуществляет производство паровых, водогрейных, энергетических котлов, вентиляторов и дымососов, входит в состав ГК «Энергомаш». Согласно данным бухгалтерской отчетности, результаты исследований и разработок на данном предприятии отсутствуют [6].

ОАО «Бийский котельный завод» - осуществляет изготовление паровых и водогрейных котлов, котельно-вспомогательного оборудования для промышленной и коммунальной энергетики. Согласно данным бухгалтерской отчетности, результаты исследований и разработок на данном предприятии отсутствуют [7].

ООО УК «Алтайский завод прецизионных изделий» - крупнейший российский производитель распылителе й и форсунок для дизельных двигателей. Согласно данным бухгалтерской отчетности, результаты исследований и разработок на данном предприятии отсутствуют [8].

Далее в таблицах №№1-3 приведены выявленные в различных источниках статистические данные, связанные с объемами машиностроительного производства в Алтайском крае.

Фактические данные свидетельствуют о росте объема производства по указанным группам продукции машиностроения.

Таблица 1 – Производство электрического оборудования

	Январь 2017г. в % к январю 2016г. [9]	Январь 2018г. в % к январю 2017г. [10]
Производство электродвигателей, генераторов, трансформаторов и распределительных устройств, а также контрольно-измерительной аппаратуры, в том числе:		
установки генераторные с двигателями внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия, тыс. кВт	76,5	16,3
трансформаторы электрические, тыс. кВ А	115,3	126,5
Производство кабелей и кабельной арматуры, в том числе:		
проводники электрические, прочие на напряжении не более 1 кВ км	95,6	113.2

Одним из ключевых показателей анализа динамики является индекс производства, сущность которого состоит в том, что является относительным показателем, характеризующим изменение масштабов производства в сравниваемых периодах. Индекс промышленного производства в алтайском крае в январе 2017г. в % к январю 2016г. составил 118,5% индекс

промышленного производства по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых» 108,0%; индекс промышленного производства по виду деятельности «Обрабатывающие производства» 123,9%. [9].

Таблица 2 – Производство машин и оборудования

	Январь 2017г. в % к январю 2016г. [9]	Январь 2018г. в % к январю 2017г. [10]
Производство машин и оборудования общего назначения в том числе:		
краны мостовые, электрические	88,9	в 2,7 раза
производство прочих машин и оборудования общего назначения (тали и подъемники), шт.	в 2,1 раза	71,8
Производство машин и оборудования для сельского и лесного хозяйства, в том числе:		
плуги общего назначения, шт.	в 1,5 раза	21,8
тракторы для сельского хозяйства прочие, шт.	89,5	33,3

Таблица 3 – Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов

	Январь 2017г. в % к январю 2016г. [9]	Январь 2018г. в % к январю 2017г. [10]
Производство автотранспортных средств, в том числе:		
двигатели внутреннего сгорания для автотранспортных средств, шт.	113,3	5,9

Помимо увеличения темпов роста объема производства на машиностроительных предприятиях, перспективным направлением является функционирование в регионе кластеров. В их числе Алтайский кластер аграрного машиностроения (АлтаКАМ), в состав которого входят 29 организаций, в том числе 20 производственных предприятий, расположенные в г. Барнауле и г. Рубцовске, из которых порядка 70% субъекты малого и среднего предпринимательства, численность занятых на производстве – порядка 3 000 человек [11]. Основными целями данного кластера являются: развитие сельхозмашиностроения в Алтайском крае; обеспечение сельхозтоваропроизводителей современной высокопроизводительной техникой для ресурсосберегающих технологий; объединение интеллектуальных, производственных и финансовых ресурсов в сфере аграрного машиностроения Алтайского края для создания машин нового поколения в виде технико-технологических комплексов.

Алтайский кластер энергомашиностроения и энергоэффективных технологий (АЛТЭК) Первоначально кластер объединял 28 предприятий региона в г. Барнауле и г. Бийске [11]. Отраслями специализации кластера являются - производство энергетических агрегатов и вспомогательного оборудования различного назначения, комплекс работ и услуг по внедрению на предприятиях передовых разработок в области энергетики, передача и распределение электроэнергии, производство, передача и распределение пара и горячей воды (тепловой энергии), в т.ч. высокотехнологичные отрасли (производство машин и оборудования).

Выводы

В целом по приведенным фактическим данным формируется вывод о том, что объем производства машиностроительной продукции в Алтайском крае растет, причем темпы роста опережают общероссийские показатели.

Список литературы:

1. http://www.ap22.ru/paper/Altayskiy-kray-osnovnye-itogi-2006-2017-godov.html
2. http://www.metaprom.ru/regions/altay-krai.html
3. http://www.list-org.com/company/2364
4. http://www.rusprofile.ru/accounting?ogrn=1052202217539
5. www.list-org.com/company/217
6. http://www.rusprofile.ru/accounting?ogrn=1152224002853
7. http://www.list-org.com/company/5158/year/2015
8. http://www.rusprofile.ru/accounting?ogrn=1062223013160
9. Социально-экономическое положение Алтайского края. Январь 2017 года. Стат. докл./ Управление Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай. – Б., 2017. – 84 с. http://akstat.gks.ru
10. http://www.gks.ru/region/docl1101/IssWWW.exe/Stg/d1801/ii/1/1.2.htm
11. http://www.altkibd.ru/ackr/altayskie_klastery/
12. Маркин В.Б., Мягкова Н.А. Применение баллонов газотопливной системы из композиционных материалов (статья на англ. языке)// Central-Asian Material Science Journal-№1.-2015.-С.51-55.
13. Мягкова Н.А. Тенденции в мировых производственных технологиях малого бизнеса//Экономика. Сервис. Туризм. Культура (ЭСТК-2017): XIX Международная научно-практическая конференция: сборник статей / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 147с., С.138-139.
14. Мягкова Н.А. Обрабатывающие производства в цифрах//Наука и практика организации производства и управления (Организация – 2017): материалы международной научно-практической конференции /Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2018. – 271 с., С.143-145.
15. Мягкова Н.А. Об экономической подготовке бакалавров направления «Материаловедение и технология материалов»//Труды XIV Международной научной школы-конференции "Фундаментальное и прикладное материаловедение" / под ред. В. Б. Маркина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 176 с., С.83-86.

VOLUME MACHINE-BUILDING PRODUCTION OF ALTAI REGION IN FIGURES

Myagkova N.A., PhD (Economics), Associate Professor

Myagkova N.A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenin Avenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation

Abstract

Mechanical engineering is the basic branch of the economy. Innovations in mechanical engineering help to produce competitive products.The restrictions established by foreign countries help to develop the food industry of the region.More than 30 large enterprises of the Altai Territory are machine-building enterprises.In detail, six large machine-building enterprises are considered. This article reflects the growth rates of machine-building production, the dynamics of costs for research and development. The article uses actual data from various primary documents, such as accounting reports, statistics.The basis is statistics on the growth of industrial production over the past twelve years and in some areas for the past two years. The analysis of the actual data makes it possible to compare the data of the Altai Territory and Russia.

Keywords: mechanical engineering, industry production, results of research and development, volume of production, production index.

УДК 621(571.150)

О ПОСТАНОВКЕ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВО

МЯГКОВА Н.А.[1], канд.экон. наук, доцент,
([1]АлтГТУ, г. Барнаул, Россия)

Мягкова Н.А.

656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e – mail: kafedra-n@yandex.ru

Аннотация

Подготовка производства является важным этапом организации производственного процесса. Содержание и порядок работ по подготовке производства регламентируются государственными стандартами. Чтобы соответствовать этим требованиям, производителям необходимо использовать организационные данные и 3D-модели изделий и ресурсов для виртуальной проверки технологических процессов. В результате обеспечивается выпуск конкурентоспособной продукции с заданным уровнем таких показателей, как себестоимость, качество и сроки.

Ключевые слова: подготовка производства, инновационная продукция, цифровое производство, бережливое производство, моделирование производственных процессов.

Организация производства затрагивает комплекс работ, расчетов и методов, выявляющих оптимальные затраты всех видов ресурсов – материальных, трудовых, финансовых. Процесс организации связан с выявлением оптимального подхода в любой области, будет ли это касаться вопросов логистики, технологической подготовки производства, организации рабочего места и проч. Кроме того, все мероприятия по совершенствованию в рассматриваемой области направлены на сокращение всех видов потерь, помимо непроизводительных, которые априори должны быть устранены. Особую роль в данном контексте играет подготовка и освоение производства инновационной продукции. Именно эта стадия жизненного цикла изделия предполагает достижение запланированных технико-экономических показателей, таких как объем выпуска, проектная трудоёмкость и себестоимость.

Подготовка производства необходима для обеспечения выпуска конкурентоспособной продукции при исключении сбоев в процессе производства и включает следующие стадии:

– проведение исследований, связанных с подготовкой нового производства;
– проектирование новой и совершенствование выпускаемой продукции;
– технологическую подготовку производства;
– организационно-экономическую подготовку производства [1].

Цель подготовки производства состоит в создании технических, организационных и экономических условий, полностью гарантирующих перевод производственного процесса на более высокий технический и социально-экономический уровень на основе достижений науки и техники, использования различных инноваций для обеспечения эффективной работы предприятия.

Процесс подготовки производства опирается на использование соответствующей документации. Так, содержание и порядок работ по подготовке производства регламентируются государственными стандартами, одним из которых является ГОСТ Р 15-201-2000 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция

производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство» [2].

Кроме того, на различных этапах подготовки производства используются следующие комплексы:

Единая система конструкторской документации;

Единая система технологической документации;

Единая система технологической подготовки производства [1].

Современные технологии требуют создания изделий и производственных процессов повышенной сложности. В связи с этим, производители сталкиваются с задачами своевременного вывода изделий на рынок, не допуская морального износа и потери конкурентоспособности, на фоне оптимизации использования ресурсов. Кроме того, при продвижении инновационного изделия на рынок необходимо учитывать уровень затрат (себестоимость), обеспечить выполнение требований по качеству и срокам. Чтобы соответствовать всем требованиям, производители используют организационные данные и 3D-модели изделий и ресурсов для виртуальной проверки технологических процессов на этапе освоения производства.

Применение программного обеспечения является основой концепции «цифрового производства». Сегодня под «цифровым производством» понимается, прежде всего, использование технологий цифрового моделирования и проектирования как самих продуктов и изделий, так и производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла. По сути, речь идет о создании цифровых двойников продукта и процессов его производства, то есть изготовление изделия в виртуальной модели, включающей в себя оборудование, производственный процесс и персонал предприятия.

Совершенно очевидно, что облачные технологии, аддитивное производство и дополнительная реальность будут также влиять на развитие цифрового производства. Прогрессивные изменения будут происходить именно благодаря перечисленным выше технологиям.

Одна из основных задач цифрового производства: массовое производство продукции по индивидуальным заказам. Для этого на предприятии должны быть полностью автоматизированы все производственные процессы: конструкторская разработка, технологическая подготовка производства, снабжение материалами и комплектующими, планирование производства, изготовление продукции и сбыт. Необходимым условием при этом является создание на промышленном предприятии единого информационного пространства, с помощью которого все автоматизированные системы управления предприятием, а также промышленное оборудование могут оперативно и своевременно обмениваться информацией.

Решая задачи подготовки производства, моделирование позволяет:

– выявить и устранить несоответствия на ранних стадиях, что сводит затраты к минимуму и создает возможность их устранения в ходе моделирования;

– уменьшить потребность в физической отладке, при этом снижая время запуска автоматизированных систем;

- оценить изменения в процессах технологической подготовки производства с максимальной точностью;

– облегчить процесс проведения инженерных исследований с учетом эргономических факторов [3].

Однако, по мнению экспертов, степень цифровизации, по оптимистической оценке, не превышает 10-15% среди всех предприятий российской экономики [4].

В качестве примеров можно рассмотреть программное обеспечение системы DELMIA и Tecnomatix Siemens.

Современные инструменты системы DELMIA позволяют моделировать следующие процессы подготовки производства:

– разработка и проектирование оснастки;

– планирование процессов производства;
– разработка планировок;
– нормирование операций;
– моделирование процессов сборки;
– эргономический анализ;
– моделирование роботов и механизмов;
– моделирование станов с ЧПУ;
– моделирование цеховых потоков;
– планирование серийного производства;
– моделирование логики устройств;
– выпуск рабочих инструкций и руководств по эксплуатации [5]

Что касается Tecnomatix Siemens, данная система представляет собой полнофункциональный пакет решений для автоматизированной подготовки производства, объединяющий все технологические аспекты с разработкой изделия: от проектирования технологии изготовления до имитационного моделирования технологических процессов, контроля и собственно изготовления [6].

Пример интерфейса приведен на рисунке 1.

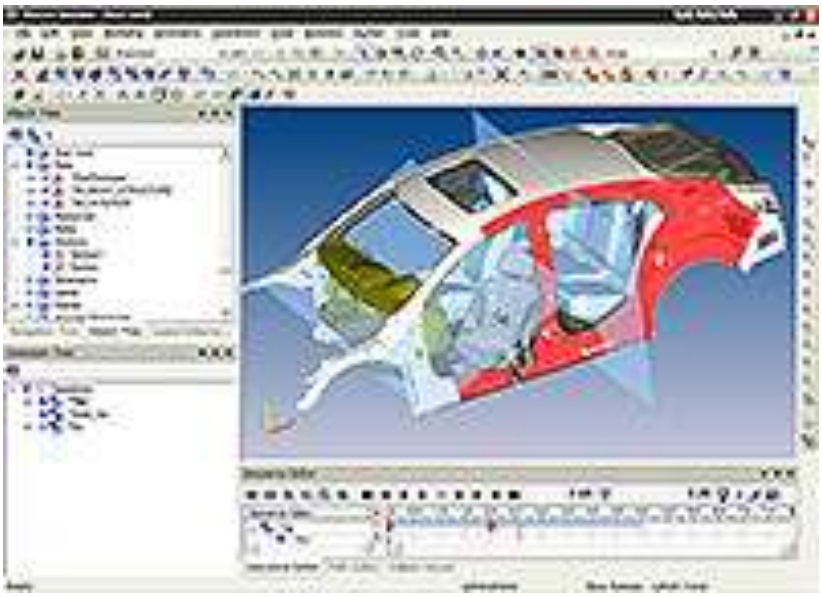


Рисунок 1 – Моделирование сборочных процессов и проверка работоспособности [6]

Решение Process Simulate обеспечивает проектирование и проверку производственных процессов в трехмерной динамической среде, полностью интегрированной в производственную систему, в рамках которой инженерам-технологам предоставляются методы повторного использования, разработки и проверки последовательности операций производственного процесса с реалистичным поведением и оптимизацией продолжительности цикла. Process Simulate распространяется на множество роботизированных процессов, обеспечивая моделирование производственных систем и их ввод в эксплуатацию.

Process Simulate значительно ускоряет время вывода изделия на рынок, позволяя производителю в виртуальной среде выверить концепции производства по всему жизненному циклу изделия.

Зарубежный опыт эффективной организации производства представлен системой «бережливое производство», которая представляет собой подход к управлению организацией, направленный на повышение качества работы и сокращения потерь. Этот подход распространяется на все аспекты деятельности – от проектирования до сбыта продукции [7].

Бережливое производство предполагает вовлечение в процесс оптимизации бизнеса каждого сотрудника и максимальную ориентацию на потребителя. В соответствии с концепцией «бережливого производства» всю деятельность предприятия можно классифицировать так: операции и процессы, добавляющие ценность для потребителя, и операции и процессы, не добавляющие ценности для потребителя. Следовательно, всё, что не добавляет ценности для потребителя, с точки зрения бережливого производства, классифицируется как потери, и должно быть устранено. Основными целями бережливого производства являются: сокращение затрат, в том числе трудовых; сокращение сроков создания продукции; сокращение производственных и складских площадей; гарантия поставки продукции заказчику; максимальное качество при определённой стоимости либо минимальная стоимость при определённом качестве [8].

Наиболее популярными инструментами и методами «бережливого производства» являются:

1. Картирование потока создания ценности (Value Stream Mapping) - графическая схема, изображающая материальные и информационные потоки.
2. Вытягивающее поточное производство - объёмы продукции на каждом производственном этапе определяются исключительно потребностями последующих этапов.
3. Канбан -организация непрерывного материального потока при отсутствии запасов: производственные запасы подаются небольшими партиями, непосредственно в нужные точки производственного процесса, минуя склад, а готовая продукция сразу отгружается покупателям.
4. Кайдзен — непрерывное совершенствование.
5. Система 5С — технология создания эффективного рабочего места.
6. Система SMED — быстрая переналадка оборудования.
7. Система TPM (Total Productive Maintenance) — уход за оборудованием.
8. Система JIT (Just-In-Time — точно вовремя).
9. Визуализация - размещение инструментов, деталей, тары и других индикаторов состояния производства, при котором каждый с первого взгляда может понять состояние системы - норма или отклонение.
10. U-образные ячейки -расположение оборудования в форме латинской буквы «U» [8].

Применение эффективных методов на начальных этапах жизненного цикла инновационной продукции с использованием возможностей цифрового, бережливого производства, позволяет осуществлять постановку инновационной продукции на производство с минимальными затратами при максимальной эффективности.

Список литературы:

1. https://www.inventech.ru/lib/predpr/predpr0054/
2. http://docs.cntd.ru/document/1200007102
3. https://www.plm.automation.siemens.com/ru/products/tecnomatix/manufacturing-simulation /index.shtml
4. http://www.up-pro.ru/library/information_systems/production/cyfra-russia.html
5. http://www.remmag.ru/admin/upload_data/remmag/09-4/DS2.pdf
6. https://www.plm.automation.siemens.com/ru
7. http://www.kpms.ru/General_info/Lean_Production.htm
8. https://www.src-master.ru/article25952.html
9. Мягкова Н.А. Об экономической подготовке бакалавров направления «Материаловедение и технология материалов»//Труды XIV Международной научной школы-конференции "Фундаментальное и прикладное материаловедение" / под ред. В. Б. Маркина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. – 176 с., С.83-86.

THE STATEMENT OF INNOVATIVE PRODUCTS FOR PRODUCTION

Myagkova N.A., PhD. (Economics), Associate Professor

Myagkova N.A.

Polzunov Altai State Technical University,
656038, Lenin Avenue, 46, Barnaul, Altai region,Russian Federation

Abstract

Preparation of production is an important stage in the organization of the production process.The maintenance and the order of works on preparation of manufacture are regulated by the state standards. In order to meet all requirements, leading manufacturers need to use organizational data and 3D models of products and resources for virtual verification of technological processes.As a result, production of competitive products with a given level of indicators such as cost, quality and timing is ensured.

Keywords: preparation of production, innovative products, digital production, lean production, modeling of production processes.

УДК 658.5.012.14

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В СРЕДЕ ARENA

БЕЛОНОГОВ В.А.[1], магистрант,
КУТЫШКИН А.В.[1], докт. техн. наук, профессор,
ШАШОК А.В.[2], канд. техн. наук, доцент,
([1]ЮГУ, г. Ханты-Мансийск, ХМАО-Югра, Россия,
[2] Рубцовский индустриальный институт, г. Рубцовск, Россия)

Белоногов В.А., Кутышкин А. В., Шашок А. В.

628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16
Югорский государственный университет
658207, Алтайский край, г. Рубцовск, ул. Тракторная, д.2/6
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова
e – mail: vladimir.belonogow@yandex.ru
e – mail: avk_200761@mail.ru
e – mail: avsh04081967@mail.ru

Аннотация

Рассматривается ряд аспектов имитационного моделирования технологических процессов машиностроения с использованием программных инструментальных средств поддерживающих данную методологию. Наиболее распространенные технологические процессы представлены как объекты для построения моделей в среде ARENA, реализующей методы теории массового обслуживания. Функциональные возможности пакета ARENA позволяют решать широкий перечень задач, связанных с организацией и управлением машиностроительным производством.

Ключевые слова: имитационное моделирование, машиностроение, дискретное производство, технологические процессы, ARENA

Введение

Технологические процессы (ТП) машиностроения можно отнести к категории «сложных» систем. Моделирования функционирования подобного вида систем в настоящее время достаточно широко используется подход, согласно которому на различных уровнях и этапах моделирования используются различные типы математических моделей. Это обеспечивает достижение своего рода компромисса между сложностью и адекватностью моделей и точностью моделирования функционирования технологического процесса, как сложной взаимосвязанной системы и ее ключевых подсистем, таких как технологическое оборудование, инструмент и приспособления, изготавливаемое изделие, средства автоматизации и механизации. Принято различать модели микро, макро и мегауровня, отличающиеся степенью детализации непосредственно объекта моделирования [1].

Математической моделью ТП на микроуровне чаще всего является система дифференциальных уравнений с заданными краевыми условиями. Однако, точное решение подобных систем удается получить лишь для частных случаев, поэтому в данной ситуации во главе угла стоит задача построения приближенной дискретной модели для численных исследований. В качестве математической модели ТП на макроуровне также выступает система дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями, построенными на основе сочетания компонентных уравнений его отдельных элементов с топологическими уравнениями, вид которых определяется связями между данными элементами. Для

технологических процессов с большим числом элементов необходима разработка математических моделей мегауровня. На мегауровне моделируют в основном две категории технологических процессов: процессы (системы), являющиеся предметом исследования теории динамических систем, и процессы, являющиеся предметом применения методов теории массового обслуживания, а также некоторых других стохастических методов моделирования сложных систем, например, методов дискретно-событийного моделирования. Для первой категории ТП возможно использование детерминированного или стохастического математического аппарата макроуровня, для второй же используют стохастические методы событийного моделирования.

Технологические процессы машиностроения как объект имитационного моделирования

Технологические процессы машиностроения, как объект функционального моделирования на мегауровне, в целом отвечают требованиям и ограничениям, которые обуславливают возможность использования методов теории массового обслуживания, среди которых можно отметить:

– заготовка/полуфабрикат, поступающая на обработку на операции ТП рассматривается как требование на обслуживание в многофазную систему массового обслуживания (МФ СМО);

– поступление заготовки/полуфабриката на обработку – требований на обслуживание достаточно корректно описывается теоретическими законами распределения случайных величин;

– под обслуживанием требования в МФ СМО, имитирующей функционирование ТП можно понимать получение в результате обработки детали с заданными показателями качества;

– операции ТП могут рассматриваться как фазы обслуживания в МФ СМО;

– линейный характер операций ТП, осуществляющих поэтапное формирование показателей качества выпускаемого изделия или детали;

– наличие обслуживающих приборов в каждой фазе МФ СМО в виде технологического оборудования и оснастки;

– регламентированную технологическим процессом дисциплину (технологическое/ операционное время обработки заготовки/полуфабриката, термомеханические и физико-химические режимы их обработки, фиксированную периодичность обслуживания, ремонта и замены технологического оборудования и оснастки и т.п.) обслуживания требований-заготовок/полуфабрикатов в системе массового обслуживания, моделирующей его функционирование;

– наличие экспериментального и теоретического обоснования использования для описания потоков отказов технологического оборудования, инструмента и оснастки известных законов теоретических распределения случайных величин, например, закона Вейбула [2];

– калькуляционный метод расчета себестоимости производимых изделий или деталей;

– практически постоянные удельные затраты используемых в рамках технологического процесса ресурсов для производства изделия или детали;

Как правило, основное внимание при моделировании МФ СМО функционирования ТП уделялось получению аналитических выражений для оценки таких показателей, как вероятность отсутствия отказов по показателям качества при завершении обработки исходной заготовки [3], вероятность безотказной эксплуатации технологического инструмента и оборудования [4], оценка оптимальных размеров партий запуска заготовок в производство по критериям минимума указанных выше показателей [5] и т.п. Вместе с тем, в настоящее время возрастает интерес к разработке именно имитационных моделей описывающих функционирование ТП, которые бы позволили реализовывать различные варианты организации технологического процесса, обусловленные изменением, как технологических

режимов обработки заготовок/полуфабрикатов, так и его самой структуры, например, за счет изменений типов используемого технологического оборудования, введения различных вариантов резервирования как оборудования, так и технологической оснастки, т.е. позволили бы решать задачи организации и управления производством (production management). Разработка и эксплуатация подобного типа имитационных моделей предполагают взаимодействие специалистов в области имитационного моделирования и непосредственно предметной области. Однако, наилучшие результаты в данном направлении, по мнению авторов, можно получить, когда специалист предметной области освоит специализированные проблемно-ориентированные программные средства, поддерживающие методологию имитационного моделирования систем, в том числе, и технологических процессов машиностроения.

Инструментальные средства имитационного моделирования технологических процессов машиностроения

В сфере имитационного моделирования систем можно выделить четыре основные парадигмы моделирования, применяемых в качестве каркаса при построении моделей: динамические системы, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, мультиагентные системы [6]. Существует целый ряд проблемно-ориентированных программных продуктов (ПрОПП), реализующих эти подходы:

1. Динамические системы (Matlab-Simulink).
2. Системная динамика (iThink, PowerSim).
3. Дискретно-событийное моделирование (ARENA, GPSS World).
4. Мультиагентные системы (AnyLogic).

Следует отметить, что данная классификация во многом является условной, т.к. современные интегрированные средства моделирования охватывают как динамические системы, так и системную динамику, дискретно-событийное моделирование и мультиагентные системы (например, AnyLogic).

К проблемам освоения отмеченных выше программных продуктов специалистами предметной области можно отнести:

– универсальность программных продуктов, обусловленная расширением классов решаемых задач за счет использования различных подходов и методов моделирования;

– наличие чрезмерно перегруженного интерфейса программных продуктов и сопутствующего понятийного аппарата, что усложняет приобретение практических навыков специалистами предметной области;

– достаточно высокие требования к теоретической подготовке специалистов предметной области в области имитационного моделирования;

– недостаточная функциональная интеграция с существующими CASE-средствами, поддерживающими стандарты/нотации функционального моделирования технических систем (IDEF, UML).

Наряду с отмеченными проблемно-ориентированными программными продуктами в настоящее время достаточно активно развивается использование узкоспециализированных продуктов таких, как например, Tecnomatix Plant Simulation [7,8]. Данный продукт при моделировании технологических процессов, в том числе и машиностроительного производства, использует методы теории массового обслуживания. Функциональные возможности данного продукта ориентированы на обеспечение взаимодействия с CASE-средствами, используемыми при проектировании изделий и технологических процессов их производства. Относительно узкая специализация снижает возможности интеграции данного продукта при решении более общих задач описания, моделирования и анализа бизнес-процессов, в которые технологические процессы производства изделий входят, как составная часть.

Среди перечисленных выше программных продуктов, по мнению авторов, менее всего отмеченные проблемы возникают при использовании ARENA Rockwell Software (USA) [9,10].

Это обусловлено тем, что данный инструмент изначально разрабатывался именно для решения задач в области организации и управления производства. Данный инструмент реализует методы теории массового обслуживания и дискретно-событийного моделирования. Пакет имеет понятный объектно-ориентированный интерфейс и обширные возможности по адаптации к различным предметным областям. В распоряжении пользователя имеются многочисленные наборы специализированных модулей (шаблоны), каждый из которых позволяет расширить возможности ARENA и превратить её в проблемно-ориентированную среду моделирования. Имеющиеся шаблоны можно модернизировать, а также создавать свои, что позволит перейти от абстрактных понятий методологии имитационного моделирования к терминам, принятым в конкретной предметной области. При этом на основе реализованного принципа иерархического построения моделей исследуемой системы можно постепенно дорабатывать исходную модель, по возможности максимально приближая её к оригиналу. При работе с моделью в большинстве случаев не требуется написания программного кода, что повышает простоту в использовании. Однако от пользователя требуются определенные знания теории вероятностей, математической статистики, а также систем массового обслуживания и сетей Петри, если данный аппарат целесообразно использовать для решения поставленной задачи. Пакет ARENA обеспечивает коммуникацию с пакетами AllFusion Modeller (BPwin) [11,12] и MSVisio[8], которые поддерживают нотации IDEF при решении задач, связанных с построением структурно-функциональных моделей технологических систем дискретного производства, в том числе и машиностроительной отрасли. Кроме этого имеется возможность интеграции с нотациями UML [13]. Функциональные возможности пакета ARENA обеспечивают возможность организации обмена данными с наиболее распространенными программными средствами первичного накопления и анализа данных о функционировании технологического процесса используемыми на практике. Возможна загрузка накопленных ретроспективных технологических параметров технологического процесса и его операций непосредственно в его разработанную модель. В результате моделирования функционирования технологического процесса машиностроения оцениваются его временные характеристики, возможные задержки (очереди) изготавливаемых деталей/полуфабрикатов на операциях (время пребывания в очередях и их размеры), загрузка технологического оборудования и его возможные простои и т.п. Таким образом, получают расчетные/модельные оценки практически всех показателей, используемых при организации и управлении производством.

Типовые задачи имитационного моделирования ТП

В связи с ограниченным объемом данной работы авторы ограничиваются описанием типовых задач имитационного моделирования технологических процессов машиностроения, решение которых возможно в среде пакета ARENA.

Моделирование функционирования технологического процесса, состоящего из нескольких последовательно выполняемых операций на различном технологическом оборудовании с использованием разнородного технологического инструмента и приспособлений. Т.е. моделируется функционирование ТП в варианте «ASIS». Каждая операция использует типовой набор ресурсов, начиная от затрат труда рабочего и заканчивая, указанным в ТП машинным временем обработки заготовки на данной операции. Модель может быть представлена как в виде одного процессного блока/шаблона, использующего весь перечень ресурсов, так и в виде совокупности отдельных шаблонов, описывающих функционирование отдельной операции. В последнем варианте каждый шаблон использует свой набор ресурсов, например, технологический инструмент, характеризующийся временем наработки на отказ. Все блоки «объединяются» такими ресурсами как технологические материалы, например, СОЖ, затраты на оплату труда рабочего и т.п. Таким образом, осуществляется моделирование механообработки заготовки/детали на технологическом оборудовании типа обрабатывающий центр. Результатами моделирования являются оценки

времени обработки как одной детали, так и определенной партии. Выявляются степень «загрузки» используемых ресурсов, оценивается общие затраты на изготовление детали, исходя из предположения, что данный параметр определяется калькуляционным методом. Развитие разрабатываемых моделей функционирования ТП предполагает:

– представление в качества используемого процессными блоками ресурса времени безотказной работы технологического инструмента и оснастки;

– учет принятых на производстве планов периодического осмотра, облуживания, наладки и ремонта технологического оборудования и средств автоматизации;

– введение операций контроля формируемых показателей качества изготавливаемых деталей в соответствии с принятой на производстве политикой/схемой мониторинга качества выпускаемой продукции.

Моделирование технологических процессов сборки узлов, и как следствие агрегатов и изделия в целом. Моделируется сборка на сборочных линиях и стапельная спорка изделий. В качестве допущения предполагается, что последовательность операций сборки с учетом конструктивных особенностей собираемого узла уже спроектирована и обеспечивает заданные показатели качества. Таким образом, непосредственно реализация операций сборки моделируется процессными блоками, настройки которых также учитывают «потребляемые» ресурсы, указанные в рассматриваемом технологическом процессе. Основное внимание уделяется моделированию подготовительных операций сборочного производства, ориентированных на обеспечение доставки деталей на операции сборки и формирование сборочных комплектов. При этом имеется возможность «упорядочивания» сборочных единиц/деталей в сборочном комплекте с учетом последовательности сборки соответствующего узла.

Моделирование транспортно-складских операций – операций производственной логистики ориентировано как непосредственно на операции складирования и упаковки готовой продукции с учетом размеров складских помещений и технических характеристик тары для упаковки, например, количества мест для размещения изделий в упаковке, так и на решение задач, связанных с организацией межоперационных складов промежуточного накопления и краткосрочного хранения деталей и полуфабрикатов для «расшивки» узких мест в организации производства, обусловленных его технологической спецификой и дисциплиной, например, наличием технологического оборудования с различной производительностью. При разработке моделей складирования, упаковки и отправки готовой продукции используются специализированные функциональные блоки, имитирующие работу специфического транспортно-складского оборудования, что является особенностью пакета ARENA.

Выводы

Имитационное моделирование технологических процессов машиностроения позволяет проводить симуляции их функционирования, что актуально для решения широкого спектра задач, связанных с организацией и управления производства данного вида. Использование проблемно-ориентированных программных продуктов, реализующих методологию имитационного моделирования, дает возможность привлекать к решению подобного рода задач специалистов предметной области не только в качестве консультантов при постановке задач и анализе получаемых результатов моделирования, но и как активных участников разработки и развития непосредственно самих моделей. Смещение акцента на использование программных продуктов более специализированной направленности, реализующих ограниченное количество методов имитационного моделирования, таких как ARENAили Tecnomatix Plant Simulation, позволяет в определенной степени снизить требования к разработчиками моделей в части теоретических знаний в области имитационного моделирования, что расширяет область применения методов имитационного моделирования при проектировании и сопровождении технологических процессов машиностроения и дискретного производства. Это в конечном итоге обеспечит повышение эффективности работы

систем автоматизированного управления, как технологическими процессами, так и производством в целом.

Список литературы

1. Мальков М.В., Олейник А.Г., Федоров А.М. Моделирование технологических процессов: методы и опыт// Труды Кольского научного центра РАН, 2010. № 3. С. 93 – 101.

2. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. - 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Изд.стандартов, 1989. – 224 С.

3. Шашок А.В. Прогнозирование надежности операций токарной обработки по показателям качества изготовляемой продукции //Вестник машиностроения, 2008. № 3. С. 41- 46.

4. Кутышкин А. В. Надежность технологических систем горячей объемной штамповки. Федер. агентство по образованию. - Барнаул: Изд-во АГУ, 2006. - 224 С.

5. Кутышкин А. В., Шашок А.В. Оценка оптимального размера партии заготовок с учетом надежности функционирования формообразующего инструмента// Известия Вузов. Машиностроение, 2005. № 2. С. 54-57.

6. Журавлев С.С. Краткий обзор методов и средств имитационного моделирования производственных систем // Проблемы информатики, 2009. № 3. С. 47-53.

7. Чижов М.И., Скрипченко Ю.С., Гусев П.Ю. Моделирование технологических процессов в TECNOMATIX PLANT SIMULATION// Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011. Т. 7. № 12-2. С. 18-20.

8. Демиденко Е.И., Сингатуллина Л.Р., Резина Л.Д., Туктамышев В.Р., Масленков С.А.Анализ возможностей моделирования технологического процесса производства в системе TECNOMATIX PLANT SIMULATION //Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации, 2016. Т. 1. С. 221-225.

9. Bradley A. ARENA. Users Guide, Sewickley: Systems Modeling Co., 2007. – 144 p.

10. Bradley A. ARENA Basic. Users Guide, Sewickley: Systems Modeling Co., 2007. – 84 p.

11. Степанов С.М. Исследование систем управления методами функционального и имитационного моделирования с использованием программного обеспечения «BPwin 4.1» и «Arena»: Учеб. метод. пособие. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2006. – 81 С.

12. Боковая Н.В. Моделирование производственных систем на основе интеграции CASE-средств и имитационных процедур // Программные продукты и системы. 2008, № 3, С. 43-45.

13. Teilans A., Merkuryev Y., Grinbergs A. Simulation of UML models using ARENA // 6th WSEAS International Conference on SYSTEM SCIENCE and SIMULATION in ENGINEERING, Venice, Italy, November 21-23, 2007, p.p. 190 –195.

IMITATION MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MACHINE-BUILDING IN ARENA

Belonogov V.A., Graduate student,
Kutyshkin A.V., D.Sc. (Engineering), Professor,
Shashok A.V., PhD (Engineering), Associate Professor

Belonogov V.A., Kutyshkin A.V., Shashok A.V.

Ugra State University,
628012, Chekhova str., 16, Khanty-Mansiysk,
Khanty-Mansiysk Autonomous okrug – Yugra, Russian Federation
Rubtsovsk Industrial Institute (branch) Polzunov Altai State Technical University,
658207, Rubtsovsk, Tractornay str., 2/6, Altai region, Russian Federation

Abstract

A number of aspects of simulation modeling of technological processes of mechanical engineering with use of software tools supporting this methodology are considered. The most common technological processes are presented as objects for building models in the ARENA environment, which implements the methods of queuing theory. Functionality of the ARENA package allows to solve a wide range of tasks related to the production management of machine-building production.

Keywords: simulation, mechanical engineering, discrete manufacturing, technological processes, ARENA

УДК 330.101.5

РАЗВИТИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩЕГО ИНЖЕНЕРА В НГТУ

НИЗОВКИНА Н.Г.[1], канд. экон. наук, доцент
([1]НГТУ, г. Новосибирск, Россия)

Низовкина Н.Г.

630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: nizovkina@corp.nstu.ru

Аннотация

Совершенствование образовательной деятельности университета направлено на кадровое обеспечение отраслей экономики, и заключается в разработке и внедрении современных образовательных технологий. Компетентностной подход в образовании проводится через нормирование и стандартизацию результирующих показателей освоения дисциплин. Контрольно-измерительные материалы строго формализованы. В статье рассматривается подготовка высококвалифицированных кадров, обладающих опытом коммерциализации научных разработок, возможность трудоустройства в инновационных структурах или создания собственного бизнеса, и связанная с этим поддержка областного правительства. Мероприятия и проекты в рамках экономических дисциплин для магистрантов технических специальностей ориентированы на создание мотивации к предпринимательству. В результате этих мероприятий созданы электронно-методические комплексы по ряду экономических дисциплин, которые объединены в Проект «Разработка и апробация взаимосвязанных компетентностно-ориентированных рабочих программ, адаптируемых к изменяющимся требованиям рынка труда». Ожидаемым результатом проекта является повышение мотивации/конкурентоспособности выпускников НГТУ по приоритетным направлениям развития техники и технологий. Автором ведется мониторинг условий и результатов компетентности ориентированного образовательного процесса, готовности выпускников университета к генерации и продвижению на рынок инновационных идей, формирование готовности студентов создать свой бизнес или работать в команде.

Ключевые слова: организационно-экономические компетенции, нормативный подход, бизнес-ориентированный подход, стандарты CDIO

Введение

Сегодня в системе высшего образования все основано на нормативном подходе к содержанию образовательного процесса, что подразумевает установление нормативов формирования и развития компетенций. Чем больше удельный вес обоснованных и количественно выраженных нормативов, тем выше организованность процесса образования. Усилия университетов по экономической подготовке инженеров отражаются на рефлексии сочетания разных дисциплин студентами. Вуз должен обеспечить приобретение компетенций студентами. Количественный диапазон - от двух до четырнадцати показателей сформированности компетенций. Структура учебной программы, компетенции преподавателей, педагогические подходы, присоединение к Болонскому процессу, соответствие квалификаций современным требованиям на рынке труда определяют практику. Для преподавателей инженерных дисциплин существуют стандарты CDIO [1], как комплексный проектно-ориентированный подход к инженерному образованию, автором которого является Эдвард Кроули.

Теоретическая база проблематики исследования – соединение бизнес-ориентированного подхода и стандартов CDIO

Разработка идей основоположников прагматической педагогики позволила сконструировать инновационную стратегию – бизнес ориентированный подход (Е.В. Василенко, И. Грэхем, В.Л. Тамбовцев, А.Г. Украинец и др.). В.Л. Тамбовцев является сторонником практического подхода к экономическому образованию. Теоретическое содержание экономической дисциплины для инженеров-магистрантов и академический стиль обучения не способствует активному вовлечению учащихся в предпринимательство. По его мнению, акцент следует делать на навыках [7, стр. 72.]. Данный подход позволяет решить задачу воспитания экономически активного и предприимчивого будущего специалиста. Основой данного подхода является освоение практических навыков ведения бизнеса. Студенты узнают о том, как предприниматель выбирает, планирует и ведет собственное дело, разрабатывают настоящие бизнес-планы, выбирают нишу для собственного бизнеса и создают креативные идеи для его развития. Практическая направленность вызывает у обучаемых активный интерес и желание реализовать свою предпринимательскую идею. Главная задача бизнес-ориентированного подхода - вовлечь студентов в рабочий процесс и помочь им в усвоении новой информации, что отвечает требованиям экономического воспитания, формирования экономической культуры, развитию умений пользоваться инструментами экономического выбора. В соответствии с бизнес-ориентированным подходом экономические знания представляют собой, прежде всего, элемент общей культуры человека. Основная задача профессионального экономического образования - не заставлять обучаемого запоминать определения и формулы, а научить его мыслить экономически. Важно сформировать у будущих специалистов представление о мире, адекватное рыночным принципам организации хозяйственной жизни, добиться понимания ее основных закономерностей и взаимосвязей. Развитие у студентов экономической культуры проявляется также в осознании себя полноценным членом общества с определенными правами и обязанностями. При таком подходе основной критерий качества преподавания - не способность студента решить ту или иную задачу на выпускном экзамене, а наличие у него багажа знаний и представлений о мире, который сохранится на многие годы, позволяя ему самосовершенствоваться и следовать актуальным тенденциям в мировой экономике.

Теоретическое обоснование предпринимательской подготовки

Современный университет должен способствовать развитию обучающегося и обучающего контингента и, конечно, развитию территорий, на которых он находится. Для этого необходимо научиться создавать предприятия. Некоторые авторы считают, что преподавать предпринимательство невозможно. [2], другие – наоборот, считают, предпринимательская мотивация может быть разработана с помощью специальных методик [3].

Наиболее часто применяемыми методами предпринимательской подготовки являются:

– Чтения,
– Обсуждение в классе,
– Бизнес-планы,
– Использование дел престижных предпринимателей,
– Приглашение местных предпринимателей читать лекции.
– Предпринимательская подготовка для инженеров –магистрантов должна состоять из различных независимых модулей. У J. Block, L. Hoogerherheide , RThurik предпринимательское намерение измеряется с помощью одного элемента [4] – это элемент «респонденты намерены стать основателями». Элемент «респонденты намерены стать основателями» измеряется с использованием 5-балльной шкалы Лайкерта (кодируется как 1=сильно не согласен и 5=сильно согласен). В нашем исследовании [6] такое намерение высказывали 32,1 % выпускников.

Структурные компоненты развития экономической компетенции будущего инженера

Процесс развития экономической компетенции будущего инженера включает такие структурные компоненты, как цель, содержание, формы и методы организации педагогического процесса.

Построение образовательного процесса в высшей школе на принципах бизнес-ориентированного подхода с сохранением соответствия требованиям государственных образовательных стандартов должно дать студентам возможность:

– понять суть экономических процессов, мотивы поведения экономических субъектов;

-выявить связь экономических и политических событий, экономические основания принятия политических решений на разных уровнях власти;

– выработать обоснованный подход к выбору соотношения между эффективностью и справедливостью;

-ориентироваться в текущих экономических событиях.

Помимо этого, задачами такого подхода в экономическом образовании являются: развитие общей экономической культуры; привитие функциональной экономической грамотности; формирование способности к развитию; формирование системы ценности и развитие индивидуальности; выработка практических навыков хозяйственной деятельности.

Реализацию указанной возможности обеспечивают основные содержательные линии экономического образования (базовые экономические концепции, механизмы микроэкономических процессов, макроэкономические проблемы, особенности экономического развития России, основные институты прикладной экономики). Освоение этих содержательных линий предполагает понимание будущими специалистами: смысла важнейших понятий и терминов, используемых для описания экономических процессов и явлений; устройства и принципов деятельности основных экономических институтов общества; влияния общих экономических процессов на условия жизни индивидуума и политику государства; фундаментальных закономерностей и ограничений, определяющих развитие экономических процессов в жизни общества; границ возможных решений и мотивов поведения индивидуума, деятельности фирмы и государства; преимуществ и слабых сторон рыночных механизмов и государственного регулирования при решении основных экономических проблем общества; особенностей функционирования основных типов рынков и их развития в условиях России; особенностей трансформации экономической системы России. Отличительной чертой применения бизнес-ориентированного подхода в образовании является его непрерывность и преемственность. Непрерывность предусматривает постоянное движение от простого к сложному, сочетание изучения экономических проблем с овладением знаниями других наук, культурой делового общения и поведения. Оно осуществляется за счет целесообразной совокупности путей, средств, способов и форм приобретения, углубления, расширения экономических знаний и умений, формирования экономического мышления, способности к деловому общению, воспитания инициативности, предприимчивости, творческого отношения к делу с целью получения запланированного конечного результата с наименьшими затратами всех видов ресурсов. Преемственность находит отражение в линейно-циклической структуре, где каждая из ступеней высшей школы, решая общие задачи экономического образования, имеет свои специфические функции, связанные с возрастными особенностями студентов и уровнем развития их экономической компетентности.

Содержание может быть определено в соответствии со стандартами CDIO, где перечислены организационно-экономические компетенции инженеров: определение потребностей потребителей и добавленной ценности, продумывание вопросов стратегии предприятия, разработка бизнес-планов.

Исходя из позиций бизнес-ориентированного [7] и междисциплинарного подходов, экономическая компетенция понимается как сложное, динамично развивающееся качество

личности студента, обеспечивающее успех в деятельности, и проявляющееся на субъективном уровне его деятельности в виде сложной системы.

Результаты мониторинга

Результаты мониторинга в первый год апробации проектного метода представлены в таблице. В опросе участвовало 74 студента.

Таблица – Результаты мониторинга в 2018 году (в процентах от опрошенных)

Дайте, пожалуйста, ответ в каждой строке знаком «+»	Хорошо знаю, имел дело, посещал	Знаю, но дела не имел, не посещал	Что-то слышал	Ничего не знаю
Знаете ли Вы о госпрограмме НСО «Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства в Новосибирской области на 2017-2022 годы»?	5,56	27,77	50	16,67
Знакомы ли Вы с инфраструктурой поддержки предпринимательства в Новосибирске (ГЦРП, бизнес-инкубаторы, центры молодежи инновационного творчества, частные промышленные парки)	11,11	50	16,67	22,22
Знаете ли про учебно-методическую поддержку в виде тренингов, семинаров, мастер- классов	41,18	29,41	17,65	11,76
Знаете ли про информационную поддержку в виде бизнес-навигатора	0	35,29	41,18	23,53
Знаете ли про финансовую поддержку в виде грантов начинающим субъектам и молодым ученым	17,65	70,59	5,88	5,88
Знаете ли про финансовую поддержку в виде субсидий на выставки, проценты по кредитам, лизинг и обновление основных фондов	11,76	35,29	29,41	23,54
Знаете ли про финансовую поддержку в виде субсидий фонда содействия инновациям	0	37,50	25,00	37,50
Знаете ли про имущественную поддержку в виде аренды площадей на льготных условиях	12,5	37,5	18,75	31,25
Знаете ли про консультационную поддержку в виде бесплатных консультаций по вопросам организации и ведения бизнеса, налоговому и бухгалтерскому учету, оформлению документов на получение поддержки и др.	11,76	47,06	35,3	5,88
Знаете ли начинающих собственный бизнес сейчас	33,33	11,11	27,78	27,78

Многие цифры полученной таблицы говорят о проблемах образования и ставят перед преподавателями конкретные задачи по внедрению практико- и бизнес -ориентированного подхода.

Выводы

Принятие принципа, согласно которому развитие и реализация жизненного цикла продукта, процессов и систем происходит в рамках “планирование, проектирование, производство, применение» - это философия проекта. Каждому преподавателю следует создавать основы новой дидактической концепции, связывающей показатели сформированности компетенций и практику образовательного процесса. Преподаватель задает проблемы, как серьезные и самостоятельно решаемые задачи, которые выполняются на двух уровнях: базовый уровень проекта, продвинутый уровень.

Список литературы

1. “The CDIO Initiative” Сайт проекта. www.cdio.org

2. H. Colette, F. Hill, C. Leitch (2005) The Effectiveness of Training for new businesses: A Longitudinal Study. International Journal for Small businesses, Sage Publication London

3. Vangelis Souitaris, Stefania Zerbinati, Andreas Al-Laham/ V Souitaris, S Zerbinati, A Al-Laham (2007) Do entrepreneurship programmes raise entrepreneurial intention of science and engineering students? The effect of learning, inspiration and resources: Journal of Business venturing 22 (4), 566-591]

4. V Souitaris, S Zerbinati, A Al-Laham Education and entrepreneurial choice: Evidence from an instrumental variables regression International Small Business Journal, 2013

5. Всемирная инициатива CDIO. Стандарты: информационно-методическое издание / Пер. с анг. и ред. А.И. Чучалина, Т.С. Петровской, Е.С. Куликиной; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 17с.

6. Низовкина Н.Г. Формирование профессиональной мотивации и востребованных компетенций у будущих инженеров/ Низовкина -Н.Г., Харченко И.И.// Современный ученый. – 2017. - №7. – с.172-176.

http://modernsciencejournal.org/release/2017/SU_2017_7.pdf

7. Тамбовцев В. Л. Нуждается ли промышленная политика в теоретических оправданиях // Вопросы экономики. — 2017. — № 5. — С. 21–37.

DEVELOPMENT OF ECONOMIC COMPETENCES OF THE FUTURE ENGINEER AT NSTU

Nizovkina N. G., PhD (Economics), Associate Professor

Nizovkina N.G.

630073, Novosibirsk, Russia, pr. K. Marx, 20,
Novosibirsk State Technical University,

Abstract

Perfection of educational activities of the University is in the development and implementation of modern educational technologies. Competence approach in education carried out through standardization of results development disciplines.The article deals with the training of highly qualified personnel with experience in the commercialization of scientific developments, employment opportunities in innovation structures or creating your own business. Activities and projects within the framework of the economic disciplines for undergraduates engineering focused on creating motivation for entrepreneurship. Because of these activities, we created methodical complexes on a number of economic disciplines, which combined in the project “Development of interrelated competence-oriented work programs, adapted to changing demands of the labor market”. The expected result of the project is to increase graduates competitiveness in priority areas of development techniques and technologies. Author realizes the conditions and results of competence-oriented education, willingness to university graduates to generate and promote innovative ideas, shaping students ' readiness to create business.

Keywords: organizational and economic competence, normative approach, business-oriented approach, standards CDIO