МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И.И. ПОЛЗУНОВА КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Т.Ф. ГОРБАЧЕВА БИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АЛТГТУ им. ПОЛЗУНОВА

# ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

## труды

# 4-ой МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Россия, г. Новосибирск, 2-4 октября 2013 года

НОВОСИБИРСК 2013 УДК 621:005.591.6(063) И665

#### Организационный комитет конференции:

#### Председатель Оргкомитета

Пустовой Н.В. – д.т.н., профессор, ректор НГТУ, г. Новосибирск

#### Члены Оргкомитета

Пантелеенко Ф.И. – первый проректор Белорусского национального технического университета, д.т.н., профессор, Республика Беларусь, г. Минск

*Вострецов А.Г.* – д.т.н., профессор, проректор по научной работе НГТУ, г. Новосибирск *Расторгуев Г.И.* – д.т.н., профессор, первый проректор НГТУ, г. Новосибирск

*Цой Е. Б.* – д.т.н., профессор, проректор по международным связям НГТУ, г Новосибирск

Батаев А.А. – д.т.н., профессор, проректор по учебной работе НГТУ, г. Новосибирск Блюменштейн В.Ю. – д.т.н., профессор, проректор по научно-инновационной работе КузГТУ, г. Кемерово

Марков А.М. – д.т.н., профессор, проректор по развитию АлтГТУ, г. Барнаул

*Овчаренко А.Г.* – д.т.н., профессор, декан МФ, зав. каф. «Производственная безопасность и управление качеством» БТИ (филиал АлтГТУ), г. Бийск

*Рахимянов Х.М.* – д.т.н., профессор, зав. каф. технологии машиностроения НГТУ, г. Новосибирск

Ситников А.А. – д.т.н., профессор, ректор АлтГТУ, г. Барнаул

*Татаркин Е.Ю.* – д.т.н., профессор, зав. каф. «Общая технология машиностроения» АлтГТУ, г. Барнаул

#### И665 Инновации в машиностроении: труды 4-ой Международной научнопрактической конференции г. Новосибирск, 2-4 октября 2013 / под ред. Х.М. Рахимянова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 388 с.

ISBN 978-5-7782-2313-4

В сборнике представлены труды 4-ой Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении», отражающие проблемы и перспективы развития инновационных технологий в машиностроении, а также организации и менеджмента машиностроительных производств и высшей школы.

#### УДК 621:005.591.6(063)

ISBN 978-5-7782-2313-4

© Коллектив авторов, 2013 © Новосибирский государственный технический университет, 2013



#### Уважаемые участники конференции!

Рад приветствовать Вас на 4-ой Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении»!

Проводимая по инициативе сибирских ученых-машиностроителей, совместно с Алтайским, Новосибирским, Кузбасским государственным техническим университетом и Бийским технологическим институтом, уже в 4-ый раз международная научно-практическая конференция подтверждает стремление к инновационному развитию машиностроении и экономики страны. В то же время, одним из условий инновационного развития страны является подготовка специалистов на уровне мировых квалификационных требований для развития экономики и решения задач страны, что не может быть реализовано без проведения подобных мероприятий.

Рождение и обсуждение новых интересных идей, новаторских решений по внедрению современных технологий в производство и образовательный процесс, происходящих в рамках данной конференции, позволит повысить как качество профессионального образования, так и поможет различным отраслям промышленности в решении поставленных перед ними задач.

Желаю участникам конференции плодотворной работы, успехов в научной, производственной и педагогической деятельности.

Ректор НГТУ, Председатель Совета ректоров вузов Сибирского федерального округа, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации

Пустовой Н.В.

Печать материалов проведена с оригиналов, представленных авторами

# СОДЕРЖАНИЕ

# СЕКЦИЯ Электрофизические технологии

ВЛИЯНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОМ ОБЛУЧЕНИИ	
<b>НА СИЛУ РЕЗАНИЯ</b> Моховиков А.А., Игнатьев А.С.	14
ДИНАМИКА ГАЗОВОГО ПОТОКА И ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА В ПРОЦЕССЕ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ Ситников А.А, Еськов А.В., Яковлев В. И., Назаров И. В., Собачкин А.В., Мадисон В. Р., Иванайский А. А.	19
ИСЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ARMCO В 10% ВОДНОМ РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ Гаар Н.П., Плитенецкий Д.А.	23
ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ-18 В 10% ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ХЛОРИДА НАТРИЯ И НИТРАТА НА- ТРИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЭЛЕКТРОЛИТА Гаар Н.П., Баранов П.А.	27
ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ-4 В 10% ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ХЛОРИДА НАТРИЯ, НИТРАТА НА- ТРИЯ И СУЛЬФАТА НАТРИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЭЛЕКТРОЛИТА Гаар Н.П., Костюк А.А.	30
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ЭАШ УДАРНЫХ ОБРАЗЦОВ Красильников Б.А., Головко Н.В.	35
ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ 12X18Н10Т МЕТОДОМ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ Рахимянов Х.М., Рахимянов К.Х., Рахимянов А.Х., Шопф С.В., Захаров В.В.	38
<b>МАРКИРОВКА МЕДИЦИНСКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ</b> ИМПЛАНТИРОВАНИЯ Рахимянов Х.М., Гаар Н.П., Белоусова Н.С., Журавлев А.И., Локтионов А.А.	44

ОБОСНОВАНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНСТРУМЕНТОВ ЛЛЯ	
МИКРО-ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ Любимов В.В., Волгин В.М., Сундуков В.К., Кувшинов К.В.	48
ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНЕ ВТ1-0 МЕТОДОМ ВНЕВАКУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ Ленивцева О.Г., Чучкова Л.В., Волкова К.В.	53
ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДУКТОРА И КОНЦЕНТРАТОРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О.	55
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК Радченко М.В., Нагорный Д.А., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б.	59
ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА И ДИАГНОСТИКИ МОСТИКОВ ТРУБНОЙ РЕШЕТКИ БАРАБАНОВ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ Смирнов А.Н., Князьков В.Л., Абабков Н.В.	64
ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В., Вахрушев Н.В., Коробкин Д.Э.	69
ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ СПЛАВОВ ЖС6У И ЖС6У+ТіС Саяпова В.В.	72
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ РАСТВОРЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ Янпольский В.В., Козич Т.В.	74
СЕКЦИЯ ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБ И ОБОРУДОВАНИЕ	отки
АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВКЛАДЫШЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ИМИТАТОРОВ ТВС Красильников Б.А., Кашин А. В.	80
АНАЛИЗ ПЕРФОРАЦИИ ОТВЕРСТИЙ В ЛИСТОВОМ МЕТАЛЛЕ Гончаренко С.В., Смагин Г.И., Жиляев П.В.	82

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ И КАЧЕСТВА СФОРМИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ Анзыряев Р.А.	85
ГОЛОВКА РЕЖУЩАЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ РЕЗКИ МЕДНОЙ ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБКИ Рахимянов Х. М., Красильников Б. А. , Леонтьев И. А.,Никитенко М. И.	89
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА Беломыцев В.В., Ромашев А.Н., Абанин В.А., Перепелкин П.В., Десятов Н.И.	92
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ Хоменко В.А., Леонов С.Л., Витвинов М.К.	97
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ Ромашев А.Н., Беломыцев В.В., Дубаносов А.В., Кудрявцев А.С.	102
ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3Г71 Пушнин В.Н., Вахрушев Н.В., Мережко Е.В., Корнев Д.Ю., Скиба В.Ю.	107
<b>МАРКИРОВКА ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ СВС</b> Смагин Г.И., Корчагин М.А., Яковлев Н.Д., Мешанова Д.А.	112
<b>МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАКАРОННОГО ТЕСТА</b> Подгорный Ю.И., Скиба В.Ю., Мартынова Т.Г., Кузнецов А.С., Бредихина А.Н., Древецкий Н.С.	120
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СТАНКОВ С ЧПУ Виртц А.С., Ромашев А.Н.	125
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ РЕГУЛЯРНЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ Леонов С.Л.	130
ОБ УЧЕТЕ ПОДАТЛИВОСТИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА В АЛГОРИТМЕ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ Поляков А.Н., Гончаров А.Н.; Марусич К. В.	134

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ	138
Вдовин А.В., Фирсов А. М.	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ РИФЛЁНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ Гайст С.В., Иванов С.Г., Ишутин Е.А., Марков А.М.	143
ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ-ОСНОВЫ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО НАПЫЛЕНИЯ Першина Д.В., Гончаров В.Д.	147
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПАТРОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ Дианов А.А.	151
ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ МАКСИМАЛЬНОЕ КАЧЕСТВО ОТВЕРСТИЙ Анзыряев Р.А., Татаркин Е.Ю.	154
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ОТКАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ Фирсов А.М., Вдовин А.В., Тимахович И.В.	159
РАЗРАБОТКА СТАНОЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НА БАЗЕ ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3Г71 Пушнин В.Н., Зайцева М.А., Зайцев Е.К., Корнев Д.Ю., Скиба В.Ю.	164
РАСЧЕТ ВОЛНИСТОСТИ И ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ Леонов С.Л., Белов А.Б.	171
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ Вивденко Ю.Н., Потехин С.М., Бастраков С.И.	175
СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Пимонов М.В.	181

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ОБКАТЫВАНИЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СОВМЕЩЕННЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ Беляев В.Н., Татаркин Е.Ю.	186
<b>УПРАВЛЕНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЯМИ ПРИ НАРУЖНОМ ТОЧЕНИИ</b> Леонов С.Л., Белов Е.Б.	190
СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ	
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ОБЩИЙ УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ Понкрашкин Р.А.	196
ВЫБОР РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЕЕ ПОДГОТОВКЕ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ ПОКРЫТИЯ Рахимянов Х.М., Семенова Ю.С., Сауткина М.А., Скрынник В.А., Лихачев А.П.	198
ВЫЯВЛЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И УРОВНЯ ВИБРАЦИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА Мосунова С.А.	203
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА И ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ НА СТАДИЯХ РЕЗАНИЯ И ППД Останин О.А.	208
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОГРАММ НАГРУЖЕНИЯ НА ИСЧЕРПАНИЕ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ ППД Петренко К. П.	213
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНОК ИЗ СТАЛИ ШХ-15 Блюменштейн В.Ю., Бородин Д. А.	217
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДРОБЬЮ ВИНТОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН СЖАТИЯ	222

Шаврин О.И., Домнин А.К., Ломаева Т.В.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ Пантелеенко Ф.И., Снарский А.С.	227
МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕГО УРОВНЯ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ. Миндиярова А.Р.	231
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ ПОСЛЕ ИЗГИБА МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ Махалов М.С.	236
ОЦЕНКА ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛА НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА УПРОЧНЕННЫХ ППД ДЕТАЛЕЙ МАШИН Блюменштейн В. Ю.	244
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ Гилета В.П., Асанов В.Б., Безнедельный А.И	248
ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ Огневой В.Я., Околович Г.А.	253
СЕКЦИЯ <b>НОВЫЕ МАТЕРИА</b> ЛЫ	
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ПОЛУЧЕНИЮ ИЗДЕЛИЙ Сложной формы из объемных наноматериалов <i>Сивушкин А.С.</i>	261
ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОСЛОЕК НА ГРАНИЦА РАЗДЕЛА СВАРЕННЫХ ВЗРЫВОМ КОМПОЗИТОВ Павлюкова Д.В., Поляков И.А., Бысыина С.И.	265
ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИИХ ДОБАВОК ПРЕСС-ПОРОШКА НА СТРУКТУРУ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ Белоусова Н.С., Веселов С.В., Ануфриенко Д.А., Мельникова Е.В.	270
ОСОБЕННОСТИ ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТА ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ Самейщева Т.С., Шевцова Л.И., Юркевич М.Р.	272

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ОСЕВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ Лобунец А.В., Беляев В.Н.	275
ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЕМ ЗАДАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ Вивденко Ю.Н., Дегтярь В.В., Бастраков С.И.,	280
Нагорных А.В., Потехин С.М. ПОКРЫТИЯ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ СОСТАВА ГИДРОКСИАПАТИТ-НИКЕЛИД ТИТАНА, НАНЕСЕННЫЙ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ Попова А. А., Яковлев В.И., Ситников А.А.	284
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МЕХАНОСТИМУЛИРОВАННОГО САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ Собачкин А. В., Яковлев В. И., Ситников А. А.	287
РЕЛЬЕФ И СТРУКТУРА ТИТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ Саломатников М.С.	292
СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДОВ ТИТАНА, ВАНАДИЯ И ХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА Крутский Ю.Л., Дюкова К.Д., Антонова Е.В., Баннов А.Г., Вязьмина Ю.А.	296
СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ОЛОВА, ДОПИРОВАННОГО КОБАЛЬТОМ, И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ Апарнев А.И., Уваров Н.Ф., Кашпур И.А., Афонина Л.И., Баннов А.Г., Шинкарев В.В., Бохонов Б.Б., Юсин С.И.	299
<b>СИНТЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДИОКСИДА</b> <b>ЦИРКОНИЯ, ДОПИРОВАНОГО ИТТРИЕМ</b> Уваров Н.Ф., Апарнев А.И., Баннов А.Г., Казакова А.А., Турло Е.М., Кашпур И.А.	303
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГЕТЕРОФАЗНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА С ОБРАЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ЖИДКОЙ ФАЗЫ Буров В.Г.	308

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ АЛЮМИНИЕМ И МЕДЬЮ Степанова Н.В., Разумаков А.А., Мельникова Е.В.	313
СТРУКТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ «СU-TA», СФОРМИРОВАННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ВЗРЫВОМ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Малютина Ю.Н., Скороход К.А., Петрина Д.А.	317
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ті-Та СФОРМИРОВАННЫХ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКОЙ Руктуев А.А., Самойленко В.В., Кривеженко Д.С., Калашникова Т.А.	319
СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (ЛИТЬЕ, СВАРКА, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ)	)
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СВАРНЫХ ШВОВ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ Никулина А.А., Лапушкина Е.Ю.	324
ИСПЫТАНИЕ НА ОТСЛАИВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ Мандров Б.И., Бакланов С.И., Сухинина С.Д., Влеско А.С., Путивский С.А.	328
ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ С ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ Доц М.В., Марков А.М.	332
СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА ДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ Радкевич М.М., Фомин Д.Ю	335
СЕКЦИЯ ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И НОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСШЕЙ ШКОЛІ	C E
<b>ВЛИЯНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ЭКОНОМИКУ</b> Никитина О.Л.	341

<b>КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ</b> Андреев М.В., Боткин И.В., Шатохин А.Ф.	346
<b>МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ</b> <b>РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b> Клепцов А.А., Ятина М.И.	349
НАПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГСТРУКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ Дронова О.Б.	354
ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ Клепцова Л. Н.	359
ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ Мережко Е.В., Коробкин Д.Э., Птицын С.В., Скиба В.Ю.	364
ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЙ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИЯМИ Козлова Ж.М.	367
ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МЕХАНИКЕ Крамаренко Н.В.	371
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА Овчаренко А.Г., Курепина М.В.	375
СОКРАЩЕНИЕ НЕКОМПЛЕКТНОСТИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ Панов А.А.	380
<b>УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ</b> ПРОИЗВОДСТВ Гришаненко Н.А., Фирсов А.М.	382
ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ Татаркин Е.Ю., Иконников А.М.	386

# СЕКЦИЯ

# ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

## ВЛИЯНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОМАСШТАБНОЙ СТРУКТУРЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОМ ОБЛУЧЕНИИ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ

Моховиков А.А. к.т.н., Игнатьев А.С. аспирант Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета Юрга, тел. +7(38451) 6-22-48, факс, +7(38451) 6-26-83

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния структурно-фазовой модификации поверхностного слоя металлокерамического сплава на основе TiC на технологические составляющие силы резания в условиях резания металла.

The paper presents the results of an experimental study of the effect of structural-phase modification of the surface layer of cemented carbide, TiC based on the technological components of the cutting forces in metal cutting.

Преждевременный износ и разрушение режущей части твердосплавного инструмента зависит от наличия концентраторов напряжения в материале. Основными причинами появления концентраторов напряжений являются остаточная пористость, разброс размеров и неравноосность частиц высокотвердой фазы металлокерамической композиции, а также неравномерность распределения компонентов в объеме твердого сплава.

Структурно-фазовое модифицирование поверхностных слоев твердых сплавов при импульсном электронно-пучковом облучении является одним из новых перспективных и малоизученных методов упрочнения металлокерамических сплавов.

Для реализации импульсного электронно-пучкового облучения в Институте сильноточной электроники СО РАН (г. Томск) разработано, изготовлено и апробировано современное экспериментальное оборудование для импульсного электронно-пучкового облучения поверхности материалов, способное варьировать в достаточно широких диапазонах следующими режимами: плотностью энергии в электронном пучке  $ES=1\div100$  Дж/см<sup>2</sup>, длительностью импульса облучения  $\tau=10\div200$  мкс, количеством импульсов облучения от 1 до 10 Гц. В качестве плазмообразующих газов в вакуумной камере установок могут быть использованы различные инертные газы.

Измерение технологических составляющих силы резания производилось с помощью экспериментальной установки. В состав установки входили: токарновинторезный станок модели 1К62, на котором установлен трехкомпонентный тензометрический токарный динамометр, сигнал с динамометра поступал на тензоусилитель «Топаз – 3 – 01», который питался от блока питания «Агат» подсоединенного к сети. Усиленный сигнал поступал на аналого-цифровой преобразователь USB-3000, а затем на ПК. Регистрация и анализ данных проводились с помощью, установленной на ПК программы PowerGraph.

По полученным средним экспериментальным значениям был проведен корреляционный анализ по критерию согласия Пирсона на наличие взаимосвязи между условиями электронно-пучкового облучения образцов и технологическими составляющими силы резания. На рисунках 1–3 представлены зависимости изменения составляющих силы резания от плотности мощности электроннопучкового облучения WS Bт/см<sup>2</sup>, которая представляет собой отношение плотности энергии к длительности импульса облучения и характеризует изменение режимов облучения.



Рис. 1 График зависимости тангенциальной составляющей силы резания от плотности мощности: а) – аргонсодержащая среда; б) – азотодержащая среда;

в) – ксенонсодержащая среда; г) – ксенон+ азотсодержащая среда

Коэффициент корреляции зависимостей представленных на рисунке 1 для среды облучения аргон составляет r=0,459,сравнивая его с табличным значением

[r]=0,669, следовательно, можно сделать вывод о том, что влияние режимов импульсного электронно-пучкового облучения металлокерамических пластин на составляющую силы Pz отсутствует. Для пластин, облучённых с использованием азота, в качестве среды облучения коэффициент корреляции по критерию Пирсона равен r=0,634, табличное значение [r]=0,669, соответственно взаимовлияние отсутствует. Кореляционнный анализ образцов облучённых в плазмообразующем газе ксенон показал значение равно r=0,560, [r]=0,669, следовательно, взаимовлияние отсутствует. Полученное значение анализа экспериментальных пластин облучённых в газе ксенон+азот по критерию Пирсона составило r=0,2534, в сравнении с табличной величиной [r]=0,669, можно сделать вывод о том, что составляющая силы резания P<sub>Z</sub> не зависит от плотности мощности облучения, а следовательно и импульсного электронно-пучкового облучения в целом.



Рис. 2 График зависимости осевой составляющей силы резания от плотности мощности: a) – аргонсодержащая среда; б) – азотодержащая среда;

в) – ксенонсодержащая среда; г) – ксенон+ азотсодержащая среда.

Коэффициент корреляции зависимостей, представленных на рисунке 2 для плазмообразующей среды аргон составляет r=0,0708, сравнив полученное значение с табличным [r]=0,669, можно сделать вывод о том, что влияние режимов об-

лучения экспериментальных пластин в среде аргон для составляющей силы резания  $P_x$  отсутствует. Для плазмообразующей среды азот коэффициент составляет r=0,796, следовательно, при табличном значении [r]=0,775 можно сделать вывод о том, что составляющая силы резания  $P_x$  зависит от плотности мощности облучения, а, следовательно, и импульсного электронно-пучкового облучения в целом. При облучении в среде ксенон, коэффициент равен r=0,445, табличное значение составило [r]=0,669, соответственно влияние между осевой составляющей силы резания и величиной плотности мощности отсутствует. При анализе пластин облученных в плазмообразующей среде ксенон + азот по критерию Пирсона коэффициент корреляции составил r=0,714, допустимое табличное значение равно [r]=0,669. Это показывает наличие взаимосвязи между режимами электронно-пучкового облучения и измеряемой величиной составляющей силы резания  $P_x$ . С увеличением плотности мощности облучения, значения  $P_x$  в рассматриваемом диапазоне WS снижаются.





а) – аргонсодержащая среда; б) – азотодержащая среда;
в) – ксенонсодержащая среда; г) – ксенон+ азотсодержащая среда

В ходе анализа полученных экспериментальных зависимостей составляю-

щей силы резания P<sub>v</sub> от плотности мощности облучения в аргонсодержащей атмосфере по критерию Пирсона был установлен следующий коэффициент корреляции r=0,745, допустимое значение [r]=0,669. Это показывает наличие взаимосвязи между режимами электронно-пучкового облучения и измеряемой величиной составляющей силы резания P<sub>v</sub>. А для зависимости P<sub>v</sub>, полученных при резании пластинами облученных в азотсодержащей атмосфере от плотности мощности облучения, r=0,461, при допустимом значение [r]=0,669, что говорит об отсутствии взаимосвязи. Корреляционный анализ образцов по критерию Пирсона облучённых в плазмообразующем газе ксенон показал значение коэффициента корреляции равное r=0,825, табличное [r]=0,669, а так же для зависимости P<sub>v</sub>, полученных при резании пластинами облученных в среде ксенон+азот азотсодержащей атмосфере от плотности мощности облучения, r=0,765, при допустимом значении [r]=0,669. Это показывает наличие взаимосвязи в обоих случаях между режимами электронно-пучкового облучения и измеряемой величиной составляющей силы резания P<sub>v</sub>. С увеличением плотности мощности облучения, значения P<sub>v</sub> в рассматриваемом диапазоне W<sub>S</sub> снижаются.

На основании экспериментальных исследований и их анализа, можно сделать следующие выводы:

2) Установлено, отсутствие взаимовлияния между режимами импульсного электронно-пучкового облучения и  $P_Z$ , а также осевой составляющей силы резания для пластин, облучённых в аргон-, ксенонсодержащих атмосферах и наличие взаимосвязи для  $P_Y$  в целом и  $P_X$  в плазмообразующих средах азот и ксенон+азот. Замеренные значения  $P_X$  и  $P_X$  в рассматриваемом диапазоне режимов облучения снижаются по сравнению с замеренными значениями составляющих силы резания исходной (необлученной) пластины на 20-25%.

3) Предположительно снижение значений технологических составляющих силы резания являются следствием полировки передней поверхности пластины и вероятного снижения коэффициента трения в результате импульсного электронно-пучкового облучения, за счёт схода стружки по вершинам микрорельефа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моховиков А.А., Игнатьев А.С. Изучение влияния электронно-пучкового облучения на параметры процесса резания//Горный информационноаналитический бюллетень. – № ОВЗ. – М.: Издательство «Горная книга». – 2012. – 46- 57 с.

2. Моховиков А.А., Игнатьев А.С. Закономерность изменения силы резания от режимов электронно-пучкового облучения в условиях резания металла//Высокие технологии в машиностроении: Материалы Международной научно-технической конференции (Курган, 21-23 ноября 2012 г.). – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2012. – 359 с.

### ДИНАМИКА ГАЗОВОГО ПОТОКА И ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ БАЗАЛЬТОВОГО ПОРОШКА В ПРОЦЕССЕ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ

А.А Ситников д.т.н. профессор, А.В.Еськов д.т.н. профессор, В. И. Яковлев к.т.н., И. В. Назаров аспирант, А.В. Собачкин аспирант, В. Р. Мадисон инженер, А. А. Иванайский к.т.н. Алтайский Государственный Технический Университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул) e-mail: anicpt@rambler.ru

Детонационно-газовые струи, при напылении частиц базальта, представляют собой гетерогенные, неоднородные по концентрации, скоростям и температурам многофазные потоки (смеси газа с твердыми частицами или жидкими каплями). Разработка методов и средств контроля параметров детонационно-газового потока представляет важную научную задачу. Методы оптического контроля востребованы, так как позволяют бесконтактно, в масштабе реального времени контролировать скорости и температуры частиц в детонационном потоке, что в конечном итоге определяет качество сцепления материала частиц с поверхностью.

Detonation-gas jets in spraying particles basalt are heterogeneous, non-uniform in concentration speeds and temperatures multiphase flow (mixture of gas and solid particles or liquid droplets). Development of methods and control parameters of detonation-gas flow is an important scientific problem. Methods of optical control demand as they allow non-contact, real-time control of the speed and temperature of the particles in the detonation flow, which ultimately determines the quality of the adhesion of the material to the surface of the particles.

В настоящее время детонационный процесс является тяжело управляемым процессом. В процессе детонационно-газового напыления происходит разброс температур частиц в газовом потоке 700-2000 °C<sup>[1]</sup>, фоновое излучение газового потока, нагретого до температуры порядка 2000 – 4000 °C<sup>[2]</sup>, скорость частиц порошка 100 – 1000 м/с, время формирования единичного цикла напыления 4-6 мс. В связи с этим накладываются жёсткие технологические условия на методы и устройства регистрации протекания детонационных процессов, такие как обладание повышенной виброустойчивостью, выдерживание больших ударных (звуковых) нагрузок<sup>[3]</sup>.

Объектом исследования является детонационный поток напыляемых частиц базальтового порошка гранулометрического состава 63-100 мкм. Целью работы является исследование динамики газового потока и движения частиц базальтового порошка в процессе детонационно-газового напыления, а так же расчет скоростей этих частиц.

Процесс на экспериментальном стенде высокоскоростной видеосъемки и



Рис. 1. Схема экспериментального стенда высокоскоростной видеосъемки и контроля пространственных параметров детонационного потока при напылении частиц базальта на базе установки детонационно-газового напыления «Катунь-М»

контроля пространственных параметров детонационного потока при напылении частиц базальта на базе установки детонационно-газового напыления «Катунь-М» (рис. 1) представляет собой зажигание горючей смеси состоящей из пропанбутана и кислорода производится свечой, возникающие при этом тепловые волны порождают ударные, а затем и детонационную волну. В канале ствола детонационная волна распадается с образованием продуктов сгорания газовой смеси. Одновременно с заполнением канала взрывной смесью введется базальтовый порошок из дозатора. На выходе из ствола образуется пламя и поток напыляемых частиц базальта, попадающий на обрабатываемую деталь (подложку). Управление работой установки ДГН «Катунь М» осуществляется от блока управления, который посылает импульс зажигания на свечу и управляет клапанами подачи газов в детонационную камеру. При появлении пламени на выходе из ствола, регистрируемого фотодатчиком с малым временем экспозиции порядка 160 мкс. Это связано с большими скоростями частиц потока, затем блок синхронизации вырабатывает импульс, по которому изображение потока напыляемых частиц из цифровой видеокамеры передается в ЭВМ для дальнейшей обработки. В качестве блока синхронизации используется устройство «СИНХРО-М». Устройство синхронизации системы «СИНХРО-М» предназначено для четкого задания времени начала съемки изображения по сигналу с устройства управления синхронизацией, и привязке в дальнейшем к некоторому событию, соответствующему началу отсчета времени протекания процесса. Таким образом, с использованием стенда были получены изображения детонационного процесса напыления покрытий на основе базальтового порошка.

При съемке процесса вылета газовых продуктов детонации из ствола установ-

ки (рис. 2) без напыляемых частиц, фиксировались скачки уплотнения вытекающего газа с определенной периодичностью, которая имеет зависимость от времени развития газового потока. Эти уплотнения характеризуют динамику движения газа в процессе детонационно-газового напыления со скоростью превышающую скорость звука.



Рис. 2. Изображение газового потока в процессе ДГН

Из рисунка 3 видно движение частиц из канала ствола в виде треков. В противоположной от ствола яркой области (в связи с высокой температурой) происходит формирование покрытия на подложку напыляемой детали. Расстояние от среза ствола до напыляемой детали составляет 100 мм.



Рис. 3. Детонационный процесс нанесения покрытия на основе базальтового порошка

Зная масштаб изображения, по длине треков частиц базальта и времени экс-

позиции Т<sub>нак</sub>=160 мкс определялась скорость частиц в потоке, которая составила в среднем 350 м/с. На рисунке 4 приводится пример изображения треков частиц базальта потока с рассчитанной скоростью.



Рис. 4. Изображения треков частиц базальта (Т<sub>нак</sub>=160 мкс)

На рисунке 5 приведено значение средней скорости частиц базальта в детонационном потоке по времени цикла напыления. Измерения проводились по длине треков частиц с учетом выше отмеченных допущений. Каждая точка рассчитывалась как среднее значение по трем – пяти трекам на изображении. Из графика видно, что в начале цикла напыления скорости возрастают до 400 м/с к времени синхронизации на камеру  $T_k=1$  мс, при  $T_k$  от 1 до 4,5 мс практически сохраняют свое значение около 400 м/с и после  $T_k=4,5$  мс в конце цикла напыления – убывают.



Рис. 5. Экспериментальные значения скорости частиц в потоке ДГН С помощью экспериментального стенда высокоскоростной видеосъемки и

контроля пространственных параметров детонационного потока при напылении частиц базальта на базе установки детонационно-газового напыления «Катунь-М» исследована динамика газового потока при истечении из ствола установки детонационно-газового напыления «Катунь-М», при этом была рассчитана скорость частиц базальта в детонационном потоке составляющее около 350 м/с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриленко, Т.П. Использование пропан-бутана в установках детонационного напыления [Текст] / Т.П. Гавриленко, В.Ю. Ульяницкий, А.М. Хайрутдинов // Вопросы использования детонации в технологических процессах: сб. научных трудов АН СССР. Сиб. Отделен. Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева. – Новосибирск, 1986. – С. 17-28.

2. Дейч, М.Е. Газодинамика двухфазных сред [Текст] / М.Е. Дейч, Г.А. Филиппов. – М.: Энергия, 1968. – 424 с.: ил.

3. Борисова, А.Л. Скорость порошка при детонационном напылении покрытий [Текст] / А.Л. Борисова, В.С. Клименко, В.Г. Скадин, С.Ю. Шаривкер. // Порошковая металлургия. – 1979. – № 1. – С. 29-31.

#### УДК 621.9.011: 621.7.011

# ИСЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ARMCO В 10% ВОДНОМ РАСТВОРЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ ПРИ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ<sup>1</sup>

Н.П. Гаар, к.т.н., Д.А. Плитенецкий, студент Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск, тел.: +7 (383) 346-11-88 E-mail: <u>lianelas@mail.ru</u>, <u>Denisalekseevich201191@gmail.com</u>

В работе представленные поляризационные исследования анодного поведения железа ARMKO в водном растворе хлорида натрия при температуре электролита  $25^{\circ}$ C,  $30^{\circ}$ C,  $40^{\circ}$ C.

In the work presented by anodic polarization studies of the behavior of iron ARMKO in an aqueous solution of sodium chloride at a temperature of the electrolyte 25°C, 30°C, 40°C.

В основе электрохимической размерной обработки лежит закон Фарадея,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высо-коэнергетическом воздействии»).

согласно которому количество растворившегося металла пропорционально силе тока и времени обработки. Поляризационная кривая в этом случае должна иметь вид прямой, возрастающей с увеличением значения потенциала. В реальных условиях поляризационная кривая может включать участки активной растворимости (значение плотности тока увеличивается с увеличением значения потенциала), участки пассивной растворимости (значение плотности тока уменьшается или не изменяется с увеличением значения потенциала). Причин такого состояния материала может быть несколько: малая химическая активность анионов электролита, образование на поверхности образца пленок окислой природы или их сочетание. Установление причин низкой скорости электрохимического растворения позволит найти способы их устранения, а следовательно, увеличить скорость анодного растворения материала. Первоначальные потенциодинамические исследования (определение зависимости плотности от развертки потенциала) при комнатной температуре позволяют установить области активного и пассивного растворения материала без выявления причин снижения его скорости. Потенциодинамические исследования при повышенной температуре электролита позволят выявить, является ли причиной низкой скорости электрохимической реакции малая химическая активность анионов электролита.

Поляризационные исследования приводят при помощи следующего набора оборудования: потенциостата-гальваностата, задающего по определенному алгоритму развертку потенциала или тока; прибора, регистрирующего значение тока; электрохимической ячейки с установленной в нее анодом, выполненным из исследуемого материала.

Данная работа посвящена исследованию анодного поведения железа ARMKO в 10% водном растворе хлорида натрия. Материал исследования был выбран как модельный материал, содержащий в своем химическом составе минимальное количество примесей. Химический состав электролита выбран по литературным источникам, как наиболее широко применяемый для большинства железосодержащих сплавов. Для получения поляризационных кривых использовался потенциост-гальваностат IPC-Pro с возможностью как задачи алгоритма развертки потенциала, так и регистрации установившегося значения тока на аноде - исследуемом образце. Электрод сравнения, используемый в электрохимической ячейке, выполнен из платины, катод – из меди.

Для проведения экспериментов с повышением температуры электролита электрохимическая ячейка помещалась в кювету из пеноплекса, что позволяло сохранить температуру электролита постоянной в течение времени необходимого для проведения измерений. Температура электролита составляла 30°C, 40°C и 50°C.

На рисунке 1 представлена поляризационная кривая, полученная при исследовании анодного поведения железа в 10% водном растворе хлорида натрия при температуре электролита 25°С.



Рис. 1. Поляризационная кривая, полученная при исследовании анодного поведения железа в 10% водном растворе хлорида натрия в стационарных условиях

На графике можно выделить участки активного растворения образца (диапазон то 0 до 0,5 В, свыше 1,7 до 3,2 В и свыше 3,6 до 4,5 В) и участки пассивного растворения (диапазон свыше 0,5 до 1,7 В и свыше 3,2 до 3,6 В).

Анализ поляризационных кривых, полученных при повышении температуры электролита (рис. 2), указывает на тот факт, что в диапазоне потенциалов от 0 В до 2,5 В существенного изменения вида кривой во всем исследуемом интервале температур не происходит. Значение плотности тока в этом диапазоне не практически не изменяется по сравнению со значениями, достигаемыми в стационарных условиях.

Однако, в диапазоне потенциалов свыше 2,5 В поляризационная кривая в стационарных условиях и при повышении температуры электролита различаются. При повышении температуры электролита в указанном диапазоне потенциалов участок пассивного растворения материала (от 3,2 В до 3,6 В) сменяется участком активного растворения.

При этом при повышении температуры электролита в этом диапазоне достигается увеличение плотности тока. Такое изменение поляризационной кривой на данном участке потенциалов может свидетельствовать о том, что в указанном диапазоне потенциалов повышение химической активности анионов посредством увеличение температуры электролитов ускоряет процесс электрохимического растворения.

Таким образом, низкая химическая активность анионов электролита является одной из причин малой скорости электрохимического растворения. Для определения других причин низкой скорости электрохимического растворения требуются дополнительные исследования.



Рис. 2. Поляризационная кривая, полученная при исследовании анодного поведения железа в 10% водном растворе хлорида натрия при температуре электролита: 1- 30°C, 2-40°C, 3- 50°C

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузбасов В. Л. Основы электрохимии [Текст] / В. Л. Кузбасов, С. А. Зарецкий. – М.: Химия, 1976. – 184 с.

2. Электрохимия: прошедшие тридцать и будущие тридцать лет [Текст] / под ред.: Г. Блума, Ф. Гутмана; пер. с англ. Т. Я. Сафоновой. – М.: Химия, 1982. – 365 с. : ил.

3. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов [Текст] / М. В. Щербак, М. А. Толстая, А. П. Анисимов, В. Х. Постано-гов. – М. : Машиностроение, 1981. – 263 с.

4. Рахимянов, Х. М. Пути интенсификации электрохимической размерной обработки [Текст] /Х.М. Рахимянов, Н.П. Гаар //Ползуновский альманах. – Барнаул: АлтГТУ, 2008. - № 4. - С. 191-192.

5. Саушкин, Б. П. Выбор и применение электролитов для электрохимической обработки металлов [Текст]/ Б. П. Саушкин. – М. : ВНИИИТЭМР, 1992. – 68 с.

6. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов [Текст] / М. А. Толстая, А. П. Анисимов, М. В. Щербак, В. Х. Постаногов. – М.: Машиностроение, 1981. – 263 с.

7. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2 т. Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента [Текст] : учеб. пособие для вузов / Б. А. Артамонов [и др.]; под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – 247 с.

### ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ-18 В 10% ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ХЛОРИДА НАТРИЯ И НИТРАТА НАТРИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЭЛЕКТРОЛИТА<sup>2</sup>

Н.П. Гаар, к.т.н., П.А. Баранов, студент Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 346-11-88, E-mail: <u>lianelas@mail.ru</u>, <u>baranovnso@gmail.com</u>

Приведены результаты исследования анодного растворения сплава BT-18 в нагретых 10% водных электролитах NaCl и NaNO<sub>3</sub>. Сделан сравнительный анализ с анодным поведением сплава в 10% водных электролитах NaCl и NaNO<sub>3</sub> при температуре  $20^{\circ}$ C и  $40^{\circ}$ C.

Results of research of anode dissolution of an alloy of VT-18 are given to heated 10% water NaCl and NaNO<sub>3</sub> electrolytes. A comparative analysis with anodic behavior of the alloy in 10% aqueous electrolytes NaCl and NaNO<sub>3</sub> at a temperature of  $20^{\circ}$ C and  $40^{\circ}$ C

Титан и его сплавы относят к труднообрабатываемым материалам. Одним из возможных методов обработки данных сплавов является электрохимическая обработка (ЭХО).

ЭХО это вид обработки, позволяющий из заготовки, получить деталь требуемой геометрической формы и размеров за счет анодного растворения металла. При ЭХО титановые сплавы легко пассивируются. Пассивация это образование на обрабатываемой поверхности оксидной пленки, влияющей на производительность процесса. Повышение температуры электролита может вызвать рост активности анионов и растворение части оксидной пленки, а значит повыситься производительность процесса.

В качестве объекта исследования данной работы был выбран титановый деформируемый сплав BT18.

Поляризационные исследования проводились при помощи потенциостатагальваностата IPC-Pro и электрохимической ячейке с платиновым электродом сравнения. Для исследования анодного поведения титанового сплава BT-18 использовался потенциодинамический метод. Температура электролита – 20°С и 40°С. Проведение исследований при помощи потенциодинамического метода в

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высо-коэнергетическом воздействии»).

электролитах с различной температурой позволит также определить влияние температуры на процесс электрохимического растворения.

Результаты потенциодинамического исследования для титанового сплава ВТ-18 в 10% водном растворе хлорида натрия представлены на рисунке 1.



Рис.1 Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в 10% водном растворе NaCl при температуре электролита: 1 - 20°C, 2 - 40<sup>0</sup> C

Анализ поляризационной кривой, полученной в водном растворе хлорида натрия при температуре  $20^{\circ}$ C (рис. 1, кривая 1), позволяет разделить кривую на три участка. Первый участок располагается в диапазоне от 0 В до 2 В. Он характеризуется значением плотности тока близким к нулю независимо от величины потенциала, что свидетельствует об отсутствии анодного растворения материала. В диапазоне потенциалов свыше 2 В и до 4,5 В происходит рост плотности тока с увеличением потенциала, а следовательно, данный диапазон потенциалов является диапазоном активного растворения материала. Однако, в диапазоне потенциалов свыше 3,8 В и до 4,5 В наблюдается резкое увеличение значения плотности тока с ростом потенциала. Это может объясняться началом процесса восстановления кислорода на исследуемом образце, что подтверждается и визуальным наблюдением за процессом электрохимического растворения.

Поляризационная кривая при повышении температуры электролита до 40°С (рис.1, кривая 2) несколько изменяет свой вид. Диапазон потенциалов, в которых растворения материала не происходит (плотность тока равна 0) сократился на 0,5 В и составил от 0 В до 1,5 В. Участком активного растворения, в котором плотность тока повышается с ростом потенциала, является диапазон потенциалов

свыше 1,5 В до 2,25 В. Резкое возрастание плотности тока происходит в диапазоне потенциалов свыше 2,25 В до 4,5 В. Сдвиг областей растворения при повышении температуры электролита и рост достигаемых значений плотности тока может объясняться повышением реакционной способности анионов электролита.

Несколько иной вид имеет поляризационная кривая, полученная в 10% водном растворе нитрата натрия (рис. 2).



Рис.2 Поляризационная кривая, полученная при помощи потенциодинамического метода в 10% водном растворе NaNO<sub>3</sub> при температуре электролита: 1 – 40°C, 2-20°C

Характер поляризационной кривой (рис. 2, кривая 2), полученной при температуре электролита 20°С, указывает на отсутствие электрохимического растворения материала. При повышении температуры электролита до 40°С диапазон потенциалов, при котором анодного растворения материала не происходит, сокращается до 2,25 В. В диапазоне потенциала свыше 2,25 В и до 4,5 В происходит повышение плотности тока с ростом потенциала. Такое увеличение плотности тока при повышении температуры электролита позволяет предположить, что для электрохимического растворения титанового сплава в нитрате натрия анионам электролита не хватает реакционной активности, чтобы вступить в реакцию с обрабатываемым материалом.

Таким образом, при ЭХО титанового сплава ВТ18 в 10% водном растворе нитрата натрия и хлорида натрия повышение температуры позволяет ускорить процесс анодного растворения. При этом, степень влияния температуры электролита при растворении материала в нитрате натрия выше, чем в хлориде натрия.

Однако, недостаточная реакционная способность анионов электролитов может быть не единственной причиной торможения электрохимических процессов. По этой причине требуется дальнейшие исследования анодного растворения титанового сплава BT-18.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байсупов, И. А. Электрохимическая обработка металлов / И. А. Байсупов. – М. : Высш. шк., 1981. – 150 с.;

2. Мороз, И. И. Электрохимическая обработка металлов / И. И. Мороз. – М. : Машиностроение, 1969. – 208 с;

3. Гаар Н. П. Исследование анодного поведения титанового сплава ВТ18 в 10% водных растворах хлорида и нитрата натрия с помощью потенциодинамического метода / Н.П. Гаар, П. А. Баранов // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе : материалы 11 Всерос. науч.-практ. конф., Новосибирск, 27 марта 2013 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – С. 106–108.

УДК 621.9.047

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНОДНОГО ПОВЕДЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ-4 В 10% ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ХЛОРИДА НАТРИЯ, НИТРАТА НАТРИЯ И СУЛЬФАТА НАТРИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ЭЛЕКТРОЛИТА<sup>3</sup>

# Н.П. Гаар, к.т.н., А.А. Костюк Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, тел.: +7 (383) 346-11-88, E-mail: <u>lianelas@mail.ru</u>, <u>Kostik\_90\_sanya@mail.ru</u>

В работе описаны особенности электрохимического растворения титанового сплава ОТ-4 в водных растворах хлорида, сульфата и нитрата натрия при различной температуре электролита.

The paper describes the features of the electrochemical dissolution of a titanium alloy OT-4 in aqueous solutions of chloride, sulfate, and sodium nitrate in the electrolyte at various temperature.

Титановые сплавы все чаще находят свое применение в различных отрас-

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высо-коэнергетическом воздействии»).

лях промышленности.

Малый удельный вес и высокая прочность титана и его сплавов способствуют их широкому применению в авиастроении. В этой области титан уверенно вытесняет алюминий и нержавеющую сталь. Он обладает явным преимуществом в отношении прочности при повышенных температурах, возникающих при больших скоростях благодаря аэродинамическому нагреванию. Преимущество замены стали титаном в авиации заключается в снижении веса без потери прочности.

При постройке реактивных двигателей титан применяется преимущественно для изготовления лопаток компрессора, дисков турбины и многих других штампованных деталей.

Для химической промышленности особое значение имеет коррозионная стойкость титана. Он применяется при производстве оборудования для транспортировки кислот, щелочей и неорганических солей. Кроме того из титана и его сплавов изготавливают баки, колонны, фильтры и всевозможные баллоны высокого давления.

В нефте- и газобурильной областях серьезное значение имеет борьба с коррозией, поэтому применение титана позволяет реже заменять корродирующие штанги оборудования.

Широкое применение титана наблюдается и в области медицины. Это изготовление титановых хирургических инструментов.В области хирургии титан оказался лучше нержавеющих сталей. Присутствие титана в организме вполне допустимо, поэтому широко применяются пластинки и винты из титана для крепления костей. Преимущество титана заключается также в том, что на пластине образуется мышечная ткань.

Одним из представителей таких материалов является титановый сплав ОТ-4. Это титановый сплав средней прочности, который хорошо деформируется в горячем и ограниченно холодном состояниях, его поставляют в виде листов, плит, профилей, труб, прутков. Сплав титана ОТ-4 хорошо сваривается аргонодуговой, контактной и электронно-лучевой сваркой. Он обладает хорошей термической стабильностью и предназначен для изготовления деталей, работающих при температурах до 350 °C.

Традиционная механическая обработка титана и его сплавов сопровождается рядом трудностей. При механической обработке титановых сплавов возникают большие удельные усилия, что приводит к высоким температурам в зоне резания, что объясняется низкой тепло- и температуропроводностью титана и его сплавов. Из-за высоких температур и сильной адгезии титан налипает на режущий инструмент, что вызывает значительные силы трения и изменение геометрических параметров режущего инструмента. Отклонение геометрических параметров режущего инструмента приводит к дальнейшему повышению усилий обработки и температуры в зоне резания и износа инструмента. По этой причине наряду с

традиционной механической обработкой применяются и электрофизические методы, в том числе и электрохимическая размерная обработка.

Электрохимическая размерная обработка металлов основана на электрохимическом растворении материала под действием тока в токопроводящей среде, в результате чего деталь-анод приобретает форму инструмента-катода. Однако, даже при электрохимическом растворении титановые сплавы имеют некоторые проблемы, связанные с низкой производительностью процесса обработки. Для выявления проблем анодного растворения титанового сплава ОТ-4, с целью дальнейших поисков путей повышения производительности процесса, необходимо провести ряд исследований. Первоначально исследования анодного поведения осуществляются при помощи потенциодинамического метода.

Потенциодинамический метод заключается в развертке потенциала с заданной скоростью с одновременной регистрацией плотности тока на исследуемом электроде. Анализ формы и характера поляризационных кривых позволяет выделить участки активного и пассивного анодного растворения. Для проведения таких исследований необходимо наличие потенциостата, задающего по определенному алгоритму развертку потенциала, регистрирующего значения тока прибора и электрохимической ячейки.

В данной работе для поляризационных исследований использовалось оборудование, внешний вид которого приведен на рис.1.



Рис.1 Оборудование для проведения опытов 1 - электрохимическая ячейка, 2 - потенциостат IPC-ProM, 3 – компьютер

В качестве электролитов для поляризационных исследований были выбраны 10% водные растворы хлорида натрия, нитрата натрия и сульфата натрия, как наиболее широко применяемые составы электролитов для титановых сплавов. Исследования проводились при разных температурах электролита: 20°C и 50°C, с целью определения влияния температуры электролита на процесс электрохимического растворения материала. Для обеспечения достоверности экспериментальных данных для каждого электролита поляризационная кривая была построена на основании результатов не менее пяти опытов.

Поляризационную кривую, полученную для 10% водного раствора сульфата натрия при температуре 20°С и представленную на рис. 2 (кривая 1), можно разделить на два участка. Первый участок располагается в диапазоне потенциалов от 0 до 1300 мВ и характеризуется нулевым значением плотности тока. Такое состояние кривой характеризует отсутствие самого процесса электрохимического растворения, причиной которого может служить, в том числе и образование в первоначальный момент времени на обрабатываемой поверхности титанового сплава пленок окисной природы.

Второй участок поляризационной кривой располагается в диапазоне потенциалов свыше 1300 мВ до 4500 мВ и характеризуется ростом плотности тока с увеличением потенциала. Данный участок является участком активного растворения.



Рис.2. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в 10%-м растворе сульфата натрия при температуре электролита: 1 – 20°С; 2 – 50° С

Увеличение температуры электролита до 50°С (рис.2., кривая 2) не изменило наличие характерных участков поляризационной кривой. Отличие двух кривых (при температуре 20°С и 50°С) заключается лишь в незначительном повышении плотности тока на втором участке поляризационной кривой (от 1400 мВ до 4500 мВ).

Подобный характер поляризационной кривой имеет место и для титанового сплава ОТ-4 в 10% водном растворе хлорида натрия (рис. 3) и нитрата натрия (рис. 4).



Рис.3. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в 10%-м растворе хлорида натрия при температуре электролита: 1 - 20°С; 2 - 50° С



Рис.4. Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в 10%-м растворе нитрата натрия при температуре электролита: 1 - 20°С; 2 - 50° С

Различие наблюдается лишь в более высоких достигаемых значениях плотностей тока в указанных электролитах. Кроме того, на поляризационной кривой

для хлорида натрия диапазон потенциалов, в котором отсутствует растворение материала, сократился до 1250 мВ, а в нитрате натрия он увеличился до 1500 мВ.

Таким образом, титановый сплав ОТ-4 в 10% сульфате натрия, нитрата натрия и хлорида натрия электрохимически не растворяется в диапазоне потенциалов до 1500 мВ. В диапазоне потенциалов свыше 1500 мВ происходит активное растворение материала. Увеличение температуры электролита не изменяет ни характер растворения материала, ни характерные диапазоны растворения материала

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлургия титана. Учебное пособие. Тур А.А. Киев: ООО «Металлотрейд», 2003 г. -103 с.

2. Байсупов И.А. Электрохимическая обработка металлов: Учеб.для СПТУ. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988 г. – 188с.

3. Б.Б. Чечулин и др. Титановые сплавы в машиностроении. Л.: «Машиностроение» (Ленинг. отд-ние), 1977 г. – 248 с.

4. Уэйн Р. Основы и применения фотохимии: Пер. с англ. – М.: Мир,1991 г. – 304 с.

5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия: Учебник для вузов. – М.: Химия, 2001 г. – 624 с.

6. Электрохимическая обработка металлов. Мороз И.И. и др. М.: «Машиностроение», 1969 г. - 208 с.

УДК 621.9.047

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИННОГО ЭАШ УДАРНЫХ ОБРАЗЦОВ

Б.А. Красильников, к.т.н., Н.В. Головко Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7 (383) 346-11-88. E-mail: nikolaigolovko@gmail.com

Представление экспериментального исследования глубинного электроалмазного шлифования ударных образцов.

Experimental researches of deep electrodiamond grinding of impact samples.

В последнее время для обработки труднообрабатываемых материалов используют глубинное шлифование. Преимущества глубинного электроабразивного шлифования в сравнении с лезвийной обработкой: производительность выше в 2–2,5 раза, стойкость кругов по сравнению с фасонными фрезами выше в 1,5–2 раза и по сравнению с абразивными кругами на керамической связке от 3 до 6 раз, при микроструктурном исследовании не обнаружено разницы в структурном состоянии основного металла и краевых зон, прилегающих к обработанным электроабразивным методом поверхностям. Повышение жаропрочности сплавов сопровождается ухудшением их обрабатываемости. Скорость резания сплавов уменьшается с увеличением жаропрочности. Уровень жаропрочности оценивается по температуре  $\theta^{\circ}$ С, которую выдерживает сплав при напряжении  $\sigma_{\rm B} > 20$  кг/мм<sup>2</sup> в течение 100 часов.

Исследование обрабатываемости пазов ударных образцов из сплава ЖС6 методом глубинного электроалмазного шлифования (ЭАШ) проводилось на модернизированном плоскошлифовальном станке модели 3Г71.

В качестве электролита использовался 10% водный раствор NaNO<sub>3</sub>. Производительность обработки оценивалась величиной линейной подачи S, мм/с. Образцы поставлялись заводом из реальных деталей. Подача образцов производилась по упругой схеме.



Рис. 1. Геометрия прорезки паза

Электроалмазная прорезка пазов (рис. 1) в жаропрочных сплавах осуществлялась алмазным кругом АОК 250х75х2, АСР 160/125, 100%, М1. Результаты эксперимента приведены на рисунке 2, рисунке 3, где  $\Delta$  разница между шириной канавки и шириной круга,  $R = \frac{b}{2}$ .

Увеличение усилия подачи приводит к увеличению производительности При увеличении напряжения увеличивается процесса. линейная подача (производительность). Высокая производительность достигается благодаря совмещению и взаимному влиянию нескольких процессов: электрохимического растворения сплава, механического резания и эрозионных разрядов. Растворение поверхности сплава происходит за счет приложенного напряжения в среде что облегчает работу алмазным зерном, которые электролита. срезают предразрушенный слой. Кроме этого, механическое воздействие на поверхность способствует активизации процесса растворения за также счет механохимического эффекта. Эрозионные микроразряды способствуют увеличению производительности обработки за счет эрозионного съема, а также за счет сохранения высокой режущей способности, алмазного круга, Т.К. эрозионные разряды удаляют с рабочей поверхности круга изношенные зерна и связку и обнажают режущие грани новых зерен. (Рис. 2; Рис. 3).


Рис. 2. Зависимости точности паза от усилия подачи и напряжения 1 – 4B; 2 – 8B; 3 – 12B



Рис. 3. Зависимости скорости подачи от усилия 1 – 4В; 2 – 8В; 3 – 12В

Исследования износа алмазного круга показали его высокую стойкость при обработке ЖС6. Износ оценивался индикаторным прибором в нормальном направлении к рабочей поверхности круга. Удельный расход алмаза составил 0,5 мг на один грамм снятого материала.

Работоспособность круга оценивалась по его режущей способности. Работа алмазного круга в течение 70 минут, показала, его высокую режущую способность, при этом плотность тока и мощность резания практически не изменяются по времени.

На основании проведенных исследований по глубинному электроалмазному шлифованию сплавов ЖС6 следует отметить, что максимальная линейная производительность достигается при нагрузке 120 H, напряжения 12 B и равняется 3,5 мм/с. Наиболее высокая точность обработки наоборот получается при меньших усилиях подачи 50 H и меньших линейных скоростях 1,2 мм/с.

Таким образом, для повышения точности обработки необходимо процесс вести при малой скорости движения стола и напряжении 4....8 В.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование производительности электроалмазной обработки жаропрочного сплава ЖС6 и твердого сплава ВК8 / А. А. Богаев, М.И. Никитенко, Б. А. Красильников, Х. М. Рахимянов // Обработка металлов – 2007 – №3 (36). - Новосибирск. 2007 г. - С. 8 – 10.

2. Б.А. Красильников, В.Н. Филимоненко. Установка для глубинного электроалмазного шлифования инструмента на базе станков 3Б740, 3Г71. № 19 – 1981 г. ЦНТИ, г. Новосибирск.

3. Processing of firm alloy BK8 by electrodiamond grinding / Б. А. Красильников, А. А. Богаев // The 2009 International Forum on Strategic Technologies, October 21–23, 2009 у.

УДК 621.9.01 621.791.947.55

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ СТАЛИ 12X18H10T МЕТОДОМ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ<sup>4</sup>

Х.М. Рахимянов, д.т.н., проф., К.Х. Рахимянов, к.т.н., доц., А.Х. Рахимянов, инженер, С.В. Шопф, инженер, В.В. Захаров, магистрант Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7 (383) 346-11-88, факс +7 (383) 346-17-92. E-mail: backtof79@mail.ru, centerfht@mail.ru

Представлены исследования зависимости качества реза от скорости резания при обработке стали 12X18H10T методом тонкоструйной плазменной резки.

Presented research based quality cut of the cutting speed in the processing of steel 12X18H10T by high-precision plasma cutting.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии»).

В работе [1] представлены результаты исследования зависимости качества обработки методом тонкоструйной плазменной резки одной составляющей биметаллической композиции сталь Ст3 + сталь 12Х18Н10Т - стали Ст3 обыкновенного качества толщиной 3 мм от скорости резания.

Настоящее исследование посвящено выявлению зависимости качества обработки методом тонкоструйной плазменной резки от скорости резания второй составляющей биметаллической композиции – стали 12X18H10T.

Коррозионностойкая, жаропрочная и жаростойкая сталь 12Х18Н10Т относится к классу аустенитных криогенных сталей. Детали, изготовленные из стали марки 12Х18Н10Т, могут работать при температурах до 600°С.

В качестве исследуемого материала был взят лист стали 12X18H10T толщиной 2 мм.

Химический состав стали 12Х18Н10Т приведён в таблице 1, физические свойства – в таблице 2.

Таблица 1

С	Si	Mn	Ni	S	Р	Cr	Cu	Ti	Fe
$\leq$	$\leq$	$\leq 2$	9 - 11	$\leq$	$\leq$	17 -	$\leq 0.3$	0,5 -	основа
0,12	0.8			0,02	0.035	19		0,8	

Химический состав стали 12Х18Н10Т, в %

Таблица 2

Физические свойства стали 12Х18Н10Т

Темпе- ратура	Модуль упр. перв. ро- да	Коэф. ли- нейн. рас- шир.	Коэфф. тепло- провод.	Плот- ность мате- риала	Удельн. теплоемк. материала	Удель- ное элек- тро- со- про- тивле-
Т, Град.	Е, 10 <sup>-5</sup> МПа	α, 10 <sup>6</sup> 1/Град	λ, Вт/(м·гра д)	ρ, кг/м <sup>3</sup>	С, Дж/(кг·гра д)	R, 10 <sup>9</sup> Ом∙м
20	1.98	16.4	15	7920	442	725
100	1.94	16.6	16	7860	462	792
200	1.89	17	18	7820	496	861
300	1.81	17.2	19	7780	517	920

Продолжение таблицы 2

Темпе- ратура	Модуль упр. перв. ро- да	Коэф. ли- нейн. рас- шир.	Коэфф. тепло- провод.	Плот- ность мате- риала	Удельн. теплоемк. материала	Удель- ное элек- тро- со- про- тивле- ние
Т, Град.	E, 10 <sup>-5</sup>	$\alpha, 10^{6}$	λ,	ρ,	С,	R, 10 <sup>9</sup>
-	МПа	1/Град	Вт/(м•гра	$\kappa\Gamma/M^3$	Дж/(кг∙гра	Ом·м
			д)		д)	
400	1.74	17.5	21	7740	538	976
500	1.66	17.9	23	7690	550	1028
600	1.57	18.2	25	7650	563	1075
700	1.47	18.6	27	7600	575	1115
800	1.38	18.9	26	7560	596	1136
900	1.31	19.3	26	7500	614	1160

Исследования проводились на машине термической резки «Термит», представляющей собой раскройный стол, портал с системой ЧПУ «Burny PHANTON» и источник плазменной резки HiFocus130 производства компании Kjellberg (Германия). Производитель источника плазменной резки предоставляет настроечные параметры для различных классов материалов и толщин. В таблице 3 приведены настроечные режимы установки тонкоструйной плазменной резки HiFocus130 для нержавеющих сталей толщиной 2 мм.

Таблица 3

Режимы обработки					
Режимный параметр	Значение				
Плазмообразующий (режущий) газ	$H_2$				
Давление	0,7 МПа				
Расход	400 л/мин				
Завихряющий газ №1	N <sub>2</sub>				
Давление	0,6 МПа				
Расход	900 л/мин				
Завихряющий газ №2	N <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (95/5)*				
Давление	0,6 МПа				
Расход	800 л/мин				
Ток дуги	130 A				
Напряжение дуги	116 B				
Факельный зазор	2,5 мм				
Высота зажигания (высота пробивки)	4 MM				

\*формирующий газ (смесь газов, содержащая 95% N<sub>2</sub> и 5% H<sub>2</sub>)

Также производитель оборудования рекомендует определенную скорость обработки для различных материалов, но для композиционных материалов (а исследуемая сталь 12Х18Н10Т является частью биметаллической композиции) рекомендаций по скорости нет. Исходя из этого, было принято решение провести исследования не только на паспортной скорости, но и на других скоростях, чтобы определить оптимальную скорость обработки.

Величина вырезаемых образцов выбиралась таким образом, чтобы их размер был достаточным для того, чтобы принять режим резания стационарным.

Были вырезаны три пластины размером 100х100 мм методом тонкоструйной плазменной резки, затем из них получили методом электроэрозионной обработки три образца размером 12х25 мм.

Режимы обработки, приведенные в таблице 3, в основном влияют на физические процессы при тонкоструйной плазменной резке, в то время как на качество обработки значительно влияет скорость перемещения плазмотрона (скорость резания).

При обработке стали 12Х18Н10Т не появлялось непрорезов, что подтверждает правильность назначения режимных параметров (табл. 3), не было обнаружено явной волнистости на поверхности реза, что свидетельствует о стабильности плазменной дуги во время обработки. При проведении экспериментальных исследований скорость резания изменялась от 2,2 м/мин до 3,2 м/мин. Предварительные эксперименты показали, что снижение скорости ниже 2,2 м/мин приводит к оплавлению кромки реза, а соответственно к снижению качества обработанных поверхностей, а увеличение скорости выше 3,2 м/мин приводит к непрорезу материала. Как видно из рисунка 1, увеличение скорости резания (в отмеченном диапазоне) приводит к снижению количества грата на нижней поверхности образцов.



Рис. 1. Влияние скорости резания на количество грата на нижней стороне образцов: а) V = 3,2 м/мин; б) V = 2,5 м/мин; в) V = 2,2 м/мин.

При всех режимах обработки, на которых были изготовлены данные экспериментальные образцы, образовавшийся грат с трудом отделялся от основного металла (что характерно для данного класса сталей).

Следует отметить, что края между обработанными сторонами всех образцов оказались скошенными у нижней поверхности. Особенно отчётливо это наблюдается у образца, вырезанного со скоростью V = 3,2 м/мин (рис. 2).



Скос у нижней кромки

Рис. 2. Скошенный край у образца из стали 12Х18Н10Т (V = 3,2 м/мин)

Скос объясняется тем, что дуга при резании отклоняется от вертикального положения у нижней поверхности. Таким образом, во время обработки дуга в нижней части реза «отстаёт» от положения дуги в верхней части реза. При смене направления движения плазмотрона дуга, прежде чем перестроиться вслед за направлением плазмотрона, «срезает» часть металла у нижней поверхности образца.

С увеличением скорости резания скос нижней кромки, как и следовало ожидать, увеличивается.

Параллельно было проведено исследование влияния скорости резания на шероховатость и величину отклонения от перпендикулярности поверхности реза.

Шероховатость поверхности реза принималась равной среднему арифметическому значению 6-и измерений. При увеличении скорости резания у образцов из данной стали наблюдается увеличение шероховатости поверхности реза (рис. 3).

Проведенные исследования показали, что величина отклонения от перпендикулярности поверхности реза данных образцов не превышает 10° (рис.4).

С ростом скорости резания наблюдается увеличение отклонения от перпендикулярности поверхности реза. Проведенные исследования позволили определить оптимальную скорость обработки стали 12Х18Н10Т толщиной 2 мм, как с позиции качества, так и точности обработки – 2,2 м/мин. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию режимов обработки непосредственно биметаллической композиции сталь Ст3 – сталь 12Х18Н10Т.



Рис. 3.Зависимость шероховатости поверхности реза от скорости резания



Скорость обработки V, м/мин

Рис. 4. Зависимость отклонения от перпендикулярности поверхности реза от скорости резания

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимянов К.Х., Рахимянов А.Х., Шопф С.В. Исследование обрабатываемости стали Ст3 методом тонкоструйной плазменной резки. Ползуновский альманах. № 1, 2012 г. С. 121-124. УДК 621.7(075.8)

# МАРКИРОВКА МЕДИЦИНСКИХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ИМПЛАНТИРОВАНИЯ<sup>5</sup>

 Х.М. Рахимянов, д.т.н., Н.П. Гаар, к.т.н., Н.С. Белоусова, к.т.н., А.И. Журавлев, А.А. Локтионов
 Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 346-11-88, факс +7(383) 346-17-92. E-mail: pushkin-lok@mail.ru

Рассмотрены особенности лазерной маркировки изделий из пористой и плотной керамики.

Features of laser marking products made of porous and dense ceramic was considered.

Благодаря своим уникальным свойствам керамические материалы находят все большее применение в таких областях медицины, как ортопедия, имплантология, используются для изготовления медицинского инструмента. При этом области применения определяются типом керамики. Например, для восстановления поврежденного тазобедренного сустава используются эндопротезы изготовленные из плотной керамики (рис.1). Этот материал инертен к биологическим жидкостям и тканям организма, обладает высокой прочностью и износостойкостью.

Пористая керамика зарекомендовала себя как материал, применяемый для изготовления эндофиксаторов шейных позвонков (рис. 2). Сквозная пористость данного материала и схожесть со структурой кости обеспечивает циркуляцию биологических жидкостей организма и способствует процессу восстановления.

С целью различения эндопротезов по типоразмерам, номеру партии, фирмеизготовителю существует необходимость маркировки каждого керамического изделия в отдельности. Это позволит не допустить ошибки при установке эндопротезов пациенту или, в случае необходимости, определить номер партии и дату изготовления изделия.

Требование, которое предъявляется к маркировке этих изделий – четкость наносимого изображения и стойкость с течением времени. В то же время, ограни-

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по договору № 02.G25.31.0060



Рис. 1. Пара трения из плотной керамики для восстановления тазобедренного сустава [1]



Рис. 2. Межтеловой эндофиксатор из пористой керамики [2]

чивающим фактором при маркировке является обеспечение неизменности функциональных характеристик протезов.

Наиболее распространенными среди способов маркировки являются механическая и лазерная гравировка. Механическая гравировка представляет собой удаление материала посредствам вращающегося инструмента (фрезы малого диаметра) и перемещения его по требуемой траектории. Использование этого метода для маркировки керамических изделий может привести к образованию сколов по границе надписи или разрушению изделия из-за силового механического воздействия, поэтому является нецелесообразным.

Лазерная маркировка основана на локальном испарении материала за счет сфокусированного лазерного луча. Температура на поверхности маркируемого изделия достигает температуры испарения материала. Однако поскольку время воздействия от одиночного импульса составляет величину порядка 10<sup>-8</sup>с, то в об-

ласти воздействия не происходит структурных изменений. Наносимое изображение формируется за счет отдельных отпечатков при лазерном воздействии и перемещения сфокусированного пучка по заданной траектории. При таком способе маркировки нет силового воздействия на изделие. Кроме этого процесс лазерной маркировки позволяет наносить изображения в труднодоступных местах. Для нанесения маркировки на цилиндрические или конические поверхности необходимо использование дополнительно перемещения. Это возможно посредствам применения ротационного модуля позволяющего осуществлять поворот на заданный угол.

Управлять процессом маркировки возможно варьируя следующими параметрами обработки: мощностью лазера, частотой следования импульсов, скоростью перемещения, интервалом заливки и количеством проходов.

Так как литературных данных по режимам обработки ни плотной, ни пористой керамики нет, то для их определения необходимо произвести ряд экспериментов. За основу были приняты режимы маркировки металлических изделий: скорость перемещения лазерного луча 140 мм/с при частоте следования импульсов 5 кГц. Интервал заливки на всех образцах составлял 0,04 мм, что соответствует 50% перекрытию.

Маркировка осуществлялась на установке МЛ2-1 для лазерной гравировки и маркировки с длиной волны 1,06 мкм.

Варьировали число проходов. Для образцов первой серии количество проходов было равно 1 (рис. 3,а), для образцов второй серии – 3 (рис. 3,б) и образцы третьей серии маркировались за 9 проходов (рис. 3,в). Как видно из представленных рисунков наибольшая четкость и контрастность достигается на образце третьей серии (рис. 3,в).



Рис.3. Межтеловой эндофиксатор из пористой керамики с нанесенной маркировкой

Для оценки устойчивости нанесенной маркировки, изделия из пористой керамики подвергались галтовке. После галтовки читабельные надписи сохранились на образцах серии № 2 и № 3. Однако, учитывая, что количество проходов увеличивает стоимость данной операции и изделия в целом, достаточным режимом маркировки изделий из пористой керамики является режим обработки об-

разцов серии № 2.

Аналогичные эксперименты производились и для плотной керамики. В результате экспериментальных исследований было установлено, что наибольшая четкость и контрастность нанесенной маркировки достигается при следующих режимах обработки: скорость перемещения лазерного луча 25 мм/с при частоте следования импульсов 4 кГц (рис. 4). Интервал заливки также составлял 0,04 мм.



Рис.4. Головка и вкладыш тазобедренного сустава из плотной керамики с нанесенной маркировкой

При этом нанесение четкой надписи обеспечивалось за один проход. Для нанесения маркировки на фаску головки тазобедренного сустава использовался ротационный модуль позволяющий совмещать образующую фаски (посредствам наклона) и фокусную плоскость, а кроме это осуществлять поворот керамическо-го изделия в процессе маркировки. Аналогичные манипуляции производились и с вкладышем тазобедренного сустава.

Таким образом, установлено, что способ лазерной гравировки может применяться для маркировки медицинских изделий из пористой и плотной керамики, сохраняя при этом их функциональные характеристики, а подобранные режимы обеспечивают читабельность и стойкость наносимого изображения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. // CeramTec. 2013. URL: http://www.ceramtec.com/\_img/content/ produkt.mt.biolox.patienten.materialien.jpg

2. // НЭВЗ-КЕРАМИКС. 2013. URL: http://www.nevz-ceramics.com/ assets/images/products/biokeram/gallery/2.jpg.

## ОБОСНОВАНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МИКРО-ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Любимов В.В., Волгин В.М., Сундуков В.К., Кувшинов К.В. Тульский государственный университет 300012, г. Тула, проспект Ленина, 92. тел. (4872) 35-24-52, E-mail: kostaspirant@rambler.ru

#### Введение

В современной промышленности в связи с миниатюризацией получаемых изделий для улучшения их потребительских свойств, технологичности, эффективности функционирования, появилась необходимость в формировании микроэлементов различной формы на поверхностях деталей.

При формировании микроэлементов деталей традиционными методами обработки возникают трудности. Например, при микрофрезеровании расстояние между элементами и их высота ограничены размерами рабочей части микрофрезы. Кроме того, затруднено получение микроэлементов на поверхностях деталей из труднообрабатываемых материалов. Одним из методов получения микроэлементов заданной формы является электроэрозионное микроформообразование. Для осуществления процесса электроэрозионного микроформообразования необходимы электроды-инструменты, имеющие на рабочей части микроэлементы заданной формы и соответствующими размерами [1-3].

Как показал анализ проведенных ранее исследований, при получении электродов-инструментов (ЭИ) для электроэрозионного микроформообразования достаточно сформировать его рабочую часть (РЧ), которая впоследствии присоединяется к основе ЭИ. Эта особенность открывает огромные возможности для формирования различных микроэлементов (МЭ) на поверхностях заготовок, в том числе из труднообрабатываемых материалов [1,2].

**Целью исследования** является обоснование минимальных величин геометрических параметров ЭИ для МЭЭО за счет определения допустимого теплового потока в стенках электродов.

**Проведение исследований.** С учетом анализа возможных методов изготовления ЭИ для МЭЭО составлена диаграмма возможных границ применения различных методов изготовления ЭИ в зависимости от заданных размеров как собственно ЭИ, так и его рабочей части (рисунок 1). В предложенной диаграмме выделены области методов изготовления ЭИ для микрообработки и макрообработки.

При электроэрозионном формообразовании микроэлементов необходимо

оценить минимально возможную толщину стенки ЭИ. Для этого проведены исследования нестационарного теплопереноса в стенках ЭИ при единичном электрическом разряде.



Рис.1. Диаграмма возможных границ методов изготовления ЭИ, с различными геометрическими параметрами

Расчет выполнялся для элемента трубчатого ЭИ в виде параллелепипеда (рисунок 2), где S – толщина стенки ЭИ изменялась от 5 до 30 мкм.



Рис. 2. Расчетная схема воздействия единичного электрического разряда при микроэлектроэрозионной обработке на стенку ЭИ: 1 – электрод-инструмент;

2 – рабочая жидкость; 3 – заготовка (анод); 4 – канал разряда;

5 – лунка с расплавленным металлом; 6 – генератор импульсов Для учета фазового перехода материала ЭИ (из твердого в жидкое состояние) в математическое описание вводится удельная теплоемкость, зависящая от температуры:

$$C(T) = C_{\rm T} + \delta(T - T_{\rm III})\Delta H + l(T - T_{\rm III}) (C_{\rm K} - C_{\rm T}), \qquad (1)$$

где  $\delta(T - T_{\Pi\Pi}) = \frac{\exp\left[-(T - T_{\Pi\Pi})^2 / \Delta T^2\right]}{\sqrt{\pi} \Delta T}$  - кривая Гаусса, учитывающая различную теплопроводность материала ЭИ в твердом и жидком состоянии;  $1(T - T_{\Pi\Pi})$  - единичная функция, равная нулю при  $T < T_{\Pi\Pi}$  и равная единице при  $T > T_{\Pi\Pi}$ , фактически используется сглаженная единичная функция: 0 – при  $T < T_{\Pi\Pi} - \Delta T$ , 1 – при  $T > T_{\Pi\Pi} + \Delta T$  и линейно изменяющаяся от 0 до 1 при  $T_{\Pi\Pi} - \Delta T \leq T \leq T_{\Pi\Pi} + \Delta T$ .

Уравнение нестационарного теплопереноса на поверхности ЭИ имеет вид:

$$C(T)\rho_0 \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(k \operatorname{grad} T)$$
(2)

На участке поверхности ЭИ, соответствующей разряду, задается тепловой поток. На поверхностях ЭИ, контактирующих с рабочей жидкостью, задается конвективный теплообмен.

В результате численного решения определяется распределение температуры в течение импульса. Размеры лунки принимаются равными зоне расплавленного металла (в конце импульса). В результате расчета определяется доля тепловой энергии поступившей в ЭИ (общая энергия минус энергии на нагрев и плавления металла в лунке, минус количество тепла, отведенное в рабочую жидкость) от общей подведенной энергии.

Исходные данные: температура окружающей среды -  $T_0=293$  К, длительность импульса -  $\tau_u=10^{-6}$  с, сила тока электрического разряда  $I_p$  менялась от 0,5 до 1 А, напряжение в канале электрического разряда  $U_p=20$  В.

Исходные данные для меди: плотность -  $\rho=8940$  кг/м<sup>3</sup>; удельная теплоемкость: в твердом состоянии -  $C_T = 400$  Дж/кг×С, в жидком состоянии -  $C_{\mathcal{K}} = 550$ Дж/кг×С; скрытая теплота плавления -  $\Delta H=203700$  Дж/кг; температура плавления -  $T_{\Pi\Pi} = 1356,55$  К; температура кипения -  $T_{K\Pi\Pi} = 2840,15$  К; коэффициент теплопроводности - k = 386 Вт/(м<sup>2</sup>×С). Значение  $\Delta$ Т было принято равным 25 К.

Тепловой поток на поверхности ЭИ в зоне действия электрического разряда задавался функцией:

$$Q = \eta \frac{4W_{\rm P}}{\pi R_{\rm P}^2} \exp\left[-4\left(\frac{|r-r_0|}{R_{\rm P}}\right)^2\right],\qquad(3)$$

где  $\eta$  - доля энергии в канале разряда, поступающая в ЭИ;  $W_{\rm p} = U \cdot I$  - мгновенное значение энергии, выделяемой в канале разряда;  $R_{\rm p}$  - радиус канала разряда; r – радиус-вектор точки на поверхности ЭИ;  $r_0$  – радиус-вектор точки на поверхно-

сти ЭИ, соответствующей центру канала разряда;  $|r - r_0| = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$ .

Из анализа литературы и результатов предварительных исследований следует, что изготовление ЭИ с микроэлементами на рабочей части может быть реализовано в несколько этапов [2]:

1) изготовление рабочей части ЭИ, на которой производится непосредственно электроэрозионная обработка, которая имеет на своей поверхности микроэлементы различной формы и размеров;

2) изготовление электрододержателя, на котором крепится рабочая часть ЭИ и который имеет элементы для крепления к приводу станка;

3) операция сборки, на которой происходит соединение рабочей части ЭИ с электрододержателем.

**Результаты исследований.** В соответствии с заданными граничными условиями и исходными данными проведено моделирование распределения температур на торце электрода-инструмента. На рисунке 3 представлено распределение температуры на торце электрода-инструмента при единичном импульсе тока. Данное распределение рассчитано при токе электрического разряда от 0,5 до 1 А и толщине стенки ЭИ от 5 до 30 мкм.

Из анализа приведенных графиков распределения температуры на торце ЭИ, можно сделать вывод, что при толщине ЭИ менее 20 мкм (см. рис.3 а-в) происходит расплавление торца ЭИ по всей его толщине, что может влиять на изменение геометрии торца ЭИ, а, следовательно, влиять на точность МЭЭО.

На основании анализа систематизации ЭИ для МЭЭО приведенной в работе [2], а также теоретических и экспериментальных исследований процессов микроформообразования проведена систематизация технологий изготовления ЭИ для МЭЭО.

**Выводы.** Проведены исследования распределения температур на торце ЭИ малой толщины при его нагреве в процессе электроэрозионного микроформообразовании. При анализе графиков распределения температуры на торце ЭИ с толщиной стенки от 5 до 30 мкм установлено, что при толщине ЭИ менее 20 мкм происходит расплавление торца ЭИ по всей его толщине, что может влиять на изменение геометрии торца ЭИ, а, следовательно, на точность микроэлектроэрозионной обработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кувшинов К.В., Курочкин А.И. Получение поверхностных микроэлементов методом микроэлектроэрозионной обработки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – Вып. 5. – С. 177-186.

2. Кувшинов К.В. Технологии изготовления электродов-инструментов с





S/2

4000

3500

3000

2500

2000

1500 1000

> 500 0

> > 0

Рис. 3. Графики распределения температуры по толщине стенки ЭИ на его торце при единичном импульсе в процессе МЭЭО:

толщина стенки

толщина стенки S=20 MKM

толшина стенки

S=10 мкм

S=30 мкм

Тпл

S

а – зависимости при различной толщине ЭИ и силе тока 0,5 А;

б - зависимости при различной толщине ЭИ и силе тока 0,8 А;

в - зависимости при различной толщине ЭИ и силе тока 1 А,

где T<sub>пл</sub> – температура плавления меди, T<sub>кип</sub> – температура кипения меди

микроэлементами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – Вып. 3. – С. 48-57.

3. Сундуков В.К., Кувшинов К.В. Получение тонкостенных электродовинструментов для микроэлектроэрозионной обработки // Высокие, критические электро- и нанотехнологии: труды научно-технической конференции посвященной 85-летию Седыкина Федора Владимировича. ТулГУ, Тула, 7 июня 2012 г. – C. 121-127.

# ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНЕ ВТ1-0 МЕТОДОМ ВНЕВАКУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ

О.Г. Ленивцева, аспирант, Л.В. Чучкова, студентка, К.В. Волкова, студентка Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск, тел. (383) 346-06-12 E-mail: lenivtseva\_olga@mail.ru

Целью данной работы является получение износостойких покрытий с использованием технологии вневакумной электронно-лучевой обработки порошковых смесей. Смесь порошка титана, углерода и флюса CaF<sub>2</sub> наносились на основу из технически чистого титана BT1-0, а затем обрабатывалась электронным лучом. В результате было получено покрытие толщиной 2 мм, содержащее высокопрочные частицы карбида титана, распределенные в вязкой матрице а-титана. Полученное покрытие отличается высоким уровнем твердости и износостойкости.

The aim of the present study is to obtain wear-resistant coatings by using non-vacuum electron-beam treatment of powders mixtures. The mixture of powders titanium, carbon and CaF<sub>2</sub> flux were deposited on a substrate of commercially pure titanium VT1-0 and then treated with electron beam. The result was obtained by coating with a thickness of 2 mm, comprising a high strength titanium carbide particles dispersed in a viscous matrix of  $\alpha$ -titanium. The coating has a high level of hardness and wear resistance.

Благодаря высокой удельной прочности, небольшой удельной массе и отличной коррозионной стойкости титановые сплавы используются для решения многих инженерных задач. Их применяют при изготовлении компрессоров реактивных двигателей, теплообменников высокого давления, установок по опреснению воды. Однако высокий коэффициент трения и низкая износостойкость существенно сужают области применения данного материала. Существуют различные методы улучшения триботехнических свойств титановых сплавов. Лучшие результаты получаются при использовании технологии лазерной и электроннолучевой наплавки [1-4]. В данной работе применялась уникальная технология наплавки, основанная на использовании мощных ускорителей электронов типа ЭЛВ-6, разработанных специалистами Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН [5]. Главной особенностью данной технологии является отсутствие необходимости применения вакуумных камер, так как обработка электронным пучком проводится в атмосфере воздуха. Несмотря на высокие скорости обработки, которые позволяют минимизировать окислительное воздействие атмосферы, для защиты порошковой смеси используют сварочный флюс. Флюс в процессе обработки формирует корку шлака, которая легко удаляется.

В данной работе представлены исследования поверхностных слоев титана, полученных при наплавке углеродсодержащих смесей электронным лучом в воздушной атмосфере. Образцы размером 100х50 мм вырезались из листа технически чистого титана ВТ1-0 толщиной 10 мм. В качестве наплавочной смеси использовались порошки титана и графита. Для обеспечения однородного плавления порошковой смеси и ее защиты от воздействия окружающей среды использовался флюс CaF<sub>2</sub>. Наплавочная смесь наносилась на основу из титанового сплава ВТ1-0 с плотностью насыпки 0,3 г/см<sup>2</sup> и подвергалась оплавлению.

При исследовании структуры образцов, полученных при обработке электронным лучом в атмосфере воздуха, было выявлено наличие четырех зон с различной микроструктурой: зона переплавленного, переходная зона, зона термического влияния (ЗТВ) и исходная структура подложки.

В соответствии с данными рентгенофазового анализа покрытие состоит из α-титана, карбида титана TiC и графита. Следует отметить, что доля карбидной фазы в покрытии, тип ее распределения и морфология изменяются от поверхности вглубь покрытия. Вблизи поверхности заготовки фаза TiC представлена в виде крупных выделений с формой близкой к сферической. С удалением от поверхности частицы преимущественно выделяются в форме дендритов. В непосредственной близости от основного металла карбидные частицы теряют признаки дендритного строения и многие из них распределены по границам зерен матричной фазы.

Микротвердость материала уменьшается в направлении от поверхности к основному металлу, что обусловлено изменением доли карбидной фазы и характера ее распределения. Микротвердость матричной фазы α-Ті превышает уровень твердости основного материала в два раза. Значение твердости ТіС, зафиксированное методом наноиндентирования, составляет 25 ГПа.

Износостойкость покрытий определялась по схеме трения о нежестко закрепленные частицы абразива. Установлено, что потеря массы материала с покрытием в 7 раз ниже по сравнению с титановым сплавом BT1-0.

Учитывая отмеченное, можно сделать вывод о том, что использование технологии вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей позволяет получать высокопрочные покрытия толщиной до 2 мм, характеризующиеся малым количеством дефектов. Структура покрытий, содержащая карбидные частицы обеспечивает высокий уровень твердости и износостойкости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Surface Treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction / B. Courant, J.J. Hantzpergue, S. Benayoun // Wear. 1999. № 236. P. 39–46.

2. Numerical modeling and experimental investigation of TiC formation on titanium surface pre-coated by graphite under pulsed laser irradiation/ A. Chehrghani, M.J. Torkamany, M.J. Hamedi, J. Sabbaghzadeh// Applied Surface Science. 1 January 2012. Vol. 258, Issue 6. P. 2068-2076.

3. Surface nitriding of Ti-6Al-4V alloy with a high power CO2 laser / J.H. Abboud, A.F. Fidel, K.Y. Benyounis // Opt. Laser Technol. 2008. Vol/ 40(2). P. 405-14.

4. Электронно-лучевая наплавка покрытий на титановые сплавы / М. Г. Голковский, И. М. Полетика, Р. А. Салимов // Физика и химия обработки материалов. 2009. № 1. С. 56-64.

5. Грищенко А.И., Корабельников Б.М., Кузнецов С.А., Куксанов Н.К., Салимов Р.А. Сдвоенные ускорители типа ЭЛВ // Приборы и техника эксперимента, 1980, №3, стр. 21-22.

УДК 621.7.044.7

# ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДУКТОРА И КОНЦЕНТРАТОРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТАНОВКИ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

 А.Г. Овчаренко, профессор, д.т.н., А.Ю. Козлюк, доцент, к.т.н., М.О. Курепин, ст. преподаватель
 БТИ Алт ГТУ, г. Бийск 659305, Бийск, ул. Трофимова, 27 Бийский технологический институт
 Алтайского государственного технического университета, e-mail: pbuk@bti.secna.ru

В данной статье описана программа для расчета индуктора и концентратора магнитно импульсной установки. Программа позволяет получить эскиз концентратора магнитного поля с размерами и количество витков индуктора при заданной площади сечения проводника, требуемой напряженности магнитного поля и заряда конденсаторной батареи.

In given article the program for calculation inductor and the concentrator magnetic-impulse installation is described. The program allows to receive the sketch of the concentrator of a magnetic field with the sizes and quantity of coils inductor at the set area of section of the conductor, demanded intensity of a magnetic field and a charge capacitors battery.

Комбинированная магнитно-импульсная обработка (КМИО) является одним из методов упрочнения поверхности деталей машин и металлообрабатывающего инструмента. В процессе КМИО изделий различных форм и размеров возникает необходимость создания нового рабочего инструмента для магнитно-импульсных установок. Основными элементами рабочего инструмента являются

концентратор и индуктор магнитного поля. Обычный расчет параметров рабочего инструмента для магнитно- импульсной установки является процессом трудоемким и длительным, что не всегда удобно при большом ассортименте обрабатываемых изделий. Для ускорения и автоматизации процессов расчета была создана программа для ЭВМ, при помощи которой получают эскиз концентратора магнитного поля, количество витков индуктора и необходимое сечение для проводника обмотки индуктора. Варьируя исходные данные для расчета рабочего инструмента КМИО, определяется необходимая энергия, накапливаемая на конденсаторной батарее. Это позволяет рассчитать инструмент для КМИО при заданной напряженности магнитного поля.

Программа рассчитывает параметры рабочего инструмента для КМИО, используя известную методику для установок магнитно-импульсной штамповки (рис. 1) [1,2].

На первом этапе расчета выбирается вид обрабатываемой поверхности изделия, что приводит к выбору соответствующего алгоритма расчета. На втором этапе вносятся исходные данные для расчета. Для различных видов формы обрабатываемой поверхности требуется своя конструкция концентратора магнитного поля.

Основными исходными данными для расчета являются:

- требуемая напряженность магнитного поля;

- ёмкость накопителя;
- размеры зоны обработки;
- собственная индуктивность контура;

- изоляционный зазор;

- профиль и размеры профиля проводника в сечении.

На третьем этапе программа выдает окно с результатами расчета и окно с эскизом концентратора магнитного поля и его размерами (рис. 2).

Программа для расчета рабочего инструмента КМИО написана на языке программирования Visual Basic, при её написании использовалась программа Microsoft Visual Studio 2008 [3].

Таким образом, предлагаемая программа позволяет значительно ускорить процессы расчета и проектирования основных рабочих элементов установок для комбинированной магнитно-импульсной обработки изделий различной формы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. Справочник по магнитноимпульсной обработке металлов. – Харьков.: Вища школа, 1977. - 168 с.

2. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О. Индукторы для комбинированной магнитно-импульсной обработки инструментов различной формы / //Обработка металлов.-2008.- №3. - С.11-12.



Рис. 1. Алгоритм расчета индуктора с концентратором магнитного поля



Рис. 2. Эскиз конического концентратора магнитного поля

3. Демидова Л.А., Пылькин А.Н. Программирование в среде Visual Basic for Application: Практикум.- М.: Горячая линия - Телеком, 2004.-175с.

# РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ ГАЗОПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

М.В. Радченко, д.т.н., проф., Д.А. Нагорный, Ю.О. Шевцов, к.т.н., доцент, Т.Б. Радченко, д.т.н., проф. Алтайский государственный технический ун-тет им. И.И.Ползунова Барнаул, тел. +7(3852)29-07-65 факс +7(3852)29-07-64. E-mail: yuoshevtsov@mail.ru

В работе изложены основные этапы исследовательских работ по разработке устройства для реализации сверхзвуковой газопорошковой наплавки.

The results of coatings properties investigations, made by gas powder cladding process and technological demands as well, are presented in the article.

Известно, что прочность сцепления с металлом подложки и другие качественные характеристики наносимых покрытий напрямую зависят от выбранного способа их нанесения. При этом наибольшей прочностью сцепления и отсутствием пористости обладают покрытия, нанесенные на поверхность путем наплавки, ввиду формирования монолитного соединения металла покрытия с основой путем их пограничного сплавления и формирования металлической связи, что является критерием высокого качества.

Разработан способ газопорошковой наплавки (ГП-наплавки), обладающий максимальной простотой, мобильностью и универсальностью применения при низких материальных затратах на реализацию. Однако ряд серьезных недостатков, обусловленных низкой концентрацией тепловой энергии газового пламени, приводит к формированию неоднородных покрытий с нестабильными качественными характеристиками. Вследствие этого, область практического применения ГП-наплавки весьма ограничена.

Повысить качественные показатели наплавочных покрытий возможно только при увеличении плотности газопламенной струи, а также её фокусировке в пятне нагрева. При этом единственным техническим решением, позволяющим сконцентрировать тепловой поток в пятне нагрева, является использование сверхзвуковых сопел (сопел Лаваля), которые формируют сжатый газопламенный поток за счет его высокой скорости истечения из среза сопла.

Однако на практике в роли инструмента для нанесения покрытий сверхзвуковые сопла получили основное применение только в установках для сверхзвукового газопорошкового напыления, где главной целью является не концентрация тепловой энергии в пятне нагрева, а увеличение скорости разгона частиц напыляемого покрытия. При этом существующее оборудование для сверхзвукового напыления предназначено для нанесения порошковых материалов и сплавов сверхмелких фракций (2-25 мкм), выпускаемых только за рубежом и превосходящих по стоимости отечественные порошковые материалы с минимальным размером фракции 40-100 мкм (OM) в 4-5 раз.

Учитывая вышеизложенное, целью работы, выполненной в рамках программы СТАРТ-2005, являлась разработка устройства для сверхзвуковой газопорошковой наплавки (СГП-наплавки) покрытий порошковыми сплавами системы Ni-Cr-B-Si с размером фракции 40-100 мкм, использующего сопло Лаваля для концентрации газопламенного потока в пятне нагрева, а также последующее исследование технологических характеристик данного наплавочного устройства.

Для расчета, разработки и анализа характеристик сверхзвуковых сопел и других составляющих элементов устройства для СГП-наплавки, был разработан алгоритм (рис. 1).



Рис 1.Алгоритм разработки устройства для СГП-наплавки

Износостойкость покрытий исследовались с помощью испытаний на сопротивление механическому изнашиванию о закрепленные частицы [1].

В качестве наплавочного материала был выбран самофлюсующийся сплав ПГ-СРЗОМ (ГОСТ 21448-75) системы Ni-B-Cr-Si, обладающий комплексом прочностных и технологических свойств, обеспечивающих широкий диапазон применения получаемых покрытий [2].

В качестве базовой технологической аппаратуры для проведения исследований была использована универсальная установка для газопорошкового нанесения покрытий «КЕДР», а также горелка ГН-5П.

Термоциклирование и определение эффективной тепловой мощности газопламенных потоков проводилось с помощью хромель-алюмелевых термопар. Измерения фиксировались с помощью измерителя-регулятора «OBEH TPM 202 v2.025» и обрабатывались с помощью программы «MasterSCADA». Эффективная тепловая мощность газопламенных струй рассчитывалась с помощью уравнения приращения температуры в пластине от мгновенного неподвижного линейного источника.

Расчет сечений для сопел Лаваля с различными числами Маха М, исходя из максимально-допустимого расхода газовой смеси [3], производился в соответствии с уравнением неразрывности (уравнение постоянства расхода) [4]:

$$G_m = pwF = p_{kp}w_{kp}F_{kp}, \qquad (1)$$

где  $G_m$  - массовый расход газов;  $\rho_{kp}$  - плотность газа в критическом сечении сопла;  $w_{kp}$  - скорость в критическом сечении (равна скорости звука);  $F_{kp}$  - площадь критического сечения сопла.

В результате исследований теплоэнергетических характеристик газопламенных струй, формируемых соплами с различными числами Маха, было установлено, что значительно увеличить концентрацию тепловой энергии в пятне нагрева и снизить расход газовой смеси при стабильном истечении газовых потоков, позволяют сопла с числами Маха М4 и М5 (рис. 2) при значениях угла наклона  $\alpha$  от 15° до 25°.

Экспериментальные исследования показали, что сопло с числом Маха М5 обладает наиболее перспективными теплоэнергетическими и эксплуатационными характеристиками, в числе которых максимальная эффективная тепловая мощность (порядка 2830...2910 Дж) и локализация нагрева, при стабильном формировании газопламенного потока, позволяющем регулировать его мощность в широком диапазоне. При этом наибольшее, в сравнении с другими апробируемыми соплами Лаваля, эффективное расстояние нагрева ( $L_p=10...25$  мм) позволяет снизить давление газопламенного потока на нагреваемую поверхность, что при реализации процесса наплавки способствует более равномерному формированию слоя наплавляемого покрытия без раздувания жидкого металла из зоны наплавки.

В результате установлено, что единственной работоспособной схемой, по-

зволяющей реализовать процесс ГП-наплавки с помощью сверхзвукового сопла (М5) при обеспечении однородного слоя формируемого покрытия и высокого коэффициента использования порошка, является схема с радиальной подачей порошка в закритический участок сопла Лаваля.



Рис.2. Теплоэнергетические и эксплуатационные характеристики сопел: *а* - термоциклы при нагреве до температуры «запотевания»; *б* - гистограмма со значениями эффективной тепловой мощности и расхода газовой смеси

В ходе экспериментальной реализации СГП-наплавки с помощью сопла Лаваля М5 было установлено, что зона с высокой концентрацией тепловой энергии газопламенного потока находится на участке формирования ядра пламени, расположенном при выходе из участка расширения сопла Лаваля (у сопла M5 с  $d_{\kappa p} = 1,2$  мм  $L_{\rm ядра} \approx 15...25$  мм). После прохождения этого участка тепловая мощность газопламенного потока резко падает и не позволяет эффективно нагревать поверхность и быстро расплавлять материал для наплавки.

В результате была разработана и защищена патентом конструкция наплавочного сопла [5] для реализации СГП-наплавки (рис. 3).



Рис. 3. Универсальное сопло СГП-наплавки: *а* - схема сопла для СГП-наплавки; *б* – наплавочное устройство с универсальным соплом в сборе

В ходе реализации СГП-наплавки с использованием данного сопла было достигнуто формирование равномерно наплавленных слоев с высоким коэффициентом использования порошковых материалов. Была разработана бесперебойная система подачи порошковых материалов, обеспечивающая точное порционное регулирование количества подаваемого порошка, посредством тарельчатого порошкового дозатора с сервоприводом.

Экспериментальные исследования (рис. 4) показали, что износостойкость покрытий, выполненных СГП-наплавкой, примерно в 1,8...3,2 раза выше износостойкости образцов, выполненных дозвуковой ГП-наплавкой.



Рис. 4.Относительная износостойкость покрытий: 1 – сталь 45 (эталон), 2,– ГП-наплавка (толщина h=1,5...2,0 мм), 3 – ГП-наплавка (h=1,0...1,5 мм), 4 - СГП-наплавка (h=1,0...1,5 мм), 5 - СГП-наплавка (h=1,5...2,0 мм)

Таким образом, в результате сравнительных исследований износостойкости и микроструктуры наплавленных покрытий, установлено, что использование сжатого газопламенного потока с высокой локализацией нагрева, формируемого соплом Лаваля (M5), для наплавки покрытий увеличивает скорость нагрева и последующего охлаждения присадочного металла, снижая тем самым его нахождение в расплавленном состоянии. Это значительно уменьшает размер карбидной фазы в матрице покрытий и снижает частичное растворение твердых частиц и их укрупнение в результате коагуляции. Такие характеристики структуры наплавленных слоев являются предпосылкой для высоких показателей износостойкости покрытий на деталях машин и инструменте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тушинский Л.И., Плохов А.В. Исследование структуры и физикомеханических свойств покрытий. - Новосибирск: Наука, 1986.- 201 с.

2. Бабич Б. Н. Металлические порошки и порошковые материалы / Б. Н. Бабич [и др.]- М.: ЭКОМЕТ, 2005.- 520 с.: ил.

3. Расчет сопла Лаваля при разработке аппаратуры для сверхзвуковой газопорошковой наплавки/ Радченко М.В., Нагорный Д.А.// Ползуновский вестник, 2008.- №3- С. 346-349. 4. Абрамович Г.И. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Ч.1: учеб. руководство для втузов. - 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991.- 600 с.

5. Патент на полезную модель № 60410 Россия, МПК В22В 19/06. Устройство для сверхзвуковой газопорошковой наплавки /Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Нагорный Д.А., Маньковский С.А.; заявл. 4.07.2006; опубл. 27.01.2007 в Б.И. № 3.

УДК 621.791.92

### ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА И ДИАГНОСТИКИ МОСТИКОВ ТРУБНОЙ РЕШЕТКИ БАРАБАНОВ КОТЛОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

# А.Н. Смирнов, д.т.н., В.Л. Князьков, к.т.н., Н.В. Абабков, к.т.н. Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева г. Кемерово, Российская Федерация

В статье рассмотрен пример восстановительного ремонта поврежденных мостиков трубной решетки барабанов котлов высокого давления. Ремонт заключался в удалении дефектного металла, наплавке модулированным током при проведении предварительной и сопутствующей термической обработки. После наплавки, помимо традиционных методов контроля, применялся спектрально-акустический метод.

The example of regenerative repair of damaged tubesheet bridges of high pressure boiler drums is considered in the article. The repair is consisted in to remove the defective metal, surfacing modulated current in preliminary and accompanying heat treatment. The spectrally-acoustic method is applied after the deposition in addition to traditional methods of control.

В период эксплуатации барабанов котлов высокого давления, изготовленных из сталей 16ГНМ, 22К и 16М на предприятиях ОАО «Кузбассэнерго», были выполнены ремонтно-восстановительные работы, технология которых не полностью приведена в инструкции [1]. Данная технология разработана в ООО «Кузбасский Центр сварки и контроля» [2] и была, в частности применена при ремонте барабана котла ст. № 2 Южно-Кузбасской ГРЭС (г. Калтан, Кемеровская обл.) [3].

При проведении технического диагностирования в мостиках трубной решетки барабана котла высокого давления, тип котла ПК-10 (специальная молибденовая сталь,  $\emptyset$ 1490×95 мм, давление в барабане – 11,0 МПа, температура – 316 °C, дата изготовления 1950 г., дата пуска 1951 г., время эксплуатации – 320 тыс. ч) было обнаружено большое число дефектов, характер которых представлен на (рис. 1, *а* и *б*). Ремонт барабана выполняли в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и системы обеспечения охраны труда.





Удаление дефектов в мостиках и подготовка к наплавке. В первую очередь, закрывали отверстия водоопускных труб для предотвращения попадания в них посторонних предметов и обозначали контуры выборок мостиков по границам повреждений несмываемой краской. Особенностью выполнения условий охраны труда при работах по выборке дефектного металла являлась необходимость постоянной вентиляции барабана котла в период ремонта, которую обеспечивали основным и резервным вентилятором, а также применением установки тока повышенной частоты для предварительного, сопутствующего подогрева и термической обработки.

Выборку дефектов осуществляли механическим способом. Форма и размеры выборок соответствовали указанным на рис. 2. Некоторые размеры (обозначенные \*) корректировали в процессе выборки до полного удаления дефектов. Очищали поверхность барабана вокруг выборок на 100 мм до металлического блеска.



Рис. 2. Схема выборки мостиков трубной решетки барабана

После механической обработки поверхности выборок и прилегающие к ним поверхности барабана контролировали методами цветной или магнитопорошковой дефектоскопии. До проведения наплавочных работ проводили измерение твердости, которая составляла 140–160 НВ.

Наплавка. Для наплавки применяли электроды тип Э-46А, марки УОНИ 13/45 и тип Э-50А, марки УОНИ 13/55 по ГОСТ 9466 и ГОСТ 9467 диаметром 3 мм. Предварительный и сопутствующий подогрев выполняла специализированная организация ООО «УНИТЕХ» (г. Уфа) по режиму, показанному на рис. 3.



Рис. 3. Режим термообработки при ремонте мостиков трубной решетки барабана котла № 2 (ПК-10) ЮК ГРЭС

Наплавку выполняли на режимах тока 90–110 А. Направление наплавки изменяли при каждом проходе на противоположное, как это показано на рис. 4.

Дефекты в виде наплывов и подрезов удаляли шлифованием с последующим тщательным удалением крошек корунда. Наплавка по высоте превышала поверхность барабана на 4–6 мм. По завершении наплавки и полном охлаждении, её поверхность выравнивали шлифованием вровень с поверхностью барабана.



Рис. 4. Схема наплавки мостиков трубной решетки барабана

По окончании шлифовки участок наплавки выдерживали при температуре подогрева в течение 3 часов с последующим охлаждением под слоем теплоизоляции. Проводили контроль качества наплавки стандартными методами неразрушающего контроля (ультразвуковая, цветная и магнитопорошковая дефектоскопии), а также с использованием акустической многофункциональной системы «АСТРОН» (спектрально-акустический метод).Измерение времени задержки волн Релея с применением многофункциональной установки «АСТРОН», предназначенной для контроля состояния материала. В основу работы системы положен современный спектральный импульсный метод акустической структурометрии.

Для обеспечения устойчивого сигнала, на исследуемую поверхность наносили слой глицерина. Для проведения акустических измерений поверхность сканирования разбивали на зоны в виде прямоугольников (рис. 5).



Рис. 5. Схема измерения поверхностных акустических характеристик

Полученные результаты времени задержки импульсов волн Релея – R (нс), а также изменения величины задержки импульсов волн Релея в зоне приварки водоопускной трубы представлены на рис. 6.

Результаты замеров (рис. 6) отражают характер изменения времени задержки волн Релея относительно сечений исследуемых образцов наплавленного металла. Данные измерений обработаны программой *«STATISTICA»* с доверительной вероятностью 0,95.

Экспериментально установлено, что время задержки волн Релея возрастает до 90 нс в ЗТВ в образцах наплавленного металла барабанов котлов высокого давления. Эта величина изменяется в зависимости от режимов сварки и термообработки.

Проведенные измерения твердости показали, что значения оказались примерно одинаковы во всех зонах: наплавленный металл – 160–170 HB, 3TB – 175– 180 HB, основной метал – 175–180 HB. При этом значения твердости металла основных элементов барабанов из специальной молибденовой стали согласно требований нормативной документации должны находиться в пределах от 120 до 180 НВ. Таким образом, реальные значения твердости не превысили допускаемых значений.



Рис. 6. Изменение времени задержки волн Релея относительно сечения исследуемого образца наплавленного металла

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СО 153-34.17.442-2003. Инструкция по порядку продления срока службы барабанов котлов высокого давления.

2. Смирнов, А. Н. Опыт ремонта барабанов из специальной молибденовой стали котлоагрегата ПК-10 / А. Н. Смирнов, В. Л. Князьков, Н. М. Макаров и др. // Электрические станции. – 2003. – № 6. – С. 17–22.

3. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления / Н.В. Абабков, Н. И. Кашубский, В. Л. Князьков и др., под общ. ред. Смирнова А.Н. – М.: Машиностроение, 2011. – 256 с.

# ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ\*

Ю.С. Чёсов, к.т.н, доцент, Е.А. Зверев, к.т.н., П.В. Трегубчак, Н.В. Вахрушев, Д.Э. Коробкин Новосибирский государственный технический ун-т Новосибирск, тел.+7(383) 346-17-79, факс +7(383) 346-17-97. Email: egor\_z@ngs.ru

Приведены результаты металлографических исследований структуры износостойких плазменных покрытий из высокохромистого чугуна после высокоэнергетического (ВЭН) воздействия токами высокой частоты. Они показали, что в структуре покрытий практически исчезли поры и несплошности на переходной границе, а также повысилась равномерность распределения микротвердости по глубине слоя.

Results of metallographic researches of structure of wear-resistant plasma coatings from highchromium cast iron after high-energy impact by currents of high frequency were received. Results showed that in structure of coatings such defects as a pores and a unevenness of border were almost liquidated, and also dispersion of distribution of microhardness on depth of a layer was lowered.

Как известно, в машиностроении широко применяются различные методы поверхностного упрочнения деталей машин, в том числе и процесс плазменного нанесения износостойких покрытий. Несмотря на достоинства, присущие плазменным покрытиям, им свойственна достаточно высокая вероятность отказов в процессе эксплуатации при тяжелых режимах нагружения. К основным причинам нарушения работоспособности деталей следует отнести относительно невысокую адгезионную прочность (прочность сцепления покрытия с основой) и наличие пористости в структуре покрытия [1].

В тоже время, как показывает технико-экономический анализ современных тенденций развития традиционных технологий нанесения покрытий (газопламенные, электродуговые, плазменные, индукционные, лазерные, электроннолучевые, детонационные и другие), к настоящему времени все они практически полностью исчерпали свои потенциальные возможности с позиции существенного повышения качественных показателей. Поэтому наиболее эффективное решение этой проблемы возможно только на основе применения так называемых гибридных и комбинированных технологий. Реализация этих технологий позволяет в

<sup>\*</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

значительной мере нивелировать недостатки, присущие каждому из методов, и получить заметно улучшенные показатели качества покрытий.

Достоинство гибридных технологий (технологий, при которых зона обработки формируется при одновременном воздействии нескольких источников энергии) обусловлено синергетическим эффектом от введения энергии различных источников в обрабатываемую зону. Однако с практической точки зрения наиболее целесообразно использование комбинированных технологий.

Сущность комбинированных технологий (технологий, при которых энергия различных источников вводится в зону обработки последовательно) заключается в повторном высокоэнергетическом воздействии на поверхность покрытий с целью улучшения их качественных показателей: увеличение адгезионной прочности, уменьшение пористости, ликвидация нерасплавленных частиц порошка в структуре покрытий, формирование мелкодисперсной структуры и повышение уровня твердости.

Нами проанализированы технологические возможности некоторых методов (электродуговой, электронно-лучевой, лазерный, плазменный и индукционный) [1-3], которые можно использовать для повторного высокоэнергетического воздействия на структуру плазменных покрытий. Анализ показал, что с позиции практического использования в промышленности конкурирующими методами можно считать плазменную обработку и высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ). Однако процесс индукционного нагрева более предпочтителен, так как позволяет осуществлять обработку как всей детали, так и ее отдельных поверхностей. Кроме того, современные индукционные установки обладают практически самым высоким коэффициентом полезного действия (до 95 %), небольшими габаритами и массой, позволяют в определенной степени управлять глубиной температурного воздействия, и обеспечивают высокую скорость нагрева.

Нанесение плазменных покрытий из высокохромистого чугуна марки ПГ-С27 с фракционным размером 50...100 мкм на плоские образцы из стали 20 производили на установке "Киев-7" плазмотроном ПУН-8 мощностью 40 кВт. Оплавление поверхности образцов ВЭН ТВЧ после нанесения покрытий осуществляли на промышленной установке модели ВЧГ 6/60 при частоте тока 440 кГц. Металлографические исследования структуры выполняли на оптическом микроскопе марки *NIKON Eclipse MA100*.

На рис. 1 показаны структуры покрытий после напыления плазмой и дополнительного воздействия на нее ВЭН ТВЧ

Из рисунка видно, что при повторном высокоэнергетическом воздействии в структуре покрытия практически ликвидируются поры и нерасплавленные частицы порошка, отсутствуют участки с неспошностью на переходной границе.

Металлографический анализ подтверждается и распределением микротвердости по глубине слоя покрытия (рис. 2).



а

Рис. 1. Структуры покрытий (х100): *а*) исходный вариант; б) после воздействия ВЭН ТВЧ

б



Рис. 2. Распределение микротвердости покрытий по глубине слоя: 1 – исходный вариант; 2 – после воздействия ВЭН ТВЧ

В отличие от исходной структуры после воздействия ВЭН ТВЧ распределение микротвердости явно более равномерное, хотя в целом максимальная микротвердость покрытия осталась на прежнем уровне. Несомненно, что полученная модификация структуры в целом благоприятно отразится на качестве покрытия.

В то же время нельзя исключить и отрицательного влияния процесса ВЭН ТВЧ. В частности, высокая температура нагрева может привести к изменению химического и фазового составов, а также к росту остаточных напряжений в покрытиях, что приведет к снижению уровня эксплуатационных свойств деталей машин. Поэтому возникает насущная потребность в проведении более глубоких исследований, направленных на определение наиболее оптимальной области режимов ВЭН ТВЧ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плохов А.В. Структура плазменных износостойких покрытий из порошкового материала марки ПГ-С27 // Обработка металлов, 2010. - № 1(46). – С. 14-18.

2. Полевой С.Н. Упрочнение машиностроительных материалов: справочник / С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. – М. : Машиностроение, 1994. – 496 с.

3. Пушнин В. Н., Скиба В. Ю., Иванцивский В. В. Комплексная методика нормирования режимов интегральной обработки // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: Материалы 10-й Всероссийской научно-практической конференции (28 марта 2012 г.). - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2012. - С. 8-10.

УДК 621.9.047

# ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ СПЛАВОВ ЖС6У и ЖС6У+ТіС

В.В. Саяпова, к.т.н., доцент

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, тел. +7(3472) 73-09-62, E-mail: <u>vilija08@mail.ru</u>

Представлена сравнительная характеристика электрохимической размерной обработка (ЭХО) жаропрочных сплавов на никелевой основе ЖС6У и ЖС6У+ТіС в различных электролитах. Выявлено влияние природы электролитов на выходные параметры анодного растворения сплавов: наибольшая скорость съёма и выход по току достигается при анодном растворении в активирующем электролите 15% NaCl. Установлено, что введение тугоплавких дисперсных соединений, которое меняет свойства и структуру жаропрочного сплава ЖС6У+ТіС, ухудшают качество обработки.

Heat resisting nickel-chromium alloys are widely used in manufacturing of various products. Electrochemical dimensional machining is an effective processing method of hard  $\mathcal{K}C$  – type alloys. The regularities of dissolution of high-rate frying nickel-based alloys. The influence of electrolyte composition on the ionization of alloys was investigated: the greatest rate removal is observed in 15%NaCl electrolyte.

В авиационной промышленности для изготовления лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) широко используются жаростойкие никельхромовые сплавы повышенной твёрдости [1]. Данные сплавы плохо поддаются механической обработке, поэтому высокоэффективным методом формообразования изделий из них
является электрохимическая размерная обработка (ЭХО). Использование ЭХО как для предварительной, так и для финишной обработки деталей позволяет обеспечить высокую точность, а также производительность процесса.

ЭХО сплавов ЖС6У и ЖС6У+ТіС проводили в условиях, имитирующих реальный процесс электрохимической размерной обработки жаропрочных сплавов в различных электролитах:1- 8% NaNO<sub>3</sub>; 2-15% NaNO<sub>3</sub>; 3- 15% NaNO<sub>3</sub>+5% NaCl; 4-15% NaCl. Элементный состав поверхностных плёнок после ЭХО сплавов определялся рентгеноспектральным методом на электронном микроскопе JSM-64901LV фирмы JEOL (Япония). Качество поверхности изучалось на профилометре и микроскопе МИИ-4У4.2

Выявлено, что при растворении сплавов наибольшая скорость съема достигается в активирующем электролите 15%NaCl (табл.1). В данном электролите наблюдается и высокий выход по току (во всех электролитах выход по току больше 100%) как для ЖС6У, так и для сплава ЖС6У+ТiС.

Таблица 1

		W, м	м/мин	
	8%	15%	15% NaNO <sub>3</sub> +5%	15% NaCl
	NaNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	NaCl	
ЖС6У	0,4	0,55	0,64	0,8
ЖС6У+ТіС	0,47	0,61	0,7	0,9

Скорость съёма при ЭХО сплавов в различных электролитах

Введение тугоплавких дисперсных соединений, меняя свойства и структуру жаропрочных сплавов, влияет и выходные параметры электрохимической обработки сплава ЖС6У+ТіС. Высокая скорость съёма и выход по току сплава во всех электролитах обусловлено большой скоростью растворения интерметаллидов и карбидов, что ведёт к их дальнейшей дезинтеграции (табл.1). Значительное ухудшение качества поверхности сплавав также связано с дезинтеграцией карбидных включений. Исследование влияния природы электролита на качество обработки жаропрочных сплавов показало, что в растворах на основе нитрата натрия сплавы ионизируются более равномерно и с меньшими значениями Ra, чем в 15%NaCl.

Коэффициент избирательности, характеризующий точность обработки, имеет максимальное значение при растворении сплавов в 15%NaNO<sub>3</sub>.(табл.2)

Исследование элементного состава поверхностных плёнок рентгеноспектральным методом после ЭХО сплавов показало, что свойства плёнок определяются в основном никелевой и кобальтовой компонентой [2]. На поверхности жаропрочного никельхромового сплава ЖС6У, упрочнённого карбидом титана, кроме никеля и легирующих компонентов определен углерод.

#### Таблица 2

К <sub>изб.</sub>						
	8%	15%	15% NaNO <sub>3</sub> +5%	15% NaCl		
	NaNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	NaCl			
ЖС6У	1,2	1,25	1,1	1,05		
ЖС6У+ТіС	1,1	1,15	0,93	0,76		

Коэффициент избирательности при ЭХО сплавов в различных электролитах

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амирханова Н.А., Саяпова В.В., Балмасов А.В. Лилин С.А.Паменова Н.И. Сравнительная характеристика высокоскоростного анодного растворения жаропрочных сплавов типа ЖС //Электронная обработка материалов. Кишинев: Штиинца, 1997 №5-6 С.36-38

2. Саяпова В.В., Амирханова Н.А., Устюжанина С.В., Гордеев В.Ю. Анодное растворение никельхромового сплава ЖС6У в различных электролитах.//

УДК 621.9.047

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ РАСТВОРЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ<sup>4</sup>

# В.В. Янпольский, к.т.н., доц., Т.В. Козич, магистрант Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383)346-11-88. E-mail: <u>mag07@ngs.ru</u>

Проведены экспериментальные исследования электрохимического растворения покрытия на основе порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей  $NaNO_3$ ,  $Na_2SO_4$  и NaCl. Установлено, что растворение покрытия на основе порошковой смеси ПС12НВК в исследуемых составах электролитов происходит в активном состоянии в диапазоне потенциалов от 0 до 4,5 В.

Experimental studies of the electrochemical dissolution of the coating on the basis of the powder mixture PS12NVK in aqueous solutions of neutral salts, NaNO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaCl. Found that the dissolution of the coating on the basis of the powder mixture in the test PS12NVK electrolyte composition is in the active state in the potential range of 0 to 4.5 V.

<sup>•</sup> Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2014 гг. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии»).

В современном машиностроении широко применяются различные покрытия. В зависимости от назначения они могут подразделяться на износостойкие, корозионностойкие, антифрикционные и др. В качестве материала износостойких покрытий наиболее часто используются смеси, в состав которых входят карбиды вольфрама, в частности ПС12НВК, обладающий всеми необходимыми качествами, которые предъявляются к покрытиям данного класса. Однако при повышении твердости покрытия возникают определенные трудности при последующей механической обработке. Применение лезвийной обработки практически невозможно из-за высокой твердости обрабатываемого материала. При использовании абразивных методов в зоне обработки возникают значительные по величине режущие силы, что приводит к появлению высоких локальных температур и, как следствие, образованию поверхностных дефектов в виде прижогов и сетки микротрещин. Возникающие, значительные сил резания так же могут способствовать отслоению нанесенного покрытия от подложки. Наличие таких факторов приводит к существенному снижению производительности процесса обработки и качества поверхностного слоя.

Одним из возможных способов формообразования поверхности покрытий на основе порошковой смеси ПС12НВК является электроалмазное шлифование (ЭАШ). ЭАШ основано на совмещении электрохимического растворения обрабатываемого материала и его механическом резании зернами алмазного круга. За счет такого совмещения в зоне обработки наблюдается существенное снижение режущих сил, что гарантирует отсутствие высоких локальных температур и, как следствие, позволяет избежать образования на поверхности дефектов, характерных для традиционных методов абразивной обработки, таких как прижоги и микротрещины [1, 2]. Однако для эффективного применения указанного метода при формообразовании деталей с покрытиями на основе порошковой смеси ПС12НВК необходимо определить условия электрохимического растворения.

Определение условий электрохимического растворения порошковой смеси ПС12НВК осуществлялось на основе установления зависимости плотности тока от потенциала анода. Исследования проводились на потенциостате *IPC Pro*. Потенциал анода изменялся от 0 до 4,5 В. В качестве электролитов были использованы растворы нейтральных солей  $NaNO_3$ ,  $Na_2SO_4$  и NaCl в воде. Электролиты готовили из солей марки «ч.д.а.» и «х.ч.».

На рис. 1 представлены полученные зависимости плотности тока от потенциала анода при электрохимическом растворении порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей.

В результате анализа поляризационных кривых растворения порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей  $Na_2SO_4$ ,  $NaNO_3$ ,  $u \ NaCl$  установлено, что растворение материала происходит в активном состоянии. О чем может свидетельствовать увеличение плотности тока при повышении потенциала анода во всем исследуемом диапазоне от 0 до 4,5 В.



Данный факт также подтверждается результатами поляризационных исследований растворения порошковой смеси ПС12НВК при фиксированном значении потенциалов, а именно при 0,5 В, 1В и 1,5 В. (рис. 2).



Рис. 2. Потенциостатические поляризационные кривые анодного растворения порошковой смеси ПС12НВК в водном растворе 10% NaNO<sub>3</sub>  $1 - \varphi = 0.5$  B;  $2 - \varphi = 1$  B;  $3 - \varphi = 1.5$  B.

С увеличением времени растворения при фиксированном значении потенциала практически не происходит снижения величины плотности тока, а при потенциалах 1 В и 1,5 В, наблюдается повышение значения плотности тока, что и подтверждает активное растворение материала ПС12НВК в водном растворе 10% NaNO<sub>3</sub>.

Аналогичная картина электрохимического растворения исследуемой порошковой смеси наблюдается и при проведении экспериментов в водных растворах Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и NaCl (рис. 3 и 4).



Рис. 3. Потенциостатические поляризационные кривые анодного растворения порошковой смеси ПС12НВК в водном растворе  $10\% Na_2SO_4$  $1 - \varphi=0.5$  B;  $2 - \varphi=1.5$  B;  $3 - \varphi=2.5$  B.



Рис. 4. Потенциостатические поляризационные кривые анодного растворения порошковой смеси ПС12НВК в водном растворе  $10\% Na_2SO_4$  $1 - \varphi = 0.5 \text{ B}; 2 - \varphi = 1.5 \text{ B}; 3 - \varphi = 2.5 \text{ B}.$ 

Таким образом, проведенные исследования особенностей электрохимического растворения порошковой смеси ПС12НВК в водных растворах нейтральных солей *Na*<sub>2</sub>*SO*<sub>4</sub>, *NaNO*<sub>3</sub>, *u NaCl* позволили установить, что растворение происходит в актив-

ном состоянии, что может быть положительным моментов в плане снижения сил резания при электроалмазном шлифовании покрытия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимянов Х.М. Размерная обработка деталей с покрытиями из наноструктурированных порошковых материалов. /Х.М. Рахимянов, В.В. Янпольский, А.Н. Моисеенко // Обработка металлов. – 2010 - №4(49) – С. 22 – 26.

2. Янюшкин А.С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. – М.: Машиностроение – 1. – 2003. – 241 с.

# СЕКЦИЯ

# ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОБОРУДОВАНИЕ

## АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВКЛАДЫШЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ИМИТАТОРОВ ТВС

Б.А. Красильников, к.т.н., проф., А. В. Кашин Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(952)927-05-92, E-mail: <u>kashin.alexey@ya.ru</u>

Представлен анализ актуальности производства и основные технологические задачи при изготовлении вкладышей транспортных контейнеров для имитаторов TBC.

An analysis of the relevance of production and the main technological challenges in the manufacture of transport containers liners for simulators HGA.

Экономическая привлекательность атомной энергетики сохраняется благодаря быстрой окупаемости, а в сравнении с другими видами теплоцентралей рекордный коэффициент использования установленных мощностей, делает атомную энергетику самым надежным компонентом промышленного развития.

Одним из наиболее перспективных источников является ядерная энергия.

Экономическая привлекательность этого вида энергетики сохраняется благодаря быстрой окупаемости, а рекордный в сравнении с другими видами теплоцентралей коэффициент использования установленных мощностей делает атомную энергетику самым надежным компонентом промышленного развития.

В настоящее время топливный цикл ТВС (тепловыделяющих сборок) увеличивается за счёт увеличения массы топлива в ТВЭЛах (тепловыделяющих элементах) и соответственно уменьшения размера остальных элементов ТВС.

Обычно представляет собой четырёхгранный (PWR) или шестигранный (BBЭP) пучок ТВЭЛов длиной 2,5—3,5 м (что примерно соответствует высоте активной зоны) и диаметром 30—40 см, изготовленный из нержавеющей стали или сплава циркония (для уменьшения поглощения нейтронов) (рис.1).

ТВЭЛы собираются в ТВС для упрощения учёта и перемещения ядерного топлива в реакторе. В одной ТВС обычно содержится 150—350 ТВЭЛов, в активную зону реактора обычно помещается 200—450 ТВС.

При изменении конструкции ТВС требуется заново проводить настройку оборудования необходимого как для производства ТВС, так и для перемещения, настройки и установки в реактор её на АЭС.

Исходя из соображений безопасности, для этих целей используются имита-

торы TBC, изготовленные из нержавеющей стали, имеющие идентичные TBC массогабаритные характеристики.



Рис. 1. Внешний вид ТВС

Имитатор TBC-ответственное изделие, к которому предъявляются высокие требования по хранению и транспортировке. В связи с этим необходима модернизация существующих транспортировочных комплектов.

Существующие транспортировочные контейнеры изготовлены из стальных труб с деревянными вкладышами, обитыми фетром. Так как вес новых имитаторов увеличен, нагрузка на вкладыши возросла, что в свою очередь сделало невозможным применение деревянной конструкции.

Взамен деревянного вкладыша предлагается использование вкладыша из нержавеющей стали. Вкладыш, (рис. 2) изготавливается из 6 секторов длиной 4,5 метра.

Сектор - это сварная конструкция, состоящая из лотка трапецеидальной формы и вваренных в него рёбер жёсткости. Сектора скрепляются между собой заклёпками, образуя «трубу» с шестигранным отверстием.

Все элементы вкладыша изготавливаются из стали 12X18H10T. Основной технологической задачей, при изготовлении вкладыша, является сборка секторов между собой.

С целью соблюдения требований РКД, по части геометрических параметров, сборка осуществляется с применением внутренней оправки, имеющей в по-

перечном сечении форму шестигранника, и наружных скоб фиксирующих сектора, на внутренней оправке и между собой, при сверлении отверстий под заклёпки и клепании.



Рис.2. Вкладыш

Таким образом, применение данного вида вкладышей при транспортировке и хранении имитаторов ТВС позволит:

• существенно увеличить срок службы вкладышей и соответственно транспортировочных контейнеров;

• обеспечить хранение и транспортировку имитаторов с увеличенной массой;

• снизить риск механических повреждений имитаторов;

• снизить себестоимость транспортировочных комплектов и затраты на их ремонт.

### УДК 621.9

# АНАЛИЗ ПЕРФОРАЦИИ ОТВЕРСТИЙ В ЛИСТОВОМ МЕТАЛЛЕ

С.В.Гончаренко, магистрант, Г.И. Смагин, доцент, П.В. Жиляев, студент Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 346-17-79, факс +7(383) 346-17-97. E-mail: Altezza54@mail.ru

Представлена методика пробивки отверстий в листовом металле. Главной проблемой

является производительность и износостойкость инструмента.

The technique of punching holes in sheet metal. The main problem is my performance and tool life

Перфорация металла это процесс, когда отверстия на поверхности металла производятся методом штамповки. Перфорации подвергаются металлические листы, толщина которых не меньше 0,4мм. При этом, толщина металлических листов не должна превышать 12мм. Если это лист из нержавеющей стали, то в этом случае, максимально допустимая толщина составляет 8мм.

Перфорация широко применяется для производства круглых, квадратных, прямоугольных отверстий и отверстий специальной формы в корпусах электротехнических щитов, шкафов и ящиков для установки приборных панелей, кнопок, тумблеров, автоматов и т.д. Металл после перфорации сохраняет свои свойства и остается прочным, износо- и термоустойчивым материалом, потому в наши дни значительно расширяются возможности для его использования. Основные выгоды от применения перфорированного металлического листа в различных отраслях: снижение веса, шумопоглощение или наоборот - акустические эффекты, вентиляция, пожарная безопасность, антивандальность, износостойкость.

Рассмотрим методы перфорации:

1.Метод сверления. С помощью профессионального оборудования в листе высверливаются отверстия, согласно чертежу заказчика. Данный способ на практике используется редко, в основном в тех случаях, когда толщина листа более 12 мм., либо размер заготовки слишком мал и при изготовлении отверстий требуется индивидуальный подход.

2. Метод выжигания лазером. Альтернативой данному методу является метод сверления. Дорогостоящий способ изготовления перфорированного листа. Применяется для пробивки листов с толщиной более 12 мм. Скорость изготовления примерно 6 метров в минуту. Преимуществом данного метода является отсутствие износа.

3. Пробивание отверстий пуансонами. Данный способ характеризуется вырубкой отверстий с помощью специального инструмента — пуансона. Заготовка движется непрерывно, проходя между двумя колесами. На одном из них находится матрица, на другом зафиксированы пуансоны. Колесо с пуансонами вращается, тем самым приводя заготовку в движение. Пуансон непосредственно давит на заготовку листа, в результате чего на листе получается перфорация.

При обычной пробивке отверстий в листовом материале в результате наличия зазора между матрицей и пуансоном поверхность отверстия получается шероховатой со значительными отклонениями геометрических размеров от заданных. В связи с этим применяют специальные методы чистовой пробивки, наиболее распространенные из которых следующие: пробивка отверстий с помощью ступенчатого пуансона; пробивка отверстий путем создания подпирающего усилия в зоне среза.

Ступенчатый пуансон за один ход одновременно пробивает, зачищает и калибрует отверстие. Существенный недостаток этого метода — быстрое изнашивание режущих кромок зачищающей части пуансона. Ребро расположено по контуру прошиваемого отверстия. При вдавливании ребра в обрабатываемый материал часть смещенного металла создает подпирающее усилие в зоне пробиваемого отверстия, а в зоне среза возникает напряжение всестороннего сжатия, в результате чего после пробивки получают гладкое и точное по размерам отверстие. Усилие подпора при вдавливании клиновых ребер в обрабатываемый металл зависит от угла скоса ребер, расстояния между клином и отверстием, смазочного материала и толщины обрабатываемого металла и др.

Зазоры имеют большое технологическое значение в процессе резания листовых материалов как в отношении качества поверхности среза, так и в отношении сопротивления срезу и влияния на стойкость штампов. Заусенцы и дефекты поверхности среза возникают в результате неравномерного распределения зазора по периметру и при затуплении режущих кромок пуансона и матрицы. На рис.1 изображена схема образования заусенцев в результате значительного затупления режущих кромок.



Рис. 1. Образование заусенцев при затуплении режущих кромок

При затуплении режущих кромок пуансона заусенцы образуются на вырезаемой детали (рис. 1, а). При затуплении матрицы заусенцы возникают вокруг пробитого отверстия (рис. 1, б). Наконец, если затупились и матрица, и пуансон, заусенцы образуются и на детали, и вокруг отверстия на материале (рис. 1, в).

Метод пробивания более прогрессивный по сравнению с другими способами изготовления материала, поскольку получаемые листы имеют более низкую себестоимость и высокую производительность, чем при сверлении или выжигании. Скорость изготовления может достигать до 60 метров в минуту.

Самым значимым недостатком этого метода является быстрый износ инструмента. Для ее решения требуется смена материала пуансона. В настоящее время для изготовления пуансонов используется инструментальная сталь 9XC. Мы

предлагаем использовать стали ВК8, ВК15, ВК20 или ВК25 и провести серию испытаний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскобойников В.Г. и др. Общая металлургия - 6-изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005 - 768 с.

2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.

3. http://metall-work.ru/obr-met/38.html

УДК 621.7

## АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ И КАЧЕСТВА СФОРМИРОВАННЫХ ОТВЕРСТИЙ

#### Р.А. Анзыряев, аспирант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Барнаул, e-mail: kubonit@mail.ru

В докладе проведен анализ технологий пластического сверления и качества отверстий изготовленных с применением этих технологий. Описаны достоинства и недостатки различных методов пластического сверления. Приведены результаты экспериментов.

In the report the analysis of technologies of plastic drilling and quality of bores of these technologies made with application is carried out. Merits and demerits of various methods of plastic drilling are described. Results of experiments are given.

Целью исследования является анализ существующих технологий пластического сверления. Автором поставлена задача выявить оптимальные технологии пластического сверления, обеспечивающие максимальное качество сформированных отверстий.

В настоящее время существующие методы пластического сверления можно разделить на три группы:

1) по предварительным операциям;

2) по способу регулированию режимами обработки;

3) по геометрическим параметрам инструмента.

В качестве предварительных операций при пластическом сверлении применяют нагрев инструмента, нагрев заготовки, предварительное выполнение отверстия в заготовке. Пластическое сверление с предварительно просверленным отверстием рекомендуется выполнять в случаях, когда материал заготовки обладает высокой теплопроводностью, заготовка имеет большую (больше 8 мм) или малую толщину (меньше 2 мм) или заготовка имеет защитное покрытие. Диаметр сверла в данном случае выбирается не более 1/3 диаметра пуансон-сверла. К достоинствам указанного способа обработки можно отнести уменьшение машинного времени пластического сверления, предотвращение прогиба заготовки, а в случае, когда заготовка имеет защитное покрытие, снизить износ инструмента. В литературе отмечено, что данный способ позволяет получить гладкий торец наплыва на нижней части крепежного элемента. [2] Однако в ходе эксперимента проведенного автором статьи выяснилось, что гладкий торец наплыва возможно получить только в случае соосности предварительно просверленного отверстия и пуансонсверла. К недостаткам данного метода можно отнести и то, что на начальном этапе обработки конический участок рабочей части инструмента контактирует с заготовкой по кромке отверстия, что приводит к износу инструмента в этом месте.

Впервые нагревать заготовку внешним источником тепла - индуктором перед пластическим сверлением предложил Ю.Л. Иванов. [2] Указанный способ увеличивает пластичность металла на начальном этапе обработки. Перед проведением эксперимента заготовка была нагрета на открытом огне в течение 30 сек. Затем разогретая заготовка была закреплена в машинных тисах на вертикальнофрезерном станке. Пластическое сверление производилось пуансон-сверлом с конической формой рабочей части и углом при вершине инструмента 50°. Высота разрывов на нижней части крепежного элемента составила не более 1 мм, однако их количество значительно больше, чем при сверлении без предварительного нагрева. На верхней части крепежного элемента разрывы отсутствуют. Верхняя часть крепежного элемента имеет форму тора.

Предварительный нагрев инструмента путем формообразования отверстий в металлических отходах, фирмой «Flowdrill Inc» рекомендуется применять для инструмента диаметром менее 12 мм. Это увеличивает срок службы инструмента и качество полученных отверстий. Однако эти рекомендации не применимы для инструментов с диаметром более 12 мм. Это может привести к термическому удару и последующему растрескиванию пуансон-сверла. Для предотвращения растрескивания инструмент нагревают пламенем горелки.

При регулировании режимами обработки процесс обработки может быть с постоянной подачей; с переменной подачей, увеличивающейся на протяжении всего цикла обработки; с переменной подачей, уменьшающейся по мере внедрения инструмента в заготовку до глубины равной ее толщине, а после увеличивающейся; с регулированием подачи и/или частоты вращения для постоянного значения осевой нагрузки или давления.

Подача инструмента, как отмечается в публикациях фирмы «Flowdrill Inc», зависит от величины осевой нагрузки – в начальный момент времени осевая нагрузка высока и поэтому необходима небольшая величина подачи, с ростом температуры обрабатываемого металла контактное давление уменьшается и соответственно подача инструмента должна увеличиваться. Указанный способ подачи достигается на обычных станках путем ручной регулировки или на станках с

ЧПУ. Существует способ снижения осевой нагрузки на пуансон-сверло за счет увеличения частоты вращения. [2] Указанный способ можно использовать совместно со способом регулирования подачи, так в начальный момент времени, когда осевая нагрузка высока необходимо увеличить частоту вращения инструмента. Причиной формирования разрывов на кромке нижней части крепежного элемента может быть снижение пластичности обрабатываемого металла на фазе формообразования отверстия. Для максимального повышения пластичности обрабатываемого металла температура на поверхности трения должна быть насколько это возможно высокой, но не вызывающей перегрева или пережога. Чтобы поддерживать оптимальный температурный режим обработки, необходимо определить закон изменения подачи и частоты вращения инструмента в процессе пластического сверления, обеспечивающие требуемое тепловыделение. На практике данный процесс реализуем на станках с системой программного регулирования режимов обработки. Поэтому последующие исследования будут направлены на определение закона изменения подачи и частоты вращения инструмента в процессе пластического сверления с учетом формы рабочей части инструмента, с целью снижения формирования разрывов в крепежном элементе.

По геометрическим параметрам, инструмент для пластического сверления делят по форме рабочей части (коническая, криволинейная, ступенчатой конической и пр.); по форме поперечного сечения инструмента (круглая, равноосный треугольного профиля и др.).

Пуансон-сверло с конической формой рабочей части. Недостатком данной технологии является высокая длина и количество разрывов на кромке нижней части крепежного элемента. Помимо этого в процессе обработки откалывается вершина инструмента, что в дальнейшем приводит к разрушению пуансонсверла. [1]

С целью исключения откалывания вершины пуансон-сверла и увеличения силы трения на начальном этапе обработки рекомендуется применять инструмент с двумя коническими ступенями на рабочей части (рис. 1). Первая ступень (вершина) должна иметь тупой угол, вторая ступень имеет острый угол. С целью уменьшения влияния резко увеличивающейся радиальной силы на стенки втулки предусмотрено скругление на участке перехода конической части инструмента в цилиндрическую.

Пластическое сверление пуансон-сверлом с криволинейной формой рабочей части, позволяет избежать резкого увеличения радиальной силы в зоне выхода рабочей части инструмента, а также поддерживать оптимальную температуру и пластичность обрабатываемого материала. Кроме того, в сравнении с инструментом с конической формой рабочей части, величина и количество разрывов меньше. Недостатком данного инструмента является формирование куполообразного «отростка» на кромке нижней части крепежного элемента. Для исключения формирования «отростка» применяют технологию пластического сверления с предварительно просверленным отверстием.



Рис. 1. Пуансон сверло с двумя коническими ступенями и закруглением

Подводя итог вышеизложенному, следует отметить, что оптимальной технологией пластического сверления, обеспечивающей максимальное качество отверстий является пластическое сверление пуансон-сверлом с криволинейной формой рабочей части. Технология имеет недостаток – формирование «отростка» на кромке нижней части крепежного элемента, поэтому решение данной проблемы является перспективным направлением исследования, также как и метод пластического сверления с регулированием режимами обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анзыряев, Р.А. Сравнительный анализ качества изготовления отверстий пуансон-сверлами с различными геометрическими параметрами / Р.А. Анзыряев, Е.Ю. Татаркин // Вестник КузГТУ. – 2013. - №1. – с. 68-70.

2. Золотов О.В. Совершенствование технологии обработки тонкостенных деталей методом пластического сверления: автореф. дис. канд. техн. наук. – Барнаул, 2004. – 16 с.

## ГОЛОВКА РЕЖУЩАЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ РЕЗКИ МЕДНОЙ ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБКИ

 X. М. Рахимянов<sup>1</sup>, д.т.н., проф., Б. А. Красильников<sup>1</sup>, проф., к.т.н. И. А. Леонтьев<sup>1</sup>, инженер, М. И. Никитенко<sup>2</sup>
 <sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, Тел. 8 (383) 346-11-88, e-mail: tms-ngtu@mail.ru
 <sup>2</sup>ООО «УЗГЦ», г. Новоуральск, Тел. 8 (34370) 78-003, e-mail: ADM@UGCMP.ru

Представлена конструкция режущей головки для установки резки длинномерной тонкостенной медной трубки на штучные заготовки.

The design of a cutting head for mounting a lengthy cutting thin-walled copper tubing for custom-made piece.

#### Введение

На Уральском заводе газовых центрифуг для изготовления продукции необходимо большое количество деталей, заготовками для которых являются тонкостенные медные трубки длиной 70...90 мм, наружным диаметром 4...5 мм с толщиной стенки 0,5 мм. Штучные заготовки получали из длинномерных трубок соответствующих диаметров резкой невращающейся трубки дисковой фрезой. Резка невращающейся длинной трубки обусловлена требованиями не повреждения наружной поверхности трубки. При вращении длинномерной тонкой трубки сложно обеспечить вращение трубки без биений, а биения неминуемо повредят наружную поверхность.

Разрезать невращающуюся длинномерную трубку можно дисковой фрезой, ленточной пилой или ручным роликовым труборезом.

При резке фрезой или ленточной пилой образуется стружка, которую необходимо убирать. Роликовым ручным труборезом трудно обеспечить высокую производительность.

Для автоматизации технологического процесса получения штучных заготовок из длинномерной трубки была спроектирована и изготовлена установка резки тонкостенных медных трубок с механизмом подачи длинномерной трубки и разработанной для установки головкой резки.

Автоматическая резка длинномерной трубки на штучные заготовки в разработанной установке резки осуществляется системой управления установки резки.

#### Конструкция режущей головки

Отрезка штучной заготовки от длинномерной трубки производится роли-

ком. Резка роликом характеризуется отсутствием стружки. Схема резки роликом показана на рис. 1.

Трубка 1 опирается на опорные ролики 2, а режущий ролик 3 подается в радиальном направлении (S) для осуществления резки (рис.1а). Резка роликом приводит к образованию грата – уменьшению проходного сечения трубки по внутреннему диаметру. При подаче S =(0,04...007)мм/об. уменьшение внутренне-го диаметра на превышает 0,15мм.

Для резки неподвижной трубки ролики (режущий и опорные) должны вращаться вокруг трубки (V) (рис.1б). При вращении роликов со скоростью до 600 об/мин величина грата практически не меняется при хорошем качестве резки.



Рис. 1 Резка трубки роликом

Принцип работы головки резки поясняется на рис. 2.

Головка резки имеет два соосных вала – вал инструментальный 1 и валкулачок 2, расположенные в корпусе 3. На инструментальном валу имеется диаметральный паз, в котором расположены ползуны – опорный 4 (с опорными роликами 5) и режущий 6 (с роликом резки 7). Также на инструментальном валу размещена вилка 8, которая может перемещаться в направлении перпендикулярном диаметральному пазу ползунов (рис. 2б). Вилка имеет клиновые поверхности А и Б, которые при движении вилки воздействуя через ролики 9 на ползуны перемещают их к оси вращения вала. Параметры клиновых поверхностей обеспечивают быстрый подвод опорного ползуна к неподвижной трубке и медленную подачу режущего ползуна в радиальном направлении для осуществления отрезки штучной заготовки от длинной трубки.

Для обеспечения относительного вращения валов на них закреплены зуб чатые колеса 11 и 12, которые при одинаковом делительном диаметре имеют различное количества зубьев – колесо 11 имеет N зубьев, а колесо 12 имеет N+1 зуб.



а

б



Рис. 2 Головка резки трубки

Вращение валов производится шестерней 13, передающей вращение привода резки 14 одновременно на два зубчатых колеса. При такой конструкции привода валов за N+1 оборот колеса 11 колесо 12 совершит N оборотов, т.е. провернется на один оборот относительно колеса 11. За один относительный оборот кулачок вала-кулачка, воздействуя на палец вилки, переместит последнюю из исходного положения (рис.2б) до конечного и вернет вилку в исходное положение. Для перемещения вилки в инструментальном валу используется валкулачок 2 на котором выполнен кулачок В (рис.2б), который воздействует на палец Г (рис.2а) вилки 6 через ролик 10. При вращении валов происходит относительное вращение вала инструментального относительно вала-кулачка.

В головке резки задана величина перемещения ползуна резки 4 мм. При этом опорный ползун быстро подойдет к трубке (рис.2в), и будет поддерживать трубку опорными роликами, а ползун резки плавно перемещаясь в радиальном направлении и вращаясь вокруг трубки, отрежет штучную заготовку (рис.2г) и отойдет от трубки в исходное положение.

Выбранная величина перемещения ползуна резки позволяет резать трубки с наружным диаметром от 4 до 6 мм.

Зубчатые колеса изготовлены с числом зубьев 78 и 79 – полный относительный поворот валов произойдет за 78 оборотов валов. Подача ролика резки (ползуна резки) за один оборот вала будет равна:

S =4: N =4:78=0,051 мм/об

Скорость вращения валов задается из требования осуществления получения штучной заготовки за время не более 55 секунд. Подача трубки в головку резки механизмом подачи и удаление её из головки производится за 18...20 секунд, и поэтому время резки не должно превышать 55-20=35 секунд. В головке резки применен привод обеспечивающий скорость вращения валов 180 об/мин. При этом время резки (одного относительного оборота валов):

Т=(78:180)\*60=26 секунд.

#### Выводы

Изготовленная установка резки медной тонкостенной трубки с вышеуказанной головкой резки обеспечивает резку длинномерной трубки на штучные заготовки в автоматическом режиме при времени резки 26 секунд – штучное время не более 46 секунд.

УДК 621.9.02 (045)

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ЛЕЗВИЯ МОДУЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Беломыцев В.В., инженер; Ромашев А.Н., к.т.н., доцент; Абанин В.А., д.т.н., профессор; Перепелкин П.В., инженер; Десятов Н.И., студент Бийский технологический институт Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02 E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Предлагаемое исследование посвящено вопросам создания средств для получения диаг-

ностической информации непосредственно от режущего инструмента.

В современном машиностроении, несмотря на внедрение и широкое распространение различных способов формообразования, обработка резанием все еще остается преобладающим способом, на долю, которой приходится более трети общей трудоемкости изготовления изделий. Наиболее слабым звеном при такой обработке является инструмент, работающий в условиях сложных температурно-силовых режимов нагружения и априорной неопределенности изменения внешних и внутренних воздействий.

При механообработке лезвийным инструментом, особенно труднообрабатываемых материалов, инструмент подвержен процессу интенсивного изнашивания. Дороговизна режущего инструмента (РИ) требует максимального использования ресурса его работы, поскольку только в этом случае возможно получение экономического эффекта от его использования, т.е. задача повышения износостойкости РИ и полного использования его ресурса на сегодняшний день является одной из актуальных, поскольку только гарантированная стойкость при рационально подобранных режимах резания позволяют достичь заданной производительности.

Износ РИ, а также поломки, связанные с его резким затуплением, могут привести к остановке выполнения операции технологического процесса, а в некоторых случаях и к появлению неисправимого брака. Часто невозможность надежного прогнозирования текущего состояния инструмента, а следовательно, гарантии надежного осуществления процесса резания, обуславливается нестабильностью свойств инструментального и обрабатываемого материалов.

Для решения этой проблемы должна быть применена такая диагностика процесса обработки и, в частности, диагностика состояния РИ, которая позволяла бы определять и предсказывать текущее состояние инструмента в тот или иной промежуток времени.

В связи с этим необходимо предусматривать контроль текущего состояния РИ с заменой отказавшего инструмента резервным, а при необходимости и с заменой забракованной заготовки, что предусматривается нормативно – технической документацией.

Автоматический контроль состояния и резервирование РИ позволяют:

1. Повысить надежность процесса металлообработки (определять правильность его протекания, автоматически восстанавливать работоспособность станка при отказах инструмента).

2. Уменьшить расход инструмента (повышение эффективности использования ресурса режущих элементов).

3. Улучшить качество обработки и сократить брак (возможность вводить коррективы в процессе обработки, исключение работы предельно изношенным резцом). 4. Предохранить механизмы и узлы станка от поломки и преждевременной потери точности (предотвратить аварийные ситуации).

5. Оптимизировать режимы обработки (разработать рекомендации по назначению рациональных режимных параметров).

Все это приводит к необходимости использования автоматических систем диагностики инструмента при работе станков автоматических производств.

Выбор методов и средств контроля и диагностирования РИ тесно связан с изучением наиболее распространенных отказов, причин возникновения и возможных последствий. При этом важно выявление таких отказов, которые приводят к большим простоям оборудования и высоким расходам.

Контроль состояния РИ по силовым параметрам процесса резания получил широкое распространение вследствие получения достаточно достоверной информации о состоянии РИ. Однако, при измерении силовых параметров процесса резания при установке измерительного преобразователя на узлах металлорежущего оборудования несколько сокращается вероятность обнаружения отказов РИ вследствие удаленности измерительного преобразователя от зоны резания. Применение модульного инструмента позволяет измерять силовые характеристики процесса резания в непосредственной близости к зоне резания и использовать один измерительный преобразователь для различных видов резцов.

Предлагаемое исследование посвящено вопросам создания средств для получения диагностической информации непосредственно от РИ.

Нами предложен способ измерения составляющих силы резания в непосредственной близости от зоны резания при использовании модульной инструментальной оснастки (МИО) [1].

Для получения информации о составляющих силы резания в процессе обработки использовался стенд, с применением следующего оборудования:

1. Многокомпонентный датчик силы [2], который предназначен для регистрирования сигнала о составляющих силы резания.

Данный датчик силы, был спроектирован и изготовлен специально для данного проекта.

Упругий элемент многокомпонентного датчика силы резания, изготовлен кольцевой формы, на половине высоты которого выполнены симметрично относительно друг друга в плоскости перпендикулярной вертикальной оси кольца четыре плоские балки, воспринимающие деформацию от действия вектора силовой нагрузки (рис. 1). Узлы ввода силы размещены в середине балок. Нижняя сторона кольца опирается на четыре выступа, являющиеся силоопорными элементами балок, а на противоположных сторонах каждой балки размещены тензорезисторы, соединенные в гальванически независимые мостовые цепи. Место установки упругого элемента во внутреннем объеме модульной оснастки выбрано на основе анализа модели силового процесса в МИО.

2. Усилитель сигнала

# 3. Сетевая плата АЦП

Для реализации сбора данных была использована плата Advantech PCI – 1712 с использованием драйверов от компании National Instruments. Аналоговый сигнал, полученный от тензометрического датчика силы, оцифровывается платой АЦП.

4. Токарно-винторезный станок 16К20Ф3 с системой числового программного управления модели 2Р22

5. Модульная инструментальная оснастка, оснащенная сменными пластинами из твердого сплава T15K6. Геометрические параметры режущей части:  $\gamma = 10^\circ$ ;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\lambda = 0$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_1 = 45^\circ$ ; r = 0,2 мм.



Рис. 1. Модель упругого элемента с тензорезисторами

6. Заготовки из сталей 45, 40Х и ХВГ.

Установка для проведения опытных экспериментов показана на рисунке 2.



Рис. 2. Оборудование для проведения эксперимента

Сигнал с датчика, усиленный усилителем, поступает на сетевую плату АЦП и оцифровывается. В ПК информация поступает через порт ввода и может быть занесена как в оперативную память, так и на внешнее запоминающее устройство. Далее сигнал преобразуется и обрабатывается программой, разработанной в программной среде LabView.

Создание программного обеспечения для решения поставленной задачи осуществлялось в среде программирования LabVIEW 2009. Для реализации сбора данных была использована плата Advantech PCI – 1712 с использованием драйверов от компании National Instruments. Прием сигнала о составляющих силы резания осуществлялся с помощью тензометрического датчика силы.

Для проведения опытных экспериментов, и выявления информативных параметров, позволяющих контролировать процесс резания, необходима не только запись сигнала о составляющих силы резания, но и последующая обработка полученных значений. Для этого в среде LabView было создано 2 виртуальных прибора.

Один из приборов использовался для непосредственного получения сигнала с датчика силы, его визуализации и последующей записи в память компьютера. Второй прибор был создан для анализа полученного сигнала, его визуализации, фильтрации и подавления шумов, а так же для получения непосредственно информативных данных, выделения нужного участка из всего записанного сигнала.

Создание нового виртуального прибора, было обусловлено необходимостью получения нестандартных параметров, совмещенных критериев, а также возможностью корректировки прибора для получения наглядного представления об общих тенденциях изменений сигнала при варьировании исследуемого технологического параметра обработки.

Данная программа позволяет записывать сигналы с 4-х каналов одновременно, что необходимо для полного анализа и выявления составляющих силы резания. Программа для обработки сигнала о составляющих силы резания представлена на рис.3.

Интерфейс содержит регуляторы настроек отображения и обработки (число каналов, порядок функции интерполяции, порядок усреднения данных и т.д.), окна визуализации сигнала, элементы управления курсорами, элементы выбора типа фильтров и т.д.

Полученную информацию по составляющим вектора силы резания целесообразно использовать как для обеспечения точности получаемых размеров, так и для оптимизации режимов резания.



Рис. 3. Программа для обработки сигнала

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Патент RU № 97662, 2010 г.
- 2. Патент на изобретение RU № 2455121, 2012 г.

УДК 621.914.1

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПЕРАЦИИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

 В.А. Хоменко, д.т.н., профессор, С.Л. Леонов, д.т.н., профессор, М.К. Витвинов, аспирант
 Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
 Барнаул, тел. 8-913-216-5710, 8-913-250-1169

В данной статье описана методика идентификации операции фрезерования горизонтальной плоскости дисковыми фрезами, основанная на использовании передаточной функции для описания процесса технологического наследования.

In this article the technique of identification of operation of milling of the horizontal plane by the disk mills, based on use of transfer function for the description of process of technological inheritance is described.

Качество поверхности деталей во многом определяет эксплуатационные

характеристики машин и механизмов. Учитывая тот факт, что любой механизм состоит из кинематических цепей, структурными элементами которых являются сопряженные детали, именно от степени их геометрического соответствия зависит длительность жизненного цикла всего изделия. В противном случае, например, при наличии чрезмерного волнистого профиля на поверхности одной из сопряженных деталей происходит интенсивное возрастание нагрузок, связанных с уменьшением контактной площади и, как следствие, является причиной интенсивного износа и работы всего механизма в критических условиях.

Основным этапом формирования геометрии детали являются операции механической обработки. На рис. 1 изображено ориентировочное соотношение видов обработки применяющихся на машиностроительных предприятиях Алтайского края. Приведенные данные позволяют сделать вывод, что в настоящее время широкое распространение получили токарная, фрезерная и абразивная обработка, как методы, имеющие наиболее широкое применение при формировании поверхности детали.



Рис. 1. Соотношение методов механической обработки резанием

Несмотря на значительные отличия выделенных методов обработки, заложенные в их основу принципы имеют идентичные положения. Любая операция механической обработки резанием представляет собой процессы, обеспечивающие формирование требуемой геометрии детали за счет съема материала заготовки. Это положение позволит при исследовании методов лезвийной обработки использовать идентичные подходы для решения задач различного характера.

Рассмотрим операцию механической обработки резанием, как технологическую систему для преобразования исходного профиля заготовки в профиль детали. В этом случае входным сигналом является профиль заготовки, а выходным профиль обработанной поверхности детали (рис.2).



Рис 2. Система для преобразования исходного профиля заготовки в профиль детали

Для математического описания динамических систем такого типа широко используется аппарат передаточной функции:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{(b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m)}{(a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n)},$$
(1)

где X(s), Y(s) – соответственно, лапласовы изображения входного и выходного сигналов (профиля заготовки и профиля детали).

При этом выражение, описывающее технологическую систему такого типа (рис. 2), сводится к виду:

$$P_{i\,\text{det}} = W(s) \cdot P_{izag} + P_{isob} \,, \tag{2}$$

где W(s) – передаточная функция операции; P<sub>isob</sub> – составляющая профиля, вносимая самим процессом механической обработки.

Р<sub>isob</sub> определяется совокупным влиянием нескольких факторов, таких как геометрические погрешности инструмента, погрешностями его базирования на станке, вибрациями от приводов и т.д.

Обычно считается, что составляющая профиля, вносимая самим процессом механической обработки имеет аддитивный характер. Однако, указанная гипотеза не всегда подтверждается на практике. Ряд проведенных экспериментов показали, что колебания на этих частотах могут не только усиливать, но и ослаблять, например, амплитуду волнистости, то есть искажать вид передаточной функции W(s) технологической операции. Поэтому, при построении действительной передаточной функции технологической системы, предлагается исключать составляющую профиля, вносимую самим процессом механической обработки резанием.

Задача идентификации технологических систем представленной на рис. 2, сводится к определению значений коэффициентов передаточной функции (1). Для решения данной задачи предлагается использовать частотные характеристики системы и классический принцип суперпозиции сигналов. Амплитудночастотная характеристика (АЧХ) системы тесно связана с её передаточной функцией, причем вид АЧХ полностью определяется видом передаточной функции. И наоборот - вид передаточной функции зависит от вида АЧХ. Однако, практическое получение АЧХ является весьма трудоемким процессом.

Для снижения трудоемкости получения АЧХ предлагается использовать профиль заготовки, включающий в себя сумму большого количества гармоник. На рис. 3 (а,б) представлены профили в форме меандр и пилообразной формы. Эти профили дают при разложении в ряд Фурье теоретически бесконечное количество гармоник различных частот, а практическое их получение не является трудоемким.

После обработки заготовки получения параметрических показаний профиля поверхности, обработанной детали и выполнение его гармонического анализа за-

дача нахождения АЧХ сводится к делению соответствующих амплитуд гармоник профиля детали на амплитуды профиля заготовки. Вид передаточной функции определяется с помощью логарифмической амплитудно-частной характеристики (ЛАЧХ), а коэффициенты передаточной функции, определяются аппроксимацией по методу наименьших квадратов.



Рис. З Исходный профиль заготовки

Апробация методики проведена на операции фрезерования наружной поверхности заготовки, выполненной в виде бруска 120 x 20 x 20 мм из материала сталь 40 в состоянии поставки. Обработка производилась на горизонтальнофрезерном станке модели 6М83 при консольном закреплении режущего инструмента - фрезы дисковой 100x10 H9 P6M5, в качестве способа обработки использован метод встречного фрезерования.

Исходный профиль заготовки был выполнен в форме меандр с глубиной впадин 1 мм шириной 10 мм, и шагом между впадин 10 мм (рис. 3а)

Для выполнения объективной оценки достоверности полученных сведений фрезерованию подверглись 12 образцов при различных режимах резания. В качестве способа проведения эксперимента был выбран дробный факторный эксперимент. В таблице 1 представлены условия этапов выполнения эксперимента.

			Таблица
N⁰	t (мм)	S <sub>m</sub> (об/мин)	n (мм/мин)
1	2,0	160	100
2	2,0	80	80
3	1,1	160	80
4	1,1	80	100

Для метрологического исследования обработанных образцов был использован прибор HOMMEL TESTER W55 предназначенный для выполнения измерений шероховатости и волнистости поверхности деталей (рис. 4, 5).

Дальнейшая обработка данных, построение АЧХ и получение передаточной функции W(s) операции произведена в среде табличного процессора Excel. На

рисунках 6, 7, 8 представлены примеры графического анализа экспериментальных данных.



Рис. 4 Внешний вид прибора



Рис. 5 Этап измерений





Рис.6 Спектр профиля детали для заготовки с пазами

Рис.7 Логарифмическая амплитудночастотная характеристика операции



Рис. 8. Сравнение экспериментальной ЛАЧХ и ее аппроксимации

Предлагаемая методика позволяет получать передаточную функцию W(s), описывающую технологическую операцию, в зависимости от параметров режима резания, на основе которой можно построить алгоритмы снижения геометриче-

ских погрешностей обработанной поверхности. Иным положительным эффектом указанной методики является возможность экспресс диагностики, как операции в целом, так и применяемого оборудования. Сущность подхода заключается в сравнительном анализе графического представления ЛАЧХ путем выявление частот с максимальным амплитудным значением для каждой сравниваемой операции.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов С.Л., Основа создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С.Л. Леонов, А.Т. Зиновьев // Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 198 С.;

2. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 С.;

3. Кудинов В.А., Динамика станков / В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359 С.;

4. Диментберга Ф.М., Колесникова К.С., Колебания машин, конструкций и их элементов/Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова, Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1980. – 544 С.

УДК 621.9.02 (045)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОКЕРАМИКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Ромашев А.Н., к.т.н., доцент; Беломыцев В.В., инженер; Дубаносов А.В., студент; Кудрявцев А.С., студент Бийский технологический институт Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02 E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Целью данной работы является определение возможности использования пьезокерамики для измерения силовых параметров в процессе резания

В настоящее время наиболее перспективным направлением в использовании режущего инструмента считается применение модульной инструментальной оснастки. Модульная инструментальная оснастка построена на принципе замены инструмента съемными модулями, что по сравнению со стандартным режущим инструментом позволяет: снизить вес инструмента в 3 - 4 раза, повысить эффективность работы оборудования, повысить производительность труда, сократить сроки подготовки производства, снизить себестоимость механической обработки. Не смотря на очевидные преимущества модульной инструментальной оснастки, технолог на стадии проектирования технологических операций в большинстве случаев склоняется к выбору стандартного режущего инструмента. Модульный инструмент используется лишь в 10 из 100 случаев, позволяющих значительно повысить эффективность производства изделий. Это объясняется тем, что производители модульной инструментальной оснастки ограничиваются лишь рекомендациями по допустимым режимам обработки. Однако наиболее важный для технолога вопрос обеспечения требуемых показателей точности остается открытым. Технолог на этапе технологической подготовки производства испытывает значительные затруднения при оценке точности получаемого размера на тех или иных режимах обработки. Это связано с отсутствием методик проектирования этапов технологической подготовки производства, в части выбора модульной инструментальной оснастки, математических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между режимами обработки, конструкцией узла крепления и точностью получаемого размера после обработки.

Поэтому целью данной работы является определение возможности использования пьезокерамики для измерения силовых параметров в процессе резания.

В основе работы разрабатываемого датчика используется пьезоэлектрический эффект.

Пьезоэлектрический эффект — эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). Существует и обратный пьезоэлектрический эффект — возникновение механических деформаций под действием электрического поля [1].



Рис. 1. Наглядное изображение пьезоэлектрического эффекта

В процессе разработки датчика за основу было взято кольцо из пьезокерамики. Размеры кольца: внутренний диаметр = 14 мм; внешний диаметр =26 мм; ширина = 7 мм.

Внутренняя и наружная части покрыты тонким слоем токопроводящего металла. Для выявления составляющих силы резания необходимо с различных частей кольца снимать сигнал, который воздействует именно на данную часть кольца. С этой целью кольцо было поделено на 8 равных секторов, и с каждого

отдельно взятого сектора был выведен контакт для снятия показаний при нагружении. К внутреннему диаметру кольца также припаян контакт.



Рис. 2. Пьезокольцо

Для проведения опытов были изготовлены детали имитирующие работу резца. Деталь 2, на рисунке 4 служит державкой резца, которую мы консольно закрепляем в тисках, имитирующих резцедержатель. Деталь 1 будет служить непосредственно силовой частью, которую мы будем нагружать различными силами, и с разных направлений. На другой детали сделаны 8 граней, которые при сборке должны совпадать с секторами кольца. Это необходимо для того, чтобы в процессе измерений мы могли отследить воздействие приложенной к кольцу нагрузки на каждый сектор в отдельности и выявить различие между сигналами с разных секторов. В процессе проведения экспериментов торцы деталей имитирующих резец, контактирующих с датчиком, были заизолированы. Это необходимо для того, чтобы деталь не передавала собственные напряжения на пьезокольцо, и не вызывала помех.



Рис.3. Детали имитирующие работу резца

Для получения информации о составляющих силы резания в процессе обработки использовался стенд, с применением следующего оборудования:

1. Пьезоэлектрический датчик, который предназначен для регистрирования сигнала о составляющих силы резания.



Рис. 4. Подключение датчика к блоку контактов платы АЦП

Данный датчик силы, был спроектирован и изготовлен специально для данного проекта. Как уже было сказано, за основу было взято кольцо из пьезокерамики, которое при сжатии выдает электрический сигнал, соответствующий определенной силе.

2. Сетевая плата АЦП (она установлена в системном блоке, а снаружи только блок контактов).

3. ПЭВМ



Рис. 5. Используемое оборудование

Сигнал с датчика поступает на сетевую плату АЦП и оцифровывается. В персональный компьютер информация поступает через порт ввода и может быть

занесена как в оперативную память, так и на внешнее запоминающее устройство. Далее сигнал преобразуется и обрабатывается виртуальными приборами, разработанными в программной среде LabView.

Для проведения экспериментов, и выявления информативных параметров, позволяющих контролировать процесс резания, необходима не только запись сигнала о составляющих силы резания, но и последующая обработка полученных данных. Для этого в среде LabView был создан виртуальный прибор. Который использовался для непосредственного получения сигнала с датчика силы, его визуализации и последующей записи в память компьютера.

На рисунке 6 представлены результаты измерений сил, действующих в процессе резания.



Рис. 6. Запись сигналов с датчика

В процессе измерений было определено, что при приложении различных сил на каждом из секторов датчика возникает различный по величине сигнал. Таким образом, при определенной ориентации и разделении пьезокерамического кольца, имеется возможность измерять составляющие силы резания, при снятии сигнала от нагрузки с нескольких частей кольца, что позволит разработать информационную систему моделирования измерительных процессов в модульной оснастке. Применение пьезокольца позволит значительно упростить конструкцию датчиков, встроенных в режущий инструмент.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шарапов В.М., Мусиенко М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. – Москва: Техносфера, 2006. -632 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ 3Г71<sup>•</sup>

В.Н. Пушнин, магистрант, Н.В. Вахрушев, магистрант, Е.В. Мережко, магистрант, Д.Ю. Корнев, студент, В.Ю. Скиба, доцент, к.т.н. Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 346-17-79, факс +7(383) 346-17-97. E-mail: skeeba\_vadim@mail.ru

Разработана конечно-элементная модель станочного комплекса интегральной обработки на базе плоскошлифовального станка модели 3Г71. Средствами ANSYS Workbench произведено математическое моделирование жесткости шпиндельного узла станка. Полученные результаты используются для корректировки режимов предварительного шлифования на первом переходе интегральной обработки.

The finite element model of the complex integral processing machine based on surface grinding machine model 3G71. Means of ANSYS Workbench produced mathematical modeling rigidity spindle assembly machine. The results are used to adjust the modes of pre-grinding on the first transition integral processing.

Для рационального использования разработанного станочного оборудования была предложена комплексная методика назначения режимов на каждом из переходов данной интегральной обработки [1, 2]. На предварительном шлифовании предполагается снятий всего припуска на обработку на режимах, обеспечивающих максимальную производительность чернового шлифования. Однако при выборе рекомендуемых технологических режимов необходимо учитывать функциональные возможности станочного комплекса: мощность привода главного движения и его жесткость; мощность приводов движений подач и т.д.

Поскольку, основную нагрузку при формообразовании детали несет привод главного движения, то главной задачей является определение его жесткости с целью уточнения режимов предварительного шлифования интегральной обработки.

Моделирование шпиндельного узла выполнялось в программных комплекcax *SolidWorks* и *Solid Edge*.

Шпиндель, опорные втулки, червяки, зубчатый колеса и фланцы (передний фланец, задний фланец, фланец для закрепления приводного ремня) данного узла построены по рабочим чертежам, представленным заводом-изготовителем. Гео-

<sup>•</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

метрические параметры большинства корпусных деталей определялись прямым измерением со станочного оборудования. Трехмерная модель шпиндельного узла представлена на рисунке 1.



Рис.1. Модель шпиндельного узла в разрезе

Дальнейшие расчеты выполнялись в конечно-элементном комплексе *ANSYS*. Трехмерные модели проектируемых объектов, подготовленные в среде *SolidWorks* и *Solid Edge*, импортировались в оболочку *Workbench* (рис. 2). В опцию «Инженерные данные» были введены числовые значения физикомеханических характеристик материалов, из которых изготовлены компоненты шпиндельного узла.



Рис. 2. Конечно-элементная модель в оболочке Workbench

Для назначения связей между соединяемыми объектами производилось оп-
ределение контактных областей и назначение параметров «Rough» и «Bonded».

Построение конечно-элементной модели осуществлялось в модуле «Mesh».

В режиме описания и назначения граничных и начальных условий были введены величины действующих сил, частота вращения шпинделя и лишены степеней свободы неподвижные элементы конструкции (рис. 3).





Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		
Definition			
Define By	Components		
Type	Force		
X Component	72,7 N (ramped)		
Y Component	213,8 N (ramped)		
Z Component	0, N (ramped)		
Suppressed	No		

б в
Рис. 3. Начальные и граничные условия
а) выбор опор жесткого закрепления;
б) прикладывание результирующей силы резания;
в) опция описания прикладываемых нагрузок
с учетом глобальной системы координат

Для определения действующих сил на абразивный инструмент были выполнены предварительные расчеты силы резания при черновом шлифовании, используя результаты, представленные в работе [3].

При определении величины главной составляющей силы резания *Pz*, воспользуемся функциональной зависимостью эффективной мощности от режимов врезного шлифования при обработке незакаленных сталей:

$$N_{e}(V_{\partial}, t) = 3,44 \cdot V_{\partial}^{0,985} \cdot t^{0,834}, \qquad (1)$$

где  $V_{\partial}$  – продольная подача, t – глубина резания.

Поскольку, эффективную мощность на шпинделе можно найти по зависимости  $N_e = \frac{M \cdot n_{\kappa p}}{9554}$ , где M – момент на шпинделе, а  $n_{\kappa p}$  – частота вращения абразивного инструмента. В свою очередь, момент может быть найден по формуле  $M = P_Z \cdot \frac{D_{\kappa p}}{2}$ , а частота -  $n_{\kappa p} = \frac{V}{\pi \cdot D_{\kappa p}}$ , где  $D_{\kappa p}$  – диаметр абразивного круга ( $D_{\kappa p}$ = 250 мм), а V – окружная скорость инструмента ( $V \approx 35$  м/с). Следовательно,  $n_{\kappa p}$ = 2674 мин<sup>-1</sup>.

Таким образом, *Pz* может быть найдена по функциональной зависимости:

$$P_{Z} = 98,37 \cdot V_{\partial}^{0,985} \cdot t^{0,834}.$$
 (2)

Сочетание продольной подачи и глубины резания выбираем согласно рекомендуемым значениям, представленным в работе [3].

Для определения радиальной составляющей силы резания, учитываем соотношение  $P_Z / P_Y = 0,3 \div 0,45$ . Таким образом, имеем следующий набор действующих нагрузок (таблица 1).

Таблица 1

<i>V</i> ,	t, мм	Pz, H	Ру, Н
м/мин			
5	0,08	58,41511	171,8091
6	0,07	62,53936	183,9393
7	0,06	64,01215	188,271
8	0,053	65,83432	193,6304
9	0,0475	67,47673	198,461
10	0,043	68,89304	202,6266
11	0,039	69,75613	205,1651
12	0,035	69,43988	204,2349
13	0,0325	70,63299	207,7441
14	0,03	71,07517	209,0446
15	0,028	71,8195	211,2338
16	0,0255	70,79056	208,2075
17	0,0245	72,68075	213,7669
18	0,022	70,28888	206,732
19	0,021	71,31253	209,7427
20	0,02	72,0172	211,8153

Окружная и радиальная составляющие силы резания

В результате проведенного моделирования были получены следующие данные: максимальное перемещение (δ = 66,6 мкм) имеет деталь «упорная втулка» (рис. 4). В свою очередь смещение абразивного круга от шлифуемой детали находится в пределах 4,3 мкм (рис. 5).



Рис. 4. Расчетные значения абсолютной деформации «упорная втулка»



Рис. 5. Результат расчета величины упругих перемещений абразивного круга от обрабатываемой заготовки

Таким образом, учитывая данный факт необходимо вводить корректировку в назначение режимов предварительного шлифования с учетом жесткости шпиндельного узла.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванцивский В. В. Методика назначения рациональных режимов поверхностной закалки сталей с использованием концентрированных источников нагрева / В. В. Иванцивский, В. Ю. Скиба, Н. П. Степанова // Обработка металлов – 2006. – № 4 (33). – С. 17–19. 2. Скиба В.Ю. Методика назначения режимов обработки при совмещении операций абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ / В.Ю. Скиба, В.В. Иванцивский, В.Н. Пушнин // Обработка металлов - 2011. - № 4 (50). - С. 19-25.

3. Скиба В. Ю. Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Новосибирск, 2008. - 20 с.

# МАРКИРОВКА ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ СВС

Г.И. Смагин доц., к. т.н., НГТУ, М.А. Корчагин, д. х. н., институт твердого тела и механохимии СОРАН, Н.Д. Яковлев, ст. преподаватель, НГТУ, Д.А. Мешанова, студентка, НГТУ Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 346-17-79, факс +7(383) 346-17-97 е-mail: ptm@mail.fam.nstu.ru, G.Smagin@ngs.ru.

Потребность техники в абразивах продолжает оставаться высокой. В настоящее время промышленность начинает потреблять и применять новые CBC (самораспространяющийся высокотемпературный синтез) абразивные круги, выполненные из материалов связки на которые не приняты еще нормативные параметры и маркировка. Для того, чтобы сравнивать новые CBC круги на разных связках, в статье предлагается маркировка CBC абразивных кругов. Предлагаемая маркировка учитывает особенности технологии изготовления CBC абразивных кругов и позволяет сравнивать разные круги между собой и выбирать из них те, которые необходимы для производства по технологическим и экономическим параметрам.

In offered marks SHS (self-propagating high-temperature synthesis) abrasive wheels features of their manufacturing are considered. Marks SHS of wheels allow technologists to compare grinding tool among themselves and to choose the best.

Технологии изготовления шлифовальных кругов, основанные на использовании самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (CBC) [1,2] характеризуются малыми энергозатратами. Экономические же затраты приходится подсчитывать для каждого конкретного случая применения кругов, учитывая стоимость порошков, стоимости оснастки, сравнительной стойкости кругов, трудоемкости правки, например, фасонных кругов и некоторых других факторов.

Метод CBC основан на использовании внутренней химической энергии, выделяющейся при взаимодействии исходных реагентов. Сущность метода состоит в том, что в смеси порошковых исходных реагентов локальным тепловым импульсом инициируется экзотермическая реакция, которая распространяется по всему объему образца в виде высокотемпературной волны горения (синтеза). Метод синтеза обладает рядом специфических положительных особенностей, которые отличают его от существующих способов получения неорганических соединений. К ним следует отнести высокие температуры в волне CBC и малые времена синтеза, минимальные внешние энергетические затраты и простота оборудования, возможность синтеза больших количеств продукта и его чистота. Использование внутренних энергетических ресурсов системы, многообразие возможного применения различных шихт характеризуют высокие достоинства методов CBC с технологической точки зрения и служат основой для разработки и осуществления новых современных технологий изготовления шлифовальных кругов.

В настоящее время наиболее широкое использование метода СВС в машиностроении наблюдается для получения абразивных материалов, применяемых в производстве абразивных порошков, доводочных паст и, в меньшей мере, шлифовальных кругов [3]. В традиционном промышленном производстве шлифовальные круги, изготовленные по технологии СВС, занимают по качественным характеристикам промежуточное положение между кругами на керамических связках и кругами на металлических связках, но это положение до настоящего времени не учтено в маркировках этих кругов. Связки для кругов, изготавливаемых с использованием метода СВС, имеют свои особенности и при этом имеют место определенные ограничения по количественным соотношениям добавляемого абразива к компонентам шихты и это необходимо учитывать при маркировке кругов СВС. К исследованию абразивов на базе СВС технологий подключается все больше известных технологических лабораторий различных университетов страны: МИСиС (кафедра порошковой металлургии и функциональных покрытий), инженерный центр СВС САМ ГТУ, ТГУ, НГТУ совместно с институтом твердого тела и механохимии РАН и многие другие.

К основным характеристикам стандартных шлифовальных кругов на керамических и металлических связках относятся следующие: тип связки, тип абразивного зерна, зернистость абразивного порошка, твердость связки, структура связки, процентное соотношение (весовое или объемное) абразивного материала и связки, тип используемых наполнителей, предельная скорость обработки. Рассмотрим, какие из этих характеристик можно рекомендовать к применению, какие с учетом специфики CBC, изменить и добавить новые.

Одной из главных особенностей СВС кругов является связка. Как правило, связку при горении шихты образуют несколько структур (скелетов). Одной из структур связки являются интерметаллиды, например, типа NiTi, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>, TiAl, другой структурой являются мелкодисперсные абразивные компоненты типа TiB<sub>2</sub>, TiC, TiN и, кроме того, в качестве третьей структуры может быть избыточная фаза металлов в смесях или Ti или Ni или Al, и др., которые предусматриваются в исходной шихте. При этом образуется «керамико - металлическая» связка.

По внешним характеристикам на, как и металлическая связка, токопроводна и, как керамическая связка, характеризуется большой пористостью.

Аналогично маркировке связок для традиционных керамических кругов обозначение связок абразивных кругов, изготовленных с использованием метода CBC, предлагается указывать цифровое кодирование шихт, которые применяются для формирования кругов, например, – CBC1, CBC2 ... CBC10 и т.д.

В лаборатории абразивного инструмента НГТУ (кафедра ПТМ) совместно с институтом твердого тела и механохимии СОРАН, исследуются различные типы связок. На первом этапе для их исследования изготовлено более 200 образцов кругов CBC (40  $\times$ 30 $\times$ 10) с различными связками, с цель определения и выбора из их числа, оптимальных составов связок по технологическим и экономическим критериям. Для обозначения же связок предлагаются следующие наименования, например: CBC1 – TiB<sub>2</sub>+NiTi; CBC2 – TiB<sub>2</sub>+NiTi +Ti; CBC3 – TiB<sub>2</sub>+NiTi +Ni; CBC4 – Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>; CBC5 – Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>+Al; CBC6 – Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>+Ni; CBC7 – TiAl; CBC8 – TiAl+Al; CBC9 – TiAl + Ti. и т.д.

Процентные соотношения компонентов указанных связок предполагается наименовывать в технических условиях при производстве кругов. Для компонентов порошков в связках, в которые имплантированы порошки наноразмерного диапазона, предлагается использовать индекс «НА», а маркировка связки тогда обозначается – CBC 1 (НА).

При использовании вакуумных пропиток металлами пористых кругов, с целью изменения их характеристик, рекомендуется указывать наименование металла пропитки, аналогично можно рекомендовать такое дополнение и при пропитке кругов полимерами и некоторыми солями. Тогда тип связки с пропиткой будет выглядеть: CBC 1 (HA) медь; CBC 1(HA) фенилон 3; CBC 1(HA) бура.

В зависимости от вида связки и возможной ее пропитки или подпрессовки во время изотермической операции спекания значительно изменяется структура рабочей части шлифовального круга, т.е. она варьируется за счет технологии изготовления круга, от соотношения объема абразивных частиц, связки и объема пор. Поэтому, как и в шлифовальных кругах с традиционными керамическими связками, структуру инструмента, выполняемого (изготавливаемого) по технологии СВС целесообразно при маркировке обозначать цифрами: в пределах, например, 1-5., а структуру характеризовать через соотношение плотностей сравниваемых кругов. Номер 1 структуры круга предлагается присваивать шлифовальному кругу наиболее пористому. Номер 2 присваивается кругам с отношением удельного веса рассматриваемого круга к удельному весу круга №1 равного 1.2. Номер 3 присваивается кругам с отношением удельного веса рассматриваемого круга к удельному весу круга №1 равного 1.4. Номер 4 присваивается структурам кругов с отношением удельного веса рассматриваемого круга к удельному весу круга №1 равного 1.6. Соответственно, структура №5 присваивается кругам с отношением удельных весов связок равным 1.8. Принимается, что указанные отношения удельных весов связок лежат в пределах ±30% рассеивания относительно принятых отношений удельных весов. Те структуры, которые имеют отклонение в пределах между 30% и 50% отношений удельных весов рекомендуется обозначать двойным номером, например, структура №3 – №4. Итак, связки кругов с номерами №2 –№5 предполагается, что они будут изготавливаться либо с пропиткой, либо с подпрессовкой во время изотермической реакции CBC.

Абразивного зерна для рассматриваемой технологии СВС в течении протекания экзотермических реакций (температура горения достигает 1200 – 2200 °С и более) испытывают значительные тепловые напряжения. При этом алмазное зерно предположительно с большей вероятностью должно было бы деструктурироваться. На практике эксперименты, проведенные с контролем оптической и электронной микроскопией, показали, что при продувке аргоном в процессе формирования абразивных кругов (спекание) алмазные зерна не деструктурируются [4]. Подобное при повышенных температурах и различных технологических условиях наблюдается и при использовании абразивных зерен из эльбора (кубонита) и карбида кремния зеленого. Отсюда можно рекомендовать обозначать шлифовальные круги, изготавливаемые по технологии СВС с использованием алмазных и других типов абразивных зерен так же, как и для традиционных металлических связок – АС 30; КР или Л; 63С и т.д. Хотя при этом необходимо помнить, что при спекании кругов СВС применяется защитная атмосфера, которая при маркировке кругов не указывается.

Особенностью изготовления абразивных кругов по рассматриваемой технологии является и то, что при применении абразивных частиц, покрытых металлическими пленками, наблюдается сваривание этих пленок со связкой. При этом происходит упрочнение и увеличение удерживающих усилий абразивных частиц в связке при её работе (подобное имеет место при диффузионной сварке алмазных зерен покрытых никелем в технологиях фирмы «Московский абразивный завод»). Поэтому для абразивных частиц. необходимо указывать и тип покрытия с учетом его количества в весовом измерении по отношению количеству абразива ([AC 30 10%Ni], [KP 10% Ni] и т.п.), если такое покрытие применено для абразива рассматриваемого шлифовального круга.

Зернистость абразивных порошков предлагается обозначать так же, как она обозначается в кругах на металлических связках, например – 160/125, так как в кругах СВС большей частью используются абразивы из сверхтвердых материалов, для которых уже приняты такие обозначения зернистостей абразива.

Твердость круга, традиционный параметр для абразивных кругов на керамических связках, для технологов металлообрабатывающих производств является все же, на наш взгляд, косвенной характеристикой, определяющей технологический выбор круга для тех или иных операций обработки. Отсюда для повышения информативности характеристик различных по составу связок предлагаются новые характеристики, заменяющие параметр твердость в кругах, выполненных по технологии CBC. К таким параметрам предлагается отнести удельный объем сошлифованного материала (Q мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>), коэффициент шлифования (К<sub>шл</sub>), полученные при испытании нового инструмента на режущую способность при обработке эталонного материала. Объем снятого материала (Q мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>) характеризует скорость перемещения рабочего суппорта с закрепленным на нем эталонным материалом при упругом шлифовании под действием постоянной радиальной силы резания (2O H или 3O H), (рис 1).



Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования Q мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>, Кшл 1образец, 2- каретка, 3 – тросик, 4– груз, 5– шлифовальный круг.

Коэффициент шлифования ( $K_{\text{шл}}$ ) – отношение сошлифованного объема материала к объему изношенной за это время связки круга. Для определения этих двух характеристик необходимо, чтобы технологические режимы в процессе оценочного шлифования были бы заданы постоянными, например: эталонный обрабатываемый материал (предложен поделочный камень. серпантенит, твердость по Moocy 5); сечение образца для шлифования ( $10 \times 10$  мм), скорость резания (Vм/c) – (7 – 12.5 м/c), диаметр круга (40 - 50 мм), постоянная радиальная сила резания в 20 H – 30 H.

Выбор эталонного материала достаточно условен: авторы исходили из того, что материал имеет стабильные свойства по обрабатываемости, несмотря на получение его из разных мест добычи, разных карьеров, имеет среднее значение твердости по шкале Мооса, не трудно обрабатываемый, материал не дефицитен. Скорости же резания (7–12 м/с) рекомендуются с учетом использования исследователями (оборудование лабораторий) традиционных заточных станков, где обычно имеются числа оборотов шпинделя в 3000об/мин и 6000 об/мин, что для

указанных испытываемых диаметров кругов и дает такие скорости резания, в качестве СОТС рекомендуется использовать 5% эмульсол.



Рис. 2. Изменение характеристик Q, К шл, с изменением процентного содержания абразива в связке, при P = 30 H, COTC – Эмульсол, V(8 м/с), d <sub>кр</sub> (40мм), обрабатываемый материал – серпантенит

Использование вышеуказанных характеристик, заменяющих параметр твердости связки, для оценки различных исследуемых связок рассмотрим на следующем примере для кругов однозначной связки, но имеющих различных процентных соотношений концентрации добавочных к мелкозернистому дибориду титана абразивных зерен (SiC 80/63). Из вышеупомянутых образцов CBC кругов разных связок, были отобраны для исследования CBC круги под номерами 43, 44, 46, 45, 47, (круги без пропитки и подпрессовки) для которых получены следующие результаты:

(№43) TiB<sub>2</sub>+NiTi+15%SiC - Q (194 мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>),  $K_{\text{шл}}(155)$ ; (№44) TiB<sub>2</sub>+NiTi+20%SiC - Q (230 мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>),  $K_{\text{шл}}(75)$ ; (№46) TiB<sub>2</sub>+NiTi+25%SiC - Q (266 мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>),  $K_{\text{шл}}(50)$ ; (№45) TiB<sub>2</sub>+NiTi+30%SiC - Q (300 мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>),  $K_{\text{шл}}(49)$ ; (№47) TiB<sub>2</sub>+NiTi+35%SiC - Q (540 мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup>),  $K_{\text{шл}}(44)$ . Результаты эксперимента представлены на рис.2 Для рассматриваемой связки наблюдается следующее: с увеличением процентного содержания абразива в связке возрастает производительность обработки, но при этом уменьшается стойкость круга, т.е. коэффициент шлифования снижается с уменьшением массы связки, прочность удержания зерен абразива уменьшается.

Для рассматриваемых инструментов необходимо вводить и такую характеристику, как удельное омическое сопротивление связки (р 1/ом м см<sup>2</sup>), определяющую пригодность выбираемого шлифовального круга для электроалмазной обработки токопроводных материалов.



Рис. 3. Базовые показатели для стандартных шлифовальных кругов керамической и металлической связках 1 – 25А16ПСМ26К6А, 2 – 63С16СМ 16 К6, 3 – АС 6 100/80 100% М1

Базовые технологические показатели для традиционных шлифовальных кругов приведены на рис. 3. при обработке эталонного материала, для кругов 1 – 25А16ПСМ26К6А, 2 – 63С16СМ16К6, 3 – АС6 100/80 100%М1, и условий обработки V (8м/с), d кр (50мм), СОТС – эмульсол, материал эталонного образца – серпантенит.

Сравнением результатов исследования, представленных на рис. 2. и рис. 3. установлено, что круги, изготовленные по технологии СВС для указанных связок по показателю Q мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup> близки к алмазным кругам на металлической связке, а по показателю  $K_{\rm шл}$  уступают алмазным. При этом следует учитывать, что круги СВС токопроводные и при обработке токопроводящих магнитов, твердого

сплава электроалмазным способом их стойкость будет значительно превосходить круги на керамических связках.

В СВС технологиях изготовления шлифовальных кругов, по сравнению с кругами, изготовленными по традиционной технологиям, существуют определенные ограничения по количеству абразива в связке. При определенных соотношениях компонентов процесс горения может не осуществляться. Обычно таким ограничением является достижение 35% объема абразивных зерен в связке, т.е., ориентировочно такое, как в кругах с металлической связкой, где 25% абразива в объеме круга соответствует принятой 100% концентрации. Отсюда, количество абразива в кругах СВС рекомендуется обозначать, как в кругах на металлических связках., а предельную скорость обработки – также, как в кругах на керамических связках, например – 30 м/с.

Пример маркировки кругов, изготовляемых по технологии СВС:

1А1 50×10×10×16 [АС30 5%Ni] 160/125 Q мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup> (510), К<sub>шл</sub> (95) CBC2 100 %  $\rho$  1/ом м см<sup>2</sup> (9·10<sup>-3</sup>) №1 V (30м/с), где 1А1 –форма круга, 50\*10\*10\*16 – размеры круга, [АС30 5%Ni]– алмазное зерно определенной прочности покрытое никелем, 160/125 – зернистость абразива, Q мм<sup>3</sup>/мин см<sup>2</sup> (510) – удельный объем сошлифованного эталонного материала, К<sub>шл</sub> (95)– коэффициент шлифования, CBC2 – тип связки (TiB<sub>2</sub>+NiTi+Ti), 100% - концентрация абразива (АС30) в связке,  $\rho$  1/ом м см<sup>2</sup> (9 10<sup>-3</sup>)– удельное омическое сопротивление связки, №1– тип структуры связки, V(30 м/с) - допустимая по прочности круга скорость обработки.

Итак, маркировка шлифовальных кругов, изготавливаемых по технологии СВС, учитывает особенность маркировки традиционных керамических и металлических кругов, но при этом учитываются и особенности СВС технологий для этих кругов. Технологии СВС характеризуются большим разнообразием связок, большими возможностями для применения пропиток кругов, технологиями подпрессовки кругов во время их спекания. Также следует учитывать, что круги СВС электропроводны, в связи с чем вводится параметр удельной электропроводности связки и также вводятся таких новых характеристики при маркировке связок, как удельный объем снятого материала, коэффициент шлифования, заменяющих параметр твердость, который применяется для кругов на керамических связках. Через косвенный параметр характеризуется структура связки, что упрощает ее численную оценку. Новым в маркировке кругов СВС также является то, что для определения параметров маркируемого круга используется эталонный обрабатываемый материал. Все это позволяет повысить надежность сравнительных испытаний шлифовальных кругов при отработке оптимальных составов связок для кругов СВС по экономическим и технологическим параметрам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смагин Г.И. Получение шлифовальных кругов методом самораспрост-

раняющегося температурного синтеза / Г.И.Смагин, Н.Д. Яковлев, М.А. Корчагин // Инструмент Сибири – 2001.– №1 (10). –С.23-29.

2. Смагин Г.И. Шлифовальный инструмент на основе силикокарбида титана / Г.И. Смагин, Н.Д.Яковлев, В.Н. Филимоненко, М.А. Корчагин, В.Ю. Скиба //Обработка металлов – 2011, - №1(50), - С.27-30.

3. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтеза материалов / Под редакцией Телены В.Т., Хачаяна А.В., Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998.

4. Зиатдинов М.Х. Опыт разработки, производства и применения CBC – материалов для металлургии «Фундаментальные и прикладные проблемы CBC» // материалы научного семинара, Томск, ТГУ, 2009.

5. Левашов Е.А, Особенности формирования структуры и свойств алмазосодержащих функциональных градиентных СВС материалов /Е.А.Левашов, Б.В. Вышков, Е.Б. Штанская, И.П. Боровинская // Известия высших учебных заведений (цветная металлургия), 1996, N1.

УДК 621-027.31

## МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СМЕСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАКАРОННОГО ТЕСТА

Ю.И. Подгорный, д.т.н., профессор; В.Ю. Скиба, к.т.н., доцент; Т.Г. Мартынова, ассистент; А.С. Кузнецов, студент; А.Н. Бредихина, студентка; Н.С. Древецкий, студент. Новосибирский государственный технический университет г. Новосибирск, +7(383)346-17-79

Представлена методика проектирования смесителей для макаронного теста, включающая в себя определение нагрузок на рабочий орган; расчет времени разгона механизма; уравновешивание рабочего вала.

The technique of design of mixers for the macaroni dough, including definition of loads of working body is presented; calculation of time of dispersal of the mechanism; equilibration of a working shaft.

На отечественных предприятиях в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства насчитывается множество наименований технологического оборудования, предназначенного для приготовления макаронного теста. Повышение производительности таких смесителей возможно при увеличении геометрических параметров рабочей камеры (длины, ширины), при повышении скорости движения исполнительных механизмов, а также при сокращении времени простоев оборудования по технологическим и техническим причинам.

Представлена методика проектирования смесителей для получения крошкообразного макаронного теста (рис. 1), включающая в себя определение нагрузок на рабочий орган от внешних механических воздействий, приведенных к ведущему валу; расчет времени разгона механизма в зависимости от изменения нагрузок за время простоев; уравновешивание рабочего вала с учетом точности изготовления его элементов. В части определения нагрузок методика включает в себя три блока (рис. 1): 1 – задаваемые параметры; 2 – параметры, определяемые по известным методикам [1, 2]; 3 – параметры, определяемые по экспериментальным данным и уточняющие методику (предложение авторов).

Учитывая время перемешивания, выбирается скоростная характеристика рабочего органа. Сочетание этих двух параметров обеспечивает надлежащее качество теста и, следовательно, готовых изделий. После того, как были выбраны объем смеси, приходящейся на одну лопатку, углы установки лопаток, скорость движения рабочего органа, можно перейти ко второй части методики.

Для определения нагрузок от внешних механических воздействий, приведенных к ведущему валу, и потребной мощности необходимо было выполнить следующие действия:

1.Составить расчетную схему (рис.2) и определить исходные параметры, учитывая данные первой части методики.

2.Определить в соответствии с выбранными параметрами нагрузку на каждую лопатку по графикам или аналитическим зависимостям в соответствии с углом установки лопатки, количеством смеси, приходящейся на одну лопатку, и частотой вращения рабочего органа [3].

3. Определить суммарную нагрузку на каждый ряд лопаток на рабочем валу в соответствии с п.2 данной методики и построить графики нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала.

4. Построить графики изменения суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла поворота вала.

5.Построить графики изменения суммарной нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, в зависимости от угла поворота рабочего вала с учетом передаточного отношения привода.

6.Определить максимальную и минимальную нагрузки на вал электродвигателя с учетом КПД передаточного механизма.

7.Определить в соответствии с выбранными параметрами нагрузку на одну лопатку по графикам или аналитическим зависимостям с учетом угла разворота лопатки, количества смеси, приходящейся на одну лопатку.

8.Определить суммарную нагрузку на каждый ряд лопаток на рабочем валу в соответствии с п. 6 данной методики и построить графики нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала.

9.Построить графики изменения суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота.



Рис. 1. Структурная схема методики проектирования смесителя

ρ – плотность макаронного теста, кг/м<sup>3</sup>; W<sub>C</sub> – влажность сухих изделий, %;

W<sub>T</sub> – влажность макаронного теста, %; L, d, – длина и диаметр рабочей камеры, м; φ – коэффициент заполнения рабочей камеры, δ – величина зазора между стенкой рабочей камеры и концом месильной лопатки; n – количество месильных лопаток; V – объем смеси, единовременно находящейся в рабочей камере, м<sup>3</sup>; v – объем смеси, приходящейся на одну лопатку, м<sup>3</sup>; τ – время перемешивания смеси, мин; ω – угловая скорость рабочего вала, с<sup>-1</sup>; R – расстояние от оси вращения рабочего вала до самой удаленной точки лопатки, м; v<sub>OKP</sub>, v<sub>OC</sub> – окружная и осевая скорости перемещения смеси, м/с; К – коэффициент объемной подачи смеси; n – частота вращения рабочего вала, мин<sup>-1</sup>; α<sub>i</sub> – угол разворота i-той лопатки, град; v<sub>B-Π</sub> – частота возвратно-поступательного движения рабочие валы при их вращательном движении, H·м; M<sub>B-Π</sub> – сумарная нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; M – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; М – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; М – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; М – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; М – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; М – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движении, H·м; М – общая нагрузка на рабочие валы при их возвратно-поступательном движения процесса перемешивания. Вт; η – КПД передаточного механизма смесителя



Рис. 2. Схема расположения месильных лопаток на рабочем валу смесителя

10.Построить графики изменения суммарной нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, в зависимости от угла поворота рабочего вала с учетом передаточного отношения.

11.Определить максимальную и минимальную нагрузки на вал электродвигателя с учетом КПД передаточного механизма, Н·м.

12.Определить общую нагрузку, приведенную к валу электродвигателя с максимально и минимально нагруженных валов, при вращательном и возвратнопоступательном движениях с учетом КПД передаточного механизма.

13.Рассчитать мощность, необходимую для осуществления технологического процесса при заданных режимах.

В соответствии с предложенной методикой были проведены расчеты основных параметров двухвального смесителя непрерывного действия, включающие определение: нагрузок от внешних механических воздействий на рабочие органы смесителя, нагрузок, приведенных к валу электродвигателя; мощности, необходимой для осуществления технологического процесса для планируемых режимов. На первом этапе расчеты проводились для вращательного движения рабочего органа смесителя.

Аналогичные расчеты проводились для возвратно-поступательного движения рабочего органа смесителя. Используя нагрузки, приходящиеся на одну лопатку, были получены значения суммарных нагрузок на каждый ряд лопаток на рабочем валу, и построены графики суммарных нагрузок на каждый ряд лопаток в зависимости от угла поворота рабочего вала для существующего и планируемых режимов.

Таким образом, для дальнейших расчетов принимались постоянные значения нагрузок для каждого ряда лопаток. Далее были построены графики суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его. С учетом полученных значений были построены графики приведенной к валу электродвигателя суммарной нагрузки на рабочий вал в зависимости от угла его поворота.



Рис. 3. Взаимосвязь технико-эксплуатационных параметров:1 – нагрузка, приведенная к валу электродвигателя, Н·м; 2 – время технологического процесса, мин; 3 – производительность, 10<sup>2</sup> кг/ч; 4 – мощность, необходимая для осуществления технологического процесса при заданных параметрах, кВт

Следующий этап заключался в определении нагрузки, приведенной к валу электродвигателя, и мощности, необходимой для осуществления технологического процесса, при вращательном и возвратно-поступательном движении. В результате проведенных расчетов основных параметров двухвального смесителя автоматической линии Braibanti, эксплуатируемой на Новосибирской макаронной фабрике, при существующих (частота вращения рабочих органов 74,6 мин<sup>-1</sup>) и планируемых (частота вращения рабочих органов 70; 80; 90; 100; 110; 120 мин<sup>-1</sup>) режимах получены графические зависимости, предсталенные на рисунке 3.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов, М. Е. Справочник по макаронному производству [Текст] /

М. Е. Чернов, Г. М. Медведев, В. П. Негруб. – М. : Легкая и пищ. пром-сть, 1984. – 304 с., ил.

2. Драгилев, А. И. Технологическое оборудование: хлебопекарное, макаронное и кондитерское [Текст] / А. И. Драгилев, В. М. Хромеенков, М. Е. Чернов. – М. : Академия, 2004. – 432 с.

3. Мартынова, Т. Г. Экспериментальные исследования нагрузочных характеристик смесителя [Текст] / Т. Г. Мартынова, Ю. И. Подгорный, С. В. Птицын // Научный вестник НГТУ. – 2011. – № 2 (43). – С. 183–188.

#### УДК 621.83.06

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ СТАНКОВ С ЧПУ

## Виртц А.С. аспирант Ромашев А.Н. доцент, к.т.н. Бийский Технологический институт (филиал) АлтГТУ, г. Бийск, mrsi@bti.secna.ru

В статье представлена схема для определения работоспособности мультипликаторного узла и вывод формулы, описывающей траекторию движения центров шариков в передающем узле передачи с промежуточными телами качения.

The scheme is presented in article for determination of operability of multiplicatory knot and a conclusion of the formula describing a trajectory of movement of the centers of balls in the transferring knot of transfer with intermediate bodies of rolling.

Для успешной работы современного предприятия в условиях рыночной экономики необходимо максимально повышать эффективность обработки, сохраняя при этом качество выпускаемой продукции. в настоящее время большинство отечественных машиностроительных предприятий оснащено морально и физически изношенным станочным парком оборудования, обновлению которого препятствуют ограниченные финансовые ресурсы. Такое оборудование не обеспечивает режимов обработки, необходимых для применения современного твердосплавного инструмента, рассчитанного на высокие скорости резания, и в первую очередь влияющего на качество обработки. Поэтому рациональное обновление станочного парка в условиях недостаточных финансовых возможностей является на сегодня важной задачей для многих предприятий в металлообработке.

Альтернативное решение, дающее зачастую эффект не меньший, чем новое оборудование – это модернизация и дооснащение уже существующего, что позволяет существенно расширить его возможности. В результате модернизации повышается точность и производительность оборудования, уменьшаются эксплуатационные расходы, снижается брак, а в ряде случаев увеличивается длительность межремонтного периода.

В качестве объекта исследования для реализации разработанных теоретических положений был выбран класс механических передач с промежуточными телами качения в зацеплении. Эти передачи обладают рядом достоинств, таких как малые габариты, вес, многопоточность при передаче нагрузки и др. Именно на основе такой передачи предлагается разработка ускорительной головки для станков с ЧПУ.

Рассмотрим схему передачи с промежуточными телами качения, рисунок 1, для определения углов в пределах которых возможно осуществить работу мультипликаторного узла.



Рис.1. Схема передачи с промежуточными телами качения

Условие работы мультипликатора это отсутствие в передаче самоторможения т.е. чтобы угол подъема ведомого звена  $\gamma$  был больше приведенного угла трения  $\varphi$ .

## $\gamma > \varphi$

(1)

Угол трения прямопропорционален коэффициенту трения *f* между контактирующими звеньями мультипликатора.

#### $\varphi = \operatorname{arct} g f$

(2)

Угол подъема ведомого звена  $\gamma$  выразим через угол  $\alpha$ , тем самым найдем сектор на сфере в котором возможна работоспособность мультипликатора.

Из **ΔОАВ**, найдем **АВ** 

$$AB = tg \alpha \cdot OB = tg \alpha \cdot R \tag{3}$$

где *R* - радиус ведомой полусферы

Тогда можно выразить угол  $\gamma$  через угол  $\alpha$ .

$$tg \gamma = \frac{BO}{AB} = \frac{R}{tg \alpha \cdot R} = \frac{1}{tg \alpha}$$
<sup>(4)</sup>

Из выражения (2) следует

(5)

(6)

## $tg \varphi - f$

Таким образом, можно сравнить полученные функции в возможных пределах

$$tg \gamma = \frac{1}{tg \alpha}, \quad tg\gamma[\infty; 0]$$
$$tg \varphi = f, \quad tg \varphi[0; 0, 2]$$

Из выражения (6) видно, что при определенном угле  $\alpha$ , может выполняться условие (1).

Найдем сектор на сфере, в котором возможна работоспособность мультипликатора.

Из выражения (4) определим у, зависимость будет выглядеть следующим образом

$$\gamma = \operatorname{arcctg}(tg \alpha)$$

(7)

Так как углы  $\gamma$  и  $\alpha$  обратно пропорциональны то согласно выражению (1) условие работы мультипликатора запишется в следующем виде (8)

# $\alpha < arctg(ctg(arctg f))$

С помощью данного неравенства можно определить сектор на полусфере в пределах которого должны находиться тела качения для обеспечения работоспособности мультипликатора, рисунок 2.



Рис. 2. Сектор работоспособности мультипликатора

На рисунке 3 представлен график зависимости угла сектора работоспособности мультипликатора от коэффициента трения между контактирующими деталями. Из полученного графика видно, что зависимость имеет линейный характер. Так же можно отметить, что благодаря конструктивным параметрам механизма выполняется условие  $\gamma > \varphi$  при заданном коэффициенте трения.

Для описания кривой движения центров щариков в зависимости от угла поворота входного элемента нужна зависимость  $\phi(\theta)$ , рисунок 4, которая выводится следующим образом:

По формулам для сферических координат положение центра шариков описывается следующей зависимостью:



Рис. 3. Зависимость угла сектора работоспособности от коэффициента трения



Рис.4. Схема положения центра шарика

$$\begin{cases} x = (R+r)\sin\varphi \\ y = (R+r)\cos\theta\cos\varphi \\ z = (R+r)\sin\theta\cos\varphi \end{cases}$$
(9)

В треугольнике ОО<sub>1</sub>В (рисунок 3):  $a^2 = (x + x_1)^2 + e^2$ , откуда  $x_1 = \sqrt{a^2 + e^2} - x$ . Для частного случая, где угол между ОА и АВ равен 90°,  $a = \frac{2}{\sqrt{2}}(R + r)$ . Следовательно  $x_1 = \sqrt{2(R + r)^2 - e^2} - x$  Из прямоугольного треугольника BDC:  $b^2 = x_1^2 + (e_z - z)^2$ , где  $e_z = e \sin 5\theta$ , т.е.

$$b^{2} = \left(\sqrt{2(R+r)^{2} - e^{2}} - x\right)^{2} + (e\sin 5\theta - z)^{2}$$
(10)

Из прямоугольного треугольника ABC:  $b^2 = (R + r)^2 - (y - e_y)^2$ , где  $e_y = e \cos 5\theta$ , т.е.  $b^2 = (R + r)^2 - (y - e \cos 5\theta)^2$  (11)

Приравнивая правые части уравнений (10) (11) и подставляя вместо x, y, z зависимости из системы (9) получаем уравнение:

$$(R+r)^2 - \left((R+r)\cos\theta\cos\varphi - e\cos5\theta\right)^2 =$$
  
=  $\left(\sqrt{2(R+r)^2 - e^2} - (R+r)\sin\varphi\right)^2$   
+  $(e\sin5\theta - (R+r)\sin\theta\cos\varphi)^2$ 

Преобразовав данное выражение, получаем:

 $(R+r) - e \cos \varphi \cos 4\theta = \sin \varphi \sqrt{2(R+r)^2 - e^2}$ , и заменяя

$$\sin \varphi = \frac{2 \cdot tg\frac{\varphi}{2}}{1 + tg^2\frac{\varphi}{2}}, \qquad \text{a } \cos \varphi = \frac{1 - tg^2\frac{\varphi}{2}}{1 + tg^2\frac{\varphi}{2}},$$

и решая, как квадратное уравнение относительно  $ig_{\frac{\pi}{2}}$  получаем:

$$\varphi = 2 \cdot \operatorname{arctg}\left[\frac{\sqrt{2 \cdot (R+r)^2 - e^2} + \sqrt{(R+r)^2 - e^2 \cdot \sin^2 4\theta}}{\left((R+r) + e \cdot \cos 4\theta\right)}\right] - 90$$

Подставляя данное выражение в выражение (9), получаем систему уравнений описывающих траекторию движения центров шариков, рисунок 5.



Рис. 5. Траектория движения центров шариков

В дальнейшем планируется определить форму неподвижного элемента, подбирая размеры шариков, полусфер и передаточное отношение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патет RU № 105963, 2011 г.

2. Шереметьев К.В. Вспомогательный инструмент для технологической модернизации фрезерных станков // Обзорно-аналитический, научнотехнический и производственный журнал «Технология машиностроения» №9, 2008. с. 35–37.

УДК: 620.179.118

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ ПОВЕРХНОСТИ РЕГУЛЯРНЫМ МИКРОРЕЛЬЕФОМ

## С.Л. Леонов, д.т.н., профессор, АлтГТУ им. И.И.Ползунова, г. Барнаул

Представлена методика расчета топографии поверхности с регулярным микрорельефом, обеспечивающим заданные параметры шероховатости.

The technique of calculating the surface topography with a regular microrelief to provide the desired roughness.

Качество поверхности детали оказывает доминирующее влияние на ее эксплуатационные свойства. Несмотря на исключительно малые размеры неровностей, составляющих шероховатость, они оказывают существенное влияние на самые разнообразные эксплуатационные свойства деталей. На рис. 1 приведена классификация эксплуатационных свойств деталей, на которые оказывают влияния геометрические параметры качества ее поверхности.

Большинство исследователей описывают топографию поверхностей, моделируя их стержнями, пирамидами, конусами, сферами, эллипсоидами [1]. Однако при этом они обычно не учитывают, что при замене реального микрорельефа приближенным необходимо обеспечить адекватность модели поверхности, например, обеспечением заданных значений параметров шероховатости.

Нами предлагается для описания топографии поверхности регулярным микрорельефом использовать выражение



Рис. 1. Влияние параметров поверхностного слоя детали на ее эксплуатационные свойства

$$z = h \left| \cos \frac{\pi x}{l_1} \right|^{a_1} \left| \cos \frac{\pi y}{l_2} \right|^{a_2}$$
(1)

где h – высота выступов;

*l*<sub>1</sub>, *l*<sub>2</sub> – шаг выступов по взаимно перпендикулярным направлениям х и у;

а<sub>1</sub>, а<sub>2</sub> – параметры, характеризующие профиль рисок.

На рис. 2 приведен пример такой поверхности при значениях параметров h = 0,5 мм;  $l_1 = 0,1$  мм;  $l_2 = 0,05$  мм;  $a_1 = 0,5$ ;  $a_2 = 1$ .

По выражению (1) не сложно рассчитать любые параметры шероховатости. Например, параметр Rz совпадает со значением h; шаг по вершинам в направлении x  $S_{B1} = l_i$ ; в направлении у  $S_{B1} = l_2$ . Расчет параметров Ra и относительной опорной дляны профиля несколько сложнее.

При использовании регулярного профиля в качестве базовой длины достаточно взять один его период. Поэтому относительная опорная длина профиля вдоль осей х и у определяется выражениями:

$$tp_{x} = \frac{2}{\pi} \arccos(1-p)^{1/a_{1}}$$

$$tp_{y} = \frac{2}{\pi} \arccos(1-p)^{1/a_{2}}$$
(2)

где р∈[0; 1].

На рис. 2 приведен пример графика относительной опорной длины профиля при профилографировании вдоль оси х.



Рис. 1. Топография поверхности с регулярной шероховатостью



Рис.2. Пример графика относительной опорной длины профиля

При решении обратной задачи – определении параметра а по зависимости tp(p) можно использовать метод наименьших квадратов. Так, например, параметр профиля вдоль оси х определяется по выражению

$$a_{1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{\ln(1 - p_{i})}{\ln \cos \frac{\pi t_{pi}}{2}}$$
(3)

где p<sub>i</sub> и t<sub>pi</sub> – таблично заданные значения относительной опорной длины профиля. Для определения параметра a<sub>1</sub> можно использовать также и параметр шероховатости Ra. По определению

$$Ra = \frac{1}{l} \int_{0}^{l} |z(x) - W| dx$$

$$W = \frac{1}{l} \int_{0}^{l} z(x) dx$$
(4)

где Ra – среднее арифметическое отклонение неровностей профиля;

W – средняя линия профиля.

Шероховатость в направлении у описывается аналогичными формулами. При использовании в качестве базовой длины периода функции (1), получим:

$$W = \frac{h}{l_1} \int_{0}^{l_1} \left| \cos \frac{\pi x}{l_1} \right|^{a_1} dx = \frac{2h}{l_1} \int_{0}^{l_1/2} \left( \cos \frac{\pi x}{l_1} \right)^{a_1} dx = \frac{2h}{\pi} \int_{0}^{\pi/2} (\cos r)^{a_1} dr$$
$$Ra = \frac{h}{l_1} \int_{0}^{l_1} \left| \cos \frac{\pi x}{l_1} \right|^{a_1} - \frac{1}{h} W \left| dx = \frac{2h}{\pi} \int_{0}^{\pi/2} \left| (\cos r)^{a_1} - \frac{1}{h} W \right| dr$$
(5)

Для вычисления интегралов необходимо использовать численный метод, например, метод трапеций:

$$\int_{0}^{\pi/2} f(r) dr \approx \left(\frac{f_1 + f_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} f_i\right) \Delta r$$
(6)

При этом параметр шероховатости Ra зависит от высоты профиля h и коэффициента a<sub>1</sub>. Подбор параметра a<sub>1</sub> для обеспечения заданного Ra можно производить любым из численных методов решения, например, методом дихотомии.

Таким образом подбор параметров a<sub>1</sub> и a<sub>2</sub> может производиться для обеспечения либо заданной зависимости tp(p), либо заданного значения параметра шероховатости Ra. На программу, реализующую данный алгоритм, получено свидетельство об ее государственной регистрации [2].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский, И. В. Трение и износ /И.В.Крагельский –М.: 1968. -

480 c.

2. Леонов, С.Л. Расчет параметров регулярного микрорельефа. / С.Л. Леонов, Г.В. Пышнограй, А.В. Сорокин, К.Б. Кошелев - Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, N 2013611085, 09.01.2013.

УДК 621.9 (075.8)

## ОБ УЧЕТЕ ПОДАТЛИВОСТИ УПРУГОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА В АЛГОРИТМЕ КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

А.Н. Поляков, д.т.н., проф.; А.Н. Гончаров; К. В. Марусич, к.т.н. Оренбургский государственный университет Оренбург, тел. +7(3532) 53-75-13, факс +7(3532) 37-25-10. E-mail: mkv82@mail.ru

Работа посвящена разработке алгоритма компенсации температурной погрешности для станков с ЧПУ. Особенностью предлагаемого алгоритма является использование фиксированных экспериментальных данных по температурным перемещениям исполнительного органа станка. Показано, что процесс резания изменяет тепловые характеристики станка только через податливость его упругой системы. В работе впервые предложена инженерная формула расчета компенсирующих воздействий, учитывающая податливость упругой системы станка.

The work is dedicated to the development of the temperature error compensation algorithm for CNC machine tools. Feature of the proposed algorithm is the use of fixed-temperature experimental data on movements of the executive body of the machine. It is shown that the process of cutting the thermal changes of machine only via an elastic yielding of the system. For the first time offered an engineering calculation formula compensating effects, taking into account the compliance of the elastic system machine.

Современные станки с ЧПУ должны обеспечивать размерную точность до шестого-седьмого квалитета точности. Качество изготовления станков настолько высоко, что при наличии дополнительных средств защиты направляющих позволяет на обрабатывающих центрах кроме традиционной лезвийной обработки производить абразивную, ранее присущую только шлифовальным станкам.

Вместе с этим, если вопросы обеспечения статических и динамических характеристик несущих систем станков в требуемых пределах удается решить еще на этапах проектирования и изготовления, то обеспечение уровня их температурных погрешностей в заданных пределах является одной из актуальнейших проблем современного станкостроения во всем мире.

Много эффективных способов повышения теплоустойчивости реализуется в станках на этапах их проектирования и изготовления: применения новых мате-

риалов с особыми теплофизическими свойствами; реализация конструкторских решений, учитывающих векторный характер тепловых деформаций; применение новейших систем смазывания в парах трения и систем охлаждения в элементах несущей системы станка; применение специальных конструкторских решений, направленных на минимизацию влияния тепловых потоков на температурные смещения элементов несущей системы станка. Несмотря на то, что за счет перечисленных выше мероприятий в значительной степени удается повысить теплоустойчивость станков, все-таки все ведущие станкопроизводители дополняют свои решения в области теплоустойчивости использованием систем диагностирования теплового состояния и компенсации температурной погрешности.

В старой отечественной литературе, как правило, приводятся данные о тепловых смещениях исполнительных органов станков в пределах нескольких десятков микрометров, что всегда создавало мнение актуальности тепловых деформаций в станках только для высокоточной обработки на прецизионных и ультраточных станках. В последнее время в работах исследователей из различных стран стали приводиться данные по температурным перемещениям для станков с ЧПУ, выходящие далеко за 20 – 30 мкм, более 100 мкм – а эта погрешность уже опасна и для деталей с размерной точностью в пределах девятого квалитета.

Вторым важнейшим вопросом у исследователей тепловых процессов в станках является влияние сил резания на дополнительную генерацию тепла в элементах несущей системы. Несмотря даже на то, что хорошо проверенная временем теория Пальмгрена давала ответ на этот вопрос, многими исследователями считалось, что силы резания приводят к дополнительной генерации тепла в источниках тепла.

Ранее в Оренбургском государственном университете был разработан алгоритм компенсации температурных перемещений исполнительных органов станка, работающего на холостом ходу. При этом важнейшим элементом алгоритма являлись наличие заранее полученных экспериментальных характеристик на различных частотах вращения. При реализации этого алгоритма для станка, производящего реальную лезвийную обработку неизбежно возникает дилемма: использовать ли предложенный алгоритм безотносительно к процессу резания или обязательно учитывать величину изменяющихся сил резания, обусловленных изменяющимися режимами резания. Таким образом, была поставлена задача выявить влияние процессов резания на величину температурных смещений исполнительных органов станка.

В качестве объекта исследований был использован трехкоординатный станок с ЧПУ с автоматической системой смены инструмента (АСИ) 400V (ОАО «Стерлитамак М.Т.Е.»). Так как в натурных экспериментах для контроля положения шпиндельного узла наряду с многооборотными индикаторными головками МИГ-1 использовалось современное измерительное устройсто, построенное на базе контактного инфракрасного датчика TC50 (изготовитель Blum-Novotest GmbH, Германия), то была разработана система специализированных методик проведения натурных экспериментов на станке с ЧПУ с АСИ.

В соответствии с разработанными методиками была проведена серия натурных экспериментов на трех частотах вращения 1000, 3000 и 5000 об/мин для четырех вариантов:

- холостой ход станка без перемещения исполнительных органов станка;

- холостой ход станка с перемещением исполнительных органов по одной программе, в дальнейшем использованной для всех вариантов работы станка;

- отключенный шпиндель (нулевая частота вращения), но все исполнительные органы станка, включая шпиндельный узел, выполняли программу обработки;

- режим лезвийной обработки станка по программе для четырех вариантов режимов резания.

В каждом из вариантов резания определяющим параметром принималась глубина резания. Принимались четыре значения для глубины резания: 0,13; 0,26; 0,39 и 0,52 мм.

Такая программа испытаний позволила выявить: влияние собственно нагрева шпиндельного узла на величину температурных перемещений; влияние возникающих в элементах привода подач погрешностей на величину относительных перемещений шпинделя и заготовки; влияние режимов резания на температурную погрешность несущей системы станка.

В качестве иллюстрации выполненных исследований приведены экспериментальные значения перемещения переднего конца шпинделя по оси Z (вдоль оси шпинделя) на двух частотах вращения 1000 и 5000 об/мин и четырех вариантов режимов резания с изменяющейся глубиной резания.

На всех рисунках кривая 1 описывает температурные перемещения для нулевой глубины резания. Соответственно кривые 2, 3, 4 и 5 описывают температурные перемещения, зафиксированные для глубин резания 0,13; 0,26; 0,39 и 0,52 мм.

Анализ приведенных кривых показал:

- при резании температурные перемещения исполнительных органов станка не увеличиваются, а уменьшаются;

- жесткой зависимости между глубиной резания (а значит и силой резания) и температурными перемещениями – не наблюдается; более того размах данных может составлять до 50% от максимальной величины температурных перемещений.

Величина компенсирующих воздействий подчиняется зависимости

$$\delta(t) = \sum_{i=1}^{t} A_i (1 - e^{-t/T_i}) + \sum_{i=1}^{t} B_i e^{-t/T_i}$$

где  $A_i, B_i, T_i$  – устанавливаются методами экспериментального модального ана-





Рис.1. Характеристики температурных перемещений по оси Z для n=1000 об/мин



Рис. 2. Характеристики температурных перемещений по оси Z для n=5000 об/мин

Предложенная зависимость реализуется даже на простейшей стойке ЧПУ Sinumerik 802D sl. Это позволяет утверждать, что разрабатываемый алгоритм

компенсации может быть реализован для широкой гаммы станков, не оснащенных дорогими интеллектуальными системами. В настоящее время идет дальнейшее совершенствование разработанного алгоритма компенсации.

УДК 621:534 (045)

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

А.В. Вдовин, инженер, А. М. Фирсов, к.т.н. доцент, Бийский технологический институт ФГБОУ ВПО АлтГТУ, 659315, Бийск, ул. Трофимова д.,27.Россия тел./факс +7(3854)435302, E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Статья посвящена вопросам обеспечения шероховатости поверхности при обработке деталей на токарных станках с использованием модели управления технологическим процессом на основе искусственных нейронных сетей

The article is devoted to ensuring the surface roughness in processing parts on lathes using the control model of technological cesses based on artificial neural networks

Особенностью современных технологических процессов (ТП) является то, что они являются сложными объектами с большим числом входных и выходных переменных. Сложные нелинейные связи между переменными, их нестационарность, высокий уровень производственных шумов, недостаточность информации о закономерностях их протекания создают значительные трудности при контроле ТП. Одним из аспектов при проектировании ТП, является требования к качеству готовой продукции, в частности к шероховатости обработанной поверхности.

Как известно, в общем случае, на образование шероховатости поверхности, при механической обработке, влияют различные факторы [4], такие как: геометрия рабочей части инструмента и кинематика его рабочего движения относительно обрабатываемой поверхности (h1); колебательные перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности (h2); упругие и пластические деформации обрабатываемого материала заготовки в зоне контакта с рабочим инструментом (h3); шероховатость рабочей части инструмента (h4). То есть среднеарифметическое отклонение профиля шероховатости (Ra) в общем случае при всех методах механической обработки определяется равенством

$$R_{a} = h_{1} + h_{2} + h_{3} + h_{4}$$

На рисунке 1 схематически отображены параметры, влияющие

#### на шероховатость поверхности при обработке.



Рис. 1. Параметры, влияющие на шероховатость поверхности

Из многочисленных факторов, влияющих на формирование шероховатости поверхности, следует выделить величину продольной подачи (s, мм/об) и скорость резания (V, м/мин). Эти два фактора оказывают одно из основных влияний на формирование шероховатости и ими можно управлять в процессе обработки.

Наибольшее влияние на формирование шероховатости оказывает продольная подача. Глубину резания (*t*, мм), как правило, редко используют в качестве управляющего воздействия, так как это может потребовать дополнительного прохода для удаления оставшегося припуска, что может снизить точность и качество детали.

Сложность и разнообразие ТП на современных высокопроизводительных токарных станках с ЧПУ, высокие требования к шероховатости поверхности деталей, обуславливают создание автоматических систем управления ТП, обеспечивающих комплексное решение задач управления ТП с большим числом входных и выходных переменных. Таким образом, система управления шероховатостью поверхности должна быть оперативной, работать в реальном времени и быть организованна на каждой технологической операции.

Однако, до настоящего времени отсутствуют надежные технические решения вопросов непосредственного контроля шероховатости поверхности в процессе обработки, ведь шероховатость поверхности зависит от множества факторов технологического процесса (ТП).

Для создания систем автоматического управления ТП, важным моментом является выбор источника информации, на основании которой осуществляется корректировка управляющей программы (подачей и скоростью резания). Одним из таких источников информации, или идентификатором процесса резания, является акустическая эмиссия (АЭ), сигналы которой возникают в процессе формировании профиля поверхности. Данные сигналы представляют собой колебания в

диапазоне от десятков-сотен Гц, до сотен Гц и десятков МГц. [3]

Для количественной оценки уровня акустической эмиссии могут использоваться уже известные критерии численной характеристики единичных импульсов АЭ:

 $S_{AYX}$  – площадь спектра амплитудно-частотной характеристики сигнала (AYX);  $S_{3HEP}$  – площадь под энергетической характеристикой сигнала (интегральный критерий, характеризующий энергию сигнала акустической эмиссии, т.е. какая энергия сигнала выделилась на различных частотах); N – число зарегистрированных импульсов дискретной АЭ за интервал времени;  $WH = \frac{AN}{VDEE}$  – ком-

бинированные параметры АЭ, где А – амплитуда сигнала АЭ, N – число зарегистрированных импульсов дискретной АЭ за интервал времени, V – скорость резания.

При точении, сигнал акустической эмиссии будет иметь непрерывную составляющую сигнала, которая связана с объемной деформаций материала и эффектом трения [1]. Поэтому для оценки сигнала АЭ непосредственно в процессе обработки были введены дополнительные критерии:  $K_{AUX} = SauX/OGEM - значе-$ ние которого характеризует отношение площади спектра АЧХ, генерируемых в зоне резания сигналов АЭ, при снятии единицы объема металла, в единицу времени;  $K_N = \frac{N}{OGEM} - число зарегистрированных импульсов дискретной АЭ при$  $снятии единицы объема в единицу времени; <math>K_W = \frac{W}{OGEM}$  - импульс упругих волн, генерируемых в зоне резания в единицу времени на единицу объема снимаемого металла при обработке.

В ходе исследований, было установлено, что технологическая система генерирует сигнал акустической эмиссии (АЭ) в диапазоне от 25 до 300 кГц, который имеет сложный характер. Выявлено, что при токарной обработке деталей на станке 16К20ФЗ из стали 45, резцами из твердого сплава, с режимами обработки: скорость резания V=60...140 м/мин, подача S = 0.1..0,6 мм/об, глубина резания t=0,5мм, спектр сигнала от 100 до 200 кГц, достаточно чувствителен к изменению Полученные режимов резания. зависимости для критериев  $S_{AYX}$ И *К*<sub>АЧХ</sub> = *Saux/Объем* от продольной подачи и скорости резания, как основных режимов, влияющих на шероховатость, представлены на рисунке 2.

Для управления ТП по сигналам АЭ необходимо выбрать такой методологический аппарат, на основании которого было бы возможно разработать устройства принятия решений так, чтобы точность получаемых результатов была максимальной. Одним из таких решений в этой области, является применение искусственных нейронных сетей (ИНС) [2].

Структурная схема системы управления процессом точения с целью обеспечения требуемой шероховатости с применение искусственных нейронных сетей (ИНС) представлена на рисунке 3. В системе имеется 3 нейросетевых блока: Блок 1 - ИНС1 - данная ИНС имеет пять входов (*Ra*, *S*, *V*, *t*, *HB*), Где *Ra* – шероховатость поверхности, *S* – продольная подача, *V*- скорость резания, t – глубина резания, НВ – твердость заготовки (по Бринеллю), и пять выходов – критерии оценки сигнала АЭ (*Saчx*, *W*, *Kaчx*, *Kn*, *Kw*). Блок 2 ИНС2 - по значениям критериев оценки сигнала АЭ, полученных в процессе обработки, рассчитываются выходные параметры получаемой шероховатости.



Рис. 2. Зависимости между режимами резания и некоторыми параметрами сигнала акустической эмиссии (Saчx, Kaчx)

Таким образом, ИНС2 имеет девять входов (*S*, *V*, *t*, *HB*, *Saчx*, *W*, *Kaчx*, *Kn*, *Kw*) и один выход. Блок 3 - . ИНС3 - по значениям отклонений (*d*) между реальным и эталонным значением, полученным из технологического банка данных или на основе ранее проведенных опытов, (*dRa*, *dS*aчx, *dW*, *dK*aчx, *dKn*, *dKw*), а также по значению глубины обработки и твердости заготовки, вычисляется величина корректировки режимов резания (*dS*,*dV*), которые необходимо внести для обеспечения заданных параметров шероховатости. ИНС3 имеет восемь входов и два выхода.

Для проверки разработанной системы производилось тестирование ИНС (структура - многослойный персептрон) с подачей на входы сети значений входных параметров, не участвующих в обучающей выборке, и сравнением результатов отклика ИНС с тестовыми значениями выходных данных. Полученные результаты сравнения фактических и расчетных значений шероховатости, полученных на основе данной структурной схемы, для стали40Х представлены на рисунке 4.



Рис. 3. Структурная схема системы управления процессом точения с целью обеспечения требуемой шероховатости с применением искусственных нейронных сетей

Как можно видеть на графике, совпадение фактических значений шероховатости и значений шероховатости, рассчитанных при помощи ИНС, достаточно высокое.

Таким образом, предлагаемая модель обеспечения шероховатости поверхности при токарной обработке, созданная на основе ИНС, может быть применена при технологической подготовке производства и для прогнозирования шероховатости в процессе токарной обработки.



Рис. 4. Графики сравнения фактических и расчетных значений шероховатости для тестовой выборки

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Beggan C. Using acoustic emission to predict surface quality./ C. Beggan, M. Woulfe, P. Young, G. Byrne// International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 1999. – №15. – pp. 737-742.

2. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / Под редакцией В.П. Боровикова.-2-е изд., перераб. и доп. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - 392 с.ил.

3. Поллок А. Акустико-эмиссионный контроль // Авторская перепечатка из книги Металлы (METALS HANDBOOK), 9-ое издание, т. 17, ASM International (1990):с. 278-294

4. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин [текст] / А.Г. Суслов. - М.: Машиностроение, 2000 - 320 с.

УДК. 621.992.7.025

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ РИФЛЁНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гайст С.В., магистрант, Иванов С.Г., к.т.н.,

Ишутин Е.А., аспирант, Марков А.М., д.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул) sergei\_gaist@mail.ruishutin@bk.ruandmarkov@inbox.ru

Представлены результаты исследования эксплуатационных параметров инструмента для накатывания рифленых поверхностей.

The results of the research of operational parameters of the tool for rolling corrugated surfaces.

В машиностроении широко используются детали, содержащие рифленые поверхности с регулярным микрорельефом. Они находят применение в различных областях, таких как медицина, машиностроение.

Поверхности с регулярным рельефом получают различными методами, однако наибольшее распространение в настоящее время имеет механическая обработка, в частности накатывание. В качестве материалов для изготовления накатного инструмента используют легированные, углеродистые инструментальные, быстрорежущие стали или твердый сплав. Указанные материалы имеют довольно высокую стоимость. При этом затраты на материал составляют до 40% от общих затрат на инструмент. Одним из перспективных путей снижения затрат на изготовление накатного инструмента является использование конструкционных сталей, упрочненных различными способами. В качестве методов упрочнения применяют термоциклическую и химико-термическую обработки; нанесение износостойких покрытий; лазерная или индукционная обработка. При этом химикотермическая обработка, в частности борирование, боротитанирование, позволяет обеспечить более высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств упрочненного слоя и соответственно, более высокий ресурс работы накатного инструмента в целом.

Однако широкого распространение указанные методы упрочнения при изготовлении накатного инструмента до сих пор не получили. В первую очередь изза отсутствия научно-обоснованных зависимостей между технологическими параметрами процесса упрочнения и эксплуатационными свойствами инструмента.

Для установления указанных зависимостей был проведен ряд экспериментальных исследований. В качестве экспериментальных образцов были использованы накатные ролики из конструкционной стали 45 и инструментальной стали X12M, подвергнутые таким видам химико-термической обработке как борирование и боротитанирование.

Микроструктура борированного слоя для стали 45 имеет характерное игольчатое строение (рисунок 1а). При этом бориды имеют строго ориентированную, перпендикулярную поверхности насыщения, направленность в виде клиньев с затупленными концами у вершин.

В процессе одновременного боротитанирования получаются слои, состоящие из смеси боридов, карбидов, диборидов и карбоборидов титана. Межфазные границы являются гладкими (рисунок 2б).



Рис. 1. Микроструктура поверхностного слоя стали 45: а – борирование; б – одновременное боротитанирование.

Для инструментальной стали X12M боридный слой имеет достаточно гладкую границу, но все-таки сохраняет видимость игольчатого (рисунок 2а). В процессе одновременного боротитанирования получается упрочненный слой, со-
стоящий из боридов железа и титана. Межфазные границы являются гладкими (рис. 2, б).



Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя стали X12M: а – борирование; б – одновременное боротитанирование

Вид полученных микроструктур объясняет обеспечение следующих физико-механических свойств покрытия: максимальная микротвердость по шкале Виккерса составляет 2800 HV, глубина упрочненного слоя составляет до 80 мкм. Данные получены с помощью полуавтоматического микротвердомера МН-6.

Для исследования эксплуатационных характеристик упрочненного инструмента была разработана экспериментальная установка, которая устанавливается на токарно-винторезный станок (рис. 3).



Рис. 3. Экспериментальная установка (заявка на изобретение № 2012149462).

В качестве контролируемых параметров выбрана разность высот нового и изношенного зуба, которая измеряется на инструментальном микроскопе на заранее помеченных зубах ролика.

По результатам эксперимента были получены графики зависимости износа от времени (рис. 4).



С помощью метода наименьших квадратов были получены математические модели, связывающие высоту износа накатного ролика и времени его работы в период установившегося износа (таблица 1).

Таблица 1

Вид химико-термического	Материал накатного	Математическая модель			
упрочнения	ролика				
Борирование	Сталь 45	$\Delta = 0,000896\tau + 0,484$			
Борирование	X12M	$\Delta = 0,001762\tau + 0,242$			
Боротитанирование	Сталь 45	$\Delta = 0,000672\tau + 0,0835$			
Боротитанирование	X12M	$\Delta = 0,000658\tau + 0,0225$			
где $\Delta$ – высота износа накатного ролика; $\tau$ – время работы ролика					

Вид математических моделей износа инструмента

Как показали исследования накатной инструмент, изготовленный из материала Сталь 45 и упрочненный боротитаниерованием, имеет максимальный пе-

риод стойкости равный 105 минутам. Это сопоставимо со стойкостью «стандартного» инструмента, изготовленного из инструментальной стали.

УДК 621.9.042

# ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ-ОСНОВЫ ЛЕЗВИЙНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕГО НАПЫЛЕНИЯ

Д.В. Першина, аспирант, В.Д. Гончаров, к.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Барнаул, тел. +7(3852)-29-09-23, E-mail:daria.prosteva@mail.ru

В данной статье рассматривается подготовка профиля поверхности детали-основы в процессе резания для получения прочного сцепления с напылённым защитным покрытием. Ставится задача – оптимизировать влияние трения на процесс резания. При возникновении наростообразования на резце образуется рваная поверхность на обрабатываемой детали, что является отрицательным фактором на чистоту поверхности при обработке. Получение микрорельефа рваной поверхности применимо для последующего напыления.

Preparation of the surface profile is considered to produce a sound bond deposited with the protective coating during the cutting process. The aim is to optimize the effect of friction on the cutting process. Ripped surface adversely affects the purity of the surface during processing. Micro relief ragged surface is used for the subsequent deposition.

Важнейшей проблемой машиностроения на современном этапе является повышение качества выпускаемой продукции. Основные показатели машин и приборов – их надёжность и КПД, которые в значительной мере определяются эксплуатационными свойствами деталей и соединений, то есть пределом выносливости, коррозионной стойкостью, износостойкостью, коэффициентом трения, контактной жёсткостью, прочностью посадок, герметичностью соединений. Эксплуатационные свойства характеризуются состоянием поверхностного слоя, определяемым технологией изготовления. Для отраслей промышленности – энергетического и транспортного машиностроения, ракетной техники, космонавтики и авиастроения, для развития атомной энергетики характерно стремление использовать высокие температуры, низкие и высокие давления, большие скорости течения газовых потоков. В этих условиях очень часто единственным средством решения ряда важных практических задач является использование покрытий, кроме того, покрытия позволяют увеличить срок службы изделий.

Предварительная обработка поверхности детали-основы относится к числу

важнейших факторов, определяющих прочность сцепления покрытия с основным металлом. Адгезия покрытия возникает под действием ряда механизмов, из которых определяющее значение для многих покрытий имеет механическое сцепление напыляемого материала с поверхностью детали-основы. Для того чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с неровностями поверхности, основа должна быть достаточно шероховатой. В тех случаях, когда адгезия покрытия зависит от сплавления напыляемого материала с материалом основы или от образования химических соединений в переходной зоне, предварительная обработка изделий должна включать очистку поверхности. Предварительная обработка поверхности изделия для придания ей шероховатости – важная мера увеличения площади поверхности основы и создание большей активности основы. Для получения наилучшего механического сцепления частиц напыляемого покрытия с поверхностью детали-основы необходимо, чтобы поверхность была очищена от разного рода загрязнений и также имела развитую сетку шероховатости. В этом случае происходит повышение адгезионной прочности за счёт увеличения площади контакта напыляемого материала с основой и улучшения условий смачивания. Ставиться задача – оптимизировать влияние трения на процесс резания. При этом коэффициент трения относиться к важному параметру, определяющему процесс резания.

Зоревым Н. Н. установлено [1], что резкое снижение коэффициента трения при резании в воде полностью устраняет наростообразование и застойные явления на передней грани резца, вызывает снижение сил резания, усадки и работы сил резания. Выявлено, что при резании в воздухе усадка стружки и удельное давление резания могут возрастать и падать с увеличением толщины среза, что связано с изменением фактического переднего угла за счёт наростообразования. Возникновение нароста на передней грани режущего элемента не связано с какой-либо определённой температурой резания, нарост является следствием изменения схемы деформирования стружки и образование напряжённого состояния в стружкообразовании. При уменьшении толщины среза до критической величины напряжённое состояние зоны стружкообразования настолько усложняется, что происходит скачкообразное изменение схемы деформирования, выражающееся в появлении нароста. Дальнейшее уменьшение толщины среза сопровождается всё большим относительным развитием нароста. Схема образования нароста изображена в соответствии с рисунком 1.

Наростообразование влияет на обработанную поверхность детали-основы:

1) изменяются размеры обработанной поверхности детали-основы;

2) на обработанных поверхностях остаются продукты разрушения наростов в виде твёрдых внедрившихся в поверхность частиц, возрастает шероховатость, появляется неравномерность упрочнения обработанной поверхности деталиосновы.



Рис. 1. Схема формирования нароста: АпБп – дуга образования нароста; А<sub>1</sub>Б<sub>1</sub> – исходный слой нароста; v - вектор скорости резания

При возникновении наростообразования на резце образуется рваная поверхность на обрабатываемой детали, что отрицательно влияет на чистоту поверхности при обработке. Получение микрорельефа рваной поверхности применимо для последующего напыления, что позволяет увеличить срок службы изделия при эксплуатации.

Нарезание рваной резьбы обеспечивает высокую прочность сцепления при сдвиге покрытия с поверхностью детали (за счёт механического сцепления). При нарезании рваной резьбы необходимо использовать резец с углом при вершине 55-60°, вершина угла должна иметь радиус закругления 0,3-0,5 мм, угол резания 80°, передний угол резца равен нулю или отрицателен (2-5°). Резец устанавливают в резцедержателе с вылетом 100-150 мм. Для получения необходимой шероховатости режущую кромку резца необходимо сместить ниже оси детали. Рекомендуемые режимы нарезания рваной резьбы на стальных деталях представлены в соответствии с таблицей 1.

Параметры рваной резьбы рекомендуется подбирать экспериментально для каждого материала с целью правильного определения размера детали и толщины наносимого покрытия. Рваную резьбу нарезают за один проход. Она может быть круглой, треугольной с закругленными вершинами, грубой пилообразной и рваной полукруглой в соответствии с рисунком 2. На небольшие детали диаметром до 80 мм обычно наносят мелкую треугольную резьбу с глубиной 0,6 мм с шагом 0,8 мм. При обработке изделия большего диаметра наносят резьбу с большим шагом и глубиной. Например, при диаметре 250 мм шаг должен составлять 2 мм, глубина – 1,5 мм, при этом целесообразно наносить пилообразную нарезку с наклоном ниток в противоположные стороны. Резьба такого вида рекомендуется для подготовки втулок и разъемных подшипников.

После резания необходимо контролировать профиль рваной резьбы.

# Таблица 1

Диаметр детали, мм	Смещение резца, мм	Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>
1	2	3
10	1	300
15	1,5	210
20	2	150
25	2,5	135
30	2,5	100
35	3	95
40	3	75
45	3	70
50	3,5	60
75	4	45
100	4,5	30
150	5	20
200	6	15
250	7,5	13
300	9	10
350	11	9
400	13	7
450	15	6
500	16	5

Режимы нарезания рваной резьбы на стальных деталях



Рис. 2. Различные профили рваной резьбы: а – остроугольный профиль; б – пилообразный профиль; в – пилообразный профиль с наклоном витков в противоположные стороны Образования, появляющиеся на вершинах профиля рваной резьбы, удалить шабером или широким резцом при вращении детали. Профиль рваной резьбы может быть удовлетворительный, обеспечивающий хорошее сцепление напылённого слоя с основным металлом, и неудовлетворительный, при котором в изолированные и узкие впадины напыляемый материал попадать не будет, представлено в соответствии с рисунком 3.



Рис. 3. Профили рваной резьбы:

а – удовлетворительный профиль; б – неудовлетворительный профиль; Рн, Рк – положение резца в начале и в конце обработки;

α – угол наклона оси резца (в плане) относительно оси детали (должен быть равен 70-75°); t – шаг резьбы; h1 и h2 – глубина резьбы (0,5-0,8 мм)

Таким образом, наростообразование на лезвийном инструменте позволяет получать профиль рваной резьбы для последующего напыления.

В результате образования нароста на лезвийном инструменте установлено, что нарезание рваной резьбы обеспечивает высокую прочность сцепления при сдвиге покрытия с поверхностью детали-основы, что позволяет увеличить срок службы деталей при эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зорев, Н. Н. Исследование элементов механики процесса резания / Под ред. д.т.н. А. М. Розенберга. – М.машиностроение, 1952. – 364 с., ил.

УДК 621.923.12

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПАТРОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.А. Дианов, к.т.н.

Алтайский государственный технический ун-тет им. И.И. Ползунова Барнаул, тел. +79132298091, E-mail: korablishka@yandex.ru

В докладе описывается проблема и ставится задача по разработке нового оборудования, технологии и инструмента для высокопроизводительного изготовления канавок в телах враще-

ния. Описываемые трудности характерны для патронного производства. Приводится обоснование применения прерывистого абразивного инструмента с комбинированной пропиткой, для решения поставленных задач.

Where is the task of development of new equipment, technology and tool for highperformance production of flutes in rotation bodies is set in the report. Described difficulties are characteristic for cartridge production. Also justification of application of abrasive circle with cross grooves and the combined impregnation for solution of objectives is given.

Для обеспечения эксплуатационных характеристик подавляющее большинство тел вращения в настоящее время подвергается токарной обработке. Однако в каждом конкретном случае выбор технологии изготовления должен выбираться исходя из экономической эффективности. Так, например, конструкция большинства патронов к стрелковому оружию не позволяет изготавливать большинство поверхностей патронных гильз методами обточки. В этом случае обосновано применяются методы пластического деформирования (вытяжка, обжим и др.) [1].

В современных конструкциях патронов существует элемент, для которого разработаны альтернативные технологии изготовления – это канавка для формирования фланца гильзы, рисунок 1. Данный элемент может быть получен как штамповкой, так и обточкой. Последний способ можно назвать традиционным, простота его реализации по сравнению со штамповкой позволяет быстрее запустить производственный процесс.



Рис. 1. Гильза пистолетного патрона

Как правило, производство патронов является крупносерийным и массовым процессом. В связи с этим проточка канавки для формирования фланца гильзы на универсальном токарном оборудовании экономически не эффективна. Одним из путей повышения производительности стало создание специальных линий для механической обточки гильз.

Это оборудование позволяет с высокой производительностью выполнять не только обточку, но и автоматический контроль точности, при этом канавка на гильзе формируется за один проход, а точность формы канавки обеспечивается формой фасонного перетачиваемого резца. Особенностью патронного производства является то, что технология должна обеспечивать определенную твердость и пластичность гильзы. Эти параметры качества могут быть заданы переменными

по длине гильзы. В любом случае механическая обработка со снятием стружки не должна нарушать качественных параметров материала гильзы.

Линии для механической обточки фланца гильзы проектировались для патронов, использовавшихся в великую отечественную войну. Использование этого оборудования для изготовления гильз к патронам для современного стрелкового оружия, особенно иностранного производства, увеличивает количество случайных погрешностей в процессе точения, его энтропия возрастает. Переоснастка такого специального оборудования, как линии для механической обточки гильз, под новые изделия крайне затруднена и сравнима по затратам с разработкой новых линий. Разделение же проточки на несколько операций резко увеличивает себестоимость техпроцесса (снижает производительность).

Следовательно, система производительность-точность-качество проточки канавок для формирования фланца гильз имеет следующие ограничения:

1. Производительность процесса. Необходимо спроектировать операцию изготовления фланца гильзы не уступающую по производительности операциям, применяемым в настоящее время (200 проточек в мин.);

2. Точность. Геометрические параметры и высота микронеровностей поверхности канавок должны удовлетворять конструкторским требованиям и достигаться непосредственно на одной операции без дополнительной обработки;

3. Качество. Выделение энергии в процессе изготовления канавок не должно приводить к изменениям в структуре материала гильз (изменение твердости, потеря пластичности).

Для удовлетворения этим ограничениям автор доклада предлагает изготавливать канавку для формирования фланца гильзы с применением фасоннозаправленного комбинированно-пропитанного [2] прерывистого абразивного инструмента [3]. С применением такого инструмента решаются следующие задачи:

1. Обеспечение производительности происходит за счет того, что скорость резания при шлифовании на порядок больше чем при точении, кроме того правка абразивного инструмента может быть организованна без остановки операции и снятия инструмента с оборудования;

2. Точность и шероховатость канавок обеспечивается непосредственным копированием заправленного профиля абразивного инструмента, а постоянство этих параметров во времени поддерживается его комбинированной пропиткой, увеличивающей его стойкость, и непрерывной правкой во время операции;

3. Подача смазочно-охлаждающих технических средств, прерывистость абразивного инструмента и его комбинированная пропитка обеспечат сохранение структуры материала гильзы благодаря уменьшению тепловыделения от процесса резания, для удовлетворения конструкторских требований.

Подбор абразивного инструмента, проектирование оборудования для реализации описанного процесса и подбор режимов обработки – тема дальнейшего исследования авторов доклада.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев Н.П. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч.1. Технологические основы проектирования патронов / Н.П. Агеев, Г.А. Данилин, В.П. Огородников; Балт. гос. техн. ун-т. – Спб., 2005 – 352 с.

2. Дианов, А. А. Комбинированная пропитка прерывистых шлифовальных кругов. / А.А. Дианов, В.А.Терентьев, Е.Ю. Татаркин. // Современные проблемы в технологии машиностроения: Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 100-летию со дня рождения профессора Муханова Ивана Ивановича. Секция «Размерное формообразование». – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2009. – С. 76 – 79.

3. Патент 88600 Российская федерация, МПК<sup>8</sup> В 24 D 5/10. Прерывистый шлифовальный круг. / В.А. Терентьев, Е.Ю. Татаркин, В.А. Фёдоров, А.А. Дианов. – 2009128097/22; заяв. 20.07.2009; опубл. 20.11.2009, Бюл. № 32.

УДК 621.7

# ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ МАКСИМАЛЬНОЕ КАЧЕСТВО ОТВЕРСТИЙ

# Р.А. Анзыряев, аспирант; Е.Ю. Татаркин, д.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Барнаул, тел. +7 (3852) 29-09-23, e-mail: etatarkin@mail.ru; kubonit@mail.ru

Доклад посвящен рассмотрению методов технологического обеспечения качества отверстий, полученных методом пластического сверления. Объясняются причины формирования разрывов на кромке сформированного отверстия при пластическом сверлении инструментом с конической формой рабочей части. Описаны и проанализированы результаты проведенных экспериментов с применением инструментов с различной формой рабочей части и эксперимент пластического сверления с предварительно просверленным отверстием.

The report is devoted to consideration of methods of technological support of quality of the bores received by a method of plastic drilling. The reasons of formation of gaps speak an edge of the created bore at plastic drilling by the tool with a conical form of working part. Results of the made experiments with use of tools with a various form of working part and experiment of plastic drilling with previously drilled bore are described and analyzed.

Преобладающим видом брака при пластическом сверлении является формирование разрывов в зоне выхода инструмента. Разрывы приводят к разрушению деталей машин в процессе их эксплуатации. Для объяснения причин возникновения разрывов выдвинута гипотеза: разрывы возникают, когда коническая часть инструмента выходит из зоны обработки. В этот момент на стенку втулки действует резко увеличивающаяся радиально направленная сила. Разрывы могут формироваться также при снижении пластичности обрабатываемого металла на этапе формообразования крепежного элемента. Температура на поверхности трения для обеспечения максимального повышения пластичности обрабатываемого металла должна быть выше температуры рекристаллизации, но ниже температуры перегрева и пережога. Цель работы состоит в выявлении оптимальной технологии пластического сверления для обеспечения качества отверстий. В данном докладе рассматривается несколько технологий пластического сверления.

Пластическое сверление пуансон-сверлом с конической формой рабочей части. Инструмент и результаты пластического сверления изображены на рисунке 1.



Рис.1. а) Пуансон-сверло с конической формой рабочей части, угол при вершине 60°; б) Нижняя часть крепежного элемента (частота вращения 1600 об/мин; подача 160 мм/мин)

На нижней части крепежного элемента наблюдается 12 разрывов длиной около 1,5-2 мм. Недостатком данной технологии является высокая длина и количество разрывов на кромке нижней части крепежного элемента. Также при первом использовании инструмента в процессе обработки откалывается вершина инструмента, что в дальнейшем приводит к разрушению пуансон-сверла (рис. 2). [1]



Рис. 2. Разрушенное пуансон-сверло С целью исключения откалывания вершины пуансон-сверла и увеличения

силы трения на начальном этапе обработки было предложено изготовить инструмент с двумя коническими ступенями на рабочей части. Пуансон-сверло и результат пластического сверления этим инструментом изображены на рисунке 3. На нижней части крепежного элемента наблюдается 12 разрывов длиной около 1,0-1,5 мм. Высота разрывов незначительно снизилась. Откалывание вершины инструмента в процессе обработки исключилось.



Рис. 3. а) Пуансон сверло с двумя коническими ступенями и закруглением; б) Нижняя часть крепежного элемента (частота вращения 1600 об/мин; подача 160 мм/мин)

Чтобы увеличить пластичность металла на начальном этапе обработки, предложено провести эксперимент пластического сверления предварительно нагретой заготовки пуансон-сверлом с конической формой рабочей части. Перед установкой на станок, заготовка была предварительно нагрета, на открытом огне

в течение 30 сек. После чего разогретая заготовка была закреплена в тисах и просверлено отверстие пуансон-сверлом с конической формой рабочей части и углом при вершине инструмента 50°. Результат эксперимента представлен на рисунке 4. Высота разрывов на нижней части крепежного элемента составила не более 1 мм, однако их количество значительно увеличилось. На верхней части крепежного элемента разрывов не наблюдается. Верхняя часть крепежного элемента представлен о значительно увеличилось. На верхней части крепежного элемента разрывов не наблюдается. Верхняя часть крепежного элемента имеет форму тора.

Пластическое сверление пуансон-сверлом с криволинейной формой рабочей части, позволяет избежать резкого увеличения радиальной силы в зоне выхода рабочей части инструмента, а также поддерживать оптимальную температуру и пластичность обрабатываемого материала. Пуансон-сверло с криволинейной формой рабочей части и результат пластического сверления этим инструментом изображены на рисунке 5.



Рис. 4. Нижняя часть крепежного элемента после пластического сверления предварительно нагретой заготовки



Рис.5. а) Пуансон-сверло с криволинейной формой рабочей части; б) Нижняя часть крепежного элемента (частота вращения 1600 об/мин; подача 160 мм/мин)

После сверления пуансон-сверлом с криволинейной формой рабочей части длина разрывов составляет около 0,5 мм - 1,0 мм. На кромке нижней части крепежного элемента сформирован отросток диаметром около 5,5 мм и высотой около 2,5 мм. В процессе проведения экспериментов с применением инструмента с криволинейной формой рабочей части установлено образование на кромке крепежного элемента «отростка». Данный элемент формируется в момент отрыва вершины формируемого крепежного элемента и начала выхода пуансон-сверла из зоны обработки. [1]

Для исключения формирования «отростка» на кромке крепежного элемента был предложен вариант технологии – пластическое сверление пуансон-сверлом с криволинейной формой рабочей части в заготовке с предварительно просверленным отверстием. Диаметр предварительно просверленного отверстия d = 2,5 мм (рисунок 6). Длина разрывов была в диапазоне 1,5-2,3 мм. Распределение разрывов по диаметру узла крепления не равномерное, что может объясняться несоос-

ностью предварительно просверленного отверстия и пуансон-сверла. Нижняя часть крепежного элемента имеет четкое разделение на две половины, отличающиеся цветом металла и диаметрами на границе раздела. У нижней половины втулки (высотой 3,5 мм) металл вытягивался под действием осевой силы. В верхней половине втулки наблюдаются последствия вытеснения внутреннего слоя металла из зоны обработки в направлении подачи инструмента. [1]



Рис. 6. Нижняя часть крепежного элемента после пластического сверления заготовки с предварительно просверленным отверстием

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод, что применение пуансон-сверла с криволинейной формой рабочей части уменьшает длину, и количество разрывов на кромке нижней части крепежного элемента. Однако у данного метода существует недостаток – формирование «отростка» на кромке нижней части крепежного элемента. Метод пластического сверления с предварительным нагревом заготовки обеспечивает меньшую длину разрывов, однако их количество значительно возросло. Обеспечение качества отверстий путем регулирования формой рабочей части инструмента является не единственным решением. Существуют методы обеспечения качества отверстий путем регулирования режимами обработки. Поэтому последующие исследования будут направлены на определение закона изменения подачи и частоты вращения инструмента в процессе пластического сверления с учетом формы рабочей части инструмента, с целью снижения формирования разрывов в крепежном элементе. [2]

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анзыряев, Р.А. Сравнительный анализ качества изготовления отверстий пуансон-сверлами с различными геометрическими параметрами / Р.А. Анзыряев, Е.Ю. Татаркин // Вестник КузГТУ. – 2013. - №1. – с. 68-70.

2. Татаркин, Е.Ю. Управление качеством крепежных элементов, полученных методом пластического сверления / Е.Ю. Татаркин, Р.А. Анзыряев // Материалы 6-й Всероссийской научно-практической конференции 06 июля – 07 июля 2012 г. «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» / Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ. – Бийск, 2012. – с.211-214.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С УЧЕТОМ ОТКАЗОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А.М.Фирсов, к.т.н., доцент, А.В.Вдовин, инженер, И.В.Тимахович, аспирантка Бийский технологический институт (филиал) Алтайского Государственного технического университета им. И.И.Ползунова 659315, г.Бийск, ул.Трофимова д.,27. Тел., факс 8(3854)43-53-02. E-mail: <u>mrsi@bti.secna.ru</u>

Рассматривается новый подход проектирования технологических процессов механической обработки изделий с учетом отказов технологической системы, на примере обработки отверстия малогабаритного корпуса.

The new approach the design process of machining products taking into account the failure of the technological system, the example of processing holes compact housing.

Как известно, требования, предъявляемые к качеству изделия, формируются на этапе конструкторской подготовки производства, пути обеспечения качества определяются на этапе технологической подготовки производства (ТПП) и обеспечиваются во время реализации технологического процесса (ТП).

Современное производство оснащенное технологическим оборудованием с числовым программным управлением (ЧПУ) сочетают высокую производительность, характерную для массового производства, с высокой гибкостью, отличающей единичное и мелкосерийное производство. При разработке ТП механической обработки заготовок на станках с ЧПУ широко применяется система автоматизированного проектирования (САПР ТП). В задачи этой системы входит: проектирование ТП изготовления деталей; подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ. Разработка ТП и управляющих программ ведется в диалоговом режиме с использованием различных программных средств. Однако, несмотря на широкое применение этих средств для разработки ТП, время отладки и запуска производства составляет от 30% до 80% от времени ТПП [1]. Во многом это связано с отсутствием информации о влиянии входных параметров (конструктивных особенностей заготовки, механических свойств материала заготовки и инструмента, конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента, состояние оборудования и др.) на ход выполнения ТП. При этом также следует учитывать, что при выполнении ТП происходит изменение жесткости станка, заготовки, износ инструмента и это все приводит к рассеянию параметров качества обработанных поверхностей и к выходу их за пределы допустимого, т.е. к отказам ТС.

Современные методики проектирования ТП, основанные на нормативных данных, направлены на обеспечение выходных параметров ТП, и его результат Y ставится в зависимость от основных результирующих факторов- полезного эффекта Q, затраченных ресурсов C и времени T. В свою очередь, результирующие факторы зависят от стратегии u, выбранной из допустимого множества стратегий U. Следовательно, результат ТП также будет зависеть от стратегии u,: Y(u) = Y(Q(u), C(u), T(u)).

Правильность выбранной стратегии оценивается при отладке и запуске производства, а так как существующие нормативы выбора параметров ТП не учитывают переменные входные данные и изменяющиеся параметры TC, то этот этап занимает длительное время, что для современного рыночного производства недопустимо. Поэтому поиск решений направленных на сокращение времени ТПП и, особенно, на запуск ТП и его отладки является актуальным.

Предлагается методика проектирования ТП, основанная на прогнозировании отказов и недопущения их появления. Для реализации этой методики необходимо создать информационно-технологическую базу отказов (ИТБО) для конструкторско-технологических модулей поверхностей деталей, которая позволит выявить вероятность появления отказов и предотвратить их появление на этапе ТПП. При создании ИТБО необходимо произвести: регистрацию возникающих отказов TC; анализ причин их возникновения; синтез решений для их устранения; прогноз вероятности их появления; определить пути управление параметрами ТП с целью предупреждения отказов. Схема создания ИТБО представлена на рисунке 1.

Регистрацию отказов, возможно, проводить как при выполнении ТП, так и после обработки изделия при проверке его выходных параметров (качества, производительности и т.п.). После выявления отказов требуется определить причину отказа и условия его возникновения. Причины отказов могут быть определены различными методами, например, используя диаграммы Парето, Исикавы, метод FMEA и др.

Эти методы позволяют:

-выявить потенциальные дефекты и варианты отказов, которые могут возникнуть при применении продукции или функционировании процесса;

-определить основные причины их появления и возможные последствия;

-выработать действия по устранению этих причин или предотвращению возможных последствий.

Прогнозирование условий появления отказов является сложной задачей, так как это вероятностное явление, которое может появиться только при определенных условиях и для выявления этих условий может быть использована математическая логика или искуственные нейронные сети. Используя союзы «И», «ИЛИ», «ЕСЛИ..., ТО...» и др. возможно определить вероятность появления отказа. Информация об виде отказов и условий их появления заносится в базу данных отказов и может быть использована в качестве дополнительной информации в виде подсистемы САПР ТП механической обработки.



че. п.ехема создания информационно-технологической оазы отказ технологической системы механической обработки

В случае, если имеется вероятность появления отказа, то необходимо предпринять мероприятия по его предотвращению. Для этого требуется найти пути устранения отказа, которые могут быть реализованы при помощи теоретических, экспериментальных исследований моделей ТП механической обработки в котором возникает отказ. При успешном решении проблемы результаты заносятся в базу знаний по ликвидации отказов. Эти знания могут быть использованы при ТПП механичекой обработки для устранения появления отказов, а также для управления ТП в процессе его выполнения, с целью обеспечения выходных параметров.

Рассмотрим ТП обработки отверстия корпуса цилиндра двухтактного двигателя (конструкторско-технологический модуль- отверстие глухое с прерывистой цилиндрической поверхностью), представленного на рисунке 2

Заготовка, данного корпуса, из алюминиевого сплава АК12 получена методом литья под давлением. Технологический процесс включает черновое и чистовое растачивание отверстия, также в ТП заложена операция притирки. С целью повышения износостойкости отверстия на его поверхность наносится гальваническим способом износостойкое хромовое покрытие. После чего выполняется операция хонингования, которая является заключительной в обработке отверстия.



Рис. 2. Корпус цилиндра двухтактного двигателя

В результате выполнения ТП обработки отверстия этой деталей были выявлены дефекты (отказы):

1. Дефекты при обработке отверстия под нанесения гальванического покрытия (требования, предъявляемые к отверстиям: точность размеров 6-7 квалитет, точность формы 4-5 степень, шероховатость R<sub>a</sub> 0.63-1.25 мкм):

- рассеяние размеров диаметра отверстия и отклонение формы отверстия в продольном сечении больше допустимого;

-неравномерная шероховатость поверхности отверстий как у одной заготовки, так и в партии (R<sub>a</sub> от 0,63 до 2,5 мкм и на некоторых участках до 3,2 мкм);

-неравномерная твердость поверхности отверстий после обработки (колебание твердости поверхности до 30%);

-низкая производительность и снижение стойкости инструмента (из-за неудовлетворительного удаления стружки из отверстия, происходит скол режущей части инструмента).

2. Дефекты при обработке отверстия с гальваническим покрытием хонингованием:

-скол износостойкого покрытия при обработке хонингованием;

-низкая производительность при обработке глухих и прерывистых отверстий хонингованием (увеличение двойных ходов в нижней части отверстия, снижение режимов при обработке прерывистых поверхностей отверстий).

Рассмотрим первый отказ «рассеяние размеров диаметра отверстия и отклонение формы отверстия в продольном сечении больше допустимого». В результате анализа этого отказа было установлено, что причина отказа неоднородные физико-механические свойства заготовки, которые возникли в результате её получения. Из-за неравномерной толщины стенок при кристаллизации алюминиевого сплава в процессе охлаждения образовалась неоднородная структура с разными механическими свойствами. В результате чего при растачивании отверстия происходит колебание силы резания и, следовательно, возникновение переменных упругих деформаций элементов TC, что и приводит к рассеянию размеров отверстия и отклонению формы больше допустимого.

Устранение этого отказа можно осуществить заменой метода получения заготовки или проведением термообработки, чтобы обеспечить однородную структуру (не всегда возможно, так как в большинстве случаев заготовка директивная) или спроектировать структуру операции (количество переходов) с учетом колебаний силы резания и упругих деформаций ТС под действием переменных входных данных (твердости, припуска и т.п.).

При определении количества переходов, исходя из принципа максимальной производительности, если вероятность отказа не прогнозируется, то вначале определяется возможность снятия припуска за один проход с максимально возможной подачей. В случае если имеется вероятность появления отказа, связанного с упругими деформациями TC под действием переменной твердости или припуска, то припуск разбивается на два или более переходов, или снижается величина подачи. Возможные пути устранения отказа заносятся в базу знаний для соответствующего конструкторско-технологического модуля поверхностей.

Условия появления отказа можно записать следующим образом: если заготовка из алюминиевого литейного сплава, получена методом литья и имеет разную толщину стенок, то формируются неоднородные физико-механических свойств поверхности и есть вероятность появления отказа при механической обработке растачиванием конструкторско-технологического модуля в виде глухого отверстия с прерывистой поверхностью.

Таким образом, данный подход, при его реализации, может быть использован в виде подсистемы САПР ТП, обеспечивающей прогнозирование появления отказов ТС механической обработки и их устранению на этапе ТПП тем самым уменьшая время отладки и запуска ТП и повышая конкурентоспособность машиностроительных производств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондаков А.И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений [текст]. /А.И. Кондаков. - М.: Издательский центр «Академия», 2007.-272 с.

УДК 621.785:621.923

# РАЗРАБОТКА СТАНОЧНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ НА БАЗЕ ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА МОДЕЛИ ЗГ71\*

В.Н. Пушнин, магистрант, М.А. Зайцева, магистрант, Е.К. Зайцев, магистрант, Д.Ю. Корнев, студент, В.Ю. Скиба, доцент, к.т.н. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» Новосибирск, тел. +7(383) 346-17-79, факс +7(383) 346-17-97. E-mail: skeeba\_vadim@mail.ru

Разработана модель станочного комплекса для интегральной обработки на базе станка модели 3Г71. С целью защиты от электромагнитного излучения при закалке токами высокой частоты произведена модернизация закалочного контура и рабочей зоны станочного комплекса.

A model of the machine set for the integrated treatment based on the machine model 3G71. In order to protect against electromagnetic radiation hardened by high frequency quenching the modernization of the hardening contour and the machine working area of the complex.

Успешная реализация предлагаемой интегрированной обработки [1, 2, 3] на производстве зависит от детальной проработки модернизируемых узлов и механизмов с использованием современных систем автоматизированного проектирования (CAD-системы) и систем инженерного анализа (*CAE*-системы), таких как *SolidWorks*, *SolidEdge*, *Ansys*. В свою очередь при внедрении нового технологиче-ского оборудования в технологический процесс изготовления деталей машин необходимо предусмотреть меры и средства защиты от действия электромагнитных полей.

Моделирование базовых элементов станочной системы, построение шпиндельного узла, привода движений подач осуществлялась в системах *SolidWorks* и *SolidEdge*.

При реализации предлагаемой финишной стадии технологического процесса учитывались характерные особенности ВЭН ТВЧ. В связи с ограниченностью размеров площадки, подвергаемой тепловому воздействию при ВЭН ТВЧ, упроч-

<sup>•</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектно-исследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

нение всей поверхности, как правило, достигается только за счет обеспечения относительного движения детали и индуктора (рис. 1). При этом следует отметить, что максимальная концентрация энергии при ВЭН ТВЧ достигается при зазорах между активным проводом индуктора и деталью порядка 0,1 мм. Это в свою очередь предъявляет повышенные требования к обеспечению точности траектории движения исполнительных органов, с целью поддержания постоянства данного зазора. В связи с этим для успешной реализации процесса ВЭН ТВЧ требуется проектирование и изготовления оборудования подобного металлорежущим станкам.



Рис. 1. 3D модель индуктора с шинопроводом: 1 – медный индуктор; 2 - ферритовый магнитопровод.

Вариант с индивидуальной встройкой индуктора в существующую станочную систему с целью использования ее формообразующих движений чреват значительными потерями энергии в токопроводящих шинах, величина которых определяется удаленностью объекта от источника. Такая компоновка характеризуется крайне низким коэффициентом полезного действия. Размещение стационарного выносного контура на металлообрабатывающем оборудовании в большинстве случаев невозможно из-за их больших габаритов и неприспособленностью к встраиванию.

Следовательно, при объединении процессов механической и поверхностной термической обработок наиболее целесообразно не разрабатывать новый станок, а использовать существующее оборудование, на котором осуществляется окончательная механическая обработка, и оснастить его дополнительным устройством, позволяющим реализовать процесс ВЭН ТВЧ. При этом на операции термообработки можно использовать все исполнительные движения станка. В качестве

оборудования на финишных операциях наиболее часто используются станки шлифовальной группы.

Для интеграции процессов механической и поверхностной термической обработок была произведена модернизация плоскошлифовального станка модели 3Г71 [3]. *3D* модель станочного комплекса представлена на рисунке 2.



Рис. 2. *3D* модель станочного комплекса на базе плоскошлифовального станка: *1* – станок 3Г71; *2* – закалочный контур.

Схема обработки, иллюстрирующая объединение разнородных процессов, приведена на рисунке 3.

Процесс изготовления деталей осуществляется по схеме: первый переход образец 2, установленный на электромагнитной плите (ЭП21-Г), шлифуется в окончательный размер, заданный чертежом; второй переход - поверхностная закалка ВЭН ТВЧ на заданную глубину упрочнения; третий переход – окончательное шлифование и выхаживание [4]. Закалочное устройство, установленное на дополнительно изготовленную сварную раму, представляет собой ряд стандартных элементов, связанных единой электрической схемой (рис. 4).

В его состав входят конденсаторная батарея *1*, понижающий трансформатор *2* и индуктор (рис. 4), прикрепляющийся к обкладкам *3* трансформатора.



Рис. 3. Схема интегральной обработки: 1 – шлифовальный круг; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – индуктор; 4 – шинопровод; 5 – трансформатор; 6 – конденсаторная батарея; 7 – генератор ТВЧ; 8 – выносной закалочный контур.



Рис. 4. *3D* модель закалочного контура: *1* - конденсаторная батарея; *2* - понижающий трансформатор;

3 – обкладки трансформатора; 4 - коаксиальный кабель

Питание выносного закалочного контура осуществлялось посредством гибкого коаксиального кабеля 4 марки РК-50 от лампового генератора высокочастотной энергии. Блок конденсаторов необходим для уменьшения загрузки генератора реактивной мощностью, а трансформатор – для согласования напряжений источника энергии и индуктора. Инструментом для нагрева поверхностей обрабатываемых деталей является индуктор петлевой формы, оснащенный магнитопроводом (рис. 4). В зависимости от типа движения, которое необходимо придать индуктору (качательное или возвратно-поступательное), связь последнего с трансформатором выполняется в виде гибких или жестких шинопроводов.

С целью снижения энергетических потерь и повышения к.п.д. конденсаторную батарею и понижающий трансформатор с индуктором необходимо объединить в единый комплекс, называемый выносным закалочным контуром, и именно который непосредственно встраивают в станочную систему. Целесообразность такого решения объясняется тем, что по цепи генератор – контур передается высокое напряжение (до 10 кВ), тогда как от трансформатора к индуктору оно становится как минимум на порядок ниже.

Проектирование выносного закалочного контура осуществляется исходя из конкретной модели станка, в который он встраивается, и номенклатуры обрабатываемых на нем деталей. Для этого вначале рассчитывают и проектируют индуктора, шинопровод, трансформатор с батареей конденсаторов, а затем осуществляют общую компоновку и конструкторскую проработку узла в целом.

Используя указанные рекомендации по проектированию закалочного контура, на кафедре проектирования технологических машин НГТУ был модернизирован плоскошлифовальный станок ЗГ71. Общий вид станочного комплекса для интегрированной обработки представлен на рисунке 5.

Для защиты от электромагнитного излучения генератор токов высокой частоты заэкранизирован в соответствии с требованиями, представленными в ГОСТ 12.1.006-84. Экран изготовлен из листовой стали толщиной 1 мм. Напряжение в генераторе достигает 10 кВ. Поэтому предусмотрено автоматическое отключение генератора при открывании его дверей. В задней стенке генератора имеется отверстия для подвода радиочастотных кабелей. Кабели, протянутые от генератора до закалочного контура имеют внешнюю оплетку, вследствие чего электромагнитное излучение исключается. С целью удобства управления процессом закаливания и для безопасности рабочих пульт управления генератором вынесен на переднюю часть станины (рис.5, позиция 3), где имеется устройство для аварийного останова, отключающая генератор от трансформатора.

Трансформатор установки преобразует напряжение от 10 кВ до 300В. Поэтому выносной контур помещают в алюминиевый перфорированный кожух толщиной 1мм (рисунок 6). Он является экраном от высокочастотного излучения, а также предохраняет от случайного прикосновения. В электрической схеме управления предусмотрена блокировка крышки защитного экрана закалочного



Рис.5. Станочный комплекс для интегрированной обработки на базе плоскошлифовального станка модели 3Г71:

1 – индуктор; 2 – закалочный контур; 3 – пульт управления генератором ТВЧ; 4 – жесткий шинопровод; 5 – абразивный круг

контура.

При открывании крышки, генератор автоматически отключается от закалочного контура. В целях предотвращения включения трансформатора без подачи воды в первичную и вторичную обмотки, а также в индуктор, имеется блокировка, отключающая трансформатор от генератора при отсутствии давления в водопроводе.

Блок конденсаторов крепится на изоляторах, выдерживающих напряжение до 28 кВ, во избежание пробоя. Напряжение конденсаторов достигает 10 кВ.



Рис. 6. 3D модель закалочного контура

Металл детали нагревается при помощи медного водоохлаждаемого индуктора токами высокой частоты, порядка 440 кГц. Поэтому для защиты обслуживающего персонала от высокочастотного излучения индуктор и закаливаемую деталь экранируют, используя откидывающуюся железную сетку 2х2 мм.

В целях обеспечения изоляции закаливаемой детали от станка, на случай пробоя напряжения, при прикосновении индуктора с деталью, и исключения образования замкнутого контура используются текстолитовые прокладки общей толщиной 150 мм. Они устанавливаются под электромагнитную плиту (ЭП21-Г) станка. Это основано на опыте работы других установок.

Станок заземляют (зануляют) с помощью медной полосы, которую присоединяют к заземлению генератора. Также заземляют первичную и вторичную обмотки трансформатора.

Таким образом, используя указанные требования и представленные расчеты, были внесены корректировки в конструкцию закалочного контура и рабочую зону станочного комплекса, заключающиеся в их оснащении экранирующими экранами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванцивский В. В. Совмещение операций поверхностной закалки и финишного шлифования на одном технологическом оборудовании / В. В. Иванцивский, В. Ю. Скиба // Обработка металлов – 2006. – № 1 (30). – С. 16–18.

2. Скиба В. Ю. Интегральная обработка как эффективное направление решения задачи перехода к ресурсосберегающим технологиям / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцивский, Н.П. Зуб, С. В. Туревич // Научно-аналитический журнал «Инновационная деятельность» - 2010. - №1 (10). с. 66-69

3. Скиба В. Ю. Новая высокопроизводительная и ресурсосберегающая ин-

тегральная обработка / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцивский, Н. П. Зуб, С. В. Туревич // Научный журнал "В мире научных открытий" - 2010. - №2(08). - Ч.3. - с.91-93.

4. Скиба В. Ю. Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Новосибирск, 2008. - 20 с.

#### УДК 658.011.56:620.179.118

# РАСЧЕТ ВОЛНИСТОСТИ И ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

С.Л. Леонов, д.т.н., профессор, А.Б. Белов, аспирант Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова г. Барнаул, тел. +7-923-168-86-66, e-mail: <u>alexbelyj1209@yandex.ru</u>

Приведен практический пример использования математической модели для прогнозирования волнистости обработанной поверхности при фрезеровании отверстий на станках с ЧПУ. Разработанные алгоритмы расчета профиля обработанной поверхности и колебаний инструмента при фрезеровании отверстий для фрез с прямым и наклонным зубом позволяют рассчитывать волнистость обработанной поверхности в широком диапазоне изменения режимов резания, геометрических и динамических параметров технологической системы.

Is a practical example of the use of mathematical models to predict the machined surface waviness of milling holes on CNC machines. The algorithms calculate the profile of the treated surface and the vibration tool for milling cutters with hole straight and slanted teeth allow us to calculate the machined surface waviness in a wide range of cutting conditions, geometric and dynamic parameters of the technological system.

Данная работа посвящена разработке и применению аналитического метода для описания динамических процессов, возникающих при фрезерования отверстий при обработке деталей. Такие операции достаточно часто встречаются при изготовлении деталей на токарных обрабатывающих центрах и имеют целый ряд особенностей по сравнению с обработкой наружных поверхностей. Волнистость обработанной поверхности отверстия является одним из наиболее важных факторов, ограничивающих применение данного способа обработки.

Волнистость обработанной поверхности формируется за счет геометрического копирования профиля зубьев фрезы с учетом ее упругих отжатий. Совместное уравнение движения зубьев, описывающее кинематику резания имеет вид:

 $\begin{cases} x = Rsin\omega_1 \tau + rsin\omega_2 \tau \\ y = Rcos\omega_1 \tau + rcos\omega_2 \tau \end{cases}$ 

где: R – радиус траектории движения центра фрезы; r – радиус фрезы; ω<sub>1</sub> – угловая скорость движения фрезы по контуру; ω<sub>2</sub> – угловая скорость вращения фрезы.

Для нахождения огибающей – профиля отверстия – найдем значение времени т, соответствующее заданному углу положения зуба ф. При этом координаты вершины зуба совпадают с координатами обработанной поверхности [3]:

$$\begin{cases} R_{d}\sin\varphi = R\sin\omega_{1}\tau + r\sin\omega_{2}\tau \\ R_{d}\cos\varphi = R\cos\omega_{1}\tau + r\cos\omega_{2}\tau \end{cases}$$

Форма обработанной поверхности при обработке многозубой фрезой описывается аналогичным образом. Пусть фреза имеет N зубьев. Каждый последующий зуб отстает от предыдущего на угол  $2\pi/N$ :

$$\begin{cases} x_i = R \sin \omega_1 \tau + r \sin (\omega_2 \tau - 2\pi \cdot (i-1)/N) \\ y_i = R \cos \omega_1 \tau + r \cos (\omega_2 \tau - 2\pi \cdot (i-1)/N) \\ i = 1, 2, \dots N \end{cases}$$

Если пренебречь крутильными колебаниями фрезы, ее вибрации, вызываемые переменной силой резания, описываются дифференциальным уравнением [1, 2]:

$$m\Delta \ddot{r} + G\Delta \dot{r} + C\Delta r = P = k_{\rm P}a$$
,

где m, G и C – соответственно, приведенная масса, демпфирование и жесткость;

Δr – мгновенные значения упругих отжатий фрезы по нормали к обрабатываемой поверхности;

Р – нормальная составляющая силы резания;

а – толщина срезаемого слоя;

k<sub>P</sub> – эмпирический коэффициент, который определяется характеристиками обрабатываемого и инструментального материала и параметрами режима резания.

Приближенно можно считать, что деформации в радиальном направлении ( $\Delta r$ ) как бы уменьшают радиус R, по которому движется центр фрезы. Деформациями в тангенциальном направлении можно пренебречь, т.к. они мало влияют на волнистость обработанной поверхности.

Пусть используется фреза с прямым зубом. Тогда в каждый момент времени т положение i-го зуба фрезы определяется по формулам:

$$\begin{cases} x_i = R_d \sin \varphi = R_{\phi} \sin \omega_1 \tau + r \sin (\omega_2 \tau - 2\pi \cdot (i-1)/N) \\ y_i = R_d \cos \varphi = R_{\phi} \cos \omega_1 \tau + r \cos (\omega_2 \tau - 2\pi \cdot (i-1)/N) \end{cases}$$
  
$$i = 1, 2, ... N$$

где  $R_{\phi}(\tau) = R + \Delta r(\tau)$ .

Если считать, что профиль заготовки  $R_{3ar}(\phi)$  задан, то для всех режущих зубьев в момент времени i-1 рассчитывается глубина резания  $a_j$  и сила  $P_j$ =k  $a_j$ . Суммарная сила резания  $P = \sum_j P_j$ . Глубина резания (толщина среза) рассчитыва-

ется по формуле:

$$a_{j} = R_{d} - R_{_{3ar}} = \sqrt{x_{j}^{2} + y_{j}^{2}} - R_{_{3ar}}$$

Координаты зуба определяются по формулам с учетом поправки на уже рассчитанное отжатие  $\Delta r_{i-1}$ . Если значение  $a_j < 0$ , то соответствующий зуб фрезы не режет.

Для исключения из расчета этапа врезания из начального профиля заготовки радиуса R<sub>заг0</sub> "вырезается" участок, соответствующий профилю фрезы в начальный момент времени. Результатами расчета являются таблицы и графики профиля отверстия, силы резания и величины упругих отжатий.

В соответствии с разработанной моделью создано программное обеспечение для прогнозирования волнистости при фрезеровании. В модели учитываются параметры инструмента, режим резания, геометрические размеры заготовки и свойства обрабатываемого материала. Разработаны варианты расчета волнистости для фрез с прямым и наклонным зубом. Программное обеспечение позволяет рассчитывать амплитуды вибраций и волнистости обработанной поверхности отверстий.

На рис.1 приведена экранная форма программы, предназначенная для задания входных данных. Входные данные разделены на блоки в соответствии с составом технологической системы.

n					
Входные	данные				
, ,					
еометрические параметры ррезы	Угол подъема спирали		0	град.	
Режим фрезерования	Подача на оборот Скорость резания Частота Глубина резания	Sof V n t	0,2 55 2180 12	мм/об м/мин об/мин мм	
Тараметры технологической	Масса по оси Z Жесткость	mz Cz	4,818E-06 1013	т Н/мм	
системы	Демпфирование Модуль упругости материала Момент инерции Плотность материала	Gz E J po	0,077 210000 201 7,9E-09	Н с/мм Н/мм2 мм4 т/мм3	
	Диаметр отв. в заготовке Диаметр отв. Диаметр фрезы Колличество зубьев Вылет инструмента	Dsar. D d z I	27 28 8 4 50	ММ ММ ШТ. ММ	
Интервал расчетов	Шаг по fi Шаг по времени Шаг для вывода Шаг по высоте Количество.сечений		0,005 0,00000001 0,000020 2,0 3	радиан с с мм	Расчет

Рис. 1. Экранная форма программы

В качестве примера рассмотрим операцию фрезерования отверстий детали

на станке с ЧПУ японской фирмы MAZAK модели Integrex-400 (на заводе «Механических прессов» города Барнаула). На рис.2 приведена фотография технологической наладки на данную операцию.



Рис. 2. Операция обработки отверстий

В процессе обработки детали возникают колебания, вследствие чего, увеличивается износ режущего инструмента (уменьшается его стойкость), образуется волнистость обрабатываемой поверхности. Отверстия детали, на которых образуется волнистость, используются для базирования приспособлений при дальнейшей обработке. Материал детали – сталь 12Х18Н10Т.

На рис.3 приведена фотография поверхности детали, на которой явно видны следы вибраций при чистовой обработке.



Рис. 3. Поверхность детали со следами волнистости Параметры и обозначение фрезы Ø8мм с наклонным зубом фирмы ISCAR

для чистового фрезерования:

- фреза ЕС-А4 08-20С08Е63 ІС903;

- вылет фрезы 50мм;

- угол наклона зуба 35гр.

Режимы резания:

- скорость резания V=60м/мин;

- подача f=0,15мм/об;

- глубина резания t=12мм.

Расчеты по разработанным моделям позволяют предложить конкретные технологические рекомендации по снижению волнистости обработанной поверхности отверстия.

В целом разработанные модели позволяют прогнозировать волнистость обработанной поверхности при фрезеровании отверстий на станках с ЧПУ на этапе проектирования технологических процессов. Это дает возможность гарантировать выполнение технических требований по геометрическим параметрам качества обработанной поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Прилуцкий, В. А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей / В. А. Прилуцкий – М.: Машиностроение, 1978. - 136 с.

4. Кудинов, В.А. Динамика станков / В. А. Кудинов - М.: Машиностроение, 1967. – 360 с.

5. Леонов С.Л. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006.-198 с.

6. Леонов С.Л., Белов А.Б. Имитационное моделирование волнистости при фрезеровании отверстий/ «Вестник Алтайской науки»: Изд-во АлтГТУ.

УДК 658.512.26(035)

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СО СЛОЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ КАК НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

Ю.Н. Вивденко, д.т.н., профессор, С.М. Потехин, С.И. Бастраков. Омский филиал военной академии тыла и транспорта, г. Омск, тел. +7(3812) 72-97-69. E-mail:poteha70@rambler.ru

В машиностроении значительную часть занимают детали со сложными поверхностями, формообразование которых может быть выполнено только обработкой резанием. К поверхно-

стям деталей предъявляются повышенные требования по параметрам шероховатости. Это приводит к высокому объему ручного полирования. Предложены решения, обеспечивающие формирование шероховатости при обработке лезвийным инструментом, соответствующей последующей автоматизированной объемной абразивной обработки. Это приводит к повышению количественных показателей технологичности конструкции рассматриваемого класса деталей.

The compound-surfaced parts occupy a great deal of the engineering. Their shaping is performed only by means of machine-workpiece. High demands are made of parts in surface roughness, thus leading to the large extent of manual polishing. The extractions are offered which provide the making of roughness while edge tool machine and relevant to following automated abrading action. This leads to the increasing of quantitative features of industrial product workability.

Одним из показателей конкурентоспособности изделий машиностроения является технологичность конструкции изделия (ТКИ). При этом под изделиями понимают детали, сборочные единицы и комплексы взаимосвязанных изделий.

В соответствии с известными данными [1], ТКИ – это совокупность свойств изделия, определяющая приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве, эксплуатации, обслуживании и ремонте изделия при заданных показателях качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Показателями, оценивающими ТКИ, являются материалоемкость, трудоемкость, энергоемкость и другие. Обеспечение этих показателей заключается в создании в конструкции изделия свойств, соответствующим оптимальным значениям затрат ресурсов. В понятие «оптимальных» вложен смысл: относительно достигнутого уровня в подобных производствах, в отрасли. Показатели ТКИ – изменяющиеся во времени характеристики с учетом, с одной стороны, совершенствования процессов получения заготовок деталей и условии технологического воздействия на них у рассматриваемого изделия, с другой стороны, непрерывного повышения достигнутого уровня в подобных производствах.

Решение задач повышения показателей ТКИ рассмотрено на примере серийного производства детали типа «крыльчатка», являющейся геометрически сложной и ресурсоопределяющей деталью турбомашин: турбин и компрессоров транспортных ГТД, систем наддува ДВС, роторов энергетических ГТУ.

Схема характерной рассматриваемой детали приведена на рисунке 1.

В течении последних 35-40 лет происходит совершенствование конструкции рассматриваемых деталей с повышением достигнутых показателей ТКИ при одновременном росте базовых показателей ТКИ в аналогичных производствах [2,3]. Одной их проблемных задач серийного производства указанных деталей является обеспечение заданных параметров шероховатости поверхностей проточной части, ограниченной лопатками. При серийном производстве деталей из титановых, алюминиевых, тугосплавных и других сплавов, эти параметры обеспечивают сочетанием технологических операций фрезерования концевыми фрезами с последующим ручным полированием. Последняя операция на отвечает требованиям автоматизированного производства и занимает 30...60% общей трудоемкости изготовления детали.



Рис.1. Крыльчатка полузакрытая: а) общий вид; б) проточная часть

Анализ технологических возможностей методов объемной абразивной обработки показал их эффективность для условий финишной обработки в рассматриваемых условиях. Обязательными требованиями применения этих методов является обеспечение заданных параметров шероховатости, обеспечиваемых предшествующим фрезерованием.

Параметры R<sub>a</sub>, обеспечиваемые на различных этапах обработки, приведены в таблице 1.

С учётом разного значения и знака кривизны обрабатываемых поверхностей крыльчаток при их фрезеровании с использованием стандартных фрез не удается обеспечить требования обеспечения равномерности параметров R<sub>a</sub> на протяжении всей поверхности. Следствием этого является недостаточная эффективность применения в этих условиях методов объемной абразивной обработки.

Таблица №1

Параметр R <sub>a</sub>	Значение, мкм
Исходный для объемной абразивной обработки	52,5
После фрезерования	101,25
После объемной абразивной обработки	0,320,16

Обеспецираемые параметры В

Оценка эффективности использования струйно-абразивной, вибрационной, абразивно-экструзионной и магнитно-абразивной обработок, отнесённых в одну группу как объемные методы, проведена по значениям относительной технологической себестоимости, определяемой по зависимостям

$$C_{T}=C_{T-\Pi P}/C_{T-O B};$$

$$C_{T-O B}, C_{T-\Pi P}=3+P_{A O}+P_{A A}+P_{\Pi \Pi}+\Im+P_{M},$$

$$(1)$$

где слагаемые в соответствии с порядком их перечисления обозначены как зарплата в технологических процессах, амортизационные отчисления за эксплуатацию технологического оборудования и оснастки, расходы на электроэнергию и на расходные материалы; С<sub>Т-ПР</sub>, С<sub>Т-ОБ</sub> - соответственно технологическая себестоимость обработки проточной части и всей детали.

Зависимость (1) использована для оценки эффективности применения фрезерования для подготовки исходной поверхности для абразивной обработки. Параметр С<sub>т</sub> принят в качестве показателя ТКИ.

Алгоритм улучшения достигнутых показателей ТКИ приведен на рисунке 2.

Алгоритм приводит процесс решений по нахождению минимальных значений относительной себестоимости при абразивной обработке  $C_T(O\Pi_n)$ min и при предшествующем фрезеровании  $C_T(O\Pi_{n-1})$ min, когда эти два вида обработок соответствуют своим требованиям обеспечения  $R_a$ .

В таблице 2 приведены отдельные направления улучшения базовых показателей ТКИ для условий производства рассматриваемых деталей.

Принятые в таблице 2 обозначения: s<sub>Z</sub>, t –значение подачи на зуб и глубина резания; СОТС – смазочно-охлаждающие технологические среды; РИ – режущий инструмент; ТС-технологическая система.

Проведенные результаты разработок направлены на решение задач совершенствования проектирования и производства одной из сложных деталей машиностроения и повышения показателей технологичности для расширения масштабов ее применения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиров Ю.Д и др. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Ю.В. Амиров, Т.К. Алферова, П.В. Волков.-М.: Машиностроение, 1990-768 с.

2. Дружинский И.А. Сложные поверхности: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1985. – 263 с.

3. Вивденко Ю.Н. и др. Механическая обработка крыльчаток из титановых сплавов. Руководящий технический материал/ Ю.Н. Вивденко, М.Я. Барац, В.А. Шмаков – М.: НИАТ, 1981. – 37 с.



Рис. 2. Укрупненный алгоритм улучшения достигнутого показателя ТКИ - относительной технологической себестоимости С<sub>т</sub> при обеспечении заданных параметров шероховатости R<sub>a</sub>

# Направления улучшения базовых показателей технологичности конструкции детали

Технологиче-	Базовый пока-	Направления улучшения	Прогноз
ские операции	затель ТКИ	базовых показателей ТКИ	снижения
обработки			$T_{\Phi}, T_{A}, \%$
Чистовое фрезе- Технологиче-		Регулируемые по пути s <sub>Z</sub> ,t	57
рование абра-	ская себестои-	Варьирование СОТС	510
зивной обработ-	мость обеспе-	РИ с зачистными характе-	1530
кой	чения R <sub>a</sub> для	ристиками	
	последующей	Повышение жесткости ТС	510
	абразивной об-		
	работки $T_{\Phi}$		
Окончательная	Технологиче-	Варьирование методов	В сравне-
абразивная об-	ская себестои-	объёмной обработки:	нии с
работка	мость обеспе-	-струйно-абразивная,	ручным
	чения оконча-	-вибрационная;	полиро-
	тельного R <sub>a</sub> при	-абразивно-	ванием
	абразивной об-	экструзионная;	3045
	работки Т <sub>А</sub>	-магнитно-абразивная.	
		Варьирование технологи-	1015
		ческих условий каждого	
		метода (зерно, СОТС, ре-	
		жим обработки)	
### СТРУКТУРНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

М.В. Пимонов,

## Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева Кемерово, E-mail: <u>makc130685@gmail.ru</u>

Представлено описание структурно-аналитической модели формулирующее основные представления о формировании параметров структурного состояния поверхностного слоя на стадиях механической обработки.

The description of the structural analytical model describing the basic parameters of the formation of the structural state of the surface layer in the stages mechanical processing.

Одной из наиболее важных особенностей методологии, использованной для формирования структурно-аналитических моделей, является постепенное введение все больших уровней детализации по мере создания диаграмм, отображающих модель. В IDEF0 принята следующая терминология: функции "раскладываются" (подвергаются декомпозиции), а блоки-прямоугольники, обозначающие функции, "детализуются". Прямоугольник, обозначающий систему как единое целое, затем подвергается детализации на другой диаграмме; получившиеся прямоугольники соединяются стрелками-взаимодействиями. Эти прямоугольники обозначают главные подфункции одной функции-предка. Такое разложение описывает полный набор подфункций, каждая из которых обозначена прямоугольником, границы которого, определены стрелками-взаимодействиями. Каждая из этих подфункций может быть разложена аналогичным образом, после чего становится видимым очередной уровень детализации.

Каждый компонент модели может быть декомпозирован на другой диаграмме. Каждая диаграмма иллюстрирует "внутреннее строение" блока на родительской диаграмме. Таким образом, IDEF0-модели представляют собой иерархическую структуру, на вершине расположен блок (родительский, контекстный) всей системы как единого целого, а на нижних уровнях расположены детализированные блоки родительской диаграммы.

Контекстной функцией структурной модели (рис. 1.) является формирование и трансформация структурного состояния (A0) входом для него является исходное структурное состояние материала (CC исх), выходом является конечное структурное состояние (CC кон), основным ограничивающим для данной функции параметром являются свойства материала (CM), преобразование входа в выход осуществляется механизмами воздействия (В) такими, как режимы обработки, параметрами эксплуатационного нагружения.



Рис. 1. Контекстная функция А-0 Формирование и трансформация структурного состояния

Декомпозиция данной контекстной функции может быть представлена совокупностью двух функций A1 формирование структурного состояния на стадиях обработки и A2 изменение структурного состояния на стадиях эксплуатации.

Для функции A1 входом является CC исх, выход структурное состояние материала после обработки (CC обр) и история нагружения, механизмом преобразования являются режимы обработки (как механической так и упрочняющей), условием формирования определённого структурного состояния являются свойства материала. Структурное состояние материала после обработки является входом функции A2, на выходе преобразующееся в конечное структурное состояние материала под действием параметров эксплуатационного нагружения, условиями этих изменений являются свойства материала и история нагружения.

Декомпозиция функции A1 может быть представлена совокупностью подфункций A1.1 формирование очага деформации, A1.2 формирование программы нагружения, A1.3 формирование структурного состояния, A1.4 исчерпание запаса пластичности.

Входом всех блоков декомпозиции является исходное структурное состояние материала A1.1 на выходе формирует параметры очага деформации (геометрию, качественную и количественную картину распределения параметров напряженно-деформированного состояния) в соответствии с режимами обработки, параметры очага деформации в свою очередь являются механизмом формирования программы нагружения A1.2. Блок A1.3 даёт на выходе показатели структурного состояния сформированных в зависимости от свойств материала и по механизму







Рис. 3. Декомпозиция А1 Формирование структурного состояния при механической обработке

определённому программой нагружения. Исчерпание запаса пластичности A1.4 определяется свойствами материала, механизмом процесса являются показатели структурного состояния, на выходе получается структурное состояние на стадиях обработки и история нагружения. Наиболее интересным для рассмотрения является блок А1.3, в него включаются функции А1.3.1 Изменение размера фрагментов зёрен, А1.3.2 Изменение угла разориентировки границ фрагментов зёрен, А1.3.3 Изменение плотности дислокаций. В данных блоках механизмом превращения исходного структурного состояния в состояние с определёнными показателями структурнго состояния (показатели СС) является программа нагружения



Рис. 4. Декомпозиция А1.3. Формирование структурного состояния

Для описания процессов происходящих на стадиях механической обработки будет использоваться аппарат механики технологического наследования[1]. В соответствии с этим в очаге деформации формируется программа нагружения, математическое описание которой может быть представлено в виде зависимостей от параметров очага деформации и истории нагружения:

$$\Lambda_{n} = f(\Pi O \mathcal{A}, \Lambda_{i-1});$$
  

$$\Pi_{n} = f(\Pi O \mathcal{A}, \Lambda_{i-1});$$
  

$$\Lambda(\Pi) \equiv \Lambda_{n} = f(\Pi_{n})$$
(2.1)

где  $\Lambda_j$  и  $\Pi_j$  – точки программы нагружения материальной частицы при ее прохождении по линии тока в очаге деформации,  $\Lambda(\Pi)$  – программа нагружения. Воздействие программы нагружения (через «Режимы обработки») к накоплению пластической деформации и исчерпанию запаса пластичности:

$$\begin{aligned}
\Lambda_i &= f(\Lambda(\Pi)), \\
\Psi_i &= f(\Lambda(\Pi)).
\end{aligned}$$
(2.2)

Это, в свою очередь, формирует новое структурное состояние металла и определяет «Историю нагружения».

В общем виде выражения (2.1) можно раскрыть в виде  $4^{50H}$  (10.7)

$$\begin{aligned}
\Lambda_{ij}^{BHH} &= f(\Pi O \mathcal{A}); \\
\Pi_{ij}^{BHH} &= f(\Pi O \mathcal{A}); \\
\Lambda_{ij}^{HH} &= \Lambda_{i-1} + \Phi(\Lambda_{i-n}(\Pi_{i-n})); \\
\Pi_{ij}^{HH} &= \varphi(\Lambda_{i-1}) - \Phi(\Lambda_{i-n}(\Pi_{i-n})); \\
a_{ij}^{\Pi H} &= f\left(\Lambda_{ij}^{HH}|_{\mu,\kappa}, \Pi_{ij}^{HH}|_{\mu,\kappa}\right); \\
b_{ij}^{\Pi H} &= f\left(\Lambda_{ij}^{HH}|_{\kappa}, \Pi_{ij}^{HH}|_{\kappa}\right); \\
c_{ij}^{\Pi H} &= f(\Pi O \mathcal{A}, \Lambda_{i-1}); \\
\Lambda(\Pi) &= \Lambda_n = a_{ij}^{\Pi H} e^{b_{ij}^{\Pi H} \Pi_n} + c_{ij}^{\Pi H}
\end{aligned}$$
(2.3)

Здесь  $\Lambda_{ij}$  и  $\Pi_{ij}$  – значения степени деформации сдвига и показателя напряженного состояния в ключевой точке программы нагружения;  $a_{ij}^{\Pi H}$ ,  $b_{ij}^{\Pi H}$  и  $c_{ij}^{\Pi H}$  – коэффициенты аппроксимации участков программы нагружения;  $\Lambda^{EHH}$  и  $\Pi^{EHH}$  – значения степени деформации сдвига и показателя напряженного состояния без учета истории нагружения;  $\Lambda^{HH}$  и  $\Pi^{HH}$  – значения степени деформации сдвига и показателя напряженного состояния без и показателя напряженного состояния с учетом истории нагружения;  $\Phi(\Lambda_{i-n}(\Pi_{i-n}))$  – функционал наследственного типа; запись H,  $\kappa$  в нижнем индексе означает: "значения в начальной и конечной точке участка программы нагружения"; запись i - 1 – "накопленная на предшествующих стадиях обработки"; запись i - n – "значения во всех ключевых точках на всех предшествующих стадиях".

Можно отметить, что полученное описание является достаточно универсальным, так как декомпозиция и общее описание диаграммы А1 может быть исполь-

зовано для любых методов обработки, при которых возникает очаг деформации. Это дает возможность использовать общие подходы и получать сходные результаты обработки для самых различных методов.

Таким образом, для достижения целей работы необходимо выполнение дальнейших исследований в направлении, во-первых, более подробного аналитического описания выражений (2.1)-(2.3), и, во-вторых, экспериментальных исследований достоверности положений, использованных при формулировании моделей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

УДК 629.78

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ОБКАТЫВАНИЕМ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СОВМЕЩЕННЫХ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ

## <sup>1</sup>В.Н. Беляев, к.т.н., доцент, <sup>2</sup>Е.Ю. Татаркин, д.т.н., профессор <sup>1</sup>Бийский технологический институт, Бийск, тел. (3854)435302, E-mail: tmp-bti@ya.ru <sup>2</sup>ФГБОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул

Представлены результаты исследований обработки деталей обкатыванием деформирующим шаром через слой жидкости. Показаны пути совершенствования обкатывания реализацией совмещенных способов обработки. Приведены результаты обеспечения качества деталей при реализации обкатывания с гидроприводом.

This work is devoted to researching rolling with a hydraulic drive. Ways of improvement of rolling are shown by realization of the combined methods of processing. Results of ensuring quality of details are given at rolling realization with a hydraulic drive.

Существует способ ППД при котором деформация металла обеспечивается подачей жидкости под давлением от гидростанции к деформирующему шару – накатывание с гидроприводом (рис. 1).

При данном способе обработки жидкость, помимо обеспечения усилия деформирования, выполняет функции упругого элемента и СОЖ. Системный анализ данного способа обработки выявил возможность реализации следующих процессов:



Рис. 1. Схема обкатывания с гидроприводом

1) нанесение металлических покрытий при введении в технологическую жидкость солей металлов при наличии разности потенциалов между поверхностями детали и деформирующего шара позволит;

2) изменение процесса деформации металла детали и внедрение частиц в обрабатываемую поверхность для улучшения эксплуатационных характеристик при введении в технологическую жидкость твердых модификаторов трения;

Для получения покрытий при накатывании с гидроприводом необходимо чтобы:

1) используемая технологическая жидкость являлась электролитом, т.е. содержала ионы металлов;

2) деформирующий шар и обрабатываемая деталь имели разные электрические заряды, что можно обеспечить подводом «+» и «-» к шару и детали соответственно от внешнего источника питания, либо подбором материалов детали и шара исходя из ряда стандартных электрохимических потенциалов.

Из литературных источников, что для реализации окислительновосстановительных процессов служит не только анод, но и жидкость, например, при нанесении химических покрытий гипофосфит натрия; при «избирательном переносе» - глицерин[1].

Необходимое усилие деформирования металла при ППД складывается из усилия, необходимого для деформирования объёма металла, и усилия, затрачиваемого на преодоление сопротивления сдвигу в поверхностном слое. В случае сухого трения в результате сильной адгезии поверхностей деформируемого материала и ДЭ в сдвиговую деформацию от сил трения вовлекаются подповерхностные слои металла. В случае наличия СОЖ сдвиговая пластическая деформация локализуется в тончайшем поверхностном слое деформируемого металла. При этом глубокие подповерхностные слои «освобождаются» от деформирования сдвигом и деформируются сжатием [2].

Снижение трения при деформации металла достигают применением сма-

зочных материалов различного состава содержащих наполнители. Одним из видов наполнителей являются твердые модификаторы трения – графит и дисульфид молибдена, снижающие трение облегчением скольжения за счет анизотропных свойств своей кристаллической решетки. Другим видом наполнителей являются различные органические вещества и ПАВы, механизм действия которых разнообразен: сорбция ПАВ на контактирующих поверхностях и предотвращение сухого трения, реализация эффекта Ребиндера и обеспечение положительного градиента механических напряжений и др.[3].

Рассмотрение физических основ накатывания с гидроприводом выявило, что одновременно с деформацией металла на поверхности детали происходят сложные физические, химические, электрохимические, механохимические и другие процессы, управление которыми варьированием технологическими параметрами может обеспечить повышение качества деталей машин.

Также одним из направлений развития и совершенствования методов получения качественной поверхности деталей является совмещение различных методов в одном цикле, включая методы резания и упрочнения При реализации совмещенной обработки, помимо протекания пластической деформации поверхностного слоя, также могут быть реализованы и другие процессы: электрохимические для осаждения покрытий; тепловые для активации металла и влияния на процесс деформации; химические для модификации поверхности и др.

Таким образом, целью работы являлось изучение факторов повышения качества деталей путем обеспечения шероховатости, микротвердости, износостойкости поверхностного слоя технологическими режимами обработки деталей обкатывании с гидроприводом при реализации совмещенных способов обработки.

Экспериментальные исследования проводились на токарно-винторезном станке модели 16К20Ф3. В качестве технологической жидкости использовалось индустриальное масло, а при экспериментах по нанесению медных покрытий – глицерин. Экспериментальные исследования проводились на образцах из стали 45 ГОСТ 1050-88, предварительно подверженных полному отжигу, а также образцах из алюминиевого сплава АЛ-30.

Проведенные исследования, оценка и обработка полученных результатов позволили получить зависимости микротвердости и шероховатости поверхностного слоя от вязкости технологической жидкости, от режимных параметров обкатывания с гидроприводом, концентрации ультрадисперсных частиц.

Анализ литературы в области совмещенной обработки деталей точением и ППД выявил, что расположение обрабатывающих инструментов может осуществляться по схемам, которые можно разделить на две основные группы: инструмент с односторонним расположением режущего и деформирующего элементов; инструмент с двусторонним (противоположным) расположением режущего и деформирующего элементов. Недостатком односторонней схемы является взаимное влияние процесса точения на процесс деформации. Возникающие отжатия и колебания в процессе резания могут негативно влиять на качество обработанной поверхности при ППД. В свою очередь двусторонняя схема характеризуется более сложной конструкцией инструмента, особенно при обработке наружных поверхностей.

В результате анализа конструкции и технологических возможностей комбинированных инструментов были разработаны конструкции комбинированных инструментов для обработки отверстий и наружных цилиндрических поверхностей.

Комбинированный инструмент для отверстий был апробирован при обработке цилиндра двухтактного ДВС бензопилы «Урал», позволив повысить производительность операции и устранив копирование погрешности базирования за счет реализации двух операций в одной наладке.

В результате совмещенной обработки наружной поверхности цилиндрических деталей из алюминиевого сплава АЛ-30 точением и обкатыванием с гидроприводом были получены экспериментальные образцы с медным покрытием на поверхности Оценка износостойкости полученных образцов показала, что наличие меди позволяет увеличить износостойкость до 25%.

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– решена повышения износостойкости и микротвердости поверхностного слоя, снижения шероховатости при обкатывании с гидроприводом реализацией совмещенных способов обработки;

 – экспериментально установлены зависимости влияния режимов обкатывания и вязкости технологической жидкости на конечную шероховатость и микротвердость поверхности;

-экспериментально показана возможность при обкатывании с гидроприводом формировать на поверхности деталей медное покрытие, обеспечивающее повышение износостойкости изделий;

– проведён анализ существующих конструкций применяемых инструментов для совмещенной обработки деталей точением и ППД, в результате которого разработаны оригинальные конструкции инструментов для реализации совмещенной обработки деталей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1985. 327 с.

2. Колесников И.М., Гусев К.А. Механическое выглаживание поверхностей деталей. «Машиностроитель». №9. 1966. С. 11

3. Крагельский И.В. Трение и износ. Изд. 2-е перераб. и доп. М., изд-во «Машиностроение», 1968, 480 с.

#### УПРАВЛЕНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЯМИ ПРИ НАРУЖНОМ ТОЧЕНИИ

С.Л. Леонов, д.т.н., профессор, Е.Б. Белов, аспирант Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул тел. +7-963-576-35-26 e-mail: jeka-beliy@yandex.ru

Приведен практический пример использования математической модели для прогнозирования автоколебаний при наружном точении металлов. Модель позволяет определить причины возникновения автоколебаний, а программное обеспечение, дать рекомендации по их устранению.

The practical example of the use of mathematical models to predict the self-oscillations in external turning metals. The model allows to determine the cause of the self-oscillation, and the software, to make recommendations to address them.

Установлено, что при резании металлов наблюдаются два вида колебаний: вынужденные колебания, вызываемые периодически действующими внешними силами, и автоколебания, которые не зависят от действия внешних сил [1]. Причины появления вынужденных колебаний наиболее ясны и потому сравнительно легко устранимы. Появление автоколебаний не связано с какой-либо внешней периодической силой, они являются самовозбуждающимися колебаниями. В связи с этим необходимо уделить большое внимание изучению и умению управлять автоколебаниями, умению прогнозировать их появление еще на этапе проектирования технологических процессов механической обработки деталей. Умение управлять автоколебаниями в процессе обработки резанием является актуальной задачей при обеспечении заданной точности и производительности, а также при создании экономически оправданных технологических процессов обработки деталей.

Повышение требований к геометрическим параметрам качества обработанных поверхностей приводит к необходимости прогнозировать наличие и величину колебательных явлений при механической обработке. В качестве примера рассмотрим операцию черновой токарной обработки вала на станке с ЧПУ японской фирмы MAZAK модели Integrex-e500 II 3000U (на заводе «Механических прессов» города Барнаула). На рисунке 1 приведена фотография технологической наладки на данную операцию.

В процессе обработки вала возникают автоколебания, вследствие чего, увеличивается износ режущего инструмента (уменьшается стойкость пластин), образуется волнистость обрабатываемой поверхности. Шейки вала, на которых образуется волнистость, используются для зажима люнета, с целью обработки торца,



Рис. 1. Операция обработки наружной поверхности вала

проточки центрового отверстия и нарезания в нем резьбы. Поэтому к ним даже на этапе черновой обработки, предъявляются высокие требования по геометрическим параметрам точности поверхности.Материал детали – сталь 40Х твердость - HB240.

Параметры и обозначение инструмента:

- пластина CNMG 160712-НТW IC8350 израильской фирмы ISCAR,
- радиус при вершине r=1,2мм;
- главный угол в плане  $\phi=95^{\circ}$ ;
- передний угол ү=6°;
- сечение державки d=65мм;
- вылет резца 185мм.

Параметры технологической системы:

- диаметр вала 170мм
- длина вала 1490мм
- трехкулачковый патрон с гидравлическим зажимом
- усилие заднего центра 12кН

Режимы резания:

- скорость резания V=200м/мин;
- подача f=0,4мм/об;
- глубина резания t=4мм.

На рисунке 2 приведена фотография поверхности детали, на которой явно видны следы вибраций.

Нами разработаны математические модели и программное обеспечение для прогнозирования автоколебаний при токарной обработке [2]. В моделях учитываются параметры инструмента, приспособления, режим резания, геометрические размеры заготовки. Свойства обрабатываемого материала учитываются матема-

тической моделью силы резания. Разработаны варианты расчета автоколебаний для одно- и двухмассовой системы методом гармонической линеаризации. Метод гармонической линеаризации является приближенным методом исследования режима автоколебаний нелинейных систем. Этим методом можно определить условия возникновения и параметры автоколебаний [3].



Рис. 2. Поверхность вала со следами волнистости

Причиной, вызывающей автоколебания, является координатная связь и нелинейная зависимость силы резания от скорости обработки [5].



Рис. 3. Схема действия сил

Математическая модель системы представлена системой уравнений (1)

$$\begin{cases} m_{1}V_{1} + G_{1}V_{1} + C_{1}V_{1} = Py(V_{\phi};t_{\phi}) \cdot \cos\beta - Pz(V_{\phi};t_{\phi}) \cdot \sin\beta \\ m_{2}\ddot{V}_{2} + G_{2}\dot{V}_{2} + C_{2}V_{2} = -Py(V_{\phi};t_{\phi}) \cdot \sin\beta - Pz(V_{\phi};t_{\phi}) \cdot \cos\beta \end{cases}$$
(1)

где: m<sub>1</sub>; m<sub>2</sub> – приведенные массы резца; G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, – коэффициент демпфирования; C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, – жесткость по осям у и z; V<sub>ф</sub> – фактическая скорость резания; t<sub>ф</sub> – фактическая глубина резания;V<sub>1</sub>;V<sub>2</sub> – перемещение вершины резца в направлении осей жесткости.

Разлагаем силы  $P_z$  и  $P_y$  в ряд с сохранением только первых гармоник:  $P_z(V_{\phi}, t_{\phi}) = a_{10} + a_1 \sin \omega \tau + b_1 \cos \omega \tau$  $P_y(V_{\phi}, t_{\phi}) = a_{20} + a_2 \sin \omega \tau + b_2 \cos \omega \tau$ (2) Далее решаем поставленную задачу методом гармонической линеаризации с использованием комбинации метода случайного поиска с надстройкой "Поиск решения" MS Excel.

На рисунке 6 приведена экранная форма программы, предназначенная для задания исходных данных. Исходные данные разделены на блоки в соответствии с составом технологической системы:

геометрические параметры инструмента;

- режим резания;

параметры технологической системы.

Коэффициенты для расчета силы резания зависят от обрабатываемого материала и занесены в базу данных программы.

L/		л	วมเ	цыр					
<u> </u>	слодпыс	4	апг	IDIC					
Геометрические параметры	Передний угол	γ	6	град.	Pa	Рz коэффициенты:			
инструмента	Главный угол в плане	φ	95	град.	a=	2339,76136 k1=	1,029567329		
Режим резания	Подача	S	0,4	мм/об	b=	-69261,163 k2=	0,974206489		
	Начальная скорость резания	V0	200	м/мин	c=	1211,12534 k3=	0,780588377		
	Частота	n	425	об/мин	d=	242,896364 k4=	0,726521884		
	Начальная глубина резания	t	4	MM	f=	-79,9996 k5=	0,80608338		
Параметры технологической	Масса по оси Z	mz	0,001489	т	g=	2172,32339 k6=	0,680217731		
	Масса по оси Ү	my	0,014317	т					
системы	Радиус	r	75	MM					
	Эксцентриситет	e	0	MM	P)	Ру коэффициенты:			
	Жесткость	Cz	148012	Н/мм	a=	679,352983 k1=	0,695040466		
		Cy	959189	Н/мм	b=	-21350,773 k2=	0,617606969		
	Демпфирование	Gz	0,05	Н с/мм	c=	316,392136 k3=	-3,69806E-06		
		Gy	0,0778	Н с/мм	d=	65,0908445 k4=	1,47928690		
	Модуль упругости материала	E	210000	Н/мм2	f=	-88,812281 k5=	0,812146032		
	Момент инерции	J	1487552	мм4	g=	2376,8363 k6=	0,62153990		
	Сечение державки а	a	65	MM					
	Сечение державки b	b	65	MM					
	Вылет инструмента		185	MM					
	Плотность материала	po	7,85E-09	т/мм3					
Начальные параметры	Время	t0	0	с					
	Перемещение	y0	0	MM					
	Скорость	z0	0	мм/с					
Интервал расчетов	Шаг	ht	1E-07	c					
	Шаг на выходе	Hviv	0,0000315	c		ГрафикиZ			
	Конечное время	t kon	0.6	c					

Рис. 4. Экранная форма программы

На рисунке 5, в качестве примера, приведена траектория движения вершины резца по оси Z, для реальной технологической системы параметры которой указаны на экранной форме (рисунке 4). По данной траектории явно прослеживаются колебания инструмента с амплитудой А=0,023мм.



Программное обеспечение, разработанное в табличном процессоре Excel с

использованием языка программирования VBA, позволяет рассчитать автоколебания сразу по двум координатам z и у (рисунок 3), определить их амплитуду и частоту, а на этой основе – прогнозировать волнистость обработанной поверхности.

Расчеты по разработанным моделям показали, что для устранения автоколебаний или уменьшения их амплитуды необходимо:

А) уменьшить подачу;

Б) уменьшить глубину резания;

В) увеличить передний угол;

Г) увеличить главный угол в плане;

Д) уменьшить вылет инструмента.

Так например, по рекомендации программного обеспечения изменив вылет инструмента с L=185мм до L=105мм, удалось практически полностью устранить автоколебания в данной технологической системе, уменьшив амплитуду колебаний А до 0,004мм, о чем свидетельствует график приведенный на рисунке 6.



Рис. 6. Колебания вершины резца по оси Z, L=105мм

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов С.Л. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006-198 с

2. Леонов С.Л., Гончаров В.Д., Белов Е.Б, Белов А.Б. Прогнозирование автоколебаний при точении. // Сучасни технологии в машинобуванни. Збирник наукових праць. Випуск 6. - Харкив:, НТУ, 2011. с. 67-71.

3. Леонов С.Л., Белов Е.Б, Расчет автоколебаний при точении металлов методом гармонической линеаризации / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Вестник Алтайской науки, 2012

4. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Особые линейные и нелинейные системы. – М.: Энергоиздат,2001,300 с

5. Кудинов В.А.– Автоколебания на низких и высоких частотах. // СТИН. 1997. № 2. с.16-21.

## СЕКЦИЯ

## ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ОБЩИЙ УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Р.А. Понкрашкин, ст. преподаватель филиал Кузбасского государственного технического ун-та в г. Прокопьевске Прокопьевск, +7(3846) 62-00-16, e-mail: ponkrashkin@gmail.com

Решение задач технологического наследования предполагает оценку накопленных (наследуемых свойств) исходя из основных положения механики деформируемых тел, иными словами, на каждой операции по методу конечных элементов решается задача контактного взаимодействия инструмента с обрабатываемой деталью. В итоге это позволяет оценить с единых позиций накопление деформаций и исчерпание запаса пластичности металла. Это позволяет использовать полученные значения деформаций, равно как и микрогеометрии поверхности, для оценки их роли в обеспечении общего уровня вибрации подшипников качения.

Solving process of succession involves the assessment of cumulative (inherited properties) on the basis of the main provisions of the mechanics of deformable bodies, in other words, for each operation in the finite element method to solve the problem of contact interaction tool with a workpiece. As a result, it allows us to estimate with one voice accumulation of strain and exhaustion of ductility of the metal. This allows you to use the values of the strains, as well as surface microgeometry, to assess their role in the overall level of vibration of rolling bearings.

Факторы, вызывающие погрешность вращения подшипника, будут также проявляться в динамике и вызывать вибрацию элементов подшипника. Вибрация подшипника вызывается внутренними переменными силами, генерируемыми при вращении в контактах тел качения с дорожками качения с учётом инерции и демпфирования. Внутренние силы будут также создаваться переменными во времени деформациями деталей подшипника и несколькими типами случайных перемещений тел качения и сепараторов и периодическими смещениями сепараторов относительно тел качения или колец. Вибрация будет обусловлена не только формами колебаний элементов подшипника, как твердых тел, но и изгибными формами колебаний. Вибрация создаётся при определённых условиях, таких как скорость вращения и прилагаемая нагрузка. Вибрация генерируется погрешностями при определённых условиях, таких как скорость вращения и прилагаемая нагрузка. Вибрация подшипника и прилагаемая нагрузка. Вибрация подшипника может влиять на работу механической системы и вызывать образование воздушного шума системы, в которую вмонтирован этот подшипник.

Таким образом, проблемы вибрации и шума подшипников выдвигаются на передний план, играя двойную роль: характеризуя качество подшипников и явля-

ясь диагностическими факторами. И в том, и в другом случаях необходимо, прежде всего, разобраться в причинах возникновения вибрации и шума, найти их основные источники и определить закономерности образования.

В соответствии с ГОСТ 24346-80 под вибрацией подшипника понимается движение точки или механической системы, при котором происходят колебания характеризующих его скалярных величин. Вибрация оценивается общим уровнем вибрации (ОУВ), величина которого является одним из основных показателей назначения [1].

ОУВ – это величина виброускорения, виброскорости в радиальном направлении точки по наружной образующей поверхности невращающегося наружного кольца при вращении внутреннего кольца, измеренная при установленных условиях и режимах.

В рамках данной работы задача технологического обеспечения требуемых вибропараметров подшипника решалась с использованием основных положений механики технологического наследования, что вызвало необходимость проведения экспериментальных исследований с целью формирования начальных и граничных условий, а также установления влияния ряда операций обработки на конечные свойства поверхностного слоя деталей подшипников [2].

При проведении экспериментов исследовались закономерности технологической наследственности колец подшипников №310 на этапах: «резание – шлифование – полирование – общий уровень вибрации – контактная долговечность». Исследованию подлежали операции: шлифование желоба наружного кольца; шлифование желоба внутреннего кольца; полирование желобов наружных колец; полирование желобов внутренних колец; шлифование шариков; первая, вторая и третья элеваторная доводка шариков.

Исследование ОУВ проводилось с использованием прибора контроля общего уровня вибрации КСА-5 и частотного анализатора бельгийской фирмы "Брюль и Кьер" по параметрам виброскорости и виброускорения.

В результате экспериментов получили следующие предварительные значения по показателям:

- виброактивность наружных колец находится в пределах от 3 до 1200 мкм/с;
- виброактивность внутренних колец находится в пределах от 25 до 800 мкм/с;
- виброактивность для внутреннего и наружного колец имеет максимальное значение в диапазоне частот 300-1800 Гц, что соответствует числу волн на окружности от 19 до 98 для внутреннего и от 26 до 154 для наружного колец.
- общий уровень вибрации подшипников с металлическим сепаратором колеблется от 85 до 105 дБ при нормированных 92 децибелах;
- экстремумы виброускорения во всех случаях зафиксированы при *f*=200-250 Гц и *f* =2000-2500 Гц.

Многочисленные результаты экспериментальных исследований систематизированы, выполнен энтропийный анализ по методу проф. А.Б. Логова [3]. Для изучения степени влияния каждого параметра эксперимента на результат реализуется численное представление степени зависимости результата от параметра. Наиболее рациональным решением этой задачи стало применение модельного вида представления параметров эксперимента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24346-80. Вибрация. Термины и определения.

2. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

3. Логов А.Б. Анализ состояния уникальных объектов. Учебное пособие/А.Б. Логов, Р.Ю. Замараев, А.А. Логов; ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет». – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2009. – 199 с.

4. ГОСТ Р (ИСО 15242-1: 2004). Подшипники качения. Методы измерения вибрации.

#### УДК 621.7.029

## ВЫБОР РЕЖИМОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СО-СТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЕЕ ПОДГОТОВКЕ ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ ПОКРЫТИЯ\*

Х.М. Рахимянов, д.т.н., профессор, Ю.С. Семенова, к.т.н., доцент,
 М.А. Сауткина, магистрант, В.А. Скрынник, магистрант,
 А.П. Лихачев, студент
 Новосибирский государственный технический университет,
 г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, nahat@yandex.ru

Проведен анализ методов подготовки поверхности перед нанесением покрытий. Рассмотрены вопросы обеспечения качества поверхности ультразвуковым пластическим деформированием (УЗПД). Проведены расчеты по модели формирования микрорельефа при УЗПД для выбора режимов, гарантирующих формирование полностью нового регулярного микро-

<sup>\*</sup>Исследования проведены при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ в 2013 г. (Шифр заявки 7.759.2011 «Повышение конструктивной прочности материалов конструкционного и инструментального назначения методами, основанными на высокоэнергетическом воздействии»).

рельефа без следов предшествующей обработки. Экспериментально установлены взаимосвязи исходного состояния поверхности и режимов УЗПД с состоянием после обработки.

The analysis of surface preparation methods prior to coating carried out. The issues of quality assurance of surface after ultrasonic plastic deformation (USPD) observed. Calculations on the model of the formation of micro-relief after USPD made to select modes, ensuring the formation of a completely new regular microrelief with no trace of prior treatment. Relationship between initial surface condition and the state of mode USPD after treatment experimentally established.

Подготовка поверхности основного металла – важный этап в технологии нанесения покрытий. Состояние поверхностного слоя основы перед нанесением покрытия в значительной мере влияет на величину адгезии. Для обеспечения сцепления покрытия с поверхностным слоем основного металла используются различные методы предварительной обработки поверхности: механические (шлифование, точение, нарезание рваной резьбы, кольцевых канавок, фрезерование насечек); химические (обезжиривание, травление); обработка свободными абразивами (Вибрационная обработка, абразивно-струйная обработка); поверхностное пластическое деформирование (обкатка шариками, роликами, выглаживание и др.) [1].

Наиболее часто применяемым методом подготовки поверхности основного материала при нанесении плазменных и детонационных покрытий является абразивно-струйная обработка. Данный метод обработки удовлетворяет требованиям очистки и активации поверхности, получению необходимого микрорельефа, но имеет свои недостатки такие как, микротрещины (рис. 1, а), задиры (рис. 1, б), шаржирование поверхности частичками абразива (рис. 1,в).



Рис. 1. Поверхность детали после абразивно-струйной обработки

Описанные выше дефекты, возникают в связи с особенностями абразивноструйной обработки, такими как, неправильная форма частиц абразива, высокая скорость подачи частиц абразива. Все это приводит к снижению прочности сцепления покрытия с поверхностью основного металла, и как следствие, после нанесения покрытия возникают несплошности, отслоения, поры. С учетом всех выше изложенных недостатков абразивно-струйной обработки был предложен метод подготовки поверхности деталей ультразвуковым пластическим деформированием (УЗПД).

Преимуществом метода УЗПД перед абразивно-струйной обработкой является возможность создания регулярного микрорельефа на поверхности основного металла (форма, высота, размеры фрагментов). Кроме того, данный метод позволяет залечивать мелкие микротрещины, полученные на предыдущем этапе механической обработки.

Следует отметить, что при обработке поверхности методом УЗПД для обеспечения полностью нового регулярного микрорельефа необходимо подобрать соответствующие режимы обработки (скорость, подача, амплитуда, частота, усилие). Ограничением при выборе параметров является коэффициент перекрытия отпечатков индентора, необходимость устранения следов предшествующей обработки, а также появление волнистости при обработке материалов с невысокой твердостью.

Условие полного перекрытия отпечатков индентора получено в модели формирования микрорельефа при УЗПД, устанавливающей взаимосвязь кинематических параметров обработки, с динамическими через обобщающий параметр – глубину единичного отпечатка [3, 4].

$$2\sqrt{D_c \cdot h_{\max}} = d_{\text{orm}} \ge \sqrt{\left\{S^2 + \left[\frac{V_{\text{A}}(1-m)}{60\ f}\right]^2\right\}}\sqrt{1 + \left(\frac{m\,V_{\text{A}}}{60\ f\ S}\right)^2}$$

где  $D_c$  – диаметр сферического наконечника,  $h_{max}$  – глубина максимального внедрения инструмента, S - подача,  $V_{\alpha}$  - скорость вращения детали, f - частота колебаний ультразвукового инструмента, m – дробная часть числа фрагментов микрорельефа на одном витке при обработке цилиндрической поверхности. Число фрагментов на единицу поверхности определяется выражением:

$$M + m = \frac{\pi D}{l} = \frac{6 \cdot 10^4 f}{n},$$
 (1.2)

где M – целое число ударов инструмента (фрагментов микрорельефа), приходящихся на один виток; l – расстояние между центрами соседних ударов, мм; D – диаметр обрабатываемой детали, мм; n – частота вращения детали, об/мин.

В результате моделирования были выбраны значения подачи и скорости обработки, а также статическое усилие прижима инструмента, гарантирующие формирование полностью нового регулярного микрорельефа для обработки экспериментальных образцов из стали 40Х13 (твердость НВ 1700 МПа), диаметром 40 мм. Остальные параметры обработки оставались неизменными и определялись

возможностями оборудования. Поскольку исходное состояние поверхности также влияет на формирование микрорельефа после УЗПД, режимы предварительной токарной обработки также учитывались.

В табл. 2 представлена взаимосвязь режимов, при которых проводилась предварительная токарная обработка, с полученной шероховатостью исходной перед УЗПД поверхности.

Таблина 1

	1-
Подача S, мм/об (V=90 м/мин - постоянная)	Ra, мкм
0,065	2
0,114	5
0,16	7
0,32	20

Для УЗПД были использованы следующие режимы: число оборотов (n) 460...720; подача (s) 0,065...0,228 мм/об, усилие ( $F_{cr}$ ) 50, 80, 100 Н. Низкие значения  $F_{cr}$  обусловлены тем, что увеличение нагрузки приводит к появлению волнистости в результате обработки УЗПД. Кроме того, в ходе эксперимента выяснилось, что даже при минимальном значении  $F_{cr}$ =50 Н, применение подачи 0,065, 0,08 и 0,114 мм/об приводило к появлению волнистости, в результате чего исследование влияния исходной шероховатости на вид микрорельефа после УЗПД пришлось ограничиться значением подачи 0,228. Увеличение подачи при неизменных значениях остальных параметров приведет к несоблюдению условия перекрытия отпечатков.

В ходе изучения поверхности детали, обработанной методом УЗПД выявлено, что происходит полное или частичное залечивание следов предшествующей обработки [2]. Частичное залечивание объясняется тем, что область деформирования металла от единичного удара индентора ультразвукового инструмента полностью не перекрывает глубину микронеровностей после предшествующей механической обработки. В результате на поверхности возникают дефекты в виде следов предшествующей обработки в виде следов резца, которые находятся на расстоянии подачи при резании (0,32 мм/об) (рис. 2). Данный вид рельефа получился при обработке с минимальной величиной  $F_{cr}$ =50 Н поверхности с исходной шероховатостью Ra20 и Ra7 мкм, а также при обработке поверхности с исходной шероховатостью Ra20 со статическим усилием  $F_{cr}$ =80 Н. Увеличение нагрузки до 80 Н привело к исчезновению следов токарной обработки на поверхности с исходной шероховатостью Ra7, однако на поверхности остались более глубокие точеные дефекты (рис 2б).

Полностью новый регулярный микрорельеф получился при обработке поверхностей с исходной шероховатостью Ra 2 и Ra5 при статическом усилии  $F_{ct}$ =80 H (рис. 2,в). Увеличение статического усилия до 100 H привело к появлению волнистости даже при максимальном значении S, ограниченном условием полного перекрытия соседних отпечатков индентора (рис. 2,г).



Рис.2. Поверхность после ультразвукового пластического деформирования при различных условиях обработки

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что выбор режимов УЗПД при обработке материалов с низкой твердостью, для которых применяются технологии нанесения твердых износостойких покрытий, существенно ограничен. Условие получения полностью нового регулярного микрорельефа определяет максимальные значения скорости и подачи при токарной обработке, а минимальное их значение определяется условием получения гладкой поверхности без волнистости, возникающей при обработке таких материалов. При этом величина статического усилия остается достаточно низкой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / Под общей ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2006. – 448 с.: ил. (Библиотека технолога)

2. Исследование процессов волнообразования при обработке металлов и сплавов ультразвуковым пластическим деформированием / Ю. С. Семенова, Х. М. Рахимянов // Инновации в машиностроении: материалы I Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. - с. 103-105

3. Технологические процессы поверхностного пластического деформирования / монография под ред. С.А. Зайдеса – Иркутск: Изд-во ИрГТУ. 2007.-404 с., ил.

4. Высокоэнергетические процессы обработки материалов / О.П. Солоненко, А.П. Алхимов, В.В. Марусин, А.М. Оришич, Х.М. Рахимянов, Р.А. Салимов, В.Г. Щукин, В.Ф. Косарев. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 425 с. – (Низкотемпературная плазма. Т. 18).

УДК 621.7.015

## ВЫЯВЛЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И УРОВНЯ ВИБРАЦИЙ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНТРОПИЙНОГО АНАЛИЗА

С.А. Мосунова, инженер

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Прокопьевск

тел. 8 951 160 84 23, E-mail: <u>RRRS888@yandex.ru</u>

Представлена методика применения энтропийного анализа к выявлению наследственной взаимосвязи параметров поверхностного слоя и общего уровня вибраций подшипников качения. Рассмотрен подготовительный этап данной методики.

The technique of applying entropy analysis to detection inheritable interrelation of parameters of rolling bearings was presented. Considered the preparatory stage of this technique.

Одной из важнейших задач машиностроения является повышение качества выпускаемой продукции, ее надежности и долговечности. Решение этой задачи

может быть достигнуто за счет управления технологическими процессами изготовления деталей машин. Для чего необходимо установление объективных закономерностей, путем всестороннего изучения точности и физико-механических свойств, учитывая действие технологической наследственности.

Технологическая наследственность - это явление переноса свойств изготовляемых изделий от предшествующих технологических процессов (операций) к последующим и их частичное или полное сохранение. Это значит, что все операции необходимо рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи.

В настоящее время доказано существование технологической наследственности при образовании качества рабочих поверхностей деталей машин. При чем она проявляется не только после чистовых операций, но и может оказывать влияние на изменение свойств или на потерю точности формы готовой детали при ее эксплуатации в результате воздействия тех или иных элементов качества поверхности, созданных в поверхностном слое детали при ее черновой обработке, однако также известен тот факт, что в технологическом комплексе финишные операции оказывают гораздо большее влияние.

Установление граничных условий и взаимосвязей наследуемых характеристик позволит обеспечить параметры поверхностного слоя и общего уровня вибрации подшипников качения и улучшить качество готового подшипника. Это возможно при тщательном исследовании технологии и условий изготовления деталей, следовательно, единственным путем выявления зависимостей эксплуатационных свойств деталей от режимов механической обработки является проведение экспериментальных исследований. Которые были проведены на подшипнике качения 310А, а именно на внутренних и наружных кольцах и собранных подшипниках (при этом тело качения - шарик принято за идеальное.)

Для наружных и внутренних колец подшипника была спроектирована технология изготовления (содержащая типичное сочетание операций, когда предварительная обработка проводится точением, после чего следует термообработка и последующее шлифование и полирование рабочих поверхностей детали). Кольца были разделены на две группы, которые отличаются разными режимами желобошлифовальной операции. Разделение на группы в дальнейшем поможет уточнить значение именно финишных операций. По ходу изготовления из технологического процесса (после определенных операций) изымались кольца, для дальнейших исследований их параметров. В условиях производства измерялась геометрия колец, затем из них изготавливали образцы - микрошлифы, для исследования на микротвердость поверхностного слоя. Кольца, прошедшие весь технологический процесс собирались в готовые подшипники, которые также были исследованы на геометрические параметры. После чего замерялся общий уровень вибрации.

Схема проведения экспериментальных исследований представлена на рис.1 После проведения экспериментальных исследований необходим анализ полу-

ченных результатов. Однако, большое количество варьируемых факторов, комплексно влияющих на эксплуатационные свойства деталей, обуславливает невозможность построения общих моделей методами традиционного анализа.



Рис.1. Общая схема экспериментальных исследований

В связи с этим для интерпретации имеющегося эмпирического материала был применен «Анализ уникальных объектов» так называемый энтропийный анализ, разработанный профессором, д.ф.-м.н А.Б. Логовым[2], позволяющий оценивать комплексное влияние факторов, имеющих различную размерность и физический смысл.

Многочисленные результаты экспериментальных исследований были систематизированы для дальнейшего проведения энтропийного анализа согласно методике. При этом каждому эксперименту было присуще различное сочетание показателей, которое практически не совпадало в рамках одного этапа; следовательно, каждый эксперимент имел ряд пробелов в некоторых показателях.

Исходными данными для анализа явилась сводная таблица условий и результатов экспериментов.

Исходная таблица для наружных и внутренних колец содержит:

По столбцам (показатели), такие как: режимы обработки колец подшипника; данные, полученные при контроле геометрии на стадии изготовления, а также их стандартные значения; средние значения твердости и микротвердости, а также глубины внедрения индентора; среднее значение шероховатости дорожек качения. По строкам - значения по каждому исследуемому образцу.

Исходная таблица для колец в сборке содержит такие показатели как: величина радиального зазора; торцевые и радиальное биение; общий уровень вибрации. На стадии подготовки данных к энтропийному анализу из таблицы исходных данных удаляем столбцы, содержащие величины различных отклонений реальных параметров от стандартных (в том числе и отрицательные), т.к. эти величины без соотнесения с реальными размерами образца не несут информации, необходимой для анализа.

Так как исследуемые группы колец отличаются режимами резания на желобошлифовальной операции, в таблице данных для наружных и внутренних колец формируем столбец, содержащий режимы резания для данной операции, который будет содержать значения первой и второй группы по образцам соответственно обработке.

С целью установления степени отклонения параметров исследуемых образцов от стандартных значений, добавляем в таблицу данных (в дополнительную строку) стандартный образец (т.е. кольцо со стандартными значениями по всем показателям) соответственно убираем из исходной таблицы столбцы с показателями стандартных значений.

В дальнейшем для проведения энтропийного анализа на основе таблицы исходных данных создаем новую таблицу, содержащую только индивидуальные данные образцов. Итак, выполняем необходимые для анализа преобразования в таблицах.

Согласно алгоритму анализа состояния данных выполнены следующие действия:

1.Суммирование в столбцах – получаем набор аддитивных функциональных характеристик

$$Q(j) = \sum_{i=1}^{n} Q(i/j)$$
 (1)

гдеQ(i/j) - элемент таблицы исходных данных; *i*— номер строки таблицы; *j*— номер столбца таблицы, *A*-число строк таблицы.

2.Находим доли (вес) элементов

$$q(i/j) = \frac{Q(i/j)}{Q(j)}$$
(2)

3.Основная модель U – функция взвешенных долей при условии рассмотрения j-го показателя

(4)

$$U(i/j) = -q(i/j)\ln q(i/j) = \ln q(i/j)^{-q(i/f)}$$
(3)

производные модели V  $V(i/j) - \ln Q(i/j)$ 

производные модели W  $W(i/j) = -Q(i/j)^{-1}$ (5) Полная энтропия показателя

$$U(j) = \sum_{i=1}^{I \le 91} U(i / j)$$

$$U(j) / \ln I < 1$$
(6)

4. Находим статистические характеристики по столбцам: математическое ожидание (среднее значение)

$$\widehat{M}[V(i/j)] = M[j] = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{A} V(i/j)$$
(7)

среднее квадратичное отклонение (разброс в выборке)

$$\sigma[V(i/j)] = \sigma[j] = \sqrt{\frac{1}{A-1} \sum_{i=1}^{A} \{V(i/j) - \widehat{M}[j]\}^2}$$
(8)

5. Находим отображения на оси координат (путем проведения нормирования и центрирования таблицы по столбцам, что является необходимым условием для отображения данных в пространстве состояний (фазовом пространстве))

Абсцисса

$$X(i/j) = \frac{V - \hat{M}[j]}{\sigma[j]}$$
<sup>(9)</sup>

Ордината

$$Y(i/j) = \frac{W - \widehat{M}[j]}{\sigma[j]}$$
(10)

Проектируем на ту же плоскость и стандартный показатель

6. После проведенной обработки каждой таблицы по столбцам, проводится нормирование и центрирование по строкам с целью ранжирования показателей разной размерности по степени специфичности и выделения диагностических признаков аналогично нормированию и центрированию таблицы по столбцам, обрабатывая каждую таблицу по строкам и находим среднее значение (по заполненным клеткам строки)  $\widehat{M}$  и средний квадратичный разброс в строке  $\sigma$ .

Получен вариант фазового портрета X(i/j); Y(i/j), на этом завершается подготовительный этап энтропийного анализа.

Результатом энтропийного анализа будет общая модель со множеством факторов, вида:

$$\ln x(i/j)^{1/\sigma_{\rm eff}=G[v;f]} - \frac{\tilde{M}}{\sigma}$$
(11)

Таким образом, с помощью проведения энтропийного анализа составленного массива данных планируется уточнить степень влияния исследуемых показателей друг на друга, их взаимосвязь, оценить каждый параметр по степени значимости, а также влияние на процесс наследования свойств поверхностного слоя и общего уровня вибрации исследуемых подшипников качения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве/ А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др.; Под ред. А.М. Дальского. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 364 с.: ил.

2. Анализ состояния уникальных объектов (Анализ «плохих» данных)/А.Б. Логов, Р.Ю. Замараев, А.А. Логов - Учебное пособие. Кемерово, 2009.-88с.

3. ГОСТ 520-2002. Подшипники качения. Общие технические условия.

УДК 621.787:621.7.011:620.179.17

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СКОРОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА И ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ НА СТАДИЯХ РЕЗАНИЯ И ППД

О.А. Останин Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-14 E-mail: <u>oleg\_ostanin@mail.ru</u>

Рассмотрено применение тонкого физического метода контроля для получения качественных результатов исследования, реально отражающих характер пластической деформации материалов на микроуровне – метода акустической эмиссии (АЭ). Установлено, что метод АЭ является эффективным инструментом для исследования динамики развития дефектной структуры материалов, ввиду высокой чувствительности к условиям деформации. Существуют связи различных параметров сигналов АЭ и изменением дислокационной структуры материала; степенью пластической деформации; технологическими факторами при механической обработке резанием и поверхностно-пластическим деформированием.

The paper considers the use of subtle physical control method for obtaining highquality research results actually reflect the nature of the plastic deformation of materials at the micro levela method of acoustic emission (AE). Found that the AE method is an effective tool for studying the dynamics of the defect structure of materials because of the high sensitivity to the conditions of deformation. There are various communication parameters of AE signals and the change of the dislocation structure of the material, the degree of plastic deformation; technological factors in the mechanical machining and surface plastic deformation.

Современное машиностроение совершенствуется совместно с повышением требований к качеству, надежности и долговечности деталей машин. В связи с высокоэффективных внедрением технологических процессов, систем проектирования автоматизированного 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 общепризнано существенное При ЭТОМ влияние качества значение. поверхностного слоя (ПС) деталей машин на их долговечность. Однако обеспечение требуемого качества деталей машин представляет собой достаточно сложную технологическую задачу.

Одним из базовых положений технологии машиностроения является учение о технологическом наследовании (TH), в соответствии с которым состояние ПС детали формируется и трансформируется на всех стадиях обработки и эксплуатации, что должно учитываться при проектировании технологических, особенно, упрочняющих процессов поверхностного пластического деформирования (ППД).

В основу теории ТН качества ПС на стадиях механической обработки положена базовая феноменологическая модель формирования ПС при ППД, разработанная в МГТУ "МАМИ" В.М. Смелянским [1]. 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 ТП и последующего эксплуатационного усталостного нагружения [1]. В соответствии с этой моделью в зоне контакта инструмента с деталью возникает асимметричный очаг деформации (ОД) *ABCDEFG* глубиной h, напряженно-деформированное состояние которого характеризуется тензорами напряжений и скоростей деформаций (рис. 1).

Формирование ПС происходит в результате деформации его частиц по линиям тока. Начальные параметры состояния, которые частицы имели до входа в ОД (линия AG), трансформируются в накопленные к моменту выхода их из ОД (линия FG). В качестве накопленных параметров состояния используются степень деформации сдвига, СИЗП, компоненты тензора остаточных напряжений  $[T_{\sigma_{ocm}}]$  и др.

Особенностью модели является то, что состояние поверхностного слоя детали рассматривается не как результат «застывшей» картины НДС, а как результат пластического течения металла, протекающего под влиянием программы на-гружения  $\Lambda = \Lambda(\Pi)$ .

В процессе решения краевой задачи теории пластичности рассчитывается НДС очага деформации, определяются траектории движения материальных частиц металла (линии тока) в ОД и вдоль них характеристики поля напряжений и поля скоростей – показатель схемы напряженного состояния П, интенсивность скоростей деформаций сдвига H, показатель вида напряженного  $\mu_{\sigma}$  или деформированного  $\mu_{\xi}$  состояния (показатель Лоде), а также накопленные значения степени деформации сдвига  $\Lambda$ .



Рис. 1. Модель формирования поверхностного слоя при ППД

Использование деформационных критериев для комплексной оценки состояния ПС 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 ТН – это, в первую очередь, описание влияния сложного знакопеременного характера протекания пластической деформации в предшествующие периоды времени на формирование свойств рассматриваемой стадии нагружения.

Однако сложность определения параметров механического состояния ПС ограничивает возможность использования феноменологического подхода на практике. Физический характер феноменологической теории позволяет, в свою очередь, использовать для получения качественных результатов тонкие физические методы исследований.

Одним из таких методов, реально отражающим характер пластической деформации материалов на микроуровне, является акустическая эмиссия (АЭ). Проведенный анализ позволил установить, что метод АЭ является эффективным инструментом для исследования динамики развития дефектной структуры материалов, ввиду высокой чувствительности к условиям деформации. Поскольку изменение состояния ПС в процессе его нагружения вызывает определенное изменение сигнала АЭ, использование данного метода является перспективным для непосредственной оценки таких параметров механики, как степень деформации сдвига  $\Lambda$ , интенсивность скоростей деформаций сдвига H и степень исчерпания запаса пластичности  $\Psi$ .

Существуют связи различных параметров сигналов АЭ, с одной стороны, и изменением дислокационной структуры материала (скорость дислокаций, изменение плотности дислокаций); степенью пластической деформации (скоростью деформации); технологическими факторами при механической обработке резанием и ППД (скорость обработки, подача инструмента, глубина резания, натяг), с другой стороны.

Для установления этих связей проведены обобщение, систематизация и структурирование информации о качестве ПС на протяжении жизненного цикла детали. Особый интерес представляют наследственные связи на операциях механической обработки, поскольку именно на этих стадиях накопление деформаций и исчерпание запаса пластичности в поверхностном слое определяет эксплуатационные свойства деталей машин. При этом важно учитывать характер накопления деформаций, определяемый историей нагруженияПС.

В настоящее время получены результаты, позволяющие идентифицировать параметры механического состояния металла по параметрам АЭ.

Установлено, что в процессе повторного нагружения при уменьшении значения накопленной поврежденности наблюдается увеличение мощности сигнала АЭ. В свою очередь, уменьшение накопленной поврежденностина втором этапе вызвано большим исчерпанием запаса пластичности на первом этапе. Таким образом, большее значение мощности сигнала акустической эмиссии на втором этапе свидетельствует о большем исчерпании запаса пластичности на первом этапе.

Это связано с тем, что источниками сигналов АЭ являются не только дефекты структуры металла, возникающие на текущем этапе нагружения, но и дефекты, возникшие на предшествующих этапах [1]. С увеличением пластической деформации на предшествующих этапах нагружения увеличивается количество источников дислокаций, а также дислокаций в полосах скольжения, которые не потеряли способности к дальнейшему движению. В процессе последующего нагружения имеющиеся источники дислокаций продолжают генерировать новые дислокации, а старые продолжают перемещаться, увеличивая мощность АЭ сигнала.

Анализ полученных данных показал, что снижение мощности сигнала АЭ в случае повторного нагружения в большей степени наблюдается для образцов, у которых на предварительном этапе было накоплено большее значение накопленной поврежденности.

Таким образом, влияние истории нагружения на сигналы АЭ выражается в том, что при нагружении материала источниками сигнала являются не только дислокации, образовавшиеся на данном этапе, но и дислокации, сформированные

на предшествующих этапах нагружения.

В работе И.В.Мирошина представлена экспериментально-аналитическая модель состояния ПС металла, в основе которой лежат представления о накоплении деформации и исчерпании запаса пластичности металлом и их взаимосвязи с мощностью сигналов АЭ, регистрируемых в процессе механической обработки деталей[2]. Ключевой особенностью модели является учет истории нагружени-яПС на последовательных стадиях ТП на основе анализа полученной акустико-эмиссионной информации. Модель показывает распределение параметров сигналовАЭ по очагу деформации в целом.

Но остается не решенным вопрос о распределении параметров сигналов АЭ не только по длине очага деформации, но и по его глубине. Исходя, из поставленных задач исследования выдвигается научная гипотеза о том что, параметры сигналов АЭ, излучаемых каждой точкой очага деформации, отражают пластическое течение металла и распределяются в объеме очага деформации таким же образом, как и интенсивность скоростей деформации сдвига *H*.

При разработке новой модели принято, что распределение параметров сигналов АЭ по очагу деформации идентично распределению интенсивности скоростей деформаций сдвига в виде H = H(xyz). Исходя из этого, по распределению интенсивности скоростей деформаций сдвига *Н*можно определить распределение сигналов АЭ по длине и, что важно, по глубине очага деформации.

Формула распределения интенсивности скоростей деформаций сдвига *H* в общем виде для каждой линии тока, согласно проведеннымисследованиям, имеет вид [1]:

$$H = a + b \exp\left(-\frac{(x-c)^2}{d^2}\right),\tag{1}$$

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:

$$H = z \iint \left( \left( a_{a}^{h} y + b_{a}^{h} \right) + \left( a_{b}^{h} y + b_{b}^{h} \right) \exp \left( -\frac{\left( x - \left( a_{c}^{h} y + b_{c}^{h} \right) \right)^{2}}{\left( a_{d}^{h} y + b_{d}^{h} \right)^{2}} \right) \right) dx dy, \qquad (2)$$

где z – толщина образца (величина постоянная величина); y – ордината (глубина очага деформации); x – длина очага деформации;  $a_a^h, b_a^h, a_b^h, b_b^h, a_c^h, b_c^h, a_d^h, b_d^h$  – на-следственные коэффициенты, характеризующие распределение свойств по глу-

бине упрочненного поверхностного слоя.

Проведены расчеты и получено распределение акустических характеристик в очаге пластической деформации,как вдоль линий тока, так и по глубине очага деформации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн, В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

**2.** Мирошин, И.В. Технологическое обеспечение наследуемых параметров качества при упрочняющей обработке на основе выбора рациональных режимов методом акустической эмиссии [Текст] :дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / И.В. Мирошин – Барнаул, 2008.

УДК 621.787: 621.91

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОГРАММ НАГРУЖЕНИЯ НА ИСЧЕРПАНИЕ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССАХ ППД

К. П. Петренко, к. т. н. Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева Кемерово, тел. +7(3842)39-33-83 E-mail: <u>konst.petr@mail.ru</u>

Представлены результаты аналитических и экспериментальных исследований влияния программ нагружения на степень исчерпания запаса пластичности в процессах поверхностного пластического деформирования.

Analytical and experimental research results of load programs effect on exhaustion of plasticity resource while surface plastic deforming are considered.

Известно, что поверхностное пластическое деформирование (ППД) относится к числу наиболее эффективных методов поверхностного упрочнения деталей машин. Оно позволяет создавать деформационное упрочнение металла, сжимающие остаточные напряжения и благоприятный профиль шероховатости поверхностного слоя. Это, в свою очередь, приводит к повышению усталостной прочности и долговечности деталей.

Проектирование технологических процессов упрочняющей механической обработки необходимо осуществлять с позиций технологического наследования

(TH), что предполагает учет накопления свойств поверхностного слоя на всех операциях механической обработки и проявления указанных свойств при последующей эксплуатации изделия. Многочисленные исследования показали, что эффективная оценка и прогнозирование свойств поверхностного слоя возможны на основе разработанной проф. В.Ю. Блюменштейном механики технологического наследования [1].

Согласно ее основным положениям, в процессах обработки и эксплуатации деталей машин происходит непрерывное накопление деформации и исчерпание запаса пластичности металлом поверхностного слоя. В качестве основных параметров механического состояния используются накопленная степень деформации сдвига  $\Lambda$ , показатель напряженного состояния  $\Pi$ , степень исчерпания запаса пластичности  $\Psi$ .

Внедрение и перемещение режущего или деформирующего инструмента (резца, ролика) приводит к возникновению очага деформации (ОД) – локальной области пластического течения в поверхностном слое (рис. 1). В ОД вдоль линий тока происходит накопление деформации, исчерпание запаса пластичности и формирование свойств поверхностного слоя. При последующих операциях механической обработки накопление деформации происходит с учетом свойств поверхностного слоя, накопленных на предыдущих операциях.



Рис. 1. Очаг деформации при ППД с характерными точками и геометрическими параметрами

Ключевым элементом механики TH является программа нагружения (ПН), представляющая собой зависимость накопленной степени деформации сдвига  $\Lambda$  от показателя напряженного состояния  $\Pi$ . ПН состоит из трех участков квазимонотонной деформации (рис. 2.), на каждом из которых происходит непрерывное накопление деформации в условиях изменяющегося показателя напряженно-

го состояния. В точках смены знака деформации происходит частичное залечивание дефектов и восстановление запаса пластичности металла.



Рис. 2. Программа нагружения процессов ППД

Степень исчерпания запаса пластичности характеризует накопленную металлом поврежденность и является важнейшей характеристикой механического состояния поверхностного слоя. До деформирования  $\Psi = 0$ , в момент разрушения  $\Psi = 1$ . В качестве критерия для аналитического расчета  $\Psi$  на основе программ нагружения использовался критерий Калпина-Филиппова в категориях степени деформации сдвига при степенной аппроксимации кривой течения [2].

Под действием ПН в очаге деформации происходит исчерпание запаса пластичности, что приводит к определенному механизму формирования состояния поверхностного слоя.

Расчет степени исчерпания запаса пластичности  $\Psi$  проводился в точках линии тока по полученным моделям [3] аппроксимации участков программы на-гружения вида  $\Lambda = a_{ij}^{\Pi H} \exp(b_{ij}^{\Pi H} \Pi) + c_{ij}^{\Pi H}$ .

 $a_{ij}^{\Pi H}, b_{ij}^{\Pi H}, c_{ij}^{\Pi H}$  – коэффициенты, полученные в ходе экспериментальных исследований по многоходовому обкатыванию роликами из стали ШХ 15 гладких цилиндрических образцов из стали 45 (таблица 1).

Обкатывание на втором и последующих рабочих ходах до полного исчерпания запаса пластичности осуществлялось по уже обработанной поверхности, поверхностный слой которой характеризовался определенным значением накопленной деформации и степени исчерпания запаса пластичности.

После определения значений накопленной степени деформации сдвига в точках линий тока вычислялись мгновенные значения степени деформации сдвига в точках линий тока.

По показателю напряженного состояния в рассматриваемой точке линии тока с использованием диаграммы пластичности определялась предельная степень деформации сдвига  $\Lambda_n$ .

Таблица 1

		Режимы обкатывания					
№ об- разца	Количество рабочих ходов до разрушения	Диаметр ролика <b>D</b> <sub>p</sub> , мм	Подача <i>S</i> , мм/об	Частота вращения шпинделя <i>n</i> , об/мин	Профильный радиус ро- лика <b><i>R</i><sub>пр</sub></b> , мм	Усилие об- катывания <i>Р</i> , Н	
51	3	05			2,5	2500	
52	3	95			5	2300	
54	2		0,07	630	8,5	2000	
56	3	64			5	1500	
57	2				13,5	2000	

#### Условия проведения экспериментальных исследований

Далее рассчитывалось мгновенное значение степени исчерпания запаса пластичности в точках линии тока, суммирование которых дало накопленное значение степени исчерпания запаса пластичности вдоль линий тока.

В качестве примера на рис. 3 показана зависимость степени исчерпания запаса пластичности от накопленной степени деформации сдвига для образцов №52 и №54 соответственно на втором и первом рабочих ходах.



Рис. 3. Различие степени исчерпания запаса пластичности при нагружении по разным ПН при одинаковом значении накопленной степени деформации сдвига (число после точки – номер рабочего хода)

В рассматриваемых очагах деформации накапливается сопоставимое значение степени деформации сдвига: в образце №52.2 накапливается  $\Lambda$ =0,27, в образце №54.1 –  $\Lambda$ =0,28.
Однако в условиях более «жесткого» напряженного состояния сопоставимые мгновенные значения  $\Lambda$  для образца №52.2 приводят к большим мгновенным значениям  $\Psi$  по сравнению с образцом №54.1. При этом большие значения горизонтальных параметров ОД образца №54.1 способствуют большей продолжительности пластического деформирования (большей длине линии тока) и, соответственно, к большему значению степени исчерпания запаса пластичности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

2. Филиппов Ю. К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объемной штамповкой [Текст] / Ю. К. Филиппов // Кузнечноштамповочное производство. – 1999. – № 2. – С. 3 – 9.

3. Блюменштейн В.Ю. Аналитическое описание программ нагружения на стадиях механической обработки / В.Ю. Блюменштейн, К.П. Петренко // Вестник КузГТУ. – 2009. – №6. – С. 77 – 83.

УДК 621.822-192

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТИНОК ИЗ СТАЛИ ШХ-15

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н., проф., Д. А. Бородин, аспирант Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-14, сот.тел. +7-923-615-64-03 E-mail: Master-MJ@yandex.ru

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияние режимов обработки поверхности на свойства тонкого поверхностного слоя тех и дорожек качения на примере пластинок из подшипниковой стали. Проведен анализ полученных данных и сделаны выводы о закономерностях формирования поверхностного слоя и ожидаемой трансформации слоя при эксплуатации.

In work results of experimental researches influence of modes of processing of a surface on properties of a thin blanket of those and paths rolling on an example of plates from are presented a bearing steel. The analysis of the received data is carried out and conclusions are drawn on laws of formation of a blanket and expected transformation of a layer at operation.

В настоящее время актуальной является проблема повышения надежности изделий машиностроения. Исследования в этой области проводятся во многих научных организациях. Ответственные изделия подвергаются исследованиям и на сегодняшний день хорошо изучены с точки зрения технологии изготовления, влияния макросостояний на показатели качества. Однако формирование и трансформация тонкого поверхностного слоя (ТПС) на микро- и наноуровне остаются недостаточно изученной областью. Подшипники качения (частности сталь ШХ-15) являются хорошо изученным, но вместе с тем доступным для тонких исследований изделием. Выявленные закономерности будут актуальны и для других изделий.

В рамках задачи исследования закономерностей формирования ТПС разработан план экспериментальных исследований, включающий 3 типа объектов исследования, которые стали основой для трех различных направлений исследования (рис. 1):

1) Исследование технологического наследования свойств тонкого поверхностного слоя при изготовлении и эксплуатации подшипников №310.

2) Исследование технологического наследования свойств тонкого поверхностного слоя при изготовлении и эксплуатации двух типоразмеров (40x15x5 и 40x5x5 мм) пластинок из стали ШХ-15.

3) Исследование влияния технологической наследственности и модифицированных смазочных композиций на долговечность сферических подшипников ШСЛ-60.



Подшипник №310



Пластинки из стали ШХ-15



Сферический подшипник ШСЛ-60

Рис. 1. Объекты исследования

Направление эксперимента, связанное с пластинками из стали ШХ-15, было разработано для моделирования процесса изготовления и эксплуатации дорожек качения подшипников 310 на плоской поверхности. Это связано с тем, что закономерности процессов наследования и износа при эксплуатации легче проследить на плоской поверхности, чем на криволинейной дорожек качения, в следствии более простых уравнений.

Были изготовлены пластинки из стали ШХ-15 в количестве 180 штук (по 90 штук на один типоразмер) согласно схеме (рис. 2), кроме этапа эксплуатации.

Шлифование проводилось на 3 режимах, первый – основной режим, на котором шлифуются подшипники согласно технологическому процессу. Второй и третий – режимы с увеличенной скоростью обработки. После каждой операции изымались образцы, необходимые для исследования поверхностного слоя на стадиях производства.



Рис. 2. Схема эксперимента по пластинам из стали ШХ-15

Для исследования влияния технологической наследственности на этапе шлифования желоба пластинок были поделены на 3 группы, которые шлифовались на 3 различных режимах.

В рамках данной статьи рассматриваются исследования профиля поверхности и структуры пластинок при использовании следующего оборудования: профилограф-профилометр «Talyserf» 5M120, оптический интерферометр ZygoNewViewTM 7300, инвертированный металлографический микроскоп Axio Observer A1m (Carl Zeiss).

«Talyserf» 5М120 позволил измерить 12 параметров профиля рабочей поверхности. Измерения, проводимые на оптическом интерферометре ZygoNewViewTM 7300 позволили подтвердить величины параметра Ra полученные на «Talyserf» (рис. 3). На рисунке синим цветом показаны значения, соответствующие основному режиму обработки, а красным и зеленым – второму и третьему режимам соответственно. Разграничение идет по операциям: 010 – отрезка, 015, 020 – фрезерные: черновая и чистовая, 025 – термообработка, 030 – шлифование, 035 – полирование.

Значения Ra соответствуют ожидаемым и контролируемым значениям на стадиях обработки. Большие различия при разных режимах шлифования вызваны в первую очередь погрешностью оборудования и невозможности точного контроля шероховатости на предприятии.

Интерферометр позволил получить изображение профиля поверхности в 2D и 3D. На рисунок 4 представлены профили 3 образцов после полирования, соответственно 3-м различным режимам (рис. 4).



Рис. 3. График значений Ra



Из полученных данных можно сделать вывод о том, что шероховатость поверхности при увеличении скорости шлифования возрастает и тенденция сохраняется даже после полирования. Однако характер вершин и впадин незначительно меняется от высоких острых выступов и сравнимых впадин к более скругленным выступам и более глубоким, острым падинам.

Исследования микроструктуры на инвертированном металлографическом микроскопе Axio Observer A1m (Carl Zeiss) позволили установить, что полученные образцы соответствуют ГОСТ 800-78 (рис. 5). На рисунке 6 видно, что образцы имеют микроструктуру отпущенного мелкоигольчатого мартенсита и равномерно распределенных избыточных карбидов.



Рис. 5. Микроструктура стали ШХ-15 после термической обработки согласно ГОСТ 800-78

Однако на рисунке 6 отчетливо видны «линии» карбидов шириной до 50 мкм. С учетом схемы разрезки прутка можно сказать, что карбидные «линии» идут вдоль прутка, из которого изготавливались пластинки и кольца подшипников. Области скопления карбидов имеют более высокую твердость, чем основной металл и как следствие низкую упругость. При циклических нагрузках по границам областей может возникать – выкрашивание металла, что приведет к разрушению и поломке подшипника.



1 режим шлифования

2 режим шлифования

3 режим шлифования

Рис. 6.Микроструктура образцов после операции полирования Из выше сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Повышение скорости шлифования приводит к увеличению шероховатости и глубины и остроты впадин профиля шероховатости; 2. Повышение скорости шлифования не приводит к изменению структуры поверхностного слоя.

Полученные результаты говорят о том, что на шероховатость поверхности опытных образцов оказывают влияние режимы обработки. При этом режимы обработки в меньшей степени влияют на высотные характеристики, в большей степени - на форму поверхности, что, в конечном счете, увеличивает количество концентраторов напряжений и опасность возникновения микро- и макротрещин.

Микроструктура после закалки соответствует ГОСТ и существенно не изменяется при различии режимов шлифования. Требуется контроль состава и структуры исходного металла, чтобы избежать неоднородности.

УДК 621.787.6

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДРОБЬЮ ВИНТОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРУЖИН СЖАТИЯ

Шаврин О.И., д.т.н., профессор, Домнин А.К., ведущий инженер, Ломаева Т.В., старший преподаватель Ижевский государственный технический ун-тет имени М.Т. Калашникова Ижевск, тел. (факс) +7(3412)59-24-10, E-mail: nano.user@yandex.ru

В статье приводятся результаты исследования дробеметной обработки винтовых цилиндрических пружин сжатия с учетом критерия эффективности обработки дробью пружин в зоне внутренней поверхности витка.

The paper contains the research results of shot-blasting processing of cylindrical spiral compression springs taking into account the criterion of shot processing efficiency of springs in the area of coil internal surface.

Материал витков в винтовых цилиндрических пружинах из-за их кривизны нагружен неравномерно. Анализ напряженного состояния материала витка цилиндрической винтовой пружины показал, что кривизна витков оказывает большое влияние на распределение напряжений в поперечном сечении. Это приводит к значительному росту величины напряжений (40-60%) на внутренней поверхности витков (рис. 1) относительно наружной [5].

Повышение напряжений на внутренней поверхности витка можно оценить по следующей зависимости [2]:

$$= \frac{M_{\kappa p} \cdot \rho}{J_p} \cdot \frac{R}{u}$$
 (1)

где  $M_{\kappa p}$  – крутящий момент, возникающий от приложения нагрузки;  $\rho$  – ра-

диус прутка, из которого навита пружина;  $J_p$  – полярный момент инерции; R – средний радиус пружины;  $u = R \pm \rho$ . Здесь множитель  $\frac{R}{u}$  характеризует изменение напряжений в зависимости от кривизны витка.



Рис. 1. Продольное сечение пружины

Кроме этого, поверхностный слой витков пружины может содержать различные дефекты металлургического и технологического характера (волосовины, микротрещины, забоины, прижоги, обезуглероженный слой, остаточные растягивающие напряжения и т.д.), которые ослабляют и без того перегруженный поверхностный слой.

Анализ возможных причин изломов железнодорожных пружин показывает, что характерны следующие виды изломов по месту расположения и характеру разрушения[1, 4]:

- усталостный излом – начало разрушения с внутренней стороны рабочего витка под углом примерно 45° к оси прутка без видимых дефектов в месте зарождения трещины;

- излом первого рабочего витка от контактного давления между ним и опорным витком – при некачественном изготовлении оттянутых концов пружины. Высокое контактное давление между витками возникает при малом зазоре между рабочим витком и концом опорного витка, увеличенной толщине конца опорного витка, острых или волнистых выступах на поверхности опорного витка, обращенной к рабочему витку;

- излом опорного витка – происходит из-за изогнутости его в вертикальной плоскости выше допускаемой и прижогов от шлифовального круга на опорной поверхности;

- начало разрушения от дефектов металлургического и технологического происхождения – при неудовлетворительном качестве прутков или нарушениях

режимов термообработки.

Разрушение пружин, связанное с изломом первого рабочего витка, изломом опорного витка и с разрушением от дефекта металлургического или технологического происхождения, обусловлено, как правило, технологическими причинами. Излом в результате зарождения и развития усталостной трещины на внутренней поверхности витка пружины обусловлен увеличением рабочих напряжений на внутренней поверхности витка пружины.

В технологии машиностроения широко распространены различные методы поверхностного пластического деформирования (ППД), которые применяются для создания в поверхностном слое деталей машин остаточных сжимающих напряжений, а так же слоя материала с повышенными механическими характеристика (повышенный предел упругости и текучести, повышенная твердость). Применение данных методов позволяет производить упрочнение наиболее нагруженных поверхностных слоев деталей машин и обеспечить увеличение срока службы как детали в отдельности, так и машины или механизма в целом. В частности при производстве пружин используется метод ППД, основанный на упрочнении деталей дробью. Использование указанного метода ППД в технологии изготовления пружин объясняется сложностью профиля пружин и соответственно затруднениями при применении других методов упрочнения.

Сущность метода упрочнения пружин дробью заключается в том, что пружины после окончательной механической и термической обработки подвергаются ударному воздействию потока стальной или чугунной дроби на дробеметах механического действия.

В общем случае при обработке пружин в дробемете механического действия требуется равномерная обработка витка, как по его длине, так и по окружности поперечного сечения. Первое обеспечивается вращением пружины, а равномерность обработки поперечного сечения зависит от геометрических параметров пружины – диаметра пружины, диаметра прутка из которого навита пружина и межвиткового зазора. Максимальный эффект упрочнения наружной поверхности витка достигается при угле встречи потока дроби и поверхности пружины 90°±15° [3]. Обработке внутренней поверхности витка препятствует рикошетирование дроби от боковых поверхностей витка, влияющее на энергию той части потока дроби («энергоэффективной»), которая проходит по межвиткового зазора и больше диаметр пружины, тем меньше эффективность обработки внутренней поверхности витка.

В работе [6] показано, что эффективная обработка дробью внутренней поверхности витков пружин возможна в том случае, когда выполняется следующее условие для конкретной пружины:

$$H_{d}^{\prime} \ge 1.65 + \frac{0.5}{c}$$
 (2)

где *H* – шаг пружины; *d* – диаметр прутка, из которого навита пружина; *c* – индекс пружины.

Для оценки эффективности обработки дробью винтовых цилиндрических пружин сжатия были проведены экспериментальные исследования. После специальной термообработки пружины подвергались обработке дробью. Типоразмеры исследуемых пружин:

• Пружина №1, пружина из стали 60С2А, диаметр прутка 10 мм, наружный диаметр пружины 50 мм, шаг пружины 14,55 мм;

• Пружина №2, пружина из стали 60С2ХФА, диаметр прутка 22 мм, наружный диаметр пружины 138 мм, шаг пружины 40,6 мм.

Специальная термообработка заключалась в проведении двойного отпуска. Первый отпуск производился при температуре 720° С в течении 2 часов, второй – при температуре 680° С, также в течении 2 часов. Микроструктура материала пружин после термообработки – сорбит.

Оценка эффективности обработки дробью производилась измерением микротвердости по сечению витка в зоне наружной и внутренней поверхности. Микротвердость измерялась на микротвердомере «TUCON» в единицах HRC при нагрузке 500 г. Результаты измерения приведены на рисунке 2 и 3.



Рис. 2. Изменение микротвердости по сечению витка (Пружина №1)

Отношение H/d для Пружины №1 составляет 1,455 вместо 1,775, рассчитанного по формуле (2). Это говорит о крайне низкой эффективности обработки дробью в зоне внутренней поверхности витка, что подтверждается графиком на рисунке 2. Значение микротвердости на внутренней поверхности витка ниже чем на наружной на 15%, а глубина упрочненного слоя на внутренней поверхности в два раза меньше, чем на наружной, 0,21 мм и 0,42 мм соответственно.



Рис. 3. Изменение микротвердости по сечению витка (Пружина №2)

Отношение H/d для Пружины №2 составляет 1,845, что соответственно больше значения 1,745, рассчитанного по формуле (2). Таким образом, для Пружины №2 эффективность обработки внутренней поверхности витка приближается к эффективности обработки наружной поверхности витка, что в свою очередь подтверждается графиком на рисунке 3. Отличие в максимальной микротвердости на наружной и внутренней поверхности витка не превышает 10%, а глубина упрочненного слоя в том и другом случае находится на уровне 0,45-0,5 мм.

Оценка результатов исследования, показывает, что для пружин с неоптимальными геометрическими соотношениями требуется дополнительная упрочняющая обработка внутренней поверхности витка.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54326-2011 Пружины рессорного подвешивания железнодорожного подвижного состава. Метод испытаний на циклическую долговечность. – Введ. 02.06.2011 М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.

2. Демидов А.И., Ган Э.А. Исследование напряжений в витках винтовых пружин / Демидов А.И., Ган Э.А. // Конструирование и технология изготовления пружин / Межвузовский сборник научных трудов. – Устинов, УМИ, 1986. С. 39-48.

3. Остроумов В.П. Производство винтовых цилиндрических пружин. – М.: Машиностроение, 1970. 136 с.

4. Рогожкина А.Е., Романов В.И. Прочность железнодорожных пружин / Рогожкина А.Е., Романов В.И. // Конструирование и технология изготовления

пружин / Межвузовский сборник научных трудов. – Устинов, УМИ, 1986. С. 156-170.

5. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. – М.: Машиностроение, 1980. 326 с.

6. Шаврин О.И., Домнин А.К. К вопросу об эффективности обработки дробью винтовых пружин сжатия / Шаврин О.И., Домнин А.К. // Вестник Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова №1, 2013. С. 27–29.

УДК 620.17; 621.791

# КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ СВАРКОЙ

Ф.И. Пантелеенко, член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., профессор А.С. Снарский, к.т.н., доцент Белорусский национальный технический университет (г.Минск, Республика Беларусь) Тел. +375-29-604-52-57. Е-mail: <u>51 zona@mail.ru</u>

В статье рассматриваются научные основы и технологические принципы оригинальной методики контроля ответственных металлоконструкций, полученных сваркой. Изложены общие методологические принципы контроля и рекомендуемые основные методы именно неразрушающего контроля: магнитный (по коэрцитивной силе), дюрометрический и металлографический. Также рассматриваются возможности применения предлагаемой методики для различных конструкций: сосуды, работающие под давлением; теплоэнергетическое оборудование; грузоподъемные краны и механизмы.

The article discusses the scientific basis and technological principles of the original methods of control of critical metal produced by welding. Outlines the general methodological principles of control and recommended basic methods of nondestructive testing is: magnetic (on the coercive force), dyurometric and metallographic. It also discusses the possibility of applying the proposed method for different designs: vessels working under pressure, heat power equipment, hoisting cranes and machinery.

Проблема объективного определения фактического технического состояния, а, следовательно, надежности и безопасности различного ответственного оборудования и металлоконструкций с каждым годом становится все более актуальной. Особую остроту данной проблеме придает процессы деградации и старения металла, связанные с длительной эксплуатацией целого ряда ответственного оборудования и металлоконструкций. Опыт эксплуатации магистральных трубопроводов; оборудования и конструкций технологических установок нефтеперерабатывающей, нефтехимической, пищевой и химической промышленности; грузоподъемных кранов и механизмов показывает, что разработка новых максимально объективных методов и методик оценки состояния оборудования и металлоконструкций является весьма востребованной задачей практически во всех отраслях промышленности и строительства [1].

Следует констатировать, что наряду с имеющимися положительными сторонами известных подходов к диагностике различных металлических объектов (в т.ч. сварных) они имеют и ряд недостатков. Так, например, в большинстве нормативной документации по указанным выше объектам недостаточно уделяется внимания вопросам оценки фактического уровня механических свойств, степени деградации структуры, а также уровня напряженно-деформированного состояния металла объектов, находящихся в эксплуатации. При этом вопрос рассматривается, как правило, с позиции:

- обязательного определения твердости металла и возможности отбраковки по твердости;

- вырезки металла из конструкции (где это возможно) и определении механических свойств на образцах из вырезки и отбраковки по полученным данным;

-применения расчетных методик, практически без использования объективной информации о фактических механических свойствах металла на момент диагностирования.

Следует отметить также непригодность традиционных методов неразрушающего контроля к выявлению дефектов на раннем этапе их развития. Все большее количество специалистов начинают понимать, что более опасным во многих случаях (особенно на стареющем оборудовании) является «преддефектное» состояние металла, когда на уровне структуры произошли необратимые изменения, и повреждение может произойти внезапно и, как правило, в тех зонах, где оно не ожидается.

В связи со всем вышесказанным в статье представлены обобщенные результаты многолетних исследований в области диагностики различных металлических конструкций, в первую очередь, полученных сваркой, через призму разработки эффективной комплексной методики их контроля.

Авторами сформулированы основные принципы, которые должны лежать в основе разрабатываемой методики контроля состояния ответственных металло-конструкций [1]:

- принцип максимальной объективности (заключение о состоянии конструкции должно основываться на однозначных результатах обработки экспериментальных данных, полученных взаимодействием приборов с диагностируемой конструкцией);

- принцип неразрушаемости конструкции (разрабатываемая методика должна включать в себя только неразрушающие методы контроля);

- принцип универсальности (разрабатываемая методика должна иметь воз-

можность без адаптации или при минимальной адаптации применяться для диагностики практически любых стальных металлоконструкций);

- принцип комплексности (в разрабатываемой методике обязательно должны использоваться несколько методов неразрушающего контроля);

- принцип «наиболее слабого места» (решение о допуске конструкции к эксплуатации должно приниматься только после получения удовлетворительных замеренных значений характеристик в наиболее «слабом» месте конструкции, выявленном экспериментально).

При этом в качестве параметров, определяющих техническое состояние конструкции, при разработке указанной методики предлагается использовать следующие: показатели механических свойств металла, качественные и количественные показатели микроструктуры металла, а также его физические характеристики (в рассматриваемом случае коэрцитивную силу).

Проведенные авторами расследования причин повреждений, разрушений и аварий на ряде абсолютно различных металлических конструкций показали эффективность применения трех дополнительных методов контроля, полностью отвечающих приведенным выше требованиям и, поэтому, рекомендуемых для включения в разрабатываемую комплексную методику.

1-й метод – магнитный (коэрцитиметрический) - основан на возможности определения фактического уровня напряженно-деформированного состояния металла по значению коэрцитивной силы[2]. Для ряда широко применяемых конструкционных сталей установлены максимально допустимые значения коэрцитивной силы, соответствующие пределу текучести конкретного материала. Таким образом, если фактическое значение, определенное на конструкции, превышает указанные значение, то эксплуатация конструкции запрещается, по уровню внутренних напряжений, превышающих предел текучести, что, естественно, не допустимо.

2-й метод – дюрометрический (метод косвенного определения механических свойств материала). Указанный метод основан на возможности определения основных характеристик механических свойств по параметрам пирамидального отпечатка на поверхности материала после определения твердости по Виккерсу [3–5].

Расчетные уравнения:

- предел прочности :  $\sigma_e = HV \cdot (0,285 + 0,057 \cdot k \cdot S), M\Pi a;$ 

- относительное удлинение:  $\delta_5 = D \cdot k \cdot (9,38 + 24,43 \cdot k \cdot S), \%;$ 

- относительное сужение:  $\psi = 16, 4 + 80 \cdot k \cdot S, \%;$ 

- ударная вязкость:  $KCU = \gamma \cdot \frac{\psi}{1 - \psi}, M \square \mathcal{H} / m^2;$ 

где *HV* – твердость по Виккерсу; *D* – диагональ отпечатка, мм; *S* – ширина отпечатка, мм; *k* – коэффициент кратности, зависящий от нагрузки на пирами-

дальный индентор ( так для применяемой нагрузки на индентор в 50 H (для большинства переносных твердомеров) он соответствует 4,472) [4];  $\gamma$  – коэффициент, зависящий от уровня механических свойств материала (при относительном удлинении  $\psi > 80$ ;  $60 < \psi \le 80$ ;  $40 < \psi \le 60$ ;  $20 < \psi \le 40$ ;  $\psi \le 20$  коэффициент  $\gamma$  соответственно равен 0,61; 0,76; 0,83; 1,19; 1,66) [5]. При этом в эмпирической формуле определения ударной вязкости подставляются значения относительного удлинения в условных единицах: 80% соответствует 0,8; 60% – 0,6 и т.п.

За счет применения переносных твердомеров указанные характеристики можно определить практически в любой точке диагностируемой конструкции (в т.ч. по сварных соединениям и их участкам).

3-й метод – металлографический (метод полевой металлографии). Метод основан на возможности контроля особенностей и аномалий структуры, а также возможности косвенного определения механических свойств непосредственно на конструкции за счет применения переносных микроскопов[6].

Полученные методологические подходы были использованы при выполнении ряда работ по расследованию причин трещинообразования и разрушений на ряде ответственных конструкций (автомобильных и железнодорожных цистернах, сварных баллонах различной конструкции, магистральных трубопроводах, крановых конструкциях), в том числе и по заказу Госпромнадзора МЧС Республики Беларусь и доказали свою эффективность[1].

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеенко Ф.И., Снарский А.С. Методология оценки состояния материала ответственных металлоконструкций: монография. Минск: БНТУ, 2010. 196 с.

2. Безлюдько Г.Я., Мужицкий В.Ф., Попов Б.Е. Магнитный контроль (по коэрцитивной силе) напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций // Заводская лаборатория. Диагностика металлов. 1999. т. 65. №9. С.53-57.

3. Снарский А.С., Крыленко А.В. Определение физико-механических характеристик материала методом неразрушающего контроля // Вестник Полоцкого государственного университета. 2005. № 10. С. 133–137.

4. Киселев Ю.А. Зависимость между твердостью по Виккерсу и пределом прочности при разрыве // Заводская лаборатория.1968. т. 34. № 5. С. 596–597.

5. Хлопотов О.Д. Связь между ударной вязкостью и другими механическими характеристиками // Проблемы прочности. 1971. № 9. С. 34 – 38.

6. Назарова Н.М. Исследование механизмов релаксации внутренних напряжений в стенке резервуара и их влияния на развитие процессов разрушения: автореф. канд. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2000. 24 с.

# МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЩЕГО УРОВНЯ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ.

# А.Р.Миндиярова, студент гр. КТм-121 Кузбасский государственный технический ун-тет Прокопьевск, тел. 8 908 944 42 51, E-mail: anastasiyamindiyarova@mail.ru

Составлена структурная модель формирования общего уровня вибрации. На основе проведения энтропийного анализа экспериментальных данных выявлены закономерности накопления и трансформации свойств поверхностного слоя. Установлена степень влияния исследуемых параметров на общий уровень вибрации подшипников.

Was compiled a structural model of the formation of the overall level of vibration. On the basis of entropy analysis of experimental data, revealed patterns of accumulation and transformation properties of the surface layer. The degree of influence of investigated parameters on the overall level of vibration of bearings.

Одной из основных задач машиностроения является снижение уровня вибрации и шума подшипников качения. Главным направлением решения этой задачи является совершенствование технологии изготовления подшипников. Установлено, что изготовление деталей из одного и того же материала, но по различной технологии и с разными режимами обработки приводит к резкому изменению физико-механических свойств поверхностного слоя, при этом долговечность таких деталей различна. Это происходит по причине технологической наследственности.

Технологическая наследственность – это явление переноса свойств изготовляемых изделий (деталей) от предшествующих технологических процессов (операций) к последующим и их частичное или полное сохранение.

В процессе исследования была сформирована структурная модель формирования общего уровня вибрации подшипников качения (рис.1).

Установлено, что основными источниками вибрации являются погрешности микрогеометрии колец и шариков.

Так как на свойства готового изделия наиболее существенное влияние оказывают финишные операции, для уточнения их роли на формирование общего уровня вибрации и свойств поверхностного слоя, были сформированы две группы колец, которые отличаются режимами резания на желобошлифовальной опе-



Рис.1 Факторы, влияющие на формирование общего уровня вибрации подшипников качения

рации.

Для установления зависимости между выбранными режимами обработки и выходными параметрами подшипников, в условиях завода ЗАО «Автосельхозснаб» были проведены экспериментальные исследования.

Исследовались закономерности формирования поверхностного слоя наружных и внутренних колец подшипников с учетом технологического наследования, на примере подшипника 310А (изготавливаемого из стали ШХ15 ГОСТ 801-78), исходя из структурной модели (рис.2).

По ходу технологического процесса кольца изымались и подвергались исследованиям.

Контролировались геометрические параметры колец, такие как ширина кольца, разностенность по борту, диаметр дорожки качения, наружный и внутренний диаметр колец, шероховатость и др. Также по ходу технологического процесса изымались кольца для получения образцов (соответствующих ГОСТ 2999-75) с целью измерения микротвердости и исследования структуры стали.

Испытание твердости проводилось на микротвердомере DuraScan 20, производящим измерение по методу Виккерса - наиболее точному и универсальному методу измерения твёрдости.

Были подготовлены образцы, соответствующие ГОСТ 2999-75 и сформирована схема опыта, представленная на рис.3. Обеспечивалось расстояние между центром отпечатка, краем образца и краем соседнего отпечатка не менее 2,5 длины диагоналей отпечатка, чтобы пластическая деформация от внедрения индентора не повлияла на формирование соседних отпечатков. С целью получения объективного результата измерений и подтверждения того, что кольцо прокалилось насквозь, производим серийное измерение микротвердости каждого образца в 25 точках, по пять точек в каждой полосе, удаляющихся от дорожки качения вглубь кольца.



Рис.2 Структурная модель формирования качества поверхностного слоя дорожек качения



Рис.3 Расположение исследуемых точек на образце при измерении микротвердости

Исходя из условий метода микротвердости (нагружение менее HV0,2) и

визуального удобства, была выбрана программу нагружения HV0,1, которая обеспечивает оптимальную глубину внедрения индентора в поверхностный слой образца. Полученные данные заносились в Excel и обрабатывались.

В результате экспериментов были получены графики, показывающие изменение величины микротвердости по точкам на исследуемой полосе. Пример графиков представлен на рис.3, рис.4. Из рисунков видно, что значения микротвердости не зависят от положения полосы, что доказывает равномерную прокаливаемость колец на всю глубину.



Рис.4 Образец до ТО

На рис.4 наблюдается колебание значений микротвердости относительно средней её величины по образцу равной 194 единицам, что входит в регламентируемый интервал (ГОСТ 801-78).

На рис.5 наблюдается колебание значений микротвердости относительно средней её величины по образцу равной 802 единицам, что входит в регламентируемый интервал (ГОСТ 801-78).



Рис.5 Образец после ТО

Для выявления причины колебания была исследована структура образцов в местах отпечатков индентора (рис.6).



Структура в точке 1 и 3 образца до ТО. Увеличение ×1000



Структура в точке 3 и 4 образца после ТО. Увеличение ×1000 Рис.6 структура образцов в местах отпечатков индентора

Анализ изображений показал, что различие между микротвердостью отпечатков вызвано незначительной неоднородностью структуры (мелкозернистый перлит, балл 3 для образца до ТО и отпущенный мелкоигольчатый мартенсит с равномерно распределенными карбидами для образца после ТО).

В результате исследования было установлено, что структура материала относительно однородна, так как нет значительных колебаний («скачков») микротвердости. Следовательно, существенного влияния на формирование ОУВ не оказывается.

Наружные и внутренние кольца, прошедшие весь технологический процесс, были собраны в готовые подшипники. Их сборка осуществлялась компоновкой колец как из разных, так и из одинаковых групп, отличающихся режимами желобошлифовальной операции. Таким образом, было получено четыре группы подшипников. На всех из них были замерены: величина зазора, торцевое биение колец, радиальное биение, общий уровень вибрации в разных частотных диапазонах. Общий уровень вибрации всех подшипников на всех частотных диапазонах не превысил допустимые 92дБ.

Многочисленные результаты исследований систематизируются и будут подвергнуты анализу для уточнения влияния каждого параметра на выходные характеристики подшипников качения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твердость и микротвердость металлов/ В.К. Григорович. – М.: Изд-во Наука, 1976. – 229 с.: ил.

2. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве/ А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др.; Под ред. А.М. Дальского. – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 364 с.: ил.

3. ГОСТ 801-78. Сталь подшипниковая. Технические условия.

4. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Виккерсу.

УДК 621.787: 621.9

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБРАЗЦАХ ПОСЛЕ ИЗГИБА МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

М.С. Махалов, к.т.н.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-76, факс +7(3842) 58-30-73. E-mail: maxim\_ste@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований определения остаточных напряжений (OH) в стержневых образцах после 3-х точечного изгиба методами магнитошумового анализа и измерения коэрцитивной силы. Получены взаимосвязи между величиной изменения магнитных характеристик, измеряемых магнитными методами неразрушающего контроля, и величиной осевых OH в стержневых образцах.

The experimental researches results of residual stresses (RS) definition in rod samples after 3 dot bends by magnetic-noise analysis and coercitive force measurement methods is proved as being topical. The interrelations between size of the non-destructive test magnetic characteristics change and rod samples axial RS size are detected.

Известно, что остаточные напряжения (OH) являются одним из ключевых параметров качества поверхностного слоя (ПС) ответственных деталей машин при различных видах знакопеременных эксплуатационных нагрузок. При этом важную роль играет как величина, так и характер распределения OH по глубине

ПС.

На сегодняшний день одной из актуальных проблем в этой области является сложность экспериментального определения знака, величины и распределения компонент тензора ОН по глубине деформированного ПС, что в свою очередь затрудняет и сдерживает развитие теории.

К настоящему времени известно и используется значительное число методик экспериментального определения ОН, большая часть которых основана послойном удалении ПС металла детали и измерении остаточных деформаций с последующим расчетом величины ОН. Большинство известных методик имеет ряд недостатков, главными из которых являются трудоемкость, относительно невысокая точность и невозможность оперативного определения ОН.

Эффективное решение этой проблемы возможно за счет развития существующих физических методов неразрушающего контроля (НК) и их адаптации к задачам оперативного определения знака, величины и распределения составляющих компонент ОН по глубине ПС контролируемой детали.

В то же время современные методы НК, к которым относятся метод определения структурного и напряженно-деформированного состояния на основе измерения коэрцитивной силы и метод магнитно-шумового анализа основанный на эффекте Баркгаузена (смещении доменных границ кристаллической решетки под воздействием изменяющегося магнитного поля), недостаточно адаптированы для практического определения компонент ОН.

С целью выявления взаимосвязей величины ОН с характеристиками, измеряемыми магнитными методами НК, проводились экспериментальные исследования по нагружению стержневых образцов квадратного сечения 3-х точечным изгибом с различной величиной прогиба на универсальной электромеханической испытательной машине Instron 3369 (НГТУ, г. Новосибирск).

При этом были приняты следующие допущения:

1. В расчетах использовалась билинейная аппроксимация кривой течения, учитывающая упрочнение металла (рис. 1). Для такого описания необходимо знать три параметра: модуль Юнга E, характеризующий угол наклона упругого участка  $\alpha$ ; экстраполированный предел текучести  $\sigma_{3m}$ , соответствующий отрезку на оси напряжений, определяемому продолжением участка пластического течения; тангенциальный модуль  $T_{mod}$ , характеризующий угол наклона участка пластического течения  $\beta$ .

2. Исследованию подвергался осевой компонент напряжений и деформаций.

3. Температурные деформации отсутствовали и формирование ОН происходило только от механического нагружения образцов.

4. Для упрощения расчетов не учитывался эффект Баушингера.

5. Пластические деформации и напряжения локализованы в центральной части образца, т.е. в зоне приложения изгибающей нагрузки.

Образцы представляли собой стержни размером 150×10×10 мм, изготовленные из отожженной стали 45 ГОСТ 1050-88 (160-180 HV) одной поставки, выбор которой обусловлен, с одной стороны - большим количеством имеющихся результатов, что позволило сопоставлять полученные результаты с результатами других исследователей, а с другой - высокой распространенностью стали в различных отраслях машиностроения.

Исходя из условий нагружения, наибольшие значения ОН имел осевой компонент, который в дальнейшем и являлся предметом исследования.

Режимы пластической деформации образцов выбирались таким образом, чтобы не происходило достижения предельных деформаций и разрушения.

Образец длиной 150 мм симметрично располагался на опорах, расстояние между которыми составило 100 мм. Запас по длине образца необходим для того, чтобы он сохранял устойчивость на опорах при значительных значениях прогиба.

Варьируемым параметром эксперимента была выбрана величина фактического прогиба образца *y*, которая фиксировалась на равном расстоянии от каждой опоры образца (рис. 2). В качестве параметра, измеряемого в процессе нагружения, была выбрана величина изгибающей нагрузки *P*.

Несколько образцов из серии не подвергались деформации (образцысвидетели). Часть образцов подвергалась деформации в пределах упругости: теоретически величина ОН в таких образцах должна быть нулевой. Остальные образцы нагружалась изгибом выше предела текучести металла с формированием в них ОН. Несколько тестовых образцов нагружались до предельных пластических деформаций с целью построения фактической кривой течения материала для испытуемой серии образцов и настройки испытательной машины.



Рис. 1. Билинейная аппроксимация кривой течения





Максимальный изгибающий момент в центре образца:

$$M_x = \frac{P \cdot l}{4},\tag{1}$$

где *P* – изгибающее усилие, *l* - расстояние между опорами.

Момент сопротивления сечения образца:

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6},\tag{2}$$

где b – ширина образца, h - высота образца.

Максимальные осевые напряжения поверхностных волокон образца:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{1.5P \cdot l}{b \cdot h^2}.$$
(3)

Для рассматриваемых условий нагружения, с учетом размерностей составляющих величин, указанная величина составляет:

$$\sigma_x(M\Pi a) = 0,15 \cdot P(H) \,. \tag{4}$$

Связь величины прогиба с величиной максимальной относительной деформации поверхностных волокон образца иллюстрируется принятой схемой изгиба образца (рис. 3).

При проведении расчетов было принято, что максимальные пластические деформации локализуются в центральной части образца в зоне приложения изгибающей нагрузки. Длина средней линии *ABC* при нагружении не изменяется, деформация по ней отсутствует, тогда сумма отрезков *AB* и *BC* равна расстоянию между опорами.

Нижняя сторона образца подвергается растягивающей нагрузке, под действием которой удлиняется на величину длины дуги  $B_1'B_2'(AB = A'B_1' = l/2, BC = B_2'C' = l/2)$ .

Таким образом, величина максимальной относительной деформации поверхностных волокон составляет:

$$\sigma_{x} = \frac{B_{1}'B_{2}'}{AB + BC} = \frac{B_{1}'B_{2}'}{l}.$$
 (5)

Длина дуги окружности  $B_1'B_2'$  с центром в точке B и радиусом  $BB_1' = BB_2'$ = h/2 определяется углом изгиба . Тогда:

$$B_1'B_2' = \frac{2\cdot\left(\frac{\alpha}{2}\right)\cdot\pi\cdot 2\cdot\left(\frac{h}{2}\right)}{360^0} = \frac{\alpha\cdot\pi\cdot h}{360^0}.$$
 (6)

Поскольку:

$$\frac{\alpha}{2} = \arcsin\left(\frac{2 \cdot y}{l}\right),\tag{7}$$

$$\varepsilon_{x} = \frac{\alpha \cdot \pi \cdot h}{l \cdot 360^{\circ}} = \frac{2 \cdot \arcsin\left(\frac{2 \cdot y}{l}\right) \cdot \pi \cdot h}{l \cdot 360^{\circ}} = \frac{\arcsin\left(\frac{2 \cdot y}{l}\right) \cdot \pi \cdot h}{l \cdot 180^{\circ}}.$$
(8)

Для рассматриваемых условий нагружения, с учетом размерностей составляющих величин, величина максимальной относительной деформации поверхностных волокон составляет:

$$\varepsilon_x = \frac{\arcsin\left(\frac{y(\mathcal{M}\mathcal{M})}{50}\right) \cdot \pi}{10 \cdot 180^0}.$$
(9)

Взаимосвязь максимальных осевых напряжений в поверхностных волокнах образца с их максимальной относительной деформацией определяется кривой течения и составляет:

$$\sigma_{x} = \sigma_{_{\mathcal{B}m}} + \mathrm{tg}\beta \cdot \varepsilon_{_{\mathrm{X}}}.$$
 (10)

Алгоритм расчета значений осевых остаточных напряжений следующий. Согласно теореме о разгрузке тензор ОН представляет собой разность напряжений, возникающих в реальном упругопластическом теле при приложении нагрузки  $\sigma_{\partial e\phi}$ , и напряжений, которые возникали бы в идеально упругом теле при идентичном нагружении  $\sigma_{nax}$  [1-2]:

$$\sigma_{ocm} = \sigma_{\partial e\phi} + \sigma_{pas}. \tag{11}$$

Первое слагаемое определяется в каждой точке по сечению образца высотой h (рис. 3) по формуле 10 в зависимости от параметров кривой течения металла и величины относительной деформации в каждой точке сечения.

Если материал образца был бы идеально упругим, то при том же значении изгибающего момента распределение напряжений по сечению соответствовало бы линейному закону [1]:

$$\sigma_{pa3} = \frac{12M}{bh^3} \cdot y, \qquad (12)$$

где **у** – координата рассматриваемой точки по сечению высотой *h*, равная нулю в

точке средней линии образца и равная h/2 и -h/2 соответственно в крайних волокнах образца.



Рис. 3. Схема изгиба образца

Наибольшие напряжения в крайних волокнах образца составили [1]:

$$\sigma_{pa3\max} = \frac{6M}{bh^2}.$$
 (13)

На рис. 4 приведен пример эпюр осевых напряжений, возникающих при нагружении образца квадратного сечения и последующего снятия нагрузки. На поверхности, которая при изгибе подвергается сжатию, имеют место растягивающие ОН и наоборот.

Измерения коэрцитивной силы (КС) до и после нагружения образцов осуществлялись в осевом направлении по двум поверхностям образца – поверхности растяжения и поверхности сжатия (рис. 5, а). Использовался магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М, оснащенный стандартным датчиком. Центральная часть датчика прибора при измерении совмещалась с центральной частью образца. Повторность измерений по каждой поверхности составила не менее 3 измерений (итого не менее 6 измерений для каждого образца).

Измерения интенсивности магнитного шума (ИМШ) до и после нагружения образцов осуществлялись в осевом и поперечном направлениях по двум поверхностям в центральной части образца – поверхности растяжения и поверхности сжатия (рис. 5, б). Использовался анализатор напряжений и структуры материалов на основе использования магнитошумового эффекта Баркгаузена IntroScan, оснащенный стандартным датчиком. Измерение ИМШ для каждого образца до и после нагружения осуществлялась при различных частотах возбуждения – 30, 60 и 120 Гц, задаваемых в настройках прибора. Повторность измерений по каждой поверхности в выбранном направлении составила не менее 3 измерений (итого не менее 12 измерений для каждого образца).



Рис. 4. Эпюра осевых напряжений по сечению образца 1 – упруго-пластические напряжения, возникающие в сечении стержня при нагружении; 2 – напряжения, возникающие в идеально-упругом стержне при идентичном нагружении; 3 – остаточные напряжения



Анализ показал, что ИМШ чувствительна к знаку ОН: при формировании растягивающих напряжений происходит увеличение значений ИМШ, в то время как при возникновении сжимающих – уменьшение (рис. 6-7). Это соответствует данным, полученным ранее другими авторами [3].

Установлено, что изменение ИМШ для одинаковых по величине ОН разного знака неодинаково – при возникновении сжимающих ОН такое изменение несколько более интенсивно.

Наиболее тесную взаимосвязь при наименьшем разбросе экспериментальных данных имеет изменение ИМШ, измеренное в продольном направлении образцов при различных частотах возбуждения. В рассматриваемом случае направление действия ОН и измерения ИМШ совпадает.

Выявлено, что в области растягивающих ОН изменение ИМШ при различных частотах возбуждения происходит практически одинаково. В то же время, в области сжимающих ОН изменение ИМШ с увеличением частоты возбуждения становится более интенсивным.

Взаимосвязь изменения ИМШ, измеренного в поперечном направлении образцов при различных частотах возбуждения с величиной осевых ОН имеет несколько больший разброс экспериментальных данных, что, по всей видимости, вызвано тем, что направление действия ОН не совпадает (перпендикулярно) с направлением измерения ИМШ. Вместе с тем, такая взаимосвязь обнаруживает аналогичный характер изменения.

Установлено, что КС нечувствительна к знаку и реагирует лишь величину ОН металла. Взаимосвязь КС с величиной ОН описана параболой, с увеличением абсолютного значения остаточных напряжений измеренная величина КС увеличивается.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И. А. Остаточные напряжения / И. А. Биргер. - М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. - 232 с.: ил.

2. Овсеенко А. Н. Формирование состояния поверхностного слоя деталей машин технологическими методами / А. Н. Овсеенко, М. М. Gajek, В. И. Серебряков. – Opole: Politechnika Opolska, 2001. – 228 с.

3. Паньковский Ю. П. Аппаратная реализация некоторых магнитных методов неразрушающего контроля / Ю.П. Паньковский // Мир измерений. – 2005. - №5. - с. 9-12.

## ОЦЕНКА ИСЧЕРПАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛА НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА УПРОЧНЕННЫХ ППД ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В. Ю. Блюменштейн, д. т. н. Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева Кемерово, тел. +7(3842)58-30-73, E-mail: <u>Blumenstein@rambler.ru</u>

Представлены результаты решения задач механики технологического наследования на стадии поверхностного пластического деформирования. Получены модели, описывающие зависимость степени исчерпания запаса пластичности металла от накопленной деформации по стадиям нагружения.

The findings arising from solving the problems of technological inheritance mechanics at the stage of surface plastic deformation are displayed. The models describing the dependence of the degree of metal plasticity reserve depletion on the accumulated deformation according to a loading stage have been obtained.

В рамках разработанной автором механики технологического наследования (TH) выполнено моделирование и проведены экспериментальные исследования накопления деформации  $\Lambda$  и исчерпания запаса пластичности  $\Psi$  металлом поверхностного слоя на стадиях резания, поверхностного пластического деформирования (ППД) и последующего усталостного нагружения деталей машин[1].

Расчеты механического состояния и оценка влияния истории нагружения на ППД выполнялись методом конечно-элементного моделирования в следующей постановке.

Образцы из стали 45 (ГОСТ 1050-88, **HV** 160 ... 180), Ø36<sub>-0,5</sub> мм подвергались термической обработке, после чего проводилась обработка резанием в несколько рабочих ходов с уменьшающимся припуском с целью удаления упрочненного слоя. Механическую обработку осуществляли с применением СОЖ по следующему режиму: S = 0,1 мм/об, n = 630 об/мин; геометрия резца  $Y = 30^{\circ}$ ;  $\varphi = 45^{\circ}$ ;  $\varphi_1 = 45^{\circ}$ , материал режущей части – T15K6.

Далее поверхность образцов последовательно обкатывали в три рабочих хода по неизменяемому режиму (таблица1).

Обкатывание на первом рабочем ходу осуществлялось почти на полную длину шейки образца с фиксацией очага деформации. Вторым рабочим ходом проводили обкатывание уже обработанной поверхности до получения стационарного очага деформации и его фиксацией. Затем проводили обкатывание этой же поверхности третьим рабочим ходом и так далее, вплоть до полного разрушения поверхностного слоя и появления следов «шелушения». Разрушение металла поверхностного слоя произошло после 3 рабочего хода ролика; начало разрушения означало полное исчерпание запаса пластичности металлом поверхностного слоя детали.

Таблица 1

Номер	Режим обработки						
образца	Рабо-	Диа-	Пода-	Часто-	Про-	Сила	
	чий	метр	ча,	та, <b>п</b> ,	филь-	обкат	
	ход	роли-	S,	об/мин	ный	ывани	
		ка,	мм/об		радиус	я, <b>Р</b> ,	
		D <sub>D</sub>			роли-	ĸН	
		MM			ка,		
					, MM		
901.1	1						
901.2	2	95	0,21	630	2,5	2,5	
901.3	3						

План обкатывания образцов за три рабочих хода

После обработки каждым рабочим ходом производилась запись профилограмм и измерение параметров очагов деформации, шероховатости поверхности, твердости, микротвердости и оценка упрочнения по твердости, которые наряду с механическими свойствами металла служили исходными данными при формировании начальных и граничных условий задач механики технологического наследования.

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов предполагал, что:

1) коэффициент трения неизменен и составляет f = 0,21;

2) перед первым рабочим ходом материал не упрочнен и его свойства соответствуют исходным. Перед каждым новым рабочим ходом проводилось моделирование упрочнения после предшествующего рабочего хода, которое задавали по результатам измерения твердости и микротвердости, и использования взаимосвязи между твердостью и интенсивностью напряжений и деформаций;

3) параметры механического состояния упрочненного поверхностного слоя после первого рабочего хода служили начальными условиями при решении задач механики при нагружении вторым рабочим ходом;

4) третье нагружение (обкатывание третьим рабочим ходом) предполагало использование параметров механического состояния, достигнутых после второго рабочего хода и т.д., вплоть до полного исчерпания запаса пластичности металлом поверхностного слоя. Проводилось построение программ нагружения и

оценка роли истории нагружения в исчерпании запаса пластичности;

5) упрочнение после предшествующего рабочего хода принимали соответствующим распределению степени деформации по глубине поверхностного слоя.

В таблице 2 приведены некоторые данные, требующиеся для выполнения этих расчетов. Значение предела текучести при сдвиге определялось по распределению твердости/микротвердости после предшествующего рабочего хода деформирующего инструмента.

Таблица 2

Механические параметры упрочненного поверхностного слоя

Номер	Исходная	Твердость	Предел те-
хода	твердость	по Вик-	кучести
	по Вик-	керсу по-	при сдви-
	керсу,	верхности	ге, <b>К</b> ,
	HV <sub>uex</sub>	$HV_n$	$H/MM^2$
1	170	195	200
2		206	329
3		226	409,7

Таким образом, за три рабочих хода (стадии нагружения) накоплены предельные деформации и произошло полное исчерпание запаса пластичности металлом поверхностного слоя до уровня  $\Psi = 1$  (таблица 3).

Исчерпанный  $\Psi$  иостаточный запас пластичности могут быть представлены в виде графической модели по стадиям нагружения при ППД (рисунок1), а зависимость  $\Psi = \Psi \omega$ имеет общий характер для данного структурного состояния материала (рис. 2).

Таблица 3

Итоговые значения степени исчерпания запаса пластичности по стадиям нагружения

Номер	Прирост сте-	Исчерпание запаса пластичности Ψ		
стадии	пени дефор-	на стадии		
	мации сдвига	согласно расчету	по модели(1)	
	∧ на стадии			
1	0,715	0,432	0,580	
2	0,16	0,281	0,212	
3	0,164	0,281	0,208	
Сумма	1,04	0,994	1,000	



Рис.1. Распределение степени исчерпанного иостаточного запаса пластичности металла по стадиям нагружения



Рис. 2. Наследственная модель исчерпания запаса пластичности металла с учетом залечивания дефектов по стадиям нагружения при ППД

Функция степени исчерпания запаса пластичности описана выражением: **ч(л) – 1,064***exp* **( 2(л 1,27)<sup>2</sup>).** (1) Результаты были представлены в виде 3-D диаграммы (рис. 3). Здесь на горизонтальной плоскости отложены степень деформации сдвига ∧ и показатель схемы напряженного состояния , в категориях которых описываются программы нагружения, а по вертикали – степень исчерпания запаса пластичности .



Рис. 3. 3-D модель исчерпания запаса пластичности: 1-3 – стадии нагружения

Таким образом, показано исчерпание запаса пластичности в категориях наследственных программ нагружения в виде  $\Psi - \Psi$  (M).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн, В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

УДК 621.787:621.91

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УПРОЧНЯЮЩЕ-ЧИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ

В.П. Гилета, к.т.н., В.Б. Асанов, к.т.н., А.И. Безнедельный, к.т.н. Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, +7(383) 346-11-88, e-mail: tms-ngtu@mail.ru

Предложены технологические рекомендации по выбору режимов ультразвуковой уп-

рочняюще-чистовой обработки в зависимости от материала обрабатываемой детали, химикотермической обработки, вида покрытия.

Technological advice on the choice of ultrasonic plastic deformation modes proposed depending on the material of the workpiece thermochemical surface treatment and coating.

Упрочняюще-чистовая обработка инструментом, колеблющимся с ультразвуковой частотой (УЗО), предложенная И.И. Мухановым [1], продолжает совершенствоваться и развиваться, как в теоретическом, так и практическом плане и по сегодняшний день. Исследованиями многих авторов [2-8] показано, что УЗО по сравнению с другими способами поверхностного пластического деформирования (алмазное выглаживание, обкатывание и т.д.) формирует специфическое качество поверхностного слоя, что позволяет значительно повышать эксплуатационные характеристики деталей, работающих в различных условиях. Сдерживающим фактором для широкого внедрения этого способа в промышленность является отсутствие технологических рекомендаций для различных материалов в сыром и закаленном состоянии, в том числе с химико-термической обработкой и покрытиями.

В настоящей статье сделана попытка выработать технологические рекомендации по применению УЗО на основании исследований, в том числе и собственных, а также опыта внедрения этого способа в промышленность.

Анализ показал, что все материалы, подвергаемые УЗО целесообразно разделить на четыре группы в зависимости от микротвердости поверхности, как одной из основных характеристик физико-механического состояния поверхностного слоя. К первой группе следует отнести материалы с микротвердостью 1000...3000 МПа; ко второй – 3000...6000 МПа; к третьей – 6000...9000 МПа; к четвертой – 9000...12000 МПа.

В первую группу попадают такие материалы как технически чистое железо, низко и среднеуглеродистые сырые стали, титановые сплавы низкой прочности, медь, алюминиевые сплавы, бронза. Для материалов этой группы характерна повышенная пластичность, которая не позволяет использовать большие статические нагрузки на инструмент Р<sub>ст</sub> (до 60 Н) и ограничивает диапазон скоростей обработки V (20...80 м/мин). Помимо этого, для титановых, коррозионно-стойких и других сплавов этой группы характерна склонность к схватыванию, поэтому при обработке этих материалов необходимо уменьшать адгезионную составляющую сил взаимодействия и время контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. Первое достигается подбором материалов деформаторов, обладающих малой адгезионной способностью при взаимодействии с обрабатываемой поверхностью. Этот выбор может быть осуществлен из следующего перечня материалов: синтетический поликристаллический алмаз, твердый сплав, закаленная сталь, минералокерамика. Время контактирования можно уменьшать за счет применения частот колебаний инструмента 44, 66 кГц и изменения скорости обработки.

Шероховатость поверхности по высотному параметру R<sub>a</sub> после УЗО материалов этой группы может снижаться в 8...10 раз в зависимости от режимов.

Материалы второй группы, к которым отнесены конструкционные стали, могут обрабатываться в достаточно широком диапазоне режимов ( $P_{ct} = 30...140$  H; V = 20...260 м/мин; f = 18...66 кГц) Назначение режимов, формы и материала индентора определяются требованиями к качеству поверхностного слоя обрабатываемых деталей, их конструктивными особенностями и возможностями используемого оборудования. Для этой группы возможно использование инденторов, изготовленных из закаленных сталей, твердых сплавов, синтетических алмазов.

В третью группу обрабатываемых материалов отнесены подшипниковые, инструментальные углеродистые и легированные стали, применяемые при изготовлении деталей машин и инструментов для обработки металлов резанием и давлением. В зависимости от требований обеспечения чистового или упрочняющего эффекта при УЗО этих материалов статическая нагрузка P<sub>ст</sub> может варьироваться от 100 H до 300 H, а скорость обработки V – от 50 до 200 м/мин, при этом может быть использован весь предлагаемый диапазон частот колебаний инструмента. В качестве материала деформатора рекомендуется твердый сплав и синтетический поликристаллический алмаз типа АСПК.

Выбор режимов УЗО для материалов четвертой группы, к которой отнесены твердые сплавы группы ВК и ТК во многом обусловлен разрешением противоречий между производительностью обработки и стойкостью инструмента. Для данной группы материалов рекомендуются статические нагрузки  $P_{ct}$  свыше 160 H и относительно малые скорости обработки V = 10...50 м/мин, частоты колебаний инструмента f = 44, 66 кГц и деформаторы из синтетических поликристаллических алмазов и минералокерамики.

Подача, как один из множества элементов режима УЗО, для получения чистового эффекта рекомендуется варьировать в диапазоне 0,02...0,15 мм/об для всех рассматриваемых в данной работе случаях.

Все приведенные выше технологические рекомендации относятся к однородным материалам по фазовому и структурному состоянию.

В настоящее время упрочняюще-чистовые технологии начинают применяться на деталях, прошедших химико-термическую обработку, а также имеющих покрытия, в том числе износостойкие, антикоррозионные, антифрикционные и др. Обработка УЗО таких деталей потребовала проведения дополнительных исследований по влиянию параметров технологических режимов на характеристики качества поверхностного слоя.

Выбор режимов УЗО деталей с покрытиями, а также деталей, подвергнутых химико-термической обработке, определяется соотношением глубины проникновения деформационного воздействия и толщины покрытия или диффузионного насыщения. Если толщина покрытия или диффузионного насыщения превышает

или соизмерима с глубиной деформационного воздействия, то выбор режимов УЗО производится по вышеприведенным рекомендациям в соответствии с микротвердостью обрабатываемой поверхности.

При обработке тонких слоев, особенно покрытий, необходимо учитывать различия в деформационном поведении обрабатываемого слоя и подложки. Если эти различия имеются, то режимы обработки должны быть такими, чтобы деформационное воздействие не превышало толщину покрытия. Это достигается подбором частоты колебаний инструмента и статического усилия.

Если в деформационном поведении подложки и покрытия нет различий, то рекомендуются режимы УЗО выбирать как и для толстых покрытий.

Пример практической реализации применения вышеприведенных рекомендаций по выбору режимов УЗО деталей с покрытиями приведен ниже. Опыты проводились на деталях из автоматной стали A12 с никелевым покрытием толщиной 15...17 мкм, которое может быть отнесено к тонким, с существенным различием по деформационным характеристикам покрытия и подложки. Исследования показали, что наилучшие результаты получены на режиме: f = 44 кГц,  $P_{ct} = 35$ H, V = 40 м/мин S = 0,12 мм/об, при этом наблюдалось залечивание трещин и пор, отсутствие растрескивания покрытия и формирование регулярного микрорельефа (рис.1).



Рис. 1 Влияние режимов УЗО на морфологическое состояние никелевого покрытия: а – исходное состояние; б –  $P_{ct}$ = 150 H; в –  $P_{ct}$ = 75 H; г – Рст= 35 H (*f* = 44 кГц, 2A = 10 мкм, S = 0,12 мм/об, V = 40 м/мин)

Таким образом, на основании обобщения теоретических, экспериментальных и практических работ показано:

1. Ультразвуковая упрочняюще-чистовая обработка имеет технологические возможности, позволяющие обрабатывать широкий класс материалов и деталей, в том числе имеющих покрытия или подвергнутых химико-термической обработке, что характерно только для этого способа ППД. Это обусловлено наличием большого количества управляемых факторов УЗО (статическая нагрузка, частота и амплитуда колебаний инструмента, скорость и подача, радиус и материал деформатора) и возможностью варьирования ими в широком диапазоне.

2. Все материалы в зависимости от микротвердости разбиты на четыре группы. Для каждой группы даны рекомендации по выбору режимов УЗО.

Выбор режимов УЗО деталей после химико-термической обработки или имеющих покрытие рекомендуется производить с учетом соотношения глубины деформационного воздействия ультразвукового инструмента и толщины покрытия или диффузионного насыщения

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муханов И.И. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка деталей машин ультразвуковым инструментом. М.: Машиностроение, 1978. - 44 с.

2. Марков А.И., Устинов И.Д. Ультразвуковое алмазное выглаживание деталей и режущего инструмента. М.: машиностроение, 1979.- 55 с.

3. Импульсная упрочняюще-чистовая обработка ультразвуковым инструментом (УЗО) беговых дорожек подшипников / Х.М. Рахимянов, В.Б. Асанов, В.П. Гилета [и др.] // Опыт промышленного внедрения ультразвуковой техники и технологии: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. семинара (Новосибирск, 7-9 окт. 1976 г.).-М., 1976.- С. 129-132.

4. Исхакова Г.А. Структура и механические свойства поверхностного слоя WC-Co после алмазной ультразвуковой обработки / Г.А. Исхакова, В.П. Гилета, Х.М. Рахимянов // Сверхтвердые материалы.- 1991.-№5.- С. 54-61.

5. Приходько В.М. Комбинированные технологии поверхностного упрочнения конструкционных сталей с применением ультразвукового воздействия /В.М. Приходько, О.Д. Чудина // Вестник Московского автомобильно-дорожного института.- 2003.-№3.-С. 11-20.

6. Гилета В.П. Обработка шеек коленчатых валов ультразвуковым инструментом / В.П. Гилета, В.Б. Асанов, А.И. Безнедельный // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник науч. тр. по итогам межд. науч.-технич. конф.. Выпуск 7.- Брянск: БГИТА, 2007.-С. 8-12.

7. Гилета В.П. Повышение стойкости вытяжных пуансонов / В.П. Гилета, В.Б. Асанов, А.И. Безнедельный // Обработка металлов (технология, оборудование, инструмент, материаловедение).-2007.-№4 (37).- С. 11-12.

8. Гилета В.П. Технологические возможности поверхностного пластиче-
ского 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.

УДК 621.74:669.14:620.192.7

## ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ БОКОВЫХ РАМ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В.Я. Огневой, к.т.н., Г.А. Околович, д.т.н. Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова Барнаул, тел. 8(3852) 290-963, E-mail: g.ognevaya@mail.ru Б.Г. Коротков, В.И. Левков, В.М. Щербинин ОАО «Алтайвагон»

В статье рассмотрены вопросы повышения надежности и работоспособности литых боковых рам из стали 20ГЛ. Приведены основные виды разрушения рам в процессе эксплуатации. Показаны основные направления исследований для формулирования критериев хрупкого и усталостного разрушения и прогнозирования эксплуатационной стойкости и надежности работы рам.

This article contains information about how to increase the reliability and availability of cast steel side frames 20GL. The main types of RAM are destroyed in the process. Shows the main lines of research to formulate criteria to brittle and fatigue failure and operational forecasting of durability and reliability.

Основными деталями тележек грузовых вагонов, получаемых методами стального литья, являются боковая рама и надрессорная балка. Наибольшим нагрузкам в процессе эксплуатации подвергается боковая рама тележки (рис. 1).



Рис. 1. Боковая рама тележки

Боковая рама отливается из стали 20ГЛ и подвергается дополнительной термической обработке: нормализации или нормализации и высокому отпуску.

Химический состав стали в настоящее время регламентируется ОСТ 32.183-2001 «Тележки двухосные грузовых вагонов колеи 1520мм.

Детали литые. Рама боковая и балка надрессорная» и приведен в таблице 1.

Таблица 1

Массовая доля содержания элементов, %							
С	Si	Mn	S	Р	Cr	Ni	Cu
			Не более				
0,17-	0,30-	1,10-	0.040	0.040	0.20	0.20	0.60
0,25	0,50	1,40	0,040	0,040	0,30	0,30	0,00

#### Химический состав стали 20ГЛ для боковых рам

Сталь выплавляется в электрических или мартеновских печах с основной футеровкой и должна быть раскислена алюминием с массовой долей от 0,020 до 0,060%. Вид и количество других раскислителей (модификаторов), а также способ раскисления (модифицирования) выбирает предприятие изготовитель.

ОСТ 32.183-2001 также определяет допускаемые отклонения от требований к химическому составу, которые составляют: для углерода – минус 0,02 %; для марганца – минус 0,10 %; для кремния -  $\pm$  0,10 %; для хрома – 0,20 %; для никеля – 0,30 %; для серы – 0,005 %; для фосфора – 0,005 %.

При суммарном содержании хрома, никеля и меди более 0,90 % содержание углерода не должно превышать 0,24 %. Суммарное содержание серы и фосфора не должно быть более 0,60 %.

Механические свойства после термической обработки также регламентируются ОСТ 32.183-2001 (таблица 2).

Таблица 2

Предел текуче- сти, <b>о</b> <sub>т.</sub> МПа	Временное сопротив- ление, <b>σ</b> <sub>B</sub> , МПа	Относи- тельное удлинение, <b>б</b> , %	Относи- тельное сужение, Ѱ, %	Ударная вязкость, Дж/см <sup>2</sup> , при температуре 20 °C, -60 °C, -60 °C, КСШ КСШ КСУ				
	не менее							
От 294 до 343	490	20	30	49,0 24,5		16,7		
_								

Механические свойства стали 20ГЛ после термической обработки

Примечания:

1. Определение ударной вязкости на образцах с острым надрезом (КСV) является обязательным, а результаты испытаний не являются браковочным признаком. Испытаниям подвергаются не менее 10 плавок в месяц.

2. Ударная вязкость при температуре 20 °C определяется по требованию заказчика.

Микроструктура должна быть феррито-перлитной, допускаются выделения перлита в виде перлитной сетки. Пример микроструктуры показан на рисунке 2.

Определение химического состава и механических свойств («химия» и «механика») производится на образцах, вырезанных из пробных брусков, получаемых в каждой плавке.

Результаты распространяются на все отливки данной плавки.



Рис. 2. Микроструктура материала рамы боковой после окончательной термической обработки, x100

К методам контроля качества литых рам, кроме «химии» и «механики», ОСТ 32.183-2001 относит: вид излома контрольных приливов и обязательный неразрушающий контроль в наиболее нагруженных зонах боковых рам. Определение вида излома контрольных приливов, по мнению авторов, характеристика весьма субъективна и в большой степени зависит от ряда факторов, К таким факторам можно отнести: соблюдение методики отруба контрольного прилива, квалификация контрольного мастера, степень освещённости и ряд других.

Применение методов контроля металла и изделия позволяют выявлять дефекты и отбраковывать рамы боковые. К основным видам дефектов (по производственным данным) относятся: газовые и песчаные раковины, трещины, несоответствие требованиям по «механике» ( в первую очередь по ударной вязкости при минус 60  $^{O}$ C) и другие. Потребителю поставляются рамы боковые, прошедшие все виды контроля.

Однако в процессе эксплуатации происходит разрушение рам в первую очередь в буксовом проёме по радиусу закругления R55 и вид их идентичен представленному на рисунке 3.

Фактография излома показала, что излом усталостный с зарождением и распространением двух трещин. Одна (1) зародилась на участке 1 (рис.4) и распространялась вначале в нижнем поясе а затем ускоренно двинулась в левую боковину. Другая (2) зародилась на участке 2 (рис. 5), вначале двигалась в нижнем поясе через участок 3 и, выйдя в правую боковину, начала двигаться ускоренно.

На пути трещина проходила литейный дефект и появилась ступенька преодоления дефекта, что не повлияло на характер движения трещины. Обе трещины зародились на литейных дефектах (подтверждено заключением ВНИИЖТ) и при движении встретились на участке 2, образовав своеобразную ступеньку.



Рис. 3. Вид поверхности разрушения боковых рам в процессе эксплуатации (на рисунок нанесена сетка для ориентации по участкам излома)



Рис. 4. Усталостная трещина 1

Рис. 5. Усталостная трещина 2

На рис. 3 хорошо видно, что обе трещины разгонялись в боковинах (расстояние между усталостными бороздками увеличивалось) и на определённом этапе произошёл долом. Долом мог быть спровоцирован и динамическими нагрузками в процессе движения вагона.

Следует отметить, что фрактографический анализ приходится проводить по фотоснимкам, так как «железо» излома производителю не достаётся, что резко

снижает качество анализа разрушения.

Изучение альбомов «Изломы боковых рам тележек грузовых вагонов» (РЖД) за разные годы позволило обратить внимание на цветность усталостных трещин в изломах. В большинстве своём цвет отличается от цвета свежеразрушенного металла. Наблюдаются светло-коричневые, тёмно-коричневые тона, что соответствует окисленному металлу. Однако непонятно – в результате чего возникает окисление: либо длительное воздействие на поверхности, возникшей при эксплуатации трещины атмосферы окружающей среды, либо окисление поверхностей под влиянием нагрева при термической обработке уже существующей до эксплуатации трещины. Этот вывод требует дополнительного исследования.

В литой стали 20ГЛ в любом случае будут существовать литейные дефекты, но до сих пор непонятно влияние их вида, величины, количества и места расположения на работоспособность изделия в целом.

Совершенно не изучен вопрос появления в рамах напряжений, возникающих в процессе получения отливки и, особенно, в процессе их термической обработки. Есть данные о появлении трещин в отливках в процессе нормализации. Это возможно в случае высокого градиента температур на этапе нагрева отливки. При ускоренном нагреве до высоких температур нормализации происходит релаксация внутренних напряжений в отливке, которые накладываются на фазовые

. → превращения, так как чем выше уровень исходных напряжении, тем оыстрее в первый период происходит их разрядка и тем больше опасность зарождения трещин.

Остаточные напряжения, складываясь с рабочими, могут их усиливать или ослаблять. Как правило, наиболее опасны растягивающие остаточные напряжения, так как они, складываясь с растягивающими напряжениями от внешних нагрузок, приводят к разрушению, хотя эти нагрузки могут быть и невелики. Эти напряжения особенно опасны в изделиях из мало пластичных сплавов и таких, которые становятся хрупкими при пониженных температурах. При больших остаточных напряжениях разрушение часто происходит от незначительных по величине нагрузок (особенно ударных). Так, например, трещины в стальных отливках могут возникать при очистке их пневматическим зубилом и даже от сквозняка зимой.

Для большинства металлов способность к пластической деформации в значительной степени зависит от температуры. С понижением температуры эта способность для большинства металлов и сплавов уменьшается. При критических температурах резко возрастает сопротивление сдвигу. Металл переходит в состояние близкое к хрупкому и разрушается с малой степенью пластической деформации. Свойство металлов и сплавов охрупчиваться со снижением температуры называется хладноломкостью. Обратное понятие хладноломкости – хладностойкость, что распространяется в основном на конструкции. Явление охрупчивания с точки зрения природы кристаллических решеток объясняется отсутствием плоскостей скольжения у металлов с объемноцентрированной кубической и гексагональной решеткой.

Трещины образуются в местах встречи или пересечения полос двух систем скольжения. При этом возможность хрупкого разрушения тем больше, чем сильнее препятствия, тормозящие свободное передвижение групп дислокаций. Если скорость распространения микротрещин превысит скорость пластической деформации, то наступит хрупкое разрушение. Пути сдвигов примерно равны диаметру зерна, поэтому измельчение зерна способствует увеличению интервала пластического состояния. Поэтому углеродистые и легированные перлитные при наличии мелкого действительного зерна имеют более низкие критические температуры хрупкости.

Известны два типа хрупкого разрушения: транскристаллитное и интеркристаллитное. Чистые металлы обычно разрушаются по зерну. Межзеренному разрушению благоприятствует наличие включений по границам зерен. С увеличением общего периметра границ зерен межзеренное вещество распределяется в форме более тонких прерывистых пленок, что увеличивает межкристаллические связи и затрудняет распространение микротрещин за счет увеличения путей сдвига. Границы зерен характеризуются значительными нарушениями кристаллической решетки, вредное влияние которых существенно ослабляется с повышением гранулярности структуры, за счет дробления путей сдвига, уменьшения длины микротрещин и соответствующего увеличения интервала пластического состояния. Таким образом, прочность металлов и их сопротивляемость хрупкому разрушению в значительной степени обуславливаются состоянием границ зерен. Еще больше влияют на величину хрупкой прочности неметаллические включения, располагающиеся как по границам зерен, так и внутри них. Но при этом включения рассматриваются как концентраторы напряжений, а границы включения – металл – как пути, по которым распространяются трещины разрушения. Но влияние природы и формы включений на хладноломкость изучено не в полной мере. Большое влияние на хладноломкость оказывают макродефекты структуры металлов, являющиеся своеобразными концентраторами напряжений. Особенно опасны дефекты типа усадочных раковин, микропористости и газовых пузырей, нарушающие однородность и сплошность структуры.

Во многом хладноломкость определяется и равновесностью микроструктуры. Для боковых рам из стали 20ГЛ критерием хладноломкости принята ударная вязкость при минус 60  $^{O}$ С, определяемая на образцах с радиусом надреза 0,25 мм-КСV<sup>-60°С</sup>. Она должна быть не менее 16,7 Дж/см<sup>2</sup>. Для исследования влияния термической обработки на хладноломкость стали 20ГЛ проведены исследования, результаты которых представлены в таблице 3.

Из результатов эксперимента следует, что применение двойной термической обработки: нормализации с последующим отжигом I рода (отпуском для снятия внутренних напряжений) повышает хладостойкость стали 20ГЛ.

Таблица 3

№ п/п	Вид термической обработки	КСV <sup>-60°С</sup> , Дж/см <sup>2</sup>			
1.	Нормализация - 900°С Отжиг I рода - 450°С	24			
2.	Нормализация - 900°С Отжиг I рода - 600°С	32			

Влияние термической обработки на хладноломкость стали 20ГЛ

Вместе с тем следует обратить особое влияние, что существующие в отливке рамы боковой микро – и даже макротрещины (а они существуют) имеют остроту в устье трещины гораздо большую, чем 0,25мм. И описать их влияние может только величина ударной вязкости, определённая на образцах с зарождённой усталостной трещиной, - КСТ. Таких исследований не проводилось, а проводить надо.

Особого внимания заслуживает рама боковая как коробчатая конструкция и возникающие в ней напряжения в процессе эксплуатации. Вполне допустимо, что жесткость коробчатой рамы в ряде случаев не допускает релаксации напряжений и это способствует зарождению трещин на дефектах величиной меньше критической.

Знание особенностей действующих нагрузок позволило бы изменить методики испытаний на стендах натурных изделий, т.е. рам боковых целиком. Такие исследования дают возможность получать информацию в большей степени приближённую к реальным условиям, чем существующие сейчас испытания образцов, вырезаемых из пробных брусков.

Выводы.

Для повышения надёжности и работоспособности рам боковых тележек грузовых вагонов необходимо экспериментальное получение информации по следующим направлениям:

1. Определение вида и величины напряжений, возникающих в раме при эксплуатации;

2. Определение критической величины трещин и изучение влияния на их появление различных факторов (технологии получения стали и отливки, дефектов литья, видов и режимов термической обработки и др.);

3. Исследования границ потери пластичности на образцах и корреляции с методами неразрушающего контроля

На основании полученной информации появится возможность формулирования критериев хрупкого и усталостного разрушений и коррекции методик испытаний образцов и натурных испытаний изделий для достаточно точного прогнозирования эксплуатационной стойкости и надёжности работы боковых рам тележек грузовых вагонов.

# СЕКЦИЯ **НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ПОЛУЧЕНИЮ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ОБЪЕМНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

А.С. Сивушкин, аспирант «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва» Кемерово, тел. +7-950-272-70-48,+7(3842) 36-63-76, факс +7(3842)-58-30-73 E-mail: asashai 1@mail.ru

В работе представлен анализ современного состояния вопроса получения изделий сложной формы из объемных наноматериалов. Обозначены проблемы промышленного внедрения объемных наноматериалов. Определено дальнейшее направление исследований, направленное на повышение эффективности изготовления изделий сложной формы из объемных наноматериалов.

The paper presents analysis of the current state of the issue of producing the products of complex shape from bulk nanomaterials. Identified the difficulties of commercialization of bulk nanomaterials. Definitely the future direction of research aimed at improving the efficiency of producing the products of complex shape from nanomaterials.

Одной из важнейших задач машиностроения является повышение механических свойств материалов и эксплуатационных свойств деталей машин: твердости, прочности, выносливости. Одним общим недостатком существующих традиционных способов является заметное понижение пластичности при повышении прочностных характеристик. Применение нано- и субмикрокристаллических (НК и СМК) материалов позволяет решить эту проблему. Наноструктурными материалами принято считать кристаллические материалы со средним размером зерен или других структурных единиц менее 100 нм, большеугловыми границами зерен и высокой плотностью дислокаций. Средний размер зерен СМК образцов может составлять порядка 100 нм – 1 мкм [1].

В настоящее время разрабатываются и обещают найти применение различные виды наноструктурных материалов. Технологии получения объемных наноматериалов являются одними из наиболее востребованных, имеющих реальное практическое применение и наиболее финансируемых направлений нанотехнологий. Перспективность изучения объемных наноматериалов связана с их существенно более высокими характеристиками механических свойств по сравнению с традиционными [2, 3].

К настоящему времени разработано несколько способов получения объемных наноматериалов, которые основаны на двух основных принципах:

1) Снизу-вверх – предварительно дезинтегрированный на нанопорошки материал компактируется в объемный.

2) Сверху-вниз – когда наноструктурирование осуществляется без нарушения сплошности путем создания большеугловых границ зерен и накопления большой плотности дислокаций.

Проблемы, существующие при получении наноматериалов способами, основанными на первом принципе (остаточная пористость, спекание, загрязнение образцов при подготовке порошков или их консолидации, геометрические размеры прессованных образцов [4]), решаются благодаря использованию способов, основанных на втором принципе, к которым относятся способы интенсивной пластической деформации (ИПД). Они обеспечивают измельчение микроструктуры в металлах и сплавах до наноразмеров за счет больших деформаций сдвига. Наиболее изученными способами ИПД являются: равноканальное угловое прессование (РКУП), всесторонняя изотермическая ковка (ВИК) и кручение под высоким давлением (КВД) [2,5]. Заготовки, получаемые данными способами, имеют высокие эксплуатационные характеристики (предел прочности и твердость повышаются в 1,5-2 раза, пластичность падает меньше, чем при упрочнении традиционными свойствами) [3, 6, 7, 8].

Основными недостатками данных способов являются относительно малый размер и простая форма получаемых заготовок, тогда как изделия машиностроения, как правило, имеют сложную форму. Простая форма получаемых заготовок затрудняет промышленное внедрение способов ИПД и вызывает необходимость дальнейшей механической обработки полученных образцов. Кроме того, существенным препятствием для широкого применения наноматериалов является их структурная нестабильность. Температура рекристаллизации в наноструктурированных металлах на 20–30% ниже, чем в обычных [9]. Таким образом, механическая обработка наноматериалов, в частности резанием, приводит к росту зерен и частичной потере полученных при наноструктурировании свойств. Это вызвано влиянием температурного и силового факторов, действующих при механической обработке. Следовательно, изучение влияния режимов именно механической обработки на структурное состояние объемных наноматериалов является актуальным.

Влиянию режимов термической обработки на структуру и свойства объемных наноматериалов посвящено большое количество работ. Исследования проводились на чистых металлах, сплавах, твердых растворах и интерметаллидах. Для всех этих видов наноматериалов можно выделить общие этапы эволюции структуры в процессе нагрева:

1. Перераспределение и уменьшение числа дислокаций, существующих в зернах материала, подвергнутого ИПД.

2. Перераспределение дислокаций в неравновесных границах зерен, образовавшихся при интенсивной деформации, что приводит к формированию больше-

угловых границ зерен, имеющих узкую толщину, соизмеримую с размерами атомов (создание более равновесной структуры).

3. Одновременное уменьшение дальнодействующих полей напряжений и упругих искажений кристаллической решетки в результате структурного возврата неравновесных границ зерен.

4. Укрупнение зерен при нагреве [1].

Температуры, при которых происходят те или иные процессы эволюции структуры, зависят от нескольких факторов и прежде всего от:

- природы исследуемого материала и его химического состава;

– метода и параметров интенсивной деформации [1].

Исследования влияния деформационной обработки на изменение структурного состояния НК и СМК материалов практически отсутствуют. Как пример можно привести работу [10], авторы которой исследовали влияние холодной прокатки и поверхностно-пластического деформирования на наноструктуры. В результате было выявленное незначительное увеличение среднего размера зерен и повышение микротвердости.

Небольшое количество работ, посвященных влиянию деформационной обработки на структурное состояние НК ИСМК материалов, не позволяет выделить общие этапы эволюции структуры различных материалов при разных способах обработки. Соответственно необходимо дальнейшие исследования в данном направлении.

Имеющиеся работы, посвященные исследованию влияния режимов резания на структурное состояние объемных наноматериалов, не позволяют делать обобщенные выводы. В частности, есть ряд работ [3, 11, 12], в которых изучалось влияние точения и фрезерования на субмикрокристаллический титан и медь. Результаты этих исследований показывают, что механическая обработка точением и фрезерованием НК и СМК металлов, приводит к снижению микротвердости обработанных образцов. При увеличении подачи и скорости резания эксплуатационные характеристики падают до уровня крупнокристаллических металлов. Помимо этого, в работах [3, 11] были установлены рациональные режимы механической обработки для титана и меди, при которых материал сохраняет свои высокие эксплуатационные характеристики. Также в работе [12] была разработана методика определения рациональных режимов лезвийной обработки. Данная методика позволяет определить режимы лезвийной обработки для различных чистых НК и СМК металлов, обеспечивающие сохранение в обрабатываемой заготовке исходных физико-механических свойств. Алгоритм построен на физических характеристиках заготовки (исходный размер зерна и теплофизические характеристики), модели определения интенсивности роста зерна под действием температурных и временных факторов, характеризующих процесс резания металла заготовки. Недостатком методики является то, что она не учитывает влияние силового фактора при механической обработке, что требует дальнейшего развития.

Большинство работ в области исследования влияние режимов механической обработки на структурное состояние НК и СМК материалов посвящены исследованию титана, меди, никеля и практически не описывают рассматриваемые процессы для традиционных углеродистых конструкционных сталей, тогда как именно эти стали имеют наибольшее распространение в машиностроении. Поэтому изучение эволюции структуры НК и СМК наноструктурированной углеродистой конструкционной стали в процессе механической обработки является актуальной задачей.



Рис. 1. Функционально-аналитическая модель;  $CC_{ucx}$  – исходное состояние структуры; CM – свойства материала;  $CC_{oбp}$  – структурное состояние после обработки

На данном этапе исследования разработана функционально-аналитическая модель (рис. 1). Конечной целью исследования является разработка методики проектирования технологических процессов механической обработки объемных НК и СМК материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Р. 3. Наноструктурные материалы, полученные методом интенсивной пластической деформацией / Р. 3. Валиев, И. В. Александров. - М.: Логос, 2000. - 272 с.

**2.** Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские нанотехнологии. Т. 1. № 1–2. 2006. С. 71-81.

3. Верезуб Н.В. Влияние механической обработки на микротвредость заготовок из титана с субмикрокристаллической структурой, полученных интенсивной пластической деформацией / Н.В. Верезуб, Л.И. Пупань, А.А. Симонова // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. прац. – Харьков, 2011. – С. 214-221.

**4.** Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. –Екатеринбург: УрО РАН, 1998.

**5.** Рааб Г.И. Развитие научных основ технологий интенсивной пластической деформации и создание оборудования по схеме равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлических полуфабрикатов / автореф. докт. диссерт. – Уфа, 2009. – 36 с.

6. Якушина Е.Б. Наноструктурный титан для биомедицинских применений / Е.Б. Якушина, И.П. Семенова, Р.З. Валиев // Цветные металлы. 2010. № 7. С. 81-83.

7. http://www.ocean.ru/index2.php?option=com\_docman&task=doc\_view&gid =374&Itemid=78

**8.** Horita Z. On Conditions for Grain Refinement Using Severe Plastic Deformation // Bulk nanostructured materials:from fundamentals to innovations. Book of abstracts. – Ufa. 2007. P. 26-27

9. Дегтярев М.В. О термической нестабильности микрокристаллической структуры в однофазных металлических материалах / М.В. Дегтярев, А.В. Воронова, В.В. Губернаторов, Г.И. Чащухина // ДАН. 2002. Т.386. №2. С. 180-183.

**10.** Alexandrov I.V., Wang Y.D., Zhang K., Lu K., Valie v R. Z.—In: Proceedings of the Eleventh International Conference on Textures in Materials. – Beijing: Intern. Acad. Publ., 1996. V. 2. P. 929.

11. http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/TvM/2010 54/st017.pdf

12. http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/vcpi/TvM/2010\_53/st015.pdf

УДК 669.017.3

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОСЛОЕК НА ГРАНИЦАХ РАЗДЕЛА СВАРЕННЫХ ВЗРЫВОМ КОМПОЗИТОВ

Д.В. Павлюкова, к.т.н., И.А. Поляков, аспирант, С.И. Бысыина, студентка Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, тел. +7 (383) 315-29-01 Факс +7 (383) 346-06-12. E-mail: <u>pavlyukova\_87@mail.ru</u>

В процессе сварки взрывом материал, прилегающий к границам раздела свариваемых пластин, претерпевает существенные структурные изменения, которые оказывают прямое влияние на диффузионные процессы, реализуемые в нем при нагреве. Было показано, что наи-

более интенсивно диффузия протекает в сварных швах, расположенных в непосредственной близости к слою взрывчатого вещества. В процессе выдержки композитов в течение 40 часов при 640 °С практически весь алюминий, начальная толщина которого составила 0,3 мм, был израсходован на формирование интерметаллида. 40-часовой отжиг под давлением позволил снизить количество дефектов в структуре материала и сформировать композит типа «Al-Al<sub>3</sub>Ti».

During the explosion welding process in material adjacent to interfaces of joined plates significant structural transformations occur. They influence directly on diffusion processes which are implemented in a composite under its heating. It was found that the most intense diffusion proceeds in the weld seams nearest to the explosive. Heat treatment during 40 hours at 640 °C led to the almost complete disappearance of the aluminum layer which initial thickness was equal to 0.3 mm. Heat treatment of composite during 40 hours under the pressure allowed to reduce amount of defects in the material structure and produce composite of type "Al – Al<sub>3</sub>Ti".

Многие актуальные задачи современного материаловедения связаны с необходимостью разработки конструкционных материалов, обладающих повышенным уровнем механических, триботехнических свойств и коррозионной стойкости. Конструкционные материалы, используемые для изготовления деталей машин и элементов конструкций ответственного назначения в таких областях промышленности, как авиастроение, ракетостроение, химическое машиностроение, энергетика, должны обладать комплексом уникальных механических свойств, среди которых следует особо отметить высокую удельную прочность, жесткость, низкую плотность, жаропрочность, усталостную долговечность.

К материалам, обладающим указанными свойствами, относятся композиты с интерметаллидной составляющей, в которых вязкие металлические прослойки сочетаются со слоями высокопрочных интерметаллидов [1-4]. Одной из наиболее исследуемых пар, образующих при нагреве интерметаллиды, является пара «титан – алюминий». Основными технологиями формирования слоистых композитов с интерметаллидными прослойками являются сварка взрывом с последующим отжигом и реакционное спекание. Сварка взрывом является эффективным способом соединения плоских заготовок [5, 6]. Данная технология позволяет единовременно соединять 20 и более пластин, изготовленных из разнородных материалов. При этом происходит формирование сварных швов с высокой прочностью по всему сечению соединяемого пакета. Сварка взрывом способствует очищению поверхностных слоев соединяемых заготовок от загрязнений, удалению оксидных пленок, замедляющих диффузионное взаимодействие титана и алюминия на начальных этапах последующей термической обработки. Однако при отжиге многослойных пакетов в образующемся интерметаллидном слое формируются поры, появление которых обусловлено эффектом Киркендалла [7]. Цель данной работы заключалась в снижении пористости интерметаллидных прослоек Al<sub>3</sub>Ti в сваренных взрывом многослойных пакетах "Al - Ti", путем нагрева сваренных взрывом пакетов под давлением.

В качестве свариваемых заготовок использовались пластины из титана и

алюминия технической чистоты толщиной 0,3 мм. Сварка взрывом пакетов, состоявших из 10 титановых и 9 алюминиевых прослоек, осуществлялась по параллельной схеме. В качестве взрывчатого вещества использовался аммонит 6ЖВ. Толщина слоя ВВ составила 30 мм, что обеспечило скорость детонации 3,9 км/с. Термическая обработка осуществлялась по следующим режимам: 40 часов при 640 °C и 40 часов при 640 °C под давлением 12 МПа. Давление обеспечивалось гидравлическим прессом, в который была установлена печь (рис. 1).



Рис. 1. Схема установки для термической обработки под давлением многослойных пакетов, сваренных взрывом: 1 – теплоизоляционный корпус; 2 – керамические вставки; 3 – керамический каркас печи; 4 – нихромовый нагреватель; 5 – металлические пуансоны; 6 – стальное основание; 7 – верхняя плита; 8 – образец; 9 – прослойки слюды

Структурные исследования показали, что сварные швы имеют характерную для сварки взрывом волнообразную форму (рис. 2). Следует отметить, что амплитуда и длина волны уменьшаются по мере продвижения от верхних сварных швов к нижним.



Рис. 2. Волнообразная морфология верхних (а) и нижних (б) границ раздела

Материал приграничных зон характеризуется наличием двух областей: пластически деформированных прослоек и вихревых зон, в которых титан и алюминий механически перемешаны (рис. 3 а). Прослойки пластически деформированного материала можно идентифицировать по включениям, содержащим железо и марганец в алюминиевой матрице. Вблизи сварного шва эти включения повторяют его морфологию (рис. 3 б).



Рис. 3. Вихревые зоны (а) и следы пластической деформации (б) в околошовных зонах

Отмеченные факторы оказывают непосредственное влияние на диффузионные процессы, протекающие на границе раздела «алюминий - титан» в процессе отжига сваренных взрывом композитов. Очевидным является то, что вблизи верхних сварных швов, где материал находится в интенсивно деформированном состоянии и объемная доля вихревых зон довольно велика, диффузионные процессы протекают значительно быстрее. Это объясняется повышенным числом дислокаций и дефектов в пластически деформированных зонах. Кроме того, титан и алюминий в вихревых зонах находятся в перемешанном состоянии, что способствует интенсификации диффузионных процессов при нагреве сваренных взрывом композитов.

Структурные исследования показали, что толщина диффузионных прослоек в верхних сварных швах значительно выше, чем в нижних (рис. 4). Средняя толщина интерметаллидных прослоек достигла 125 мкм. Рентгенофазовый анализ показал, что в процессе отжига на границах раздела титана и алюминия формируется единственная фаза - Al<sub>3</sub>Ti, микротвердость которой составляет 6000 МПа.

Несмотря на большую толщину образовавшегося интерметаллидного слоя, полного замещения формируемой фазой алюминиевого слоя не произошло. Кроме того, полученный композит характеризуется повышенным содержанием дефектов, возникших вследствие существенного различия коэффициентов диффузии титана и алюминия (рис. 4).

Формирования дефектной структуры можно избежать путем проведения термической обработки под давлением. Структура сформированного указанным

методом композита представлена на рис. 5.



Рис. 4. Толщина интерметаллидных прослоек, сформировавшихся в верхних (а) и нижних (б) сварных швах сваренных взрывом композитов



Рис. 5. Структура композита, сформированного по технологии сварки взрывом с последующим отжигом под давлением

Таким образом, структурные исследования позволили определить оптимальный режим термической обработки сваренных взрывом композитов. Было показано, что после 40 часов термической обработки алюминий не полностью прореагировал с титаном и в формируемом интерметаллидном слое было зафиксировано образование пор. Термическая обработка под давлением позволяет получить высококачественные металл-интерметаллидные композиты, характеризующиеся бездефектной структурой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. A. Rohatgi, D.J. Harach, K.S. Vecchio, and K.P. Harvey, "Resistance-curve and fracture behavior of Ti-Al<sub>3</sub>Ti metallic-intermetallic laminate (MIL) composites," Acta Mater., vol. 51, pp. 2933–2957, 2003.

2. K.S. Vecchio, "Synthetic multifunctional metallic-intermetallic laminate composite," Nano Microstruct. Des. Adv. Mat., pp. 25-31, 2003.

3. R. R. Adharapurapu, K. S. Vecchio, F. Jiang, and A. Rohatgi, "Effects of ductile laminate thickness volume fraction, and orientation on fatigue-crack propagation in Ti-Al<sub>3</sub>Ti metal-intermetallic laminate composites," Metall. Mater. Trans. A. vol. 36, pp. 1595–1608, June 2005.

4. D.J. Harach, and K.S. Vecchio, "Microstructure evolution in metalintermetallic laminate (MIL) composites synthesized by reactive foil sintering in air," Metall. Mater. Trans. A., vol. 32 (6), pp. 1493-1505, 2001.

5. I.A. Bataev, A.A. Bataev, V.I. Mali, and D.V. Pavliukova, "Structural and mechanical properties of metallic-intermetallic laminate composites produced by explosive welding and annealing," Mater. Des., vol. 35 pp. 225-234, 2012.

6. V.I. Mali, I.A. Bataev, A.A. Bataev, A.I. Smirnov, D.V. Pavliukova, and P.S. Yartsev, "Formation of the intermetallic layers in Ti-Al multilayer composites," Adv. Mater. Res., vols. 311-313, pp. 236-239, 2011.

7. V. Abbasi Chianeh, H.R. Madaah Hosseini, and M. Nofar, "Micro structural features and mechanical properties of Al–Al<sub>3</sub>Ti composite fabricated by in-situ powder metallurgy route," J. Alloys Compd., vol. 473, pp. 127-132, 2009.

УДК 666.3/.7

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ДОБАВОК ПРЕСС-ПОРОШКА НА СТРУКТУРУ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ\*

Н.С Белоусова, к.т.н, С.В. Веселов, к.т.н., Д.А. Ануфриенко, Е.В. Мельникова Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 346-11-71, факс +7(383) 346-06-12. E-mail: belousova\_ns@mail.ru

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по определению влияния концентрации поливинилового спирта на строение и свойства гранул пресс-порошка, сформированного из алюмооксидной суспензии. Показано, что наилучшей сыпучестью пресспорошка и минимальным количеством дефектов в спеченных образцах обладает материал при введении  $\approx 1$  вес. % ПВС в гранулы.

The paper contains the results of investigation devoted to the determination polyvinyl alcohol influence on granules morphology and properties produced from alumina suspension. It was shown

<sup>\*</sup>Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по договору № 02.G25.31.0060

that the best granular powderflowability and the lowest defect concentration in sintered ceramic can be obtained using 1 wt. % PVA in granules.

Одним из обязательных компонентов, входящих в состав пресс-порошка, используемого в керамическом производстве, являются органические добавки. Они оказывают существенное влияние на свойства пресс-порошка и процесс формования, который является наиболее ответственным этапом при создании бездефектного керамического материала.

Цель работы заключалась в анализе влияния количества полимерных добавок на свойства пресс-порошка, его прессуемость и качество получаемого керамического материала.

Экспериментальные исследования были проведены с использованием порошка оксида алюминия марки CT 3000 SG (Almatis). Содержание твердой фазы в водной суспензии составляло  $\approx$  50 вес. %. В качестве связующего компонента при подготовке гранулированного порошка использовали поливиниловый спирт (ПВС) в диапазоне концентраций от 0 до 2,5 % от массы порошкового материала. В качестве пластифицирующего компонента применяли ПЭГ400 и глицерин в количестве 10 % от массы ПВС. Пресс-порошок получали путем обезвоживания суспензии при температуре 110 °C с последующим измельчением порошковой массы в керамической ступке и просевом. Размер гранул подготовленного порошка находился в диапазоне 100 – 250 мкм. Прессование гранулированного порошка осуществляли при комнатной температуре и давлении 150 МПа.

Предварительные исследования гранул пресс-порошка позволили установить, что количество полимерного связующего влияет на форму и свойства гранул. На рисунке 1 представлены гранулы, полученные при использовании суспензий с различным содержанием поливинилового спирта. Показано, что гранулы без связующей добавки имеют рыхлую структуру (рис.1, а), неправильную форму, острые сколы, в отличие от гранул с содержащих 2,5 % ПВС (рис. 1, б).



Рис. 1. Гранулы с различным количеством связующего компонента

В работе так же отмечается положительное влияние добавок органического связующего на сыпучесть пресс-порошка. Сыпучесть оценивали путем определе-

ния угла естественного откоса, образованного определенным объёмом пресспорошка. Исследования показали, что введение незначительного количества поливинилового спирта (0,5 %) улучшает сыпучесть пресс-порошка на 30 % по сравнению с порошком без органических добавок. При введении 1 % ПВС в суспензию, сыпучесть повышается на 42 %. При этом, дальнейшее увеличение количества связующего в диапазоне от 1 до 2,5 % не приводит к заметному изменению свойств пресс-порошка.

Кроме того, в работе было установлено, что увеличение количества связующего компонента способствует повышению технологической прочности компактов, но в то же время приводит к увеличению количества и размеров макродефектов спрессованных образцов, а так же снижает плотность спеченной керамики. Согласно результатам микроструктурных исследований при содержании поливинилового спирта 1,5 % в структуре присутствуют дефекты в виде границ гранул, количество которых увеличивается с повышением доли органической добавки. При содержании ПВС менее 1% макродефекты в структуре керамического материала не обнаружены.

Таким образом, представленные в работе результаты экспериментальных исследований позволили установить зависимость дефектности керамического материала от количества связующих компонентов и свойств пресс-порошка.

УДК 621.791.13

## ОСОБЕННОСТИ ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТА ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ФАЗ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ И АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

Т.С. Самейщева, аспирант, Л.И. Шевцова, аспирант, М.Р. Юркевич, студентка
Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7 (383) 315-29-01
Факс +7 (383) 346-06-12. E-mail: pandorra.06@mail.ru

В работе описаны структурные особенности зоны соединения никеля и алюминия в композитах, полученных по технологии сварки взрывом. Исследованы этапы зарождения и роста интерметаллидных прослоек, формирующихся вдоль сварных швов в процессе термической обработки. Приведены результаты измерения микротвердости интерметаллидных фаз, образующихся при взаимодействии никеля с алюминием.

The structural features of nickel and aluminum joints produced by explosive welding technology have been described in this paper. The stages of nucleation and growth of intermetallic layers formed along the welded joints as a result of heat treatment are described. The results of the microhardness tests of intermetallic phases arising during interaction of Ni and Al are given.

На современном этапе развития промышленного производства, а именно таких его отраслей, как ракетостроение, авиастроение, нефтяное и химическое машиностроение, разрабатывается большое количество материалов с различными механическими и эксплуатационными свойствами. Конструктивные особенности современных разработок требуют применения новейших материалов, обладающих одновременно высокими показателями трещиностойкости, прочности на сжатие и изгиб, низкой плотностью, а также способностью гасить вибрации. К материалам, способным одновременно обеспечить высокий уровень всех отмеченных свойств, относятся слоистые композиты типа «металл – интерметаллид». Сочетание твердых интерметаллидных прослоек, обладающих высокой удельной жесткостью, прочностью и твердостью, и пластичных слоев металла является оптимальным с точки зрения обеспечения механических и эксплуатационных характеристик слоистого материала в целом.

В настоящее время разработан ряд методов получения подобных материалов, среди которых самым распространенным является реакционное спекание, которое заключается в нагреве тонколистовых заготовок под давлением и выдержкой при повышенной температуре с целью формирования интерметаллидных прослоек на их границах раздела. Сварка взрывом, используемая в данной работе, обладает рядом преимуществ перед указанной технологией. В процессе сварки происходит очищение свариваемых поверхностей от загрязнений и оксидных пленок кумулятивной струей, что обеспечивает высокое качество соединения заготовок. Кроме того, технология не требует применения дорогостоящего оборудования, а свариваемые заготовки не ограничены по размерам, что также является преимуществом по сравнению с технологией реактивного спекания, которое реализуется только в пределах рабочей зоны и при ограниченном максимальном давлении.

Цель работы заключалась в формировании слоистого композиционного материала «никель – алюминид никеля - алюминий» на основе никеля и алюминия и исследовании этапов зарождения и роста интерметаллидных фаз в процессе нагрева сваренных взрывом заготовок.

В качестве исходной заготовки для получения композиционного материала методом сварки взрывом был собран многослойный пакет, который состоял из поочередно расположенных 4 пластин технически чистого никеля марки НП2 и 3 пластин алюминия технической чистоты марки А5. Толщина заготовок составляла 1 мм и 0,5 мм соответственно. Сварка осуществлялась по схеме с параллельным расположением пластин. В качестве взрывчатого вещества применялся аммонит 6ЖВ. Термическая обработка проводилась при температуре 550 °C, продолжительность выдержки варьировалась от 5 минут до 10 часов. Структурные

исследования проводились на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP, химический анализ осуществлялся при помощи энергодисперсионного микрорентгеноспектрального анализатора Oxford Instruments X-Act.

В зоне соединения сваренных взрывом заготовок происходят наиболее существенные структурные изменения. Характерной особенностью сварных швов, формирующихся в процессе взрывного нагружения соединяемых заготовок, является их волнообразный профиль. Кроме того, в некоторых участках происходит образование вихревых зон. В ходе проведения исследований было установлено, что в результате высокоскоростного динамического взаимодействия свариваемых пластин и химической реакции между алюминием и титаном, протекание которых обусловлено нагревом поверхностных слоев соударяющихся заготовок, формируются участки, представляющие собой механическую смесь исходных материалов и интерметаллидных включений (рис. 1).



Рис. 1 – Структура образца на границе сварного шва



Рис. 2 – Структура сварного шва после термической обработки

Исследования структуры зоны сварного шва после термической обработки показали, что с увеличением времени выдержки при повышенной температуре, никель диффундирует из участков с высокой концентрацией в области, с меньшей концентрацией. В результате активной диффузии и химической реакции между никелем и алюминием увеличивается удельный объем интерметаллидных фаз. После нескольких часов выдержки вдоль сварного соединения формируется интерметаллидная прослойка NiAl<sub>3</sub> со стороны алюминия и Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> со стороны никеля (рис. 2), микротвердость указанных фаз составляет 5700 и 9500 МПа соответственно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.А. Батаев, В.А. Батаев, В.И. Мали, Д.В. Павлюкова, Structural and mechanical properties of metallic-intermetallic laminate composites produced by explosive welding and annealing V.35, 2012, c. 225–234 2. В.И. Мали, А.А. Батаев, В.А. Батаев, Explosive Production of New Materials: Science, Technology, Business, and Innovations Proc. (2010), c. 42–43.

3. M. Gerland , H.N. Presles, J.P. Guin, D. Bertheau, Explosive cladding of a thin Ni-film to an aluminium alloy, Materials Science and Engineering A280 (2000) c. 311–319

УДК 621.357.7

# ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ОСЕВОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СВЯЗКЕ

<sup>1,2</sup>А.В. Лобунец, аспирант,
 <sup>1,2</sup>В.Н. Беляев, канд. техн. наук, доцент
 <sup>1</sup>ОАО «ФНПЦ «Алтай», 659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1
 <sup>2</sup>Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ, 659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27. Е-mail: mrsi@bti.secna.ru

Представлены результаты исследований по нанесению никелевых электрохимических покрытий при изготовлении режущего осевого инструмента. Приведен способ прикрепления абразивных зерен и оригинальная конструкция оснастки, обеспечивающие повышение режущих свойств инструмента. Показано влияние ультрадисперсных алмазов на качество никелевого покрытия и стойкость инструмента.

Results of researches on drawing nickel electrochemical coverings at production of the cutting axial tool are presented. The way of an attachment of abrasive grains and original design the equipments providing increase of cutting properties of the tool is given. Influence of ultradisperse diamonds on quality of a nickel covering and firmness of the tool is shown.

Для размерной обработки высокопрочных материалов широко используется абразивный инструмент на металлической связке. Потребность в таком инструменте постоянно растет, поэтому необходимость устранения дефектов, возникающих при производстве этих инструментов, является актуальной задачей.

В процессе изготовлении подобных инструментов, существует ряд технологических проблем. Наиболее существенными из которых являются:

1) в процессе электрохимического осаждения металла, при заращивании абразивных частиц, возникает явление экранирования (рис. 1).



Рис. 1. Пустоты в области абразивных зерен 1-корпус, 2-электрохимическое покрытие, 3-абразивные зерна

Вследствие чего вокруг абразивных частиц образуются пустоты, приводящие к снижению прочности закрепления абразивных зерен металлической матрицей. Как следствие - снижение стойкости абразивного инструмента на металлической связке

2) недостаточное количество закрепленных алмазных частиц, приходящихся на единицу площади поверхности инструмента, что снижает режущее свойство инструмента.

3) неравномерность закрепления абразивных зерен в радиальном направлении в металлической матрице (рисунок 2), что ведет к снижению точности обработки и, в определенной степени, стойкости инструмента.



Рис. 2. Неравномерность выступания абразивных зерен из металлической матрицы при горизонтальной схеме прикрепления 1-корпус, 2-электрохимическое покрытие, 3-абразивные зерна

Бороться с эффектом экранирования изменением одних технологических параметров, таких как температура, перемешивание, сила тока, невозможно, поэтому для улучшения качества электрохимических покрытий в состав электролитов вводят различные дисперсные материалы[1], которые влияют на процесс кристаллизации металлов из электролитов. Одним из таких материалов является ультрадисперсный алмаз детонационного синтеза (УДА).

Для исследования влияния УДА на процесс заращивания абразивных зерен электрохимическими покрытиями были получены образцы из электролита никелирования в присутствии УДА при различных концентрациях. Осаждение покрытий производили из сульфатного электролита никелирования содержащего в составе ультрадисперсный алмаз марки УДА-В производства ОАО «ФНПЦ «Алтай», в качестве абразивных зерен использовался синтетический алмаз марки АС-15Н.

Анализируя полученные данные можно заметить, что покрытие, нанесенное из электролита с ультрадисперсным алмазом, более плотно охватывает абразивную частицу, вследствие положительного влияния УДА на рассеивающую способность электролита никелирования (рисунок 3).

Концентрация УДА в электролите так же оказывает влияние на процесс нанесения покрытия – с повышение концентрации УДА от 5 до 20 г/л уменьшается

размер зерен с 6 до 2 мкм. Увеличение концентрации УДА более 20 г/л не дает дальнейшего уменьшения размера зерен и поэтому экономически не целесообразно.



а) без УДА б) с УДА Рис. 3. Абразивные частицы, закрепленные никелевой матрицей

Обеспечение только высокой адгезии абразива к матрице, недостаточно для обеспечения высоких режущих свойств инструмента. Не менее важно количество абразивных зерен приходящихся на единицу площади поверхности инструмента.

Для исследования процессов распределения абразивных частиц был разработан и изготовлен дозатор (рис. 4).



Рис. 4. Дозатор абразивных частиц 1-полость для алмазной суспензии, 2-винт микрометрической подачи дозатора, 3-образец

Дозатор состоит из стеклянной колбы позиция 1, микрометрического привода дозатора 2. Наличие микрометрического винта позволяет точно дозировать алмазные частицы на образец позиция 3.

При проведении эксперимента L высота дозирования варьируется в диапазоне 30-60 мм (30мм, 45мм, 60мм), параметр α равен 35<sup>0</sup> (угол при котором не происходит самопроизвольного выхода частиц из дозатора), подача поршня дозатора S составляла 0,25 мм/сек. Концентрация частиц в суспензии (алмазы марки AC15-H и электролит никелирования) в ходе эксперимента постоянна.

После дозировки абразивных частиц, они закреплялись с помощью электролитически осажденного никеля.

Для оценки распределения частиц были получены фотографии поверхности образцов методом растровой электронной микроскопии и подсчитано количество зерен приходящихся на единицу поверхности.

По результатам подсчета зерен были получены графики их распределения по поверхности образцов (рис. 5).



Рис. 5. Плотность распределения частиц АС15-Н по поверхности образцов при различной высоте дозирования L

Теоретически, максимально возможное число зерен можно рассчитать, допустив, что поверхность покрытия разбита на квадраты с размером стороны равным размеру ячейки сита, через которые проходит алмазные зерна при классификации порошка ГОСТ 9206-80. Используя данное допущение максимальное число зерен для частиц размером 50/40 мкм равно 400 шт/мм<sup>2</sup>, при этом фактическое количество закрепленных на поверхности частиц при взмучивании в электролите составляет 146 шт/мм<sup>2</sup> [2]. В ходе эксперимента на отдельных участках экспериментальных образцов количество зерен на мм<sup>2</sup> составило 382 шт.

Для борьбы с неравномерностью выступания абразивных зерен из металлической матрицы был разработаны способ и устройство для закрепления абразивных частиц на локальном участке, позволяющее экранировать силовые линии тока в электролите. В результате чего покрытие осаждается только на локальный участок, где необходимо осадить покрытие в данный момент. Другие поверхности инструмента в этот момент экранируются приспособлением, и осаждения металла на них не происходит (рисунок 6). Тем самым достигается необходимая равномерность выступания абразивных зерен.

В качестве экспериментальных образцов для нанесения металл-алмазного покрытия использовался осевой твердосплавный инструмент сложной формы. Для нанесения покрытия на его поверхность было изготовлено приспособление, позволяющее реализовать вышеописанный способ (рисунок 7).



Рис. 6. Принципиальная схема работы приспособления



Рис. 7. Приспособление для нанесения металл-алмазного покрытия на твердосплавный инструмент

Применение вышеописанного способа и технологической оснастки при изготовлении абразивного инструмента на металлической связке позволило комплексно бороться с негативными явлениями, возникающими при производстве подобных инструментов, тем самым обеспечивая повышение стойкости инструмента.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абразивосодержащие электрохимические покрытия / Е. Л. Прудников, Т. М. Дуда, А. С. Зарицкий.— Киев : Наук., думка, 1985.— 216 с.

2. Прудников Е.Л. Инструмент с алмазно-гальваническим покрытием. М.: Машиностроение, 1985. 93с.

УДК 621.793:722.621.785

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЕМ ЗАДАННОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Ю.Н. Вивденко д.т.н., профессор, В.В. Дегтярь, С.И. Бастраков, А.В. Нагорных, С.М. Потехин. Омский филиал военной академии тыла и транспорта Омск, тел. +7(3812) 99-97-51, E-mail:inna-bastrakova@jandex.ru

Рассмотрен механизм формирования высоконагруженных деталей с функциональными покрытиями. Применительно к условиям изготовления и восстановления таких деталей показаны возможности формирования свойств многоуровневого поверхностного слоя. Решение задач предусмотрено на основе ресурсосберегающих технологий.

The high-loaded parts with functional facing shaping mechanism are studied. Concerning to manufacturing and reclamation conditions of such parts, the capabilities of surfacing are demonstrated. The problems solving is provided by resource-saving technologies.

Обеспечение необходимых эксплуатационных характеристик ресурса и надежности изделия во многом определяется состоянием материала поверхностного слоя деталей [1]. Потеря заданных эксплуатационных свойств деталей во многом связана с отклонением свойств материала этого слоя, с формированием в этом слое дефектов и с его изнашиванием.

Конструкция деталей машин ориентирована на определённые физикомеханические и химические свойства конструкционных материалов в соответствии с нормативными данными каждой марки стали и сплава.

Анализ широкой номенклатуры детали силовых установок транспортных машин, авиационной техники, насосно-комперессорного и другого оборудования показал, что изменение состояния материала поверхностного слоя деталей и их заготовок характерно для большинства этапов их жизненного цикла, включая

этапы изготовления, эксплуатации и восстановления деталей. Характерная схема формирования поверхностного слоя деталей на этих этапах приведена на рисунке 1.

Так при заданных номинальных размерах  $N_{\rm H}$  вновь изготавливаемой детали и  $N_{\rm B}$  восстанавливаемой детали в поверхностном слое формируется множество поверхностей и разделяемых ими слоев. В каждом таком слое в пределах нижней границы измененного слоя 2 происходит формирование изменений исходного состояния конструкционного материала, связанного с деформационным упрочнением, созданием остаточного напряженного состояния, фазовыми и структурными изменениями, формированием дефектов, вызванных технологическими и эксплуатационными воздействиями. Нанесение функциональных покрытий или восстановительного слоя на деталь сопровождается сохранением в поверхностном слое ранее сформированных наружных поверхностей (поверхность 3 на рисунке 1).

Этапы циклов: 1- формирование заготовки; 2 – размерная обработка под нанесение покрытия; 3 – нанесение покрытия; 4 – эксплуатация и изнашивание детали; 5 – подготовка детали под нанесение восстановительного слоя; 6 – нанесение восстановительного слоя; 7- размерная обработка; 8 – нанесение покрытия.

Поверхности: 1 – наружной поверхности детали (заготовки) на соответствующем этапе; 2 – нижней границы измененного поверхностного слоя; 3 – границы нанесенного слоя с основой.

Подготовленная физическая модель поверхностного слоя детали на этапах её жизненного цикла, фрагменты которой приведены на рис.1, позволяет решать задачи совершенствования конструкции и технологии изготовления, эксплуатации и восстановления деталей.

Так при восстановлении деталей при одностороннем снятии припуска (поверхности лопаток турбомашин, разъемов корпусных деталей, пластин и т.п.) влияние этого процесса на размерную обработку, связанную с подготовкой поверхности детали под нанесение восстановительного слоя (рисунок 1 этап 5), может быть определено зависимостью

$$h = H_{n max} + H_{g max} + T \pm \sum_{j=1}^{n} \Pi_{ic} + \sum_{j=1}^{n} \Pi_{icn}$$

где  $\hbar$ - значение припуска на размерную обработку, связанную с подготовкой поверхности детали под нанесение восстановительного слоя;  $H_{n,max}$  - наибольшая толщина слоя, связанная с неравномерным износом поверхности детали, удаляемого для выравнивания толщины наносимого слоя;  $H_{a,max}$  - наибольшая глубина дефектного слоя после нанесения слоя его термообработки; **T** - допуск на размер;  $\Pi_{ic}$  – результирующая систематических погрешностей, связанных с геометрическими отклонениями обрабатываемых поверхностей относительно базовых, а так же с погрешностями установки и обработки детали;  $\Pi_{ten}$  – результирующая случайных погрешностей, связанных с теми же отклонениями и погрешностями; n – число соответствующих геометрических отклонений и погрешностей.





Рис. 1 Обобщенная схема формирования поверхностного слоя детали при ее изготовлении, эксплуатации и восстановлении:

- а) укрупненные этапы жизненного цикла детали;
- б) совмещенные этапы изнашивания детали в эксплуатации и ее подготовки под нанесение восстановительного слоя.
  - Ц н цикл изготовления новой детали;
  - Ц в цикл эксплуатации и восстановления детали

Таблица 1

Формирование характеристик поверхностного слоя деталей в течение их жизненного цикла

_											
		Решения по улучшению качества детали	Изготовление заготов- ки в защитной среде	Обработки с исключе- нием растягивающих остаточных напияже-	ний		ограничение размеров допустимого износа	Формирования восста- новительного слоя по	критериям ресурса и надежности		
	Возможное влияние одного этапа на по- следующий		Частичный перенос слоя с измененными свойствами в деталь	Снижение характери- стик надежности и ресурса детали Влияние на технико- экономические воз-		экономические воз- можности восстанов- ления	Обеспечение задан- ных эксплуатацион-	ных характеристик детали	настоящей табл.		
2	тный слой	Значение	0,20,3 MM	H=120130%	σ <sub>-1</sub> =130140 MIIa	t=0,050,07 MM	t=0,02…0,06 мм	σ <sub>n</sub> =140150 ΜΠa H=120 130 %	σ <sub>-1</sub> =130140 ΜΠα	по п.3 и 4	
ţ	Поверхнос	Параметр	Глубина слоя с из- мененной структу- рой и фазовым со- ставом	Степень наклёпа	Остаточные напря- жения	Толщина изношен- ного слоя	Толщина дефектного слоя	Прочность сцепле- ния чактеп оста-	тим, памлон, оста- точные напряжения		
	Условия воздейст- вия t <sup>0</sup> =13501400 <sup>0</sup> C		Шлифование, по- лирование		$t^{0} = 1100^{0}C$ $\sigma_{N} = 600 MIIa$		Газопламенное на- пытение питифо-	вание	$t^0 = 1100^0 C$ $\sigma_{N} = 600 MHa$		
Этапы жизненно- го цикла детали		Этапы жизненно- го цикла детали	Формообразова- ние заготовки де- тали	Размерная, отде- лочная обработка, нанесение покры-	ИЛ		Эксплуатация в рабочем режиме	Ремонт, восста-	новление	Режим эксплуата- шии	

С использованием физической модели поверхностного слоя детали решены задачи повышения ресурса деталей и обеспечения ресурсосбережения при их изготовлении, эксплуатации и восстановлении. Отдельные такие решения, включая применение известных технологий упрочняюще -модифицирующего воздействия [2], приведены в таблице 1.

Обеспечено решение изложенных конструкторских и технологических задач в режиме автоматизированного проектирования на основе подготовленной программы [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулима А.М. и др. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей/ А.М.Сулима, В.А.Шилов, Ю.Д.Ягодкин.- М.: Машиностроение, 1988. - 240 с.

2. Вивденко Ю.Н. Технологические системы производства деталей наукоемкой техники. – М.: Машиностроение, 2000.-559 с.

3. Программа комплексного решения задач при проектировании технологических процессов восстановления и изготовления деталей (программа ЭВМ). / Ю.Н. Вивденко, С.А.Резин, А.О.Шевчук.- Свидетельство о регистрации № 8099 от 01.06.2007 г. Государственный координационный центр информационных технологий РФ.

УДК 621.793.72: 669.017.3

### ПОКРЫТИЯ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ СОСТАВА ГИДРОКСИАПАТИТ-НИКЕЛИД ТИТАНА, НАНЕСЕННЫЙ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ

А. А. Попова, аспирант, В.И. Яковлев, к.т.н., доцент А.А. Ситников, д.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Алтайский край, тел.8-961-982-05-07, E-mail: anicpt@rambler.ru

В работе исследовалась возможность получения детонационным способом кальцийфосфатных покрытий из слоистых композитов состава гидроксиапатит-никелид титана. Проводились исследования шероховатости, фазового состава, адгезионной прочности полученных покрытий.

In the study we investigated the possibility of detonation method calcium-phosphate coatings tions of layered composites of hydroxyapatite nikelid titanium. The investigations of roughness, the phase composition, the adhesive strength of the coatings.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений современного медицинского материаловедения является создание имплантатов для замены поврежденных участков ткани [1]. При этом возникает необходимость нанесении на имплантанты биосовместимых покрытий, которые не оказывают отрицательного действия на живой организм и стимулируют процессы регенерации ткани. К таким материалам относится гидроксиапатит (ГА) - (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>). В настоящее время для формирования таких покрытий применяется ряд методов: магнетронное напыление, золь-гель метод, паровое осаждение и т.д. [2]. Все они обладают двумя существенными недостатками: низкими адгезионными свойствами и отклонением состава покрытия от стехиометрии ГА, близкой к стехиометрии костного материала позвоночных.

Задача создания прочных, сплошных биосовместимых покрытий с высокой адгезией и стехиометрией ГА может быть решена одним из перспективных методов напыления кальций-фосфатных покрытий - детонационно-газовым напылением. Технологические устройства импульсного действия имеют высокие удельные мощности, отличаются простотой преобразования энергии взрыва в полезную работу при минимальном термическом воздействии на напыляемый материал. При детонационно-газовом напылении важным технологическим параметром является скорость движения напыляемых частиц, которая способствует ускорению физико-химических процессов в контакте и, следовательно, повышению прочности покрытия.

Цель данной работы – изучение возможности получения детонационным способом кальций-фосфатных покрытий из слоистых композитов состава гидроксиапатит-никелид титана и исследование шероховатости, фазового состава, адгезионной прочности полученных покрытий.

В качестве материала использовались порошки из композиционных материалов состава NiTi(40%)+ГА, полученных методом механоактивированной обработки. Размер исходного порошка гидроксиапатита кальция - 150-300 мкм. Механическую активацию (МА) исходных реакционных смесей NiAl (40%)+ГА, проводили в планетарной шаровой мельнице АГО–2 с водяным охлаждением. Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы 160 см3. Диаметр шаров 8 мм, масса шаров в каждом барабане 200 грамм, масса образца 10 г. Центробежное ускорение шаров 400 м с-2 (40 g). Для предотвращения окисления во время МА барабаны с образцами вакуумировались и затем заполнялись аргоном до давления 0,3 МПа. После МА образцы выгружались из барабанов в боксе с аргоновой атмосферой.

Нанесение покрытий на титановые пластины (ВТ-1.0) размером 20х20х3 мм произведено на детонационно-газовой установке «Катунь-М»[3]. Перед нанесением покрытий проводилась пескоструйная обработка титановой основы с использованием порошка окиси алюминия Al2O3 фракции 250-380 мкм, а затем химическое травление путем протравливания поверхности в кислотном травите-

ле, нагретом до температуры кипения, на основе 30% раствора соляной кислоты и 60% раствора серной кислоты следующего состава: 0,1 HCl + 0,8 H2SO4 + 0,1 H2O. Покрытие на поверхность титановой подложки наносилось с частотой выстрелов 4 Гц, количество выстрелов составляло 250-400.

При напылении шероховатость покрытий составила 3,5 мкм, а толщина – 200 мкм. Формируются однородные по толщине и фазовому составу покрытия. Для оценки адгезионной прочности покрытия к подложке из титана использовался метод отрыва [4]. Результаты исследования адгезионной прочности покрытий показали, что она достигает 70 МПа. Полученные детонационное покрытия из композиционного материала представлены на рис. 1





Рис. 1. РЭМ изображения покрытий состава: NiTi(40%)+ГА(Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub>): а – поверхность покрытия, б – поперечный срез

#### Выводы

Методом детонационно-газового напыления получены покрытия из слоистых композитов состава гидроксиапатит-никелид титана. Покрытия формируются однородно по толщине и фазовому составу и имеют адгезионную прочность -70 МПа. Полученные покрытия представляют интерес для дальнейшего использования в медицинской практике в качестве биопокрытий на титановых имплантатах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pichugin V.F., Surmenov R.A., Shesterikov E.V. et al. // Surf. Coat. Technol. 2008. V. 202. P. 3913.

2. Shtansky D.V., Gloushankova N.A., Bashkova I.A. et al. // Surf. Coat. Technol. 2006. V. 201. P. 4111.

3. Яковлев, В.И. Экспериментально – диагностический комплекс для физических исследований порошковых СВС-материалов при детонационном напылении [Текст]: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Барнаул, АлтГТУ, 2003. – 19 с.

4. Тушинский Л.И. Методы исследования материалов: Структура, свойства

и процессы нанесения неорганических покрытий. – М.: Мир, 2004. – 384 с.

УДК 621.791.927.5

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МЕХАНОСТИМУЛИРОВАННОГО САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ СОЗДАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Собачкин, аспирант, В. И. Яковлев, к.т.н., с.н.с., А. А. Ситников, д.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова г. Барнаул. E-mail: <u>anicpt@rambler.ru</u>

Работа посвящена важной теме получения порошковых материалов нового класса методом механостимулированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (CBC). Обсуждаются технологии механической активации и CBC, описывается метод получения порошкообразной смеси для сердечника порошкового электрода (проволоки). Установлено, что введение в поверхностный слой изделия твердых частиц (карбидов) с помощью электродуговой наплавки электродами из порошковых CBC-материалов повышает износостойкость наплавленного слоя.

The work is devoted to the important topic of obtaining powders of a new class of materials by mechanically activated self-propagating high temperature synthesis (SHS). Technologies mechanical activation treatment and SHS are discussed in detail, describes a method of obtaining a powder mixture for powder core electrode (wire). It is established that the introduction to the surface layer of very hard particles (carbides) with electrodes from powder SHS-materials increases wear resistance of welded layer.

Электродуговая наплавка занимает прочные позиции в производстве и реновации деталей, узлов и агрегатов машин и механизмов различных отраслей промышленности. В результате наплавки можно получить рабочую поверхность, обладающую необходимым комплексом свойств: износостойкостью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью и т.п. Например, одним из эффективных способов достижения высокой износостойкости является введение в поверхностный слой изделия твердых сплавов, таких как тугоплавкие карбиды металлов. К примеру, путем больших усилий и энергозатрат металлургически удается ввести в изделие упрочняющую фазу в виде определенного содержания карбидов: Fe<sub>3</sub>C; Mn<sub>3</sub>C; Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; W<sub>2</sub>C; WC; VC; TiC; B<sub>4</sub>C, Mo<sub>2</sub>C, и др., а также карбоборидов, нитридов железа и легирующих элементов.

Однако, существующие методы получения высокотвердых карбидов, боридов, нитридов металлов характеризуются значительными энергетическими затратами, сложностью и многостадийностью технологических циклов и не всегда обеспечивают требуемое количество и качество материалов по чистоте.

По мнению многих ученых [1, 2] одним из перспективных методов получения порошковых материалов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (CBC). Благодаря таким особенностям CBC, как высокая температура, превышающая в большинстве случаев температуру плавления хотя бы одного из реагентов, высокая скорость внутреннего саморазогрева, протекание реакций в условиях резкого градиента температур, метод позволять получать материалы с повышенными свойствами, а в ряде случаев удается синтезировать композиции, получение которых другими известными способами требует больших затрат и/или сложного дорогостоящего оборудования либо вообще невозможно [1].

Эффективным средством, позволяющим целенаправленно влиять на структурное состояние реакционной шихты и параметры CBC, обеспечивая тем самым возможность регулирования механизмов фазо- и структурообразования материалов в процессе синтеза, а также воспроизводимость результатов, является предварительная механоактивационная обработка.

Относительно новым является метод механически активируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, основанный на сочетании механоактивации и CBC и представляющий собой двустадийный процесс. На первом этапе реакционная шихта обрабатывается в течение сравнительно короткого времени в энергонапряженном аппарате – активаторе, на втором – используется в качестве реакционной смеси для CBC. В общем случае продукт механически активируемого CBC характеризуется более тонкой и гомогенной структурой при повышенной глубине превращения по сравнению с CBC-продуктами без использования механоактивации. При этом, механоактивация позволяет получать методом CBC легированные материалы с повышенной концентрацией легирующих элементов (выше значения предельной растворимости).

Целью работы является апробация технологии механически активируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для создания порошковых наплавочных материалов нового класса.

Так, в проблемной НИЛ СВС-Материаловедения АлтГТУ было предложено использовать в качестве компонентов электродной шихты порошки материалов, полученных методом механически активируемого СВС. Это дает широкую возможность применять составы порошковых сердечников и создавать такие смеси электродного материала, которые чрезвычайно трудно, а иногда и просто невозможно получить другими техническими способами. Например, экспериментально опробован способ введения в сердечник порошкового электрода упрочняющей фазы в виде карбида титана, синтезированного в никель-хромовой матрице. При использовании «инертных» в химическом плане добавок (матриц) реакция синтеза предварительно механоактивированных веществ происходит в объеме этой
матрице. Наплавка разработанным порошковым электродом обеспечивает такой химический состав наплавленного металла, который чрезвычайно трудно получить обычным металлургическим путем.

Для получения требуемого композита подготовленные порошки углерода, титана и никель-хрома смешиваются в определенном соотношении. Затем порошковая смесь подвергается механической активации в планетарной шаровой мельнице-активаторе АГО-2С в течение заданного интервала времени. Следует отметить, что исходные порошки в зависимости от способа получения могут иметь различную форму частиц – от правильной глобулярной до осколочной. Однако после обработки порошковой смеси в активаторе ее частицы приобретают характерную осколочную форму, а в целом смесь представляет собой слоистый композит (рис. 1).



Рис. 1. РЭМ-изображение порошкового механокомпозита состава Ti + C + NiCr

Затем в полученной смеси проводится CBC-реакция, необходимая для синтеза карбида титана в никель-хромовой матрице. Синтез осуществлялся в режиме фронтального послойного горения без создания дополнительный условий его протекания. В результате реакции синтезируется требуемый композит вида TiC + NiCr с выбранным процентным содержанием металла матрицы. Получившаяся смесь является готовым порошком для наплавки.

Для проведения экспериментальной наплавки и установления практической возможности использования СВС-порошков в целях создания на поверхности изделия износостойкого слоя использовался порошковый электрод, содержащий смесь механоактивированных СВС-композитов состава TiC + NiCr (X % масс.). Наплавка осуществлялась на образцы из стали 45.

Результаты измерения микротвердости представлены на рис. 2. Исходя из характера зависимостей, можно сделать вывод, что микротвердость наплавленного слоя в несколько раз превосходит микротвердость материала основного металла (сталь 45) и возрастает при увеличении процентного содержания карбидов в матрице наплавочного порошка. Поэтому можно прогнозировать значительный прирост к износостойкости наплавленных изделий.





Для подтверждения этого в лабораторных условиях были проведены исследования по определению весового износа покрытий в зависимости от степени разбавления металлом матрицы. Выбор параметров испытаний осуществлялся по ГОСТ 17367 – 71 «Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закреплённые абразивные частицы». Результаты испытаний по определению весового износа наплавленных покрытий в зависимости от степени содержания металла матрицы представлены в таблице 1.

Таблица 1

	Степень содержания металла мат-			Сравнительное испы-	
Серия ис-	рицы в композите, % масс		тание		
пытаний	90	80	70	Сталь 45	
	Весовой износ, г				
1	0,0487	0,0523	0,0372	0,2581	
2	0,0391	0,0341	0,0259	0,2422	
3	0,0471	0,0382	0,0228	0,2329	
4	0,0464	0,0302	0,0132	0,2174	
5	0,0352	0,0273	0,0155	0,2283	
6	0,0487	0,0523	0,0372	0,2581	

Результаты исследования износостойкости

По результатам исследования износостойкости установлено, что наплавленные электродуговым способом покрытия из порошков СВСмеханокомпозитов с 90 % степенью разбавления металлом матрицы имеют меньшую сопротивляемость изнашиванию, что можно объяснить более низким содержанием карбидов. При снижении степени разбавления металлом матрицы композита повышается интенсивность перехода карбидообразующих элементов из порошков CBC-механокомпозитов в наплавленный металл, что обеспечивает повышение износостойкости и твердости покрытия.

Таким образом, результате механоактивационной обработки компонентов порошковой смеси TiC + X % ПР-Н70Х17С4Р4-3, проведения реакции CBC и дуговой наплавки в структуре покрытия формируются карбидные частицы различной стехиометрии TiC в объеме металлической матрицы (ПР-Н70Х17С4Р4-3) [3]. При этом, наблюдается достаточно равномерное распределение синтезированных в матрице карбидных соединений по объему наплавленного металла. Полученная структура наплавленного металла обеспечивает высокую микротвердость, а также износостойкость покрытия. Применяемый способ повышения износостойкости с помощью порошковых электродов из CBC-материалов позволит существенно (в 2-3 раза) увеличить срок службы деталей, узлов и агрегатов машин, работающих в тяжелых условиях коррозионно-абразивного изнашивания.

По итогам работы можно сделать вывод, что метод механически активируемого CBC позволяет создавать и использовать порошковые CBC-материалы в качестве сердечника порошкового электрода (проволоки). Использование подобных порошковых электродов (порошковой проволоки) для электродуговой наплавки обеспечивает оптимальную структуру наплавленного слоя с равномерным распределением упрочняющего зерна по объему наплавки [4, 5]. Результатом наличия такой структуры является высокая микротвердость рабочей поверхности изделия, и, как следствие, хорошая сопротивляемость абразивному износу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние механоактивации на процессы фазо- и структурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе / Н.З. Ляхов, Т.Л. Талако, Т.Ф. Григорьева. Новосибирск : Параллель, 2008. 168 с.

2. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / В.В. Евстигнеев, Б.М. Вольпе, И.В. Милюкова, Г.В. Сайгутин. М.: Высшая школа, 1996. 284 с.

3. Структура и свойства наплавленных электродуговых покрытий из порошков механоактивированных СВС-композитов / А.А. Ситников, В.И. Яковлев, М.Н. Сейдуров, М.Е. Татаркин, А.В. Собачкин, Н.В. Степанова, И.Ю. Резанов // Обработка металлов. 2011. № 3 (52). С. 51–54.

4. Покрытия из механоактивированных СВС-материалов для рабочих органов сельскохозяйственных машин, наплавленные ручным дуговым способом / А.А. Ситников, В.И. Яковлев, А.В. Собачкин, М.Н. Сейдуров, М.Е. Татаркин // Ползуновский вестник. 2012. № 1/1. С. 273–277.

5. Морфология покрытий из многокомпонентных, предварительно механоактивированных порошков СВС-композитов / А.В. Собачкин, И.В. Назаров, В.И. Яковлев, А.А. Ситников, П.С. Ярцев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3 (56). С. 141–144.

## РЕЛЬЕФ И СТРУКТУРА ТИТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.С. Саломатников, магистр техники и технологии ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» Тула, тел. +7 (920) 759-96-69. E-mail: m.s.salomatnikov@mail.ru

Проведено исследование структуры и рельефа титанового покрытия нанометровой толщины, полученного на поверхности ткани «шифон» методом электродугового испарения материала катода с последующей бомбардировкой в условиях низкотемпературной активации аргоновой плазмой. Произведена оценка геометрических характеристик поверхности металлизированной ткани с помощью атомно-силовой микроскопии.

The structure and topography nanometer thick titanium coating obtained on the surface of the silk method of electric arc evaporation of the cathode material, followed by bombardment in a low-temperature argon plasma activation. The estimation of the geometric characteristics of the surface of the metallic fabric using atomic force microscopy.

**Введение.** Во все времена и по настоящее время текстильные материалы были и остаются неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Это и одежда, которую мы носим, и элементы интерьера, бытовое белье, различные обшивки, строительные материалы и др. В качестве одежды текстильные материалы призваны защищать нас от негативного воздействия окружающей среды (природных и техногенных факторов).

На сегодняшний день некоторые из мировых производителей одежды стремятся придать ей дополнительные функциональные возможности, например теплосберегающие, гидрофобные, износостойкие, антибактериальные свойства и экранирования электромагнитного излучения (ЭМИ) [1]. Одним из возможных методов получения таких свойств у текстильных материалов, является формирование на их поверхности покрытия нано- и микрометровой толщины различных металлов (медь, алюминий, титан, никель, хром и т.д.) [2]. В последнее время наибольшее распространение для осуществления такой обработки получили вакуумные методы нанесения покрытий, среди которых выделяется магнетронная металлизация и технология электродугового испарения материала катода с последующей бомбардировкой (КИБ) в условиях низкотемпературной активации поверхностей ионами инертного газа, что позволяет формировать покрытия с высокой адгезией к основе.

Для ряда практических применений, например для создания экранирующих ЭМИ или гидрофобных материалов, рельеф и структура покрытия на поверхности текстильных материалов являются важными показателями, исследование и оценка которых является актуальной задачей.

**Цель исследования.** Данная работа посвящена исследованию структуры и геометрических характеристик титанового покрытия нанометровой толщины, полученного на поверхности ткани «шифон» методом КИБ.

Техника и методика исследований. Объектом исследования является текстильный материал – ткань «шифон» (ГОСТ 20723-2003 «Ткани плательные из натурального крученного шелка. Общие технические характеристики») с титановым покрытием нанометровой толщины, нанесенным методом электродугового распыления материалов катодов (КИБ), с предварительной активацией образцов низкотемпературной аргоновой плазмой, для создания условий формирования металлических пленок с высокой адгезией к основе [3].

Исследование топографии поверхности металлизированной ткани «шифон» проводили с помощью оптического микроскопа "БМИ-1Ц". Оптическую микроскопию проводили на образцах, полученных в работе [2-4].

Оценку шероховатости поверхности металлизированной ткани осуществляли с использованием сканирующего зондового микроскопа "*Nanoeducator*", в режиме атомно-силовой микроскопии (ACM) по разработанной методике.

Предварительно нить металлизированной ткани «шифон» диаметром 120...130 мкм закрепляли на плоской поверхности (пластине) с помощью эпоксидной смолы, для придания жесткости конструкции нити. Далее пластину с образцом металлизированной нити устанавливали на предметный столик зондового микроскопа, производили подвод образца к зонду и дальнейшее сканирование поверхности участка ткани размером 10х10 мкм (максимальный размер сканирования 90х90 мкм) (рисунок 1).



Рис. 1. Окно подвода зонда к поверхности металлизированного шифона: 1 – зонд (кантилевер); 2 – металлизированная нить; 3 – эпоксидная смола

После сканирования поверхности зондом (кантилевером) проводили анализ

результатов измерений и оценку геометрических характеристик поверхности металлизированной ткани «шифон».

**Результаты и обсуждения.** С помощью оптической микроскопии было установлено, что волокна ткани «шифон» с титановым покрытием нанометровой толщины имеют развитую структуру поверхности и на ней имеются многочисленные капли диаметром до 1 мкм (рис. 2а).



Рис. 2. Рельеф поверхности металлизированной ткани «шифон»: а) металлизированные волокна; б) 3-D изображение металлизированных волокон

Методом сканирующей зондовой микроскопии установлено, что по всей площади металлизированных волокон параметры шероховатости были практически одинаковыми, за исключение отдельных микрокапель металла на поверхности ткани (рис. 2.б).

На рисунке 3 представлено СЗМ-изображение поверхности металлизированной ткани «шифон» и профилограмма сечения А-А.



Рис. 3. Оценка геометрических характеристик металлизированной ткани «шифон»: а) СЗМ-изображение поверхности ткани; б) профилограмма сечения А-А

С помощью программного продукта «Nova», предназначенного для работы со сканирующими зондовыми микроскопами, выпускаемыми компанией «HT-MДТ», были рассчитаны такие характеристики рельефа, как Ra, Rz и построена таблица статистических параметров геометрических свойств поверхности металлизированной ткани «шифон» (таблица 1).

Таблица 1

Статистические параметры поверхности металлизированной ткани «шифон»

Параметр	Значение	
Объем выборки	125	
Максимум	1615,1 нм	
Минимум	345,6 нм	
Разброс высот	520 нм	
Высота неровностей профиля по десяти точ- кам, Rz	553,28 нм	
Средняя линия профиля	846 нм	
Среднее арифметическое отклонение, Ra	128,06 нм	
Дисперсия (разброс распределения вокруг среднего значения)	162,18 нм	

**Выводы.** В результате проведенных исследований поверхности ткани «шифон» с титановым покрытие, полученным методом КИБ, с помощью оптической и зондовой микроскопии по разработанной методике установлено, что поверхность ткани имеет развитую структуру. Получены статистические параметры поверхности металлизированной ткани «шифон». Установлено, что среднее арифметическое отклонение профиля поверхности металлизированной ткани составляет Ra=128 нм.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Buyle Nanoscale finishing of textiles via plasma treatment // Materials Technology, 2009 VOL 24, P46-51

2. Иванов А. В., Любимов В.В., Саломатников М.С. Получение металлических покрытий на текстильных материалах экранирующих электромагнитное излучение в СВЧ – диапазоне длин волн // Сборник трудов. «Высокие, критические электро- и нанотехнологии». Всероссийская НТК. Тула, 2011.– С. 78-87.

3. Иванов А. В., Любимов В.В., Саломатников М.С. Разработка процессов получения металлических покрытий нанометровой толщины на гибких объектах // Материалы международной научно-практической конференции «Многомасштабное моделирование структур и нанотехнологии» Тула: Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2011. – С. 65-66.

4. Саломатников М.С. Разработка технологии нанесения металлических

покрытий на гибких объектах, экранирующих электромагнитное излучение в СВЧ-диапазоне // Сборник докладов. «Молодежные инновации» VI молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета; под общей редакцией д-ра техн. наук, проф. Ядыкина Е.А.: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. Ч. І. – С. 236-239.

УДК 546.21

## СИНТЕЗ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДОВ ТИТАНА, ВАНАДИЯ И ХРОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

Ю.Л. Крутский, к.т.н., доц., К.Д. Дюкова, аспирант, Е.В. Антонова, аспирант, А.Г. Баннов, к.т.н., Ю.А. Вязьмина, студент. Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, тел./факс +7(383) 346-08-01, E-mail: <u>tpanstu@ngs.ru</u>

Представлены результаты исследования процессов синтеза карбидов титана, ванадия и хрома путем карботермического восстановления соответствующих оксидов нановолокнистым углеродом. Изучены некоторые характеристики и свойства полученных материалов. Все они однофазны и состоят из карбидов TiC, VC<sub>0,88</sub> и Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> микронных размеров.

The results of the study of titanium, vanadium and chromium carbides synthesis by carbothermic reduction of oxides using carbon nanofibers were presented. The characteristics and properties of the obtained materials were investigated. The materials obtained were a single-phase and consisted of TiC,  $VC_{0,88}$  and  $Cr_3C_2$  micron size particles.

Карбиды титана, ванадия и хрома характеризуются высокой температурой плавления, значительной твердостью, химической инертностью и по этим причинам являются одними из наиболее перспективных и широко используемых тугоплавких соединений [1]. Традиционный метод их получения в порошкообразном состоянии – карботермическое восстановление оксидов. Нановолокнистый углерод (НВУ), технология получения которого реализована на кафедре технологических процессов и аппаратов НГТУ, характеризуется незначительным содержанием примесей и высоким значением удельной поверхности (140-160 м<sup>2</sup>/г) [2] и по этим причинам является перспективным углеродным материалом для синтеза вышеуказанных соединений в виде высокодисперсных порошков.

Данная работа посвящена исследованию процессов синтеза карбидов титана, ванадия и хрома при использовании в качестве восстановителя и карбидообразующего элемента НВУ. Шихты для получения карбидов готовились по стехиометрии на реакции:

$TiO_2 + 3C = TiC + 2CO$	(1)
$V_2O_3 + 4,76C = 2VC_{0,88} + 3CO$	(2)
$3Cr_2O_3 + 13C = 2Cr_3C_2 + 9CO$	(3)
~ ~	

Синтез карбида титана проводился в печи сопротивления с углеродным нагревателем, а других карбидов в индукционной печи тигельного типа в среде аргона. Степень полноты прохождения реакций определялась сравнением расчетной и экспериментальной убыли массы. Установлено, что оптимальными температурами синтеза являются, °С: для карбида титана 2000-2100, карбида ванадия 1400-1500, карбида хрома 1300-1400.

Полученные образцы карбидов исследовались с помощью рентгенофазового (РФА) и рентгеноспектрального флуоресцентного анализов, пикнометрического метода, растровой электронной микроскопии, низкотемпературной адсорбции азота (БЭТ), термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии. Также было проведено определение общего углерода в синтезированных образцах.

По данным РФА было установлено, что продукты реакции во всех случаях однофазны и содержат карбиды TiC,  $VC_{0,88}$  и  $Cr_3C_2$ . Содержание основных элементов и углерода близко к расчетному. Частицы карбидов имеют неправильную форму с сопоставимыми размерами во всех измерениях (3-5 мкм) и частично агломерированы (рис. 1).



Рис. 1. Растровые электронные микрофотографии TiC (а),  $VC_{0,88}$  (б) и  $Cr_3C_2$  (в)

Результаты определения текстурных характеристик представлены в таблице 1.

Таблица 1

текстурные характеристики образцов карондов					
Карбид	Температура	Удельная	Удельный	Средний	
	синтеза, °С	поверхность,	объем пор,	диаметр	
		$M^2/\Gamma$	см <sup>3</sup> /г	пор, нм	
TiC	2000	2,0	0,009	18,8	
	2100	1,6	0,008	18,9	
VC <sub>0,88</sub>	1400	3,0	0,015	3,7	
	1500	2,8	0,014	3,9	
$Cr_3C_2$	1300	1,2	0,003	11,3	
	1400	1,0	0,002	12,1	

Текстурные характеристики образцов карбидов

Проводилось исследование окисляемости карбидов до температуры 1100 °С. Термограммы образцов карбидов, полученных при разных температурах, практически идентичны. Результаты термического анализа приведены в табл.2.

Таблица 2

псультаты термического анализа					
Образец	Прирост массн	Температура			
	Экспериментальный	Расчетный	начала окис-		
			ления, °С		
TiC	17,3	33,3	450		
VC <sub>0,88</sub>	43,8	47,8	400		
$Cr_3C_2$	27,0	27,8	560		

Результаты термического анализа

Таким образом, при достижении температуры 1100 °С карбиды ванадия и хрома окисляются практически полностью, а карбид титана – частично. По совокупности результатов по убыли массы в ходе реакции и элементного анализа содержание примесей в полученных карбидах можно оценить на уровне не более 1,5 % масс.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочное издание /Под ред. Косолаповой Т.Я. М.: Металлургия, 1986. – 928 с.

2. Kuvshinov G.G., Mogilnykh Yu.I., Kuvshinov D.G., Yermakov D.Yu., Yermakova M.A., Salanov A.N., Rudina N.A. Mechanism of Porous Filamentous Carbon Granule Formation on Catalytic Hydrocarbon Decomposition. Carbon. – 1999. - 37. - P.1239-1246.

## СИНТЕЗ НАНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ОЛОВА, ДОПИРОВАННОГО КОБАЛЬТОМ, И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

А.И. Апарнев, к.х.н.<sup>1</sup>, Н.Ф. Уваров, д.х.н.<sup>1,2</sup>, И.А. Кашпур<sup>1</sup>, Л.И. Афонина, к.х.н.<sup>1,2</sup>, А.Г. Баннов, к.т.н.<sup>1</sup>, В.В. Шинкарев, к.х.н.<sup>1</sup>, Б.Б. Бохонов, д.х.н.<sup>2</sup>, С.И. Юсин, к.х.н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск <sup>2</sup>Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, тел. +7(383) 346-06-32, e-mail: apaliv@mail.ru

Методами соосаждения с последующим спеканием в различных условиях синтезированы нанокомпозитные материалы в системе CoO-SnO<sub>2</sub>. Изучены кристаллическая структура, морфология и химические и фазовые превращения. Определены значения удельной зарядной емкости полученных материалов при их возможном использовании в качестве электродных материалов для суперконденсаторов.

Nanocomposite materials in the system  $CoO-SnO_2$  were prepared using co-precipitation followed by sintering in different conditions. The crystal structure, morphology and phase equilibria were investigated. Specific charge capacity values the nanocomposites were measured in order to estimate a possibility of their possible use as electrode materials for supercapacitors.

#### Введение

Нанокомпозиты на основе диоксида олова с различными добавками могут быть использованы в полупроводниковых газовых сенсорах и различных устройствах автономной энергетики для накопления и преобразования энергии. Нанокомпозиты SnO-CoO и аморфное соединение состава CoSnO<sub>3</sub>, обладающие высокой удельной электрической емкостью, могут быть использованы в качестве анодных материалов литиевых аккумуляторов [1-3]. Недостатком полученных систем является относительно высокая температура синтеза и, в связи с этим, относительно большой размер зерен компонентов композита. В литературе имеются противоречивые сведения о кристаллической структуре продукта кристаллизации аморфного CoSnO<sub>3</sub> при нагревании: по данным [3] аморфный станнат кобальта переходит в соединение Co<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> со структурой шпинели и SnO<sub>2</sub>, в то время как авторы работы [4] в той же системе получили соединение со структурой перовскита. Известно, что углеродно-оксидные нанокомпозиты могут быть использованы в качестве электродных материалов для суперконденсаторов [5-6]. Целью настоящей работы являлся синтез нанокомпозитов в системе SnO<sub>2</sub>-CoO и исследование их физико-химических свойств методами рентгенофазового, термического, электрохимического анализа, электронной микроскопии.

#### Экспериментальная часть

В качестве прекурсоров для получения композитов SnO<sub>2</sub>-CoO использовали  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$  и SnCl\_4 \cdot 5H\_2O, которые растворяли в 0,5 *M* растворе хлороводородной кислоты при атомном отношении Sn:Co = 1:1. Осаждение золя проводили добавлением 1 M раствора аммония гидроксида до pH = 6-7. Полученный объемный аморфный осадок отфильтровывали под вакуумом, промывали дистиллированной водой до отсутствия хлорид-ионов, сушили при комнатной температуре и отжигали при температурах от 293 до 1273 К. Фазовый состав и микроструктуру порошков изучали методом рентгеновской дифракции на приборах Bruker D8 Advance и ДРОН-3М с использованием CuK<sub>а</sub>-излучения. Средний размер зерен кристаллических фаз оценивали по уширению рефлексов на дифрактограммах с помощью формулы Шеррера. Исследование термических свойств образцов проводили на системе синхронного термического анализа NETZSCH Jupiter STA 449C сопряженного с масс-спектрометром QMS 403С Aëolos (TG-QMS) в потоке аргона. Поверхностные свойства порошков изучали методом низкотемпературной адсорбции азота при 77 К на приборе статического типа Quantachrome Nova 1000е. Измерения электропроводности проводили по двухэлектродной схеме на воздухе в интервале температур 293-873 К на переменном токе с помощью прецизионного измерителя электрических параметров Hewlett Packard HP 4284A в области частот 20 Гц - 1МГц. Электрохимические свойства изучали методом циклической вольтамперометрии.

#### Результаты и обсуждение

По данным порошковой рентгеновской дифракции (рис. 1) при осаждении из раствора образуется двойной гидроксид CoSn(OH)<sub>6</sub>.



Рис. 1. Рентгенограммы образцов, прогретых при 250 (1), 450 (2), 650 (3), 800 (4) и 1000°С (5)

По данным термического анализа, представленным на рис. 2, при прокаливании этого соединения выше 250-300°С происходит его дегидратация с образованием аморфного продукта формального состава SnCoO<sub>3</sub>. В области температур 650-700°С на кривых ДСК наблюдается экзотермический эффект, связанный с распадом аморфной фазы и образованием нанокомпозита, состоящего из смеси оксидов олова и кобальта. Положения рефлексов на рентгенограммах хорошо согласуются с литературными данными для кристаллических фаз SnO<sub>2</sub> (PDF2-file 41-1445, структура касситерита) и CoO (PDF2-file 43-1003).

Рефлексы на рентгенограммах, соответствующие обеим фазам, сильно уширены, что указывает на малые размеры кристаллитов. При увеличении температуры прогрева от 650 до 800 °С средний размер кристаллитов возрастает от 8 до 12 нм для SnO<sub>2</sub> и от 19 до 70 нм для CoO. Величина удельной поверхности, равная для аморфного образца 147 м<sup>2</sup>/г, после прогрева при 800°С уменьшается до 12 м<sup>2</sup>/г (см. Табл. 1).



Рис. 2. Зависимость изменения массы (ТГ) и данные дифференциального термического анализа (ДСК) образца, полученного осаждением

Таблица 1.

Значения размера частиц, кдельной поверхности, размера пор и удельной электрической емкости материалов, полученных в различных условиях

Температура	Размер частиц, нм		Удельная по-	Размер	Удельная
прогрева, °С	SnO <sub>2</sub>	СоО	верхность, $M^2/\Gamma$	пор, нм	емкость, Ф/г
250	-	-	147	4.8	9.5
400	-	-	113	-	7.5
650	8	19	31	18	7.5
800	12	70	12	13	9.2
1000	> 100	-	4	-	2.7

По данным электронной микроскопии (рис. 3) исходный продукт, полученный методом осаждения, кристаллизуется в виде монокристаллов CoSn(OH)<sub>6</sub> размерами 0.1-0.5 мкм (рис. 3а). При нагревании и непосредственно после дегидратации образуется псевдоморфоза, состоящая из сросшихся наночастиц аморфной фазы (рис. 3б). При нагревании из аморфной фазы кристаллизуются две фазы, которые характеризуются различными скоростями роста, что приводит к разрушению псевдоморфозы, хотя остаточные агрегаты, состоящие из смеси фаз сохраняются (рис. 3г).



Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки, демонстрирующие изменение морфологии отдельного кристаллита SnCo(OH)<sub>6</sub> при нагревании. Температура прогрева: 250 (а), 400 (б), 650 (в) и 800°С (г)

В области температур 800-1000 °С в системе происходит химическое взаимодействие, в результате которого оксид кобальта полностью переходит в новую кристаллическую фазу, а в системе остается часть не прореагировавшего  $SnO_2$ . Анализ рентгеноструктурных данных показал, что новой фазой может быть  $Co_2SnO_4$  со структурой шпинели и соединение  $CoSnO_3$  со структурой перовскита, которые имеют сходные дифрактограммы. Более вероятным представляется вариант, когда в системе образуется соединение со структурой шпинели  $Co_2SnO_4$ . В этом случае при полном расходовании оксида кобальта в системе должен остаться кристаллический  $SnO_2$ , что согласуется с экспериментальными данными.

Полученные порошки были испытаны в качестве оксидных электродных материалов для суперконденсаторов. Измеренные значения удельной емкости не высоки, слабо зависят от условий приготовления и лежат в диапазоне 7 - 10 Ф/г (см. табл. 1). Результаты, полученные нами, не согласуются с высокими значениями емкости (300 - 400 Ф/г), полученными ранее авторами работы [5, 6]. Возможно, причиной такого расхождения является то, что в работах [5, 6] электроды содержали высокоактивный углеродный материал, наличие которого и обуславливало общую высокую емкость материала. Поэтому полученные материалы могут быть использованы в качестве эффективных оксидных добавкок в углеродные электродные материалы.

Работа проведена при поддержке грантов НГТУ для молодых ученых.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] F. Huang, X.-Z. Lui, 2, Y.-F. Zhang, X.-Y. Luo, C. Yu, R. Wu, Materials Science-Poland, 2009, V. 27, N. 1, P. 239.

[2] W. Cui, F. Wang, J. Wang, C. Wang, Y. Xia, Electrochimica Acta, 2011, V. 56 (13) P. 4812.

[3] Zh. Wang, Z. Wang, W. Liu, W. Xiao, X.W. Lou, Energy Environ. Sci., 2013, V.6, P. 87.

[4] M. R. Cassia-Santos, M. F. Rezende, M. M. Paranhos, A. C. Hernandes, N. O. Dantas, A. C. S. Almeida, Abstr. IX Brazilian MRS Meeting (SBPMat Brazil-MRS) 2010, K561

[5] M Jayalakshmi, K Balasubramanian, Int. J. Electrochem. Sci., 2008, V.3, P. 1196.

[6] K. Karthikeyan, et.al/ 4th International Conference on Polymer Batteries and Fuel Cells Yokohama Symposia, Yokohama, Japan, August 2-6, 2009, P. 309.

УДК: 546.831.4; 544.774.4

## СИНТЕЗ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ДОПИРОВАНОГО ИТТРИЕМ<sup>††</sup>

Н.Ф. Уваров, д.х.н., А.И. Апарнев, к.х.н., А.Г. Баннов, к.т.н., Казакова А.А., Турло Е.М., к.п.н., И.А. Кашпур Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, тел. +7(383) 346-06-32, e-mail: apaliv@mail.ru

Методами соосаждения с последующим спеканием в различных условиях синтезированы нанокристаллические материалы на основе твердого раствора ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Изучены кристаллическая структура, морфология и фазовые равновесия.

Nanocrystaline powders of solid solutions ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> were prepared using co-precipitation followed by sintering in different conditions. The crystal structure, morphology and phase equilibria were investigated.

<sup>&</sup>lt;sup>++</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по договору № 02.G25.31.0060

#### Введение

Твердые растворы на основе диоксида циркония широко используются на практике для получения керамических материалов со специальными свойствами. Одной из важнейших характеристик таких материалов является высокая механическая прочность, поэтому системы на основе диоксида циркония могут служить в качестве упрочняющих гетерогенных добавок в различные керамики. Высокая прочность керамических материалов, содержащих диоксид циркония, объясняется тем, что при увеличении механической нагрузки в матрице ZrO<sub>2</sub> происходит фазовый переход из низкотемпературной моноклинной фазы в высокотемпературную тетрагональную модификацию. Этот переход сопровождается уменьшением объема, что содействует уменьшению величины механических напряжений в напряженной зоне и уменьшает вероятность образования трещин. Температуру фазового перехода T<sub>t</sub> можно понизить с помощью введения в диоксид циркония добавок оксидов двух- и трехзарядных катионов, в частности оксида иттрия. При таком допировании происходит образование твердых растворов с моноклинной, тетрагональной или кубической структурой в зависимости от типа и концентрации допанта. Например, тетрагональная фаза стабилизируется при введении в диоксид циркония более 3 моль.% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Поэтому для получения прочной керамики целесообразно использовать меньшие значения оксида иттрия.

Известно, что уменьшение размера частиц до значений порядка 10-100 нм также приводит к снижению температуры T<sub>t</sub> вследствие размерного эффекта. С другой стороны, уменьшение размера зерен приводит к ускорению процесса спекания керамики. В результате, используя нанокристаллические прекурсоры можно эффективно влиять на процессы спекания и упрочнения керамики. Также известно, условия синтеза существенно влияют на микроструктуру полученных осадков [2-4], что очень важно для дальнейшего получения плотной керамики.

В настоящей работе представлены результаты по синтезу и исследованию кристаллической структуры и морфологии нанокристаллических твердых растворов  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  с низким содержанием оксида иттрия для использования полученных порошков в качестве гетерогенной упрочняющей добавки в керамики. В качестве базового метода синтеза использованы методы прямого и обратного осаждения из водных растворов в различных условиях.

#### Экспериментальная часть

В качестве прекурсоров для синтеза твердых растворов  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  содержащих 2 мол.%  $Y_2O_3$ , использовали соли цирконила  $ZrOCl_2 \cdot 6H_2O$ ,  $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ ; в качестве источника иттрия был взят нитрат иттрия  $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ . Нами были синтезированы два типа образцов: первый образец был получен совместным осаждением путем постепенного прибавления раствора аммиака к азотнокислому раствору циркония-иттрия до pH 6; второй образец был получен методом обратного совместного осаждения – к концентрированному раствору аммиака прибавляли по каплям азотно-солянокислый раствор циркония-

иттрия до pH 9. В обоих случаях полученные аморфные осадки центрифугировали, отфильтровывали под вакуумом, промывали дистиллированной водой до отсутствия хлорид-ионов, сушили при комнатной температуре и отжигали при температуре 800 °C. Фазовый состав и микроструктуру порошков изучали методом рентгеновской дифракции на приборе ДРОН-3М с использованием СиК<sub>α</sub>излучения и электронном микроскопе Hitachi TM-1000. Средний размер зерен кристаллических фаз оценивали по уширению рефлексов на дифрактограммах с помощью формулы Шеррера. Исследование термических свойств образцов проводили на системе синхронного термического анализа NETZSCH Jupiter STA 449С в потоке аргона.

#### Результаты и обсуждение

Известно, что при осаждении из водных растворов в щелочных средах образуются аморфные гидратированные формы диоксида циркония  $ZrO_2 \cdot xH_2O$  (0 < x < 1) [1]. Для получения твердых растворов  $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$  условия осаждения желательно подобрать таким образом, чтобы гидроксид иттрия по возможности полностью соосаждался с гидроксидом циркония. Поэтому при синтезе мы меняли тип прекурсора, концентрацию нитрата иттрия, порядок осаждения и pH раствора.

По данным термического анализа, представленным на рис.1, при нагревании этого соединения выше 50 °С происходит дегидратация.



Рис. 1. Зависимость изменения массы (ТГ) и данные дифференциального термического анализа (ДСК) образца, полученного осаждением

В некоторых образцах процесс дегидратации происходит в две стадии: в области температур 100-250 °C выделение воды происходит наиболее интенсивно и сопровождается ярко выраженным эндотермическим эффектом. При 260 °С наблюдается слабый экзотермический эффект, возможно, связанный со структурной перестройкой аморфного гидроксида. При дальнейшем нагревании процесс выделения воды идет более плавно и не сопровождается заметным тепловым эффектом. При температуре 430-470 °С выделение воды практически завершается и наблюдается сильный экзотермический эффект, связанный, по-видимому, с кристаллизацией моноклинной фазы диоксида циркония *m*-ZrO<sub>2</sub>. В области температур 640-680 °C фиксируется размытый эндотермический тепловой эффект, обусловленный, по-видимому, фазовым переходом из моноклинной фазы в тетрагональную фазу диоксида циркония *t*-ZrO<sub>2</sub>. Температура фазового перехода хорошо согласуется с экспериментальными и расчетными данными для твердых растворов ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, представленными ранее в работе [5]. Химический анализ не позволил с достаточной точностью определить содержание иттрия в образцах. Результаты исследований образцов методом рентгеновской дифракции показали, что полученные разными методами материалы имеют различное содержание кристаллических фаз (рис. 2).



Рис. 2. Участок рентгенограммы образцов, полученных из нитрата цирконила (1, 2) и хлорида цирконила (3). На рентгенограмме дополнительно прогретого образца (1) присутствуют рефлексы, принадлежащие только тетрагональной фазе ZrO<sub>2</sub>. Стрелками указаны рефлексы, относящиеся к моноклинной фазе диоксида циркония

Дополнительный прогрев образцов приводит к увеличению концентрации тетрагональной фазы, которая со временем переходит в смесь моноклинной и тетрагональной фаз. На рентгенограммах образцов, не подвергнутых дополнительному нагреву, присутствуют рефлексы, относящиеся к тетрагональной и моноклинной модификациям. Рефлексы на рентгенограммах сильно уширены, что указывает на малые размеры кристаллитов. Средний размер кристаллитов (точнее, областей когерентного рассеяния) составляет 14±0.4 нм, что согласуется с результатами работ, опубликованных ранее [2-4].По данным сканирующей электронной микроскопии (рис. 3) все полученные образцы являются сильно агрегированными. Наиболее мелкие агрегаты получаются при использовании в качестве прекурсора хлорида цирконила. Для получения керамики материалы необходимо дополнительно измельчать методами механического воздействия или ультразвукового воздействия.



Рис. 3. Морфология порошков ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, полученных из нитрата (слева) и хлорида (справа) цирконила

Учитывая фрактальный характер агрегатов [3], их прочность не высока, что позволяет легко разрушать агрегаты и получать качественную керамику. При этом более перспективно использование порошков, полученных из хлорида цирконила.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] У.Б. Блументаль. Химия циркония. Изд. иностр. лит., М.: 1963.

[2] И.А. Стенина, Е.Ю. Воропаева, А.Г. Вересов, Г.И. Капустин, А.Б. Ярославцев. Влияние величны pH осаждения и термообработки на свойства гидратированного оксида циркония. ЖНХ, 2008, Т. 53, № 3, С. 397-403.

[3] К.В. Кравчик, Ю.П. Гомза, О.В. Пашкова, А.Г. Белоус, С.Д. Несин. Влияние условий осаждения гидроксидов циркония и иттрия на фрактальную структу-

ру образующихся ксерогелей и осадков состава 0.97ZrO<sub>2</sub>·0.03Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Неорг. материалы. 2007. Т. 43. № 3. С. 307-312.

[4] В.Б. Кульметьева, С.Е. Порозова, Е.С. Гнедина. Синтез нанокористаллического диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия, для низкотемпературного спекания. Порошковая металлургия и функциональные материалы. 2011. № 2. С.3-9.

[5] M. Chen, B. Hallstedt, L.J. Gauckler. Thermodynamic modeling of the ZrO<sub>2</sub>–YO<sub>1.5</sub> system. Solid State Ionics. 2004. V. 170. N. 2. P. 255–274.

УДК 620.22:621.002.3

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ГЕТЕРОФАЗНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО НАГРЕВА С ОБРАЗОВАНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

В.Г. Буров, к.т.н., профессор Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383)-346-11-86, факс +7(383)-346-51-92. E-mail: v.burov@corp.nstu.ru

Рассмотрены причины снижения конструктивной прочности гетерофазных металлических материалов конструкционного и инструментального назначения после высокотемпературной обработки, в результате которой их локальные объемы переходят в состояние расплава. Изучен характер дефектов структуры, формируемых при нагреве до температур плавления локальных объемов гетерофазных металлических материалов. Доказано, что в процессах сварки плавлением, наплавки, жидкофазного спекания покрытий из порошковых композиций, термической обработки и поверхностного легирования наибольшее влияние на формирование дефектов структуры в локальных объемах оказывает химический состав, исходная структура гетерофазных материалов и режимы нагрева и охлаждения. Обоснован и разработан комплекс технических решений, позволяющих снизить дефектность структуры этих материалов после высокотемпературного нагрева. Наиболее эффективные решения связаны с изменением химического состава расплава и термомеханической обработкой локальных объемов, претерпевших структурные изменения.

The reasons for the reduction of the structural strength of structural and instrumentation hetero-metallic materials after high-temperature treatment, that resulted in these materials' local volumes turned into the state of the melt are considered. The character of structural defects formed in the local volumes of hetero-metallic materials during heating to the melting point is studied. It is proved that in the process of fusion welding, welding, liquid-phase sintering of powder coating compositions, heat treatment and surface alloying, the chemical composition, the initial structure of heterophase materials and modes of heating and cooling have the greatest influence on the structural defects formation in local volumes. A set of technical solutions to reduce the defect structure of these materials after high heat is proved and developed. The most effective solutions are associated with changes in the chemical composition of the melt and thermomechanical processing of local volumes that have undergone structural changes.

При изготовлении многих реальных изделий из структурно-неоднородных материалов часто используются технологии, предусматривающие высокотемпературный нагрев, сопровождающийся расплавлением локальных объемов заготовок. В частности, сварочные технологии предусматривают сборку конструкций из готовых изделий, свойства материала которых чаще всего обеспечены до осуществления сборки. Методы наплавки, спекания упрочняющих композиционных покрытий из порошковых материалов, а также легирования с использованием локализованного нагрева предусматривают наличие жидкой фазы в локальных объемах формируемого поверхностного слоя. Наличие жидкой фазы в локальных объемах гетерофазных металлических материалов приводит к формированию структуры, характеризующейся присутствием дефектов литейного происхождения и перегретых зон термического влияния, что приводит к снижению показателей качества материала: трещиностойкости, прочностных и эксплуатационных свойств. В производственной практике с целью уменьшения влияния дефектов структуры, сформированных в локальных объемах материала, стараются сократить время высокотемпературного воздействия и уменьшить объем расплава. Однако и эти решения не исключают структурных изменений, которые значительно снижают показатели конструктивной прочности материала изделия.

Особенности структуры, формируемой в присутствии локальных объемов жидкой фазы, в наибольшей степени описаны в многочисленных трудах отечественных и зарубежных специалистов в области сварки. Значительный объем результатов теоретических и экспериментальных исследований получен специалистами в области лазерной, электронно-лучевой, плазменной наплавки. При всей широте проведенных исследований и полноте полученных знаний вопрос о влиянии жидкой фазы на структуру и свойства переходных зон, формируемых в основном металле, остается недостаточно изученным. С позиций обеспечения качества гетерофазных металлических материалов актуальна разработка обобщенных подходов к проблеме оптимизации технологий, использующих нагрев изделий до температур плавления локальных объемов, по минимизации дефектности структуры в этих объемах. Применительно к процессам, указанным выше, исследована эффективность использования наиболее технологичных решений: изменения температурно-временных режимов нагрева и кристаллизации; дополнительного энергетического воздействия на зону расплава путем наложения ультразвуковых колебаний на зону расплава во время кристаллизации; изменения химического состава зоны расплава путем введения в нее легирующих материалов, создания барьерных слоев, введения инокуляторов; подбора исходного структурного состояния материалов с целью исключения технологической наследственности структурных дефектов; термического и деформационного воздействия на локальный объем материала, претерпевший структурные изменения после высокотемпературного нагрева.

Наиболее характерные дефекты структуры, обусловленные высокотемпературным нагревом материалов, образуются при реализации процессов сварки. При сварке низкоуглеродистых сталей плавлением, вне зависимости от типа источника энергии и температурно-временных режимов, формируется явно выраженная градиентная структура. И, несмотря на то, что периферийные участки зоны термического влияния приобретают структуру, характерную для неполной перекристаллизации, в которой тонкие прослойки материала имеют уникальную феррито-перлитную структуру с особо мелкими колониями перлита (менее 2...3 мкм), комплекс свойств материала с градиентным строением определяется поведением структурной составляющей, обладающей худшими свойствами. В большинстве сварных швов низкоуглеродистых сталей такой структурной составляющей является феррит видмаштеттова типа, который обладает невысокими прочностными свойствами и пониженной пластичностью. Видманштеттов феррит приводит к снижению показателей надежности сварных швов (ударная вязкость составляет ~ 40 % от уровня основного материала, растягивающие напряжения в зоне пониженной пластичности составляют до 50 % от предела текучести холоднодеформированной стали). Регулирование термических циклов и сокращение времени нахождения металла в расплавленном состоянии не позволяют исключить образование видманштеттова феррита.

При сварке разнородных по составу материалов использование методов управления термическими циклами также не достаточно эффективно. Особенности, характерные для сварки разнородных сталей, подробно изучены на примере стыковой контактной сварки заготовок из высокоуглеродистой рельсовой стали 376 и хромоникелевой стали 12X18H10T [1]. Методами структурного анализа установлено, что даже в условиях замедленного охлаждения сварных соединений в сварном шве и в зоне термического влияния со стороны хромоникелевой стали формируются микрообъемы высокопрочного мартенсита. Выделения мартенсита имеют форму узких прослоек твердостью 4500...6000 МПа, ориентированных параллельно поверхности контакта стальных заготовок. Образование прослоек мартенсита является результатом обогащения хромоникелевой стали углеродом, поступающим в шов из высокоуглеродистой стали. Высокая термическая стабильность мартенсита не позволяет избавиться от него даже при использовании длительного отпуска при  $700 \{°}C$ .

При использовании источников энергии высокой концентрации для сварки легированных сталей и металлических сплавов с повышенным содержанием легирующих элементов снижение комплекса механических свойств сварных соединений наблюдается вследствие проявления процессов ликвации и образования дефектов в виде хрупких фаз и пор. При стыковой лазерной сварке пластин из

нержавеющей хромоникелевой стали зоны термического влияния не имеют ярко выраженных структурных отличий от основного металла и прочность сварных швов на растяжение превышает предел прочности основного материала. В то же время, образование хрупких фаз, возникающих в результате химического взаимодействия легирующих элементов, является причиной снижения ударной вязкости материала в 2...3 раза. Структура сварного шва после первичной кристаллизации в значительной степени зависит от температуры испарения легирующих компонентов. Так например, лазерная сварка алюминиевого сплава 01420 сопровождается интенсивным испарением лития и магния, в результате которого формируются закрытые поры. Оптимизация режимов сварки не обеспечивает их полного исключения.

Проведены исследования закономерностей формирования структуры поверхностных слоев при жидкофазном спекании износостойких покрытий из порошковых композиций на стальных изделях на примере спекания твердосплавных вольфрамокобальтовых порошковых смесей. Выявлено, что основной причиной дефектности формируемых поверхностных слоев является химическое взаимодействие компонентов порошковой смеси с железом основного металла. При этом значительную роль в формировании дефектов структуры композиции оказывают дефекты исходной структуры основного материала и порошковой композиции. При спекании на стальных заготовках покрытий образуются сложные карбиды (Fe,Co,W)<sub>n</sub>C, характеризующиеся пониженным уровнем прочностных и триботехнических свойств. Образование сложных карбидов является закономерным этапом формирования композиции при жидкофазном спекании твердосплавных покрытий, так же, как и при спекании твердых сплавов. Однако неконтролируемый массоперенос железа основного металла и его участие в образовании сложных карбидов нарушает баланс углерода в спеченном твердом сплаве и является причиной сохранения хрупких карбидов в переходной зоне композиции [2].

Использование перспективных высокоэнергетических методов нагрева при термической обработке и при легировании поверхностных слоев крупногабаритных изделий из углеродистых сталей сопровождается появлением дефектов в виде охрупчивания межзеренных границ, либо появлением микрообъемов расплава в виде ледебурита. При этом основной причиной дефектов структуры, резко снижающих прочностные и эксплуатационные свойства полученных поверхностных слоев, является недостаточно тонкая исходная структура основного материала.

Результаты исследования методов эффективного воздействия на материалы, локальные объемы которых подвергаются нагреву до температур плавления показали, что одним из самых эффективных способов управления структурой во всех рассмотренных процессах является управление химическим составом зоны нагрева. При этом, с целью исключения технологической наследственности дефектов, важным условием является наличие исходной ультрадисперсной струк-

туры подвергаемых нагреву материалов [3]. Мелкозернистая структура низкоуглеродистых сталей (размер зерна < 1 мкм) в сочетании с использованием интенсивной пластической деформации позволяет избежать образования феррита видманштеттова типа. Тонкая структура сталей, на которых спекаются износостойкие покрытия из композиционных порошковых смесей, или поверхности которых подвергаются легированию с использованием источников энергии высокой концентрации, позволяет исключить образование дефектов, охрупчивающих основной материал. Наиболее эффективное управление химическим составом зоны расплава достигается использованием барьерных слоев из материалов, имеющих химический состав, отличный от материалов формируемой композиции, и предотвращающих образование хрупких фаз в зоне расплава. В качестве барьерных слоев эффективны: при сварке - промежуточные вставки; при наплавке упрочняющих слоев и при спекании покрытий из порошковых композиций - модифицированные химико-термической обработкой или легированием поверхностные слои основного материала. Использование микролегирования сталей ниобием позволяет избежать охрупчивания поверхностных слоев основного материала при наплавке, спекании композиционных покрытий, поверхностном легировании или термообработке с использованием источников энергии высокой концентрации. Изменение химического состава зон высокотемпературного нагрева с целью снижения дефектности структуры формируемых композиций требуют оптимизации температурно-временных режимов нагрева.

Для устранения дефектов литейного происхождения в локальных объемах поверхностных слоев низкоуглеродистых сталей предложен эффективный метод, заключающийся в пластическом деформировании индентором, колеблющимся с частотой 18...22 кГц. Использование этой обработки позволяет сформировать градиентную структуру в слое толщиной до 450 мкм. В поверхностных слоях толщиной до 100 мкм происходит перестройка структуры с формированием дислокационных построений ячеистого типа. Дополнительная термическая обработка при температуре рекристаллизации способствует формированию в деформированных слоях структуры с зерном феррита 0,3...0,5 мкм и равномерно распределёнными карбидными частицами со средним размером ~ 25 нм, что снижает склонность материала к внезапному хрупкому разрушению и обеспечивает высокие значения усталостной трещиностойкости.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Структурные особенности сварного соединения железнодорожных крестовин с рельсами [Текст] / А. А. Никулина, В. Г. Буров, А. А. Батаев, В. А. Батаев // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2007. – № 1 (34). – С. 32–34.

2. Surface-layer formation by melting tungsten-cobalt powder mixtures on steel [Text] / V. G. Burov, V. A. Bataev, S. V. Veselov, Z. B. Bataeva, T. S. Sameishcheva //

Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 1. – P. 95–97.

3. Буров, В. Г. Особенности формирования структуры локальных объемов гетерогенных материалов при высокоэнергетическом нагреве [Текст] / В. Г. Буров // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2006. – № 4 (33). – С. 9–12.

УДК 669.15-194

## СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ АЛЮМИНИЕМ И МЕДЬЮ

## Н.В. Степанова, аспирант, А.А. Разумаков, аспирант, Е.В. Мельникова, студентка Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, тел.+7(383)-315-29-01, факс. +7(383)-346-06-12, E-mail: <u>naty@ya.ru</u>

Изучалось влияние меди на структуру и механические свойства заэвтектоидной стали, содержащей 1,5 % алюминия. При повышении содержания меди до 6 – 9 % в структуре заэвтектоидной стали металлографически наблюдаются глобулярные медьсодержащие включения размерами 2...10 мкм, расположенные вблизи частиц вторичного цементита и по границам бывших аустенитных зерен. С повышением концентрации меди увеличивается твердость перлита, что вызывает рост твердости стали. Увеличение содержания меди в графитизированной заэвтектоидной стали способствует равномерному распределению графитовых включений.

The effect of copper on the structure and mechanical properties of hypereutectoid steel alloyed by 1.5 wt.% of aluminum was studied. Copper increase up to 6-9 wt. % led to the globular coppercontaining inclusions with measurements of 2 ... 10 mm, located near the secondary particle of cementite and prior austenite grain boundary boundaries precipitation in the hypereutectoid steel. Further increase of copper concentration led to increase of hardness pearlite and, hence, alloy hardness growth. With the increase of the copper content of the distribution of the graphite inclusions becomes more uniform in the graphitized hypereutectoid steel.

Одна из актуальных прикладных задач в области материаловедения заключается в разработке антифрикционных материалов на основе железоуглеродистых сплавов, имеющих высокие механические свойства. Важнейшее достоинство сталей заключается в их высоких прочностных свойствах и ударной вязкости. В то же время большинство сталей обладает высоким коэффициентом трения скольжения [1]. При 800 °C в железоуглеродистых сплавах может быть растворено не более 2 % меди. Согласно диаграмме состояния Fe-Cu при комнатной температуре медь в железоуглеродистых сплавах почти не растворяется. Поэтому с ростом содержания меди в структуре сталей возрастает объемная доля включений ε-фазы (твердого раствора железа в меди) [2]. Часть включений выделяется в виде наноразмерных частиц в зернах феррита и феррите перлита [3]. Авторы работы [4] называют такой феррит анормальным. Из-за разницы температур кристаллизации ε-фазы и γ-железа крупные медьсодержащие включения приобретают глобулярную форму и располагаются в горячих зонах отливки. Введение алюминия в сталь способствует измельчению таких включений, а также их равномерному распределению в структуре железоуглеродистых сплавов. Кроме того, введение алюминия позволяет изменить форму графитовых включений с пластинчатой на вермикулярную при низком содержании меди [5].

Для изучения влияния меди на структуру и механические свойства стали, легированной алюминием, с использованием индукционной печи ОКБ-281 с основной футеровкой и емкостью тигля 750 кг были отлиты 4 стальных образца с различным содержанием меди (0,1, 3, 6, и 9 мас. %). При добавлении в литейную форму силикокальция (ГОСТ 4762 - 71) была получена серия образцов графитизированной заэвтектоидной стали. Химический анализ отливок был выполнен на ARL эмиссионном спектрометре 3460. Шлифы оптическом лля микроструктурных исследований подготовлены по стандартной технологии с применением отрезной машины «Discotom-65», пресса для заливки образцов 1000 полировального SimpliMet И автоматического станка LaboPol-5. Микроструктурные исследования проводились на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer A1m на шлифах, химически травленных четырехпроцентным спиртовым раствором HNO<sub>3</sub>. Измерения твердости по Бринеллю проведены по ГОСТ 9012 на приборе ТШ-2 при нагрузке на индентор 3000 кг. Твердость по Виккерсу оценивалась на микротвердомере Wolpert Group 402MVD при нагрузке на алмазный индентор 100 г.



Рис. 1 – Влияние меди на твердость заэвтектоидной стали, легированной 1,5 % алюминия (а) и микротвердость перлита (б). Сплошная линия - заэвтектоидная сталь, пунктирная – графитизированная заэвтектоидная сталь

В составе полученных образцов находилось 2,10 % С, 0,36 % Мл, 0,29 % Si, 0,01 % S, 0,01 % P, 0,03 % Ni, 0,04 % Cr, 1,5 % Al (по массе). Содержание меди варьировалось в пределах от 0,1 до 9 %.

Зависимости микротвердости перлита и твердости стали по Бринеллю от содержания меди, введенной в сплав, представлены на рис. 1. Внешний вид их принципиально не отличается. При введении 3 % меди твердость стали возрастает от 340 до 390 НВ. Дальнейшее повышение концентрации меди на твердость сплава существенно не повлияло (рис. 1 а). Микротвердость медьсодержащих включений глобулярной формы, находящихся в сплаве с 9 % меди, составляет ~130 HV.



Рис. 2. Микроструктура заэвтектоидной стали с 6 % (а) и 9 % (б) меди. Стрелками показаны медьсодержащие включения



Рис. 3. Структура заэвтектоидной графитизированной стали с 0,1 % (а, в) и 9 % (б, г) меди

Методами оптической металлографии установлено, что основными структурными составляющими исследуемых образцов являются пластинчатый перлит и вторичный цементит. Цементит преимущественно выделяется в виде сетки по границам бывших аустенитных зерен (рис. 3).

В стальных образцах, содержащих 0,1 и 3 % Си, включения меди методами оптической металлографии выявить не удается. При повышении содержания Си до 6 % в медьсодержащие включения глобулярной формы выделяются в скоплениях цементита вторичного. Размер включений, как правило, не превышает 1 мкм (рис. 2 а). При содержании в стали 9 % меди основная доля выделений глобулярной формы имеет диаметр 2...10 мкм, максимальный размер частиц составляет 50 мкм. Включения преимущественно выделяются вблизи частиц вторичного цементита и по границам бывших аустенитных зерен (рис. 2 б).

Присутствие меди оказывает влияние на процесс графитизации заэвтектоидной стали. В образце с 0,1 % меди зафиксирован хлопьевидный и пластинчатый графит (рис. 3 а) в окружении феррита (рис. 3 в). С возрастанием содержания меди объем хлопьевидных включений уменьшается, толщина включений пластинчатого графита увеличивается. В стали, содержащей 9 % меди, присутствует вермикуляный графит (рис. 3 б). Количество структурно свободного феррита в виде полиэдрических зерен при этом уменьшается. При содержании 9 % меди феррит в структуре стали присутствует только в пластинчатом перлите (рис. 3 г). Количество графита в стали от содержания меди не зависит. С увеличением количества введенной меди графит в стали распределяется более равномерно.

#### Выводы:

1. Повышение содержания меди в заэвтектоидной стали до 6 – 9 % приводит к обнаружению в структуре глобулярных медьсодержащих включений размерами 2...10 мкм, расположенных вблизи частиц вторичного цементита и по границам бывших аустенитных зерен.

2. При повышении концентрации меди увеличивается твердость перлита, что вызывает рост твердости заэвитектоидной и графитизированной заэвтектоидной стали.

3. При увеличении концентрации меди в графитизированной заэвтектоидной стали распределение графитовых включений становится более равномерным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марочник сталей и сплавов – Под ред. В.Г. Сорокина – М.: Машиностроение, 1989. – 634 с.

2. Медь в черных металлах/ Под ред. И. Ле. Мэя, Л. М. –Д. Шётки: Пер. с англ. Под ред. О. А. Банных. М.: Металлургия, 1988.

3. Acta mater. 48 (2000) 3931-3949

4. Chairuangsri, T., Edmonds, D. V., Acta Metall. Mater., 2000, 48, 1581.

5. Кузнецов Б. Л. Получение чугунов с шаровидным и вермикулярным графитом без сфероидизирующих модификаторов// Литейное производство № 8. -1985. – С. 18-19.

УДК 621.791.13

## СТРУКТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ «СU-TA», СФОРМИРОВАННОГО ПО ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ВЗРЫВОМ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Ю.Н. Малютина, аспирант, К.А. Скороход, студент, Д.А. Петрина, студентка Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7 (383) 315-29-01 Факс +7 (383) 346-06-12. E-mail: julevern@inbox.ru

В работе представлены результаты микроструктурных исследований соединения меди и тантала, полученного методом сварки взрывом и последующего отжига. Показано, что существенные структурные изменения, происходящие при температуре выше 600 °C, заключаются в росте частиц тантала и зерен меди. При 900 °C в области перемешивания меди и тантала сформирована более равновесная структура по сравнению с исходной.

Results of structural characterizations of copper and tantalum joint obtained by explosive welding and follow annealing are presented in current paper. It was shown that significant structural changes consisting of tantalum particles and copper grains growth have been occurred at temperature above the 600 °C. At 900 °C in copper and tantalum mixing zone was formed more equilibrium structure than of initial.

Получение надежных соединений, состоящих из разнородных материалов, отличающихся по своим физическим и механическим свойствам, является актуальной задачей материаловедения. Одним из наиболее эффективных способов, позволяющих сформировать подобные композиты, являются процессы сварки плавлением. Однако в ряде случаев при сварке разнородных материалов, на границе возможно образование слоя, состоящего из хрупких интерметаллидных фаз [1]. Изменение технологических параметров сварки не позволяет полностью исключить образование интерметаллидов, а последующая термическая обработка приводит к их росту [1].

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что использование промежуточных вставок, является эффективным подходом, позволяющим уменьшить содержание химических соединений, либо полностью устранить их образование. В ряде случаев, при сварке различных металлических материалов,

рациональным является использование промежуточных вставок, изготовленных из меди и тугоплавких металлов, таких как Ta, Nb, W [2-4]. Среди этих металлов Ta является наиболее перспективным, поскольку, согласно диаграмме состояния, имеет практически нулевую растворимость в меди. Отсюда следует ожидать, что система Cu-Ta будет иметь стабильную структуру при высоких температурах.

Цель данной работы заключалась в исследовании структуры сварных соединений пластин меди и тантала, сформированных по технологии сварки взрывом и последующей термической обработки.

Исходными материалами исследования служили пластина меди толщиной 2 мм и пластина тантала толщиной 1 мм. Сварное соединение формировалось по технологии сварки взрывом, реализуемой в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Для определения термической стабильности сварного соединения «Си-Та» проводили отжиг образцов при температурах в интервале от 100 до 900 °C. Нагрев осуществлялся в вакуумной печи. Время выдержки образцов составляло 1 час. Исследование структурных изменений проводилось с использованием растровой электронной микроскопии.

При сварке взрывом на границе пластин меди и тантала происходит формирование гетерофазной прослойки толщиной 20-40 мкм. Эта прослойка представляет собой смесь, состоящую из частиц тантала в медной матрице (рис. 1 а). Результаты электронной микроскопии свидетельствуют о том, что размеры частиц тантала варьируются в широком интервале от 1 мкм до 8 нм.



Рис. 1. Структура гетерофазной прослойки в зоне соединения «Си-Та» после сварки взрывом (а) и после последующего отжига при 600 °С (б), 800 °С (в) и 900°С (г)

Структурные изменения, происходящие в прослойке, состоящей из меди и тантала, после отжига в интервале температуре 100-900 °С, представлены на рис. 1. При нагреве образцов до 500 °С существенных структурных изменений не происходит. Это связано, прежде всего, с малым коэффициентом диффузии и практически нулевой растворимостью тантала в меди.

В диапазоне 600-900 °С (рис. 1 б-г) наблюдается постепенный рост частиц тантала в гетерофазной прослойке, что может быть объяснено увеличением энергии активации тантала. При температуре 900 °С в прослойке протекают рекристаллизационные процессы, приводящие к формированию более равновесной структуры по сравнению с исходной.

Таким образом, в процессе сварки взрывом на границе медь – тантал происходит формирование гетерофазной прослойки. При нагреве до 500 °C структурная стабильность соединения «Си-Та» сохраняется. При повышенных температурах (600-900 °C) происходит коагуляция частиц тантала в отдельные кластеры за счет их высокой диффузионной активности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I.A. Bataev, A.A. Bataev, V.I. Mali, and D.V. Pavliukova. Structural and mechanical properties of metallic–intermetallic laminate composites produced by explosive welding and annealing. V. 35, 2012, pp. 225-234.

2. T. Frolov, K.A. Darling, L.J. Kecskes, Y. Mishin. Stabilization and strengthening of nanocrystalline copper by alloying with tantalum. V. 60, 2012, pp. 2158–2168.

3. Sun Ig Hong, Mary Ann Hill. Microstructural stability of Cu–Nb microcomposite wires fabricated by the bundling and drawing process. V. 281, 2000, pp. 189–197.

4. H. Li, J.L. Chen, J.G. Li, Z.X. Li. High heat load properties of actively cooled tungsten/copper mock-ups by explosive joining. V. 363–365, 2007, pp. 1226–1230.

УДК 621.791.92

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Ті-Та СФОРМИРОВАННЫХ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКОЙ

А.А. Руктуев, аспирант, В.В Самойленко, студент, Д.С. Кривеженко, аспирант, Т.А. Калашникова, студент Новосибирский государственный технический университет Новосибирск, тел. +7(383) 315-29-01 E-mail: <u>Alex47@211.ru</u>

С помощью электронного пучка высокой мощности, выведенного в атмосферу были

сформированы покрытия системы титан-тантал на титановой основе. Покрытия наплавлялись за 2, 3 и 4 прохода. Было проанализировано влияния количества проходов на структуру, формирующуюся в процессе обработки образцов электронным пучком. Приведены данные по распределению микротвердости по сечению образца.

By mean of high power electron beam vented to the atmosphere Ti-Ta coatings on the titanium base were fabricated. Coatings were overlaid in 2, 3 and 4 passes. Influence of passes number on the structure formed during electron beam treatment was analyzed. Data considering distribution of microhardness rate in the specimen cross-section were given.

На сегодняшний день актуальной проблемой материаловедения является разработка новых коррозионностойких материалов, позволяющих значительно увеличить срок эксплуатации оборудования, используемого в химической промышленности. В настоящее время одним из наиболее широко используемых коррозионностойких материалов является титан. При этом следует отметить, что литературные данные свидетельствуют о повышении коррозионной стойкости титана при легировании его танталом [1]. Данный эффект объясняется тем, что на поверхности легированного материала формируется оксидная пленка  $Ta_2O_5$ , более стойкая к воздействию агрессивных сред, чем оксидные пленки на основе титана. В работе [2] показано, что при легировании титана более чем 40 % тантала, потенциал материала переходит в положительную область, и он становится пассивным.

Однако тантал является дорогостоящим материалом и отличается высокой плотностью. Легирование титана танталом значительно влияет на вес и стоимсоть конечного изделия. Учитывая отмеченные особенности, можно сделать вывод о целесообразности не объемного, а поверхностного легирования титана танталом.

Проведенные ранее исследования показали, что эффективным способом получения покрытий системы титан-тантал является вневакуумная электроннолучевая наплавка [3]. Однако максимально достижимая концентрация тантала в наплавленном за 1 проход слое составляет ~22 %. Одним из способов повышения концентрации легирующего элемента в покрытии является повторная наплавка тантала на уже сформированный легированный слой.

Данная работа посвящена исследованию структурных особенностей покрытий системы титан-тантал, сформированных на титановой основе за 2, 3 и 4 прохода. Наплавка была реализована на ускорителе электронов ЭЛВ-6, разработанном в Институте ядерной физики им Г.И. Будкера СО РАН. Формирование покрытий производилось в несколько основных этапов. На первом, подготовительном этапе, смесь порошков титана, тантала и флюса наносилась на поверхность образцов из технически чистого титана ВТ1-0. Далее сформированная заготовка помещалась на столик ускорителя, обеспечивающий поступательное перемещение заготовки относительно электронного луча со скорость 10 мм/с. В процессе

наплавки электронный луч сканировал поверхность образца с амплитудой 50 мм и частотой 50 Гц.

На рисунке 1 приведены панорамные изображения полученных образцов, на которых видны три характерные зоны: зона переплавленного материала (покрытие), зона термического влияния и область материала, на которую термическое воздействие не оказывалось. Покрытие с минимальной толщиной, равной ~ 2, было сформировано за 1 проход. Увеличение числа проходов приводит к росту толщины покрытия до 4 мм.



Рис. 1. Панорама образцов с 2 (а), 3(б) и 4(в) слоями

Структурные исследования показали, что верхний слой имеет дендритное строение (рис. 2 а), характерное для литых материалов, в то время как в нижних слоях покрытия была сформирована мелкодисперсная игольчатая структура (рис. 2 б).



Рис. 2. Строение верхней (а) и нижней (б) областей покрытия

С целью оценки прочностных характеристик покрытий были проведены дюрометрические исследования. Максимальный уровень микротвердости (~ 5500 Мпа) наблюдается в приповерхностном слое толщиной до 300 мкм. Это обусловленно насыщением указанного слоя газами атмосферы в процессе электронно-лучевой обработки. В среднем микротвердость по сечению покрытия составляет ~ 4500 МПа и снижается при переходе в основной металл до ~ 1700 МПа (рис. 3).



Рис. 3. Распределение микротвердости по сечению образца

Таким образом, можно сделать вывод, что вневакуумная электроннолучевая обработка позволяет сформировать на поверхности образцов из титана бездеффектные покрытия, имеющие неоднородное строение в поперечном сечении. Увеличение количества проходов приводит к увеличению толщины наплавленного слоя с 2 до 4 мм. Слой материала, подвергнутый переплаву за последний проход (2-й, 3-й и 4-й соответственно) имеет дендритное строение, в то время как нижние области наплавленного материала имеют мелкодисперсное угольчатое строение

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mardare A.I. A combinatorial passivation study of Ti-Ta alloys / A.I. Mardare, A. Savan, A.Ludwig, A.D. Wieck, A.W. Hassel // Corrosion Science. – 2009. – Vol. 51. – P. 1519 – 1527.

2. De Souza K. A. Influence of concentration and temperature on the corrosion behavior of titanium, titanium-20 and 40% tantalum alloys and tantalum in sulfuric acid solutions / K. A. De Souza, A. Robin // Materials Chemistry and Physics. -2007. - Vol. 103. -P. 351-360.

3. Golkovski M.G. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum / M.G. Golkovski, I.A. Bataev, A.A. Bataev, A.A. Ruktuev, T.V. Zhuravina, N.K. Kuksanov, R.A. Salimov, V.A. Bataev // Materials Science & Engineering A. – 2013. – Vol. 578. – P. 310 – 317.

## СЕКЦИЯ

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (ЛИТЬЕ, СВАРКА, ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ)

## ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ СВАРНЫХ ШВОВ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

## А.А. Никулина, к.т.н., доцент, Е.Ю. Лапушкина, студент Новосибирский государственный технический ун-тет Новосибирск, тел. +7(383) 346-11-71, факс +7(383)-346-06-12. E-mail: lita27@mail.ru

Представлены структурные исследования поверхностей разрушения сварных соединений разнородных сталей, полученных стыковой контактной сваркой, после циклического нагружения. Показано, что формирующиеся высокопрочные структуры в переходной зоне сварного шва отрицательно сказываются на трещиностойкости, вызывая ускоренный рост усталостной трещины.

The metallographic investigations of heterogeneous welding joint's fracture surface after cyclic loading are presented. An analysis revealed that high-strength structures formed in the intermediate-field region of joint adversely affect on the crack growth resistance.

Преимущества стыковой контактной сварки заключаются в том, что данным способом можно соединять практически все известные конструкционные материалы, как однородные, так и разнородные, при этом свариваемые детали могут иметь достаточно большие габаритные размеры [1].

При контактной сварке углеродистой и хромоникелевой сталей, которые являются одним из самых распространенных сочетаний сталей в комбинированных сварных конструкциях, в переходной зоне сварного шва формируются новые структурные составляющие, отсутствовавшие в сталях до сварки (рис. 1).



Рис. 1. Структура переходной зоны сварного шва между углеродистой и аустенитной сталями
Ширина переходной зоны может варьироваться от 50 до 500 мкм. К наиболее неблагоприятным структурным составляющим в этой области относятся сплошная мартенситная прослойка, обезуглероженные участки (рис. 1 а) и мелкие локализованные мартенситные зоны (рис. 1 б) [2]. Именно эти фазы играют решающую роль в условиях циклического нагружения, поскольку обладают малой циклической прочностью [3].

Нагружение осуществляли по отнулевому мягкому циклу с максимальной нагрузкой 5000 Н и частотой 5 Гц на универсальном комплексе Instron 8801. Схема испытаний представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема испытаний

Для большинства образцов количество циклов нагружения разрушения составляло 9000 - 15000, что соответствует малоцикловой усталости. Характерная поверхность разрушения сварного соединения представлена на рис. 3 а, где отчетливо можно выделить зону распространения трещины и зону долома. Анализ боковой поверхности трещины (рис. 3 б) позволил установить, что разрушение проходило по переходной зоне сварного шва.





а б Рис. 3. Поверхность разрушения сварного соединения после циклического нагружения (а) и боковая поверхность трещины (б)

На участке развития трещины наблюдается вязкий, достаточно развитый рельеф с усталостными бороздками. Однако на этом же участке можно наблюдать вязкий ямочный характер разрушения (рис. 4 а).

Расстояние между бороздками составляет примерно 1 мкм. В зоне распространения трещины происходит интенсивное вторичное растрескивание (рис. 4 б). Особенностью, характерной для всех образцов, является наличие в зоне распространения трещины участков скола (рис. 4 в). Их образование связано с наличием хрупких зон в переходной зоне сварного шва. Таким образом, при встрече с такими участками наблюдается ускоренное распространение трещины.



Рис. 4. Поверхность разрушения сварного соединения после циклического нагружения: а - зона распространения трещины; б - вторичные трещины в зоне распространения трещины; в - участки скола в зоне распространения; г - смешанный характер в зоне долома.

В зоне долома также наблюдались участки, разрушившиеся как по хрупкому механизму, так и участки, характеризующиеся вязким характером разрушения (рис. 4 г).

В заключении следует отметить, что из-за существенной структурной неоднородности сварных соединений углеродистой и хромоникелевой сталей, полученных стыковой контактной сваркой, их долговечность при циклическом нагружении может существенно отличаться, однако наличие хрупких мартенситных, а также обезуглероженных участков может приводить к ускоренному разрушению сварной конструкции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кабанов Н.С., Слепак Э.Ш. Технология стыковой контактной сварки.

М.: Машиностроение, 1970. 264 с.

2. Никулина А.А., Батаев А.А., Смирнов А.И., Буров В.Г. Структурные исследования сварных швов, полученных методом стыковой контактной сварки заготовок из разнородных сталей // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2010. № 2. С. 24-28.

3. Энгель Л., Клингеле Г. Растровая электронная микроскопия. Разрушение. Справочник. М.: Металлургия, 1986. 232 с.

УДК 621.791

### ИСПЫТАНИЕ НА ОТСЛАИВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б.И. Мандров<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, С.И. Бакланов<sup>1</sup>, студент, С.Д. Сухинина<sup>2</sup>, инженер, А.С. Влеско<sup>3</sup>, инженер, С.А. Путивский<sup>3</sup>, инженер 1- АлтГТУ им. И.И. Ползунова г. Барнаул, 2 - ОАО ПСМК г. Барнаул, 3 -ОАО «ТЕХПОЛИМЕР» г. Красноярск Тел.8-963-523-4930, e-mail polimerbim@mail.ru

Показана необходимость быстрой оценки качества сварных соединений из полимерных материалов. Приведены результаты исследования.

The need for a fast estimate of quality of welded joints is shown. The research results are provided.

Разработка новых композиций полимерных материалов с высоким уровнем свойств и поставка на рынок полимерных листов делает этот вид продукции привлекательным для целого ряда объектов строительной, химической, газовой индустрии. Дополнительным стимулом для этого является освоение выпуска такой продукции организациями сибирского региона. В частности ОАО «ТЕХПОЛИ-МЕР» г. Красноярск и ООО «АНИКОМ» г. Барнаул освоили выпуск полимерного листа толщиной от 0,6 до 4 мм из полиэтилена перспективной марки ПЭНД (полиэтилен низкого давления).

В настоящее время строятся или находятся в эксплуатации такие объекты, как искусственный водоем в Республике Алтай и в окрестностях г. Магадан, полигон твердых бытовых отходов в окрестностях р.п. Тальменка Алтайского края и др. На этих объектах в качестве геомембраны использовался полиэтиленовый лист толщиной 1,0 мм. Кроме того возрастает интерес к ремонту емкостей, потерявших плотность с помощью противофильтрационного устройства оболочкового типа из полиэтиленового листа такой же толщины.

Размеры сооружений, в которых используются полимерные листовые материалы, значительно превышают размеры выпускаемых листов (ширина листов до 5 м, длина рулона до 100 м), что требует применение сварки для соединения листов между собой либо в геомембрану, либо в оболочку. Для соединения листов в вышеуказанных объектах используются два основных способа - сварка клином, нагретым газом, клином с электрическим нагревом и экструзионная сварка. С помощью этих способов листы между собой соединяются внахлестку.

К сварным соединениям предъявляются требования плотности и прочности. Проверка плотности соединений, выполненных сваркой нагретым клином, производится методом пневматических испытаний под давлением в канале между швами ~ 2 бара. Проверка плотности соединений, выполненных экструзионной сваркой, производится электроискровым методом путем сканирования сварного шва вдоль уложенной между листами медной проволоки.

Нормативной документацией, в которой указываются требования к прочности сварного соединения обычно, является либо пояснительная записка, либо типовая технологическая карта, например ТТК 643064227-004-2010. В пояснительной записке проекта указывается, что прочность сварного соединения должна быть не менее (0,75-0,8) от прочности основного материала испытания проводить по ГОСТ 11262-80. При этом нет сведений о том, какие показатели сравнивать: предел текучести, максимальное напряжение при испытании или напряжение при разрыве, а также на образцах, какого типа производить испытание сварных соединений. По ТТК 643064227-004-2010 шов считается прочным, если при нагружении пластическая деформация идет не по шву, а соединенные листы не расходятся.

Сварка геомембран и оболочек производится в полевых условиях, поэтому быстро оценить прочность сварного соединения затруднительно, что делает необходимым применение более простых, но достаточно объективных методов контроля. Данная работа посвящена вопросам быстрого проведения механических испытаний сварных соединений листов из полиэтилена марки ПЭНД.

Проведенный анализ существующих методов испытаний полимерных материалов показал, что на практике используется несколько основных методов:

- На растяжение по ГОСТ 11262-80;
- На сопротивление раздиру по ГОСТ 262-93;
- На отрыв (для седловых отводов) ГОСТ 52779-2007.

Согласно ГОСТ 11262-80 испытание на растяжение полимерных листов проводятся для основного материала на образцах I типа, для сварных соединений на образцах III типа. При этом испытании получают информацию о показателях прочности и пластичности основного материала и сварного соединения. После чего производится сравнение показателей прочности и делается вывод работоспособности сварного соединения. Следует отметить, что нормативной документации не указывается, какие прочностные характеристики нужно сравнивать. Это затрудняет интерпретацию результатов испытаний. С нашей точки зрения сопоставление прочностных характеристик можно делать по пределу текучести при растяжении, поскольку допускаемое напряжение в расчетах для полиэтилена составляет 1,2 МПа. Кроме того, для проведения механических испытаний на растяжение требуется аппаратура с погрешность измерения основных показателей не более 1%.

Сопротивление раздиру, применяемое для оценки прочности рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов невозможно применить для соединений, полученных экструзионной сваркой и сваркой нагретым клином, что не позволяет его использовать для рассматриваемого направления использования полиэтиленовых листов.

Для оценки прочности сварных соединений седловых отводов с трубами используется согласно ГОСТ 52779-2007 испытания на отрыв, при котором получают заключение о прочности сварного соединения в виде оценки характера разрушения «хрупкий - вязкий».

Нами рассматривался вопрос о возможности проведения испытаний контрольных сварных соединений (КСС) при отработке режима сварки, не требующих применения дорогостоящей испытательной техники в условиях строительства объекта.

Начиная с июня 2011г. лаборатория «Сварки полимерных материалов» АлтГТУ им. И.И. Ползунова занималась проведением механических испытаний полиэтиленовых листов толщиной от 0,6 до 3 мм и соединений, полученных сваркой нагретым клином и экструзионной сваркой. Испытания проводились как на растяжение, так и на отрыв по своему характеру напоминающему испытание на раздир по ГОСТ 262-93. Наши эксперименты показали, что этот метод достаточно информативен при оценке качества сварного соединения. При плохом соединении экструдируемой присадки с основным материалом при экструзионной сварке или листов между собой при сварке нагретым клином происходит их отслаивание и разрушение.

В нами были проведены испытания сварных соединений листов из полиэтилена марки ПЭНД на установке INSTRON 3369 в двух вариантах:

- Испытание на растяжение на образцах III типа по ГОСТ 11262-80.
- Испытание на отслаивание.

На режимах сварки, отработанных заранее проводилось соединение листов из полиэтилена марки ПЭНД толщиной 0,98; 1,5 и 2,8 мм экструзионным способом и листов толщиной 0,98; 1,5 мм из этого же материала способом сварки нагретым клином. Из сваренных образцов в соответствии с ГОСТ 11262-80 и другой нормативной документацией вырубались образцы шириной 25 мм (всего 60 образцов) часть которых (25 шт.) подвергалась испытанию на растяжение по вышеуказанному стандарту, а другая часть (35 шт.) испытывалась на отслаивание.

При этом фиксировались показатели прочности, относительное удлинение, а при испытании на отслаивание дополнительно фиксировалась максимальная нагрузка. Для выявления характера и места разрушения, после испытания, образцы подвергались визуальному контролю.

Образцы толщиной 0,98 и 1,5 мм, выполненные экструзионной сваркой и нагретым клином, испытанные по ГОСТ 11262-80 имели форму кривой «напряжение-удлинение» типичную для полиэтилена марки ПЭНД – разрушение по основному материалу с ярко выраженным пределом текучести и большим относительным удлинением, без заметного упрочнения (образцы III типа). Образцы толщиной 2,8 мм, сваренные нагретым клином, разрушались по шву с образованием зуба текучести, но без заметной пластической деформации. Среднее значение предела текучести составило от 21,6 до 22,5 МПа, что соответствует аналогичному показателю для листа марки ПЭНД.

Испытание на отслаивание породили в два этапа. На первом этапе испытаний определяли влияние скорости нагружения образцов на форму кривой «напряжение-удлинение» и величину максимальной нагрузки, которую может выдержать образец. Скорость нагружения принималась равной 5,0; 25,0 и 100 мм/мин. Полученные данные показали, что влияние скорости нагружения в выбранном диапазоне изменений на вышеуказанные показатели не проявляется, поэтому в дальнейшем испытания проводили на скорости 100 мм/мин.

На втором этапе испытаний изучался характер разрушения и показатели прочности образцов. Было установлено, что образцы толщиной 0,98 и 1,5 мм разрушались по основному материалу вблизи сварного шва с поверхностных повреждений листа без заметной пластической деформации. Среднее напряжение при максимальной нагрузке составляло от 5,7 до 7,36 МПа, что в 2,8-4 раза меньше предела текучести материала. Среднее значение разрушающей нагрузки составляло от 212 до 295 Н. Образцы толщиной 2,8 мм разрушались по сварному шву. При этом среднее напряжение при максимальной нагрузке составляло 6,54 МПа, а среднее значение разрушающей 450,59 Н.

Полученные результаты испытаний показали, что испытание на отслаивание, сочетающее в себе растяжение и изгиб, является более «жестким» чем испытание на растяжение по ГОСТ 11262-80.

Выводы:

1. Для оценки качества сварных соединений может быть использовано испытание на отслаивание.

2. Испытание на отслаивание может проводиться в широком диапазоне скоростей перемещения захватов на любом оборудовании, фиксирующем нагрузку до 1,0 кН.

3. В качестве критерия оценки качества сварного шва может быть выбрана либо максимальная нагрузка, выдерживаемая сварным соединением, либо качественный критерий-отсутствие разрушения сварного шва. Для каждой тол-

щины листа должно указываться минимальное значение разрушающей нагрузки, которую должно сварное соединение выдерживать.

УДК 621.

### ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ С ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

М.В. Доц, к.т.н., доцент,

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия 8(3852)-29-09-43, e-mail: <u>marinadoc1@mail.ru</u>, A.M. Марков, д.т.н., профессор Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия 8(3852)-29-09-43, e-mail: andmarkov@inbox.ru

Представлены направления, применяемые в современном машиностроении по совершенствованию технологической подготовки производства деталей с пространственносложными поверхностями.

Presents the directions used in modern engineering to improve the technological preparation of production of parts with spatially complex surfaces.

Современные изделия различных отраслей промышленности характеризуются широким использованием деталей, содержащих пространственно-сложные поверхности. К ним относят: пресс-формы, штампы, модели, корпуса со сложными конструктивными элементами, спецпродукцию для оборонных предприятий и т.д. Возрастание требований к производительности и точности их изготовления, а также многономенклатурность современных машиностроительных предприятий определяют в качестве основного оборудования для изготовления такого типа деталей станки с ЧПУ. Фрезерование в общем объеме проводимых операций механической обработки деталей, содержащих пространственно-сложные поверхности, составляет до 40...65 %. Что в свою очередь определяет его роль в формировании себестоимости всего изделия.

Таким образом, технологическая и организационная подготовка автоматизированного производства представляет собой комплексную задачу, направленную на обеспечение наиболее экономичного процесса изготовления продукции, за счет сокращения затрат на всех этапах производственного процесса.

Данная задача решается в первую очередь при внедрении современных подходов и технологий. К таким технологиям относятся информационные системы автоматизированного проектирования, управления инженерными данными, планирования, а также специализированные информационные системы, повышающие эффективность различных функций предприятия.

Для создания автоматизированной системы управления технической подготовкой производства (АСУТПП) необходимо следовать общепринятым принципам:

- системного подхода;
- новых задач;
- комплексности задач;
- единой информационной базы;
- комплексности задач и единой информационной базы;
- непрерывного развития;
- автоматизации проектирования.

В ряде случаев оптимальная форма поверхностей сложных технических форм определяется экспериментально путем предварительного моделирования. Поэтому важной проблемой в современных условиях автоматизированного проектирования является моделирование геометрических объектов с помощью CAD/CAM-систем (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing), обеспечивающих интегрированное решение задач разработки конструкторского проекта изделия и формирования управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ. Объединение указанных классов задач в рамках одной системы объясняется тем, что их решение базируется на использовании единой трехмерной геометрической модели изделия, что позволяет избежать проблем, связанных с передачей данных из одной системы в другую, обеспечивает интегрированное решение проектных задач. Однако качество проектируемых изделий существенно зависит от свойств геометрических моделей, позволяющих решать инженерные задачи в процессе проектирования. В качестве инструмента конструкторы предприятия используют CAE (Computer – Aided Engineering) – комплекс программных продуктов, включающий системы инженерного анализа, способных дать пользователю характеристику поведения в реальных условиях эксплуатации разработанной на компьютере геометрической модели изделия. В своей работе конструкторы используют различные математические расчеты: метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объемов. При помощи САЕ инженер может оценить работоспособность изделия, не прибегая к значительным временным и денежным затратам.

Таким образом, организационные модели и технологии при формировании базовых систем автоматизации проектирования и управления технической подготовкой производства, представляют собой три взаимосвязанных элемента:

- управление проектами (Project Management System) – подсистема поддерживает создание, изменение, запуск и выполнение проектов компании с возможностью автоматического расчета и оптимизации сроков выполнения и финансовых затрат по проекту. Текущие задачи выполняемого проекта автоматически поступают в персональные органайзеры исполнителей. Подсистема контроля позволяет оценивать и корректировать ход выполнения проектов;

*- управление процессами* (Business Process Management) – подсистема поддерживает запуск и выполнение бизнес-процессов. Текущие задачи передаются в соответствии с логикой процесса в персональные органайзеры исполнителей. Подсистема мониторинга позволяет накапливать статистику по ходу выполнения процессов. Подсистема контроля дает возможность управлять выполнением процесса.

*- управление персональными задачами* (Personal Information System) – подсистема, поддерживающая исполнение персоналом поступивших задач, создание собственных задач руководителей, создание задач подчиненных. Подсистема контроля позволяет оценивать загрузку и эффективность работы подчиненных сотрудников.

По оценкам экспертов, эффективность производства, реализованного на базе CALS-технологий, примерно на 30-40 % выше эффективности традиционного производства. Внедрение CALS-технологий позволяет обеспечить сокращение [1]:

• затрат на разработку и производство продукции с пространственносложными поверхностями (в том числе наукоемкой продукции) – на 20-30%;

• затрат, связанных с браком и устранением дефектов производимой продукции – на 15-20%;

• затрат в период эксплуатации продукции – на 20-25%;

• времени вывода новых образцов продукции на рынок – на 60-70%.

Продукция, не обладающая электронной документацией и средствами интегрированной логистической поддержки постпроизводственных стадий жизненного цикла, в современных условиях не выдерживает конкуренции. Сегодня иностранные заказчики отечественной военно-технической продукции выдвигают требования, удовлетворение которых невозможно без внедрения современных средств автоматизации процессов технической подготовки производства:

• представление конструкторской и технологической документации в электронной форме;

• представление эксплуатационной и ремонтной документации в форме интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР), снабженных иллюстрированными электронными каталогами запасных частей и вспомогательных материалов и средствами дистанционного заказа запчастей и материалов;

• организация системы интегрированной логистической поддержки изделий на постпризводственных стадиях жизненного цикла;

• наличие и функционирование электронной системы каталогизации продукции;

• наличие на предприятиях соответствующих требованиям стандартов ИСО

9000:2000 систем менеджмента качества и т.д.

Таким образом, задача развития и внедрения CALS-технологий на промышленных предприятиях становится государственной проблемой, от решения которой зависит эффективность развития экономики в целом.

Для проведения технологического аудита и оценки состояния технической подготовки производства деталей с пространственно-сложными поверхностями на предприятии мелкосерийного и среднесерийного производства не обходимо разработать систему критериев и методику проведения технологического аудита, которая позволит оценить:

- области применения и условий эксплуатации деталей с пространственносложными поверхностями;

- основные задачи технической подготовки производства для деталей с пространственно-сложными поверхностями;

- уровень технологической оснащенности производства изделий с пространственно-сложными поверхностями;

- условия по организации производства изделий с пространственносложными поверхностями.

В качестве ожидаемых результатов исследования можно представить систему технологического аудита, обеспечивающую принятие решений о приоритетах развития машиностроительных предприятий со схожими производственными задачами, а также о корректировке организационно-управленческих мероприятий при производстве деталей с пространственно-сложными поверхностями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.И. Яблочников, В.И. Молочник, А.А. Миронов. ИПИ-технологии в приборостроении / Учебное пособие – СПб: СПбГУИТМО, 2008. – 128 с.

УДК.621.735.79

### СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕРВАЛА ДЕФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

д.т.н., проф. Радкевич М.М.; аспирант Фомин Д.Ю. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; 195251, Санкт-Петербург, ул.Политехническая д.29; тел. +7 (812) 552-9302; e-mail: radmich@mail.ru, dmitryfmn@yandex.ru

По результатам компьютерного моделирования изучается влияние понижения температуры деформирования до 0,6÷0,7 температуры плавления при штамповке поковок удлиненной

формы на сопротивление деформированию сталей 45, 40Х, 08Х13, 08Х18Н10.

By results of the finite element modelling are investigated the influence of decreasing the temperature of deformation to  $0,6\div0,7$  fusion temperatures under the forging of elongated performs on the resistance to deformation of steels 45, 40Cr, 08Cr13, 08Cr18Ni10.

В машиностроении существует проблема повышения качества стальных изделий заготовительного производства. Под качеством продукции понимается эксплуатационная или конструкционную прочность детали машиностроительного узла, которая должна быть прочной и пластичной. Важными являются вопросы экономии энергетических и агрегатных ресурсов для производства единицы продукции.

Решить проблему экономии и повышения эксплуатационной прочности стальных деталей возможно при применении полугорячей термомеханической обработки (ПТМО) – термомеханическая обработка в интервалах температур  $T_{d} \in [0,6\div0,7]T_{nn}$ , соответствующих переходу от горячей к теплой пластической деформации [1].

Известно, что режимы термомеханической обработки в интервалах температур  $T_{d} \in [0,6\div0,7] T_{nn}$ °C назначаются в основном при прокатке стали [2]. Применение ПТМО при штамповке поковок, особенно при облойной, изучено мало. Одним из сдерживающих факторов является отсутствие данных о влиянии параметров полугорячей термомеханической обработки на сопротивление деформированию и износ штампов. При этом возникают вопросы правильного выбора штамповочного оборудования.

Нами была поставлена задача исследовать влияние сопротивления деформированию при варьировании температуры деформационного воздействия в температурном интервале 700-1200°С. Решение задачи осуществлялось в результате конечно-элементного моделирования упругопластического изменения формы стальной заготовки на программном комплексе Simufact.Forming (MSC.SuperForge). Указанный программный комплекс позволяет решать нелинейную связную краевую задачу термо-упрого-пластичности с учетом реальных граничных условий по температуре и контакту заготовки с ручьем штампа [3].

Исследования проводили на сталях 45, 40Х, 08Х18Н10, 08Х13 Кривая деформационного упрочнения задавалась в виде трехчленной степенной зависимости по Людвигу с учетом влияния интенсивности тензора деформаций  $\varepsilon_i$  и температуры *T* на сопротивление деформированию  $\sigma_s = \sigma_s(\varepsilon_i, T)$ . Параметры данной зависимости выбирались из библиотеки программы для конкретных марок сталей.

Начальная температура штамповки варьировалась в диапазоне температур  $T_{\pi} \in [600...1300]^{\circ}$ С с шагом в каждом новом расчете 50-100°С. Геометрическая

модель заготовки и чистового штамповочного ручья создавалась в графическом редакторе *SolidWorks* 2012 (рис.1, *a*) и в виде файла с расширением stl экспортировалась в конечно-элементный комплекс. Моделирование производили для поковки удлиненной формы тип «тяга соединительная» (рис. 1,б). Размер заготовки был определен расчетным путем, обеспечивающий полное заполнение ручья штампа: длина 180 мм, диаметр 50 мм. Минимальный диаметр ручья штампа составил 30 мм, максимальный размер 175 мм.



Рис. 1. Геометрическая модель нижней плиты штампа (*a*), пример модели поковки (б)

Оценку сопротивления деформированию производили при помощи анализа выходных данных программы по конечно-элементному моделированию. Выходными данными являлись эффективные (накопленные) деформации (табл.1), усилие штамповки для каждого момента формоизменения которые представлены в систематизированном виде зависимостями на рис.2.

Таблица 1

Эффективная пластическая деформация						
Марка стали	Температура деформационного воздействия, °С					
	800	900	1000	1100	1200	
Сталь 45	2.237	2.232	2.232	2.228	2.230	
Сталь 40Х	2.239	2.235	2.234	2.235	2.228	
Сталь 08Х18Н10	2.236	2.236	2.228	2.226	2.224	
Сталь 08Х13	2.234	2.234	2.229	2.228	2.226	

Эффективная пластическая деформация выступает в качестве критерия сопротивления разрушению стали, дает представление о величине напряжений (сопротивлений) в стали при различной температуре деформационного воздействия. Усилие штамповки противоположно сопротивлению деформированию и является силой, которая позволяет преодолеть сопротивление деформированию стали и произвести процесс требуемого формоизменения.

Результаты моделирования показали, что с ростом температуры деформационного воздействия поле напряжений в стали снижается.

Анализом кривых зависимостей усилия штамповки от температуры деформации было установлено, что при повышении температуры деформации  $T_{\rm A}$  заготовки в интервале температур от 800°С к 1200°С к наблюдается понижение необходимого усилия деформационного воздействия в среднем на 25%.



Рис. 2. Зависимость усилия штамповки от температуры деформационного воздействия

Необходимо отметить, что по результатам конечно-элементного моделирования формоизменения заготовок установлено, что температура штамповки неодинаково влияет на сопротивление деформированию углеродистой конструкционной и легированной стали. Так усилие штамповки *P*, полученное моделированием, стали 45 выше в среднем на 15%, чем 40Х. Вероятно, это связано с различным механизмом протекания процессов динамической рекристаллизации в исследуемых интервалах температур пластической деформации при штамповке на КГШП в зависимости от степени легирования сталей. Наиболее вероятно, что снижение сопротивления деформированию при штамповке легированной стали по сравнению с углеродистой сталью обуславливается большей скоростью ее рекристаллизации. Возможной причиной этого может являться выпадение дисперсных частиц дислокационно-дефектной природы вблизи границ зерен. Эти частицы располагаются по плоскостям скольжения, активируют поверхности сдвига внутри кристалла, позволяя кристаллам быстрее вытягиваться в направлении сдвига, то есть служат дополнительными полюсами скольжения структурных единиц, увеличивают степень подвижности конгломерата кристаллов, наделяют отдельно взятый объем металлического сплава большей энергией активации рекристаллизационных процессов. Описанный механизм скольжения повышает пластичность стали и позволяет заготовке быстрее принимать форму, соответствующую конфигурации ручья штампа. Чем снижает сопротивление деформированию стали.

#### Выводы

1. По результатам компьютерного моделирования упругопластического формоизменения заготовок из стали 45, 40Х, 08Х13, 08Х18Н10 установлено, что при понижении температуры деформационного  $T_{\rm A}$  воздействия на заготовку в интервале температур от 1200°С к 900÷800°С наблюдается рост сопротивления деформированию в среднем на 25%.

2. Негативный эффект увеличения сопротивления деформации при понижении температурного интервала деформирования может быть частично нивелирован за счет предварительной подготовки ручья штампа и заготовки с помощью теплой смазки.

3. Результаты работы могут быть полезны при принятии инженерных решений, касающихся назначения рациональных режимов ПТМО при штамповке поковок на КГШП и молоте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радкевич М.М., Фомин Д.Ю. Влияние последеформационной паузы на структуру поковок при полугорячей термомеханической обработке // Современное машиностроение. Наука и образование: Материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – С.645-650.

2. Коджаспиров Г.Е., Рудской А.И., Рыбин В.В. Физические основы и ресурсосберегающие технологии изготовления изделий пластическим деформированием. - СПб.: Изд-во «Наука», 2012.

3. Мамутов В.С. Компьютерное моделирование горячей и холодной объемной штамповки. – СПб, 2007.

### СЕКЦИЯ

# ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И НОВЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

УДК 330.341.1

### ВЛИЯНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА ЭКОНОМИКУ

### О.Л. Никитина

## Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Барнаул, тел.+7 913 367 69 12, E-mail: olgnik6912@mail.ru

В статье рассматривается экономическое положение и основные проблемы развития машиностроительного предприятия.

The article discusses the economic situation and the main problems of the engineering enterprise.

Промышленное предприятие самостоятельно планирует свою производственно-хозяйственную деятельность и определяет перспективы развития исходя из спроса на производимую продукцию, работы и услуги и необходимости обеспечения производственного и социального развития предприятия, повышения личных доходов его работников.

С позиций науки об организации производства необходимо учитывать не только то, в какой имущественно-правовой форме осуществляет свою деятельность промышленное предприятие, но также:

- разнообразие выполняемых процессов;
- взаимосвязь процессов;
- территориальную обособленность выполняемых процессов.

На предприятиях сферы производства можно выделить три вида процессов: производственные процессы; инновационные процессы; процессы функционального обслуживания производственных и инновационных процессов (табл.1).

Таблица 1

Предприятие						
Производственные		Инновационные		Процессы функ-		
процессы		процессы		ционального обслужи-		
				вания производствен-		
				ных и инновационных		
				процессов		
Основ-	Вспо-	Обслу-	Процессы	Процес-	МТС, сбыт, планиро-	
ные	мога-	живаю-	исследова-	сы под-	вание, учет, нормиро-	
(техно-	тель-	ваю-	ния и изо-	готовки	вание, финансовое	
логиче-	ные	щие	бретатель-	произ-	обеспечение, подго-	
ские)			ства	водства	товка кадров.	

Суждение о степени эффективности НИР формируется путем сопоставления получаемого эффекта соответствующего вида с затратами, необходимыми для проведения НИР. Эффективность НИР может быть оценена с учетом различных видов проявления эффекта, получаемого при использовании результатов научных исследований: 1) социального; 2) оборонного; 3) научно-технического; 4) экономического (табл.2).

Таблица 2

Вид эффекта	Содержание	Характер проявления
Социальный	Более высокая степень	Повышение безопасности для
	удовлетворенности	жизни и здоровья населения, по-
	материальных и ду-	вышение безопасности и улуч-
	ховных человеческих	шение условий труда, снижение
	потребностей улучше-	вероятности профессиональных
	ние условий труда	заболеваний
Экологический	Степень снижения	Повышение экологической
	вредных воздействий	безопасности
	на окружающую сре-	
	ду, возникающих при	
	эксплуатации или по-	
	треблении продукции	
Оборонный	Значимость результа-	Вероятность выполнения бое-
	тов НИР для повыше-	вой задачи, степень защищенно-
	ния обороноспособно-	сти объектов от поражения про-
	сти страны	тивником, уровень сохранности
		государственных и военных сек-
		ретов
Научно-	Накопление новых	Повышение научно-
технический	знаний по каким-либо	технического задела в виде на-
	явлениям и свойствам	учных публикаций, диссертаций,
	материального мира,	открытий, изобретений
	проблемам науки и	
	техники	
Экономический	Стоимостная оценка	Снижение себестоимости
	использования резуль-	производимой продукции, работ,
	татов НИР	услуг, снижение потребитель-
		ских затрат при повышении
		производителем качества про-
		дукции

Проявление эффекта при использовании результата НИР

Установившийся процесс производства известных товаров или услуг подчиняется определенным закономерностям. Знание этих закономерностей позволяет разработать рациональную схему размещения цехов на территории предприятия, оборудования внутри цеха, а также установить оптимальную последовательность выполнения работ в цехах и технологических операций на рабочих местах.

Инновационная стратегия - это долгосрочное, качественное определение направления инновационного развития предприятия, приводящее его к поставленным целям. Она касается сферы, средств и формы деятельности, системы взаимоотношений внутри предприятия, позиции в окружающей среде. Майкл Портер, определил три основных подхода к разработке стратегии:

1. Лидерство в минимизации издержек. Цель - уменьшение издержек производства продукции. За счет более низких цен предприятие пытается завоевать больший сегмент рынка. Использование данного подхода требует организацию производства и логистики, а также хорошую технологическую и инженерноконструкторскую базу.

2. Специализация в производстве продукции. Предприятия, реализующие данный подход к стратегии должны иметь высокий потенциал для проведения исследований, хорошую базу для внедрения инноваций и модернизаций в производственные циклы, надежную систему качества.

3. Фиксация сегмента рынка и концентрация усилий на нем. Предприятие определяет потребности части рынка и старается максимально удовлетворить их, не пытаясь при этом конкурировать на чужом сегменте.

Менеджеры предприятия принимают решения, базирующиеся на выбранной стратегии, призванной обеспечить координированное достижение целей в долгосрочном периоде. Выделяют четыре группы принципов:

• принципы, используемые при оценке результатов деятельности предприятия в настоящем и в перспективе;

• принципы, по которым складываются отношения предприятия с его внешней средой и определяющие: какие виды продукции и технологии предприятие будет разрабатывать, куда и кому сбывать свои изделия, каким образом добиваться превосходства над конкурентами. Этот набор правил называется стратегией бизнеса;

• принципы, по которым устанавливаются отношения и процедуры внутри организации;

• принципы, по которым предприятие ведет свою повседневную деятельность, называемые основными оперативными приемами.

Стратегии отражают четыре различных подхода к росту фирмы и связаны с изменением состояния одного или нескольких следующих элементов: продукт, рынок, отрасль, положение фирмы внутри отрасли, технология.

Первую группу стратегий составляют стратегии концентрированного роста.

Это стратегии, которые связаны с изменением продукта и рынка. В случае использования этих стратегий предприятие проводит модификации своего продукта или начинает производить новый продукт, не меняя при этом своего сегмента на рынке.

Конкретными типами стратегий первой группы являются следующие:

• стратегия усиления позиции на рынке. Предприятие делает все, чтобы со своим продуктом завоевать на рынке лучшие позиции. Для реализации этой стратегии требуются большие финансовые затраты и маркетинговые усилия для продвижения продукции;

• стратегия развития рынка. Это поиск новых рынков для уже производимого продукта, например, выход на международный рынок или рынок другой страны;

• стратегия развития продукта. Решение задачи происходит за счет производства нового продукта или его модификаций и реализации его на уже освоенном предприятием рынке. Стратегия тоже требует достаточно больших финансовых и кадровых затрат на проведения НИОКР.

Во вторую группу входят такие стратегии, которые предполагают расширение предприятия путем добавления новых организационных структур. Эти стратегии называются стратегиями интегрированного роста. Предприятие реализует такие стратегии, если оно находится в лидирующем положении. Выделяются два основных типа стратегий интегрированного роста:

• стратегия обратной вертикальной интеграции, направленная на рост предприятия за счет приобретения либо же усиления контроля над поставщиками, а также за счет создания дочерних структур, осуществляющих снабжение. Реализация стратегии обратной вертикальной интеграции дает фирме уверенность в поставщиках;

• стратегия вперед идущей вертикальной интеграции, выражающаяся в росте предприятия за счет приобретения либо же усиления контроля над структурами, находящимися между предприятием и потребителем, т.е. над системами продаж.

Третьей группой стратегий развития бизнеса являются стратегии диверсифицированного роста. Эти стратегии реализуются в том случае, если предприятия дальше не могут развиваться на данном рынке с данным продуктом в рамках данной отрасли.

Стратегиями данного типа являются:

• стратегия центрированной диверсификации, базирующаяся на поиске и использовании заключенных в существующем бизнесе дополнительных возможностей для производства новых продуктов. При этом существующее производство остается в центре бизнеса, а новое возникает, исходя из тех возможностей, которые заключены в освоенном рынке;

• стратегия горизонтальной диверсификации, предполагающая поиск

возможностей роста на существующем рынке за счет новой продукции, требующей новой технологии, отличной от используемой. При данной стратегии предприятие должно ориентироваться на производство таких технологически не связанных продуктов, которые бы использовали уже имеющиеся возможности предприятия;

• стратегия конгломеративной диверсификации, состоящая в том, что предприятие расширяется за счет производства технологически не связанных новых продуктов с уже производимыми продуктами, которые реализуются на новых рынках. Это одна из самых сложных для реализации стратегий развития, так как ее успешное осуществление зависит от многих факторов, например, от компетентности имеющегося персонала, и в особенности менеджеров, сезонности в жизненном цикле продукта, наличия необходимых финансовых ресурсов.

Четвертой группой стратегий инновационного развития являются стратегии сокращения. Данные стратегии реализуются тогда, когда предприятие нуждается в перегруппировке сил после длительного периода роста или в связи с необходимостью повышения эффективности, когда наблюдаются спады и кардинальные изменения в экономике, такие как, например, структурная перестройка и экономический кризис. В этих случаях предприятие прибегает к использованию стратегий целенаправленного и спланированного сокращения.

Выделяются четыре типа стратегий целенаправленного сокращения производства:

• стратегия ликвидации, представляющая собой предельный случай стратегии сокращения и осуществляющаяся тогда, когда предприятие не может вести дальнейший бизнес. Применение этой стратегии позволяет выжать из предприятия финансовые и другие ресурсы;

• стратегия «сбора урожая», предполагающая отказ от долгосрочного взгляда на бизнес в пользу максимального получения доходов в краткосрочной перспективе. Эта стратегия применяется по отношению к бесперспективному бизнесу, который не может быть прибыльно продан, но может принести доходы во время «сбора урожая».

• стратегия сокращения, заключающаяся в том, что предприятие закрывает или продает одно из своих подразделений для того, чтобы осуществить долгосрочное изменение границ ведения бизнеса.

Именно такие стратегии являются залогом успеха практически любого предприятия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ричи К., Маркетинг: пер. с англ. /Крис Ричи.- М. : Дело и Сервис, 2010.

2. Гольдштейн Г.Я. Стратегический менеджмент: конспект лекций. – Та-ганрог: Изд-во ТРТУ, 2009.

### КРИТЕРИИ ВЫБОРА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Андреев М.В. к.т.н., Боткин И.В. к.т.н., Шатохин А.Ф. к.т.н. Бийский технологический институт Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02 E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Статья посвящена оценке критериев выбора станочного оборудования на предприятиях машиностроительного профиля

На сегодняшний день на рынке свою продукцию представляют множество различных фирм специализирующихся на продаже металлорежущего оборудования. Для того чтобы подобрать станочное оборудование для реализации конкретных целей необходимо иметь представление о ряде параметров, имеющих решающее значение [1].

Чтобы инструменты при обработке могли достигать на заготовке любой точки необходимо обращать внимание на возможности перемещения по координатным осям X, Y, Z исходя из габаритных размеров заготовок и выполняемых операций. Так на фрезерном обрабатывающем центре длина инструментов и высота инструментальной оснастки может существенно сократить реальную зону обработки по оси Z.

Оптимальным по критерию минимизации вспомогательного времени будет станок с рабочей зоной незначительно превышающей размеры обрабатываемых заготовок. Кроме этого, чем меньше размеры станка, тем меньше у него энергопотребление.

Грузоподъемность стола следует выбирать такой, чтобы на станке можно было разместить любую, подходящую по размерам заготовку из выбранной для станка номенклатуры.

Для обработки труднообрабатываемых, вязких и высокопрочных материалов требуются шпиндельные узлы с высокими крутящими моментами при пониженных частотах вращения, а для более мягких материалов – высокоскоростные. Высокоскоростные шпиндели обычно устанавливаются на специальные керамические опоры с малым тепловыделением, а низкоскоростные на более жесткие металлические, позволяющие выполнять прерывистое резание с большими припусками. Если планируется обработка заготовок из различных материалов, то целесообразен выбор шпиндельного привода с двумя системами обмоток, одна из которых предназначена для более низких скоростей шпинделя, а другая для более высоких при достаточной мощности.

Если новое оборудование приобретается для работы с высокими скоростя-

ми резания при съеме больших припусков, предпочтительнее для этого будут станки с литыми базовыми деталями, в первую очередь станиной, а также стойками и различными бабками, которые отличаются жесткостью, прочностью и виброустойчивостью. Базовые стальные сварные детали могут быть и прочнее отливок, но в отношении колебаний они хуже. Следует помнить, что чем выше масса, тем лучше демпфируются колебания станка. Однако конструкция и компоновка также имеют решающее значение.

Для работы с высокими нагрузками при резании требуются направляющие скольжения. Они обладают повышенной жесткостью, но скорость перемещения по ним ниже по сравнению с направляющими качения. Направляющие качения (шариковые или роликовые), как правило, более скоростные и чувствительные к изменению нагрузки, но менее жесткие, поэтому их применяют при резании с небольшими припусками и большими скоростями. В последнее время на станках более широко стали применяться гидростатические направляющие, имеющие преимущества по сравнению с направляющими качения и скольжения, но более сложные по конструкции, менее надежные и более дорогие.

Точность оборудования каждый производитель оценивает по-разному. Насколько долго будет поддерживаться первоначальная точность станка, зависит от качества его изготовления и условий дальнейшей эксплуатации. У обрабатывающих центров средних размеров (со спутниками порядка 600÷600мм) она достигает обычно примерно ±5мкм.

Наиболее объективный и оттого чаще всего применяемый крупными американскими предприятиями способ выяснить реальную точность покупаемого станка – обработать на нем и на аналогичных станках фирм-конкурентов серию тестовых деталей, статистически проанализировать результаты и купить тот станок, который показал наилучшие результаты.

В настоящее время многие успешные фирмы стремятся расширить номенклатуру обрабатываемых деталей и берутся за любые выгодные заказы. Для их выполнения лучше всего подходит универсальное оборудование с быстросменной оснасткой, поэтому спрос на специализированные и специальные станки сокращается.

При наличии постоянных и гарантированных заказов на изготовление дорогостоящих партий деталей сложной формы из труднообрабатываемых материалов с высокими точностными требованиями целесообразно применение многофункциональных станков осуществляющих многокоординатную обработку и выполнение нескольких технологических операций (точение может совмещаться с фрезерованием, сверлением и т.д.) без переустановок детали. Как правило, такой станок (чаще всего токарный центр), кроме стандартных координат имеет оси В, С и Y, стандартный инструментальный шпиндель с частотой вращения 10 – 12 тыс. об/мин и 30 – 40-местный магазин инструментов, включая инструментальные головки с собственным приводом. Недостатком такого оборудования является высокая стоимость и повышенная сложность эксплуатации.

Одним из наиболее важных критериев при выборе нового оборудования является система числового программного управления (ЧПУ). Для удобства эксплуатации она должна быть проста в использовании для оператора и для программиста, иметь систему визуализации, обладать функциями интерактивности и широкими графическими возможностями. Кроме этого, она должна быть совместима с возможностями станка, в том числе в области высокоскоростной обработки. При этом целесообразно обеспечить единство системы ЧПУ и программного обеспечение для подготовки управляющих программ у всего перечня применяемого станочного оборудования.

На рисунке 1 представлена диаграмма Исикавы [2] которая позволяет графически отобразить критерии выбора станочного оборудования.



Рис. 1. Диаграмма Исикавы при выборе станочного оборудования

При принятии решения о покупке необходимо подсчитать все затраты, связанные с покупкой нового оборудования:

1) покупная стоимость оборудования (которая нередко выше, чем значится в каталогах);

2) стоимость доставки;

3) стоимость монтажа;

4) стоимость обучения персонала;

5) стоимость времени, для доведения станка до расчетной производительности;

6) стоимость ряда расходов, например на оснастку, которая у нового оборудования выше, чем у старого;

7) как правило, большая зарплата операторов, что связано с повышенной квалификацией и ответственностью при работе на новом оборудовании.

Для многих предприятий в нынешних условиях новое оборудование недоступно исходя из экономических соображений. Для них предлагаются услуги по модернизации уже имеющегося оборудования. При этом модернизация может обойтись сравнительно недорого. Однако в этом случае могут возникнуть трудности при использовании современного инструментального обеспечения и как следствие современных технологий, а ремонт старого оборудования придется выполнять все чаще и чаще.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов, В.Д. Металлорежущие станки: учебник [Текст] / В.Д. Ефремов, В.А. Горохов, А.Г. Схиртладзе, И.А. Коротков. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. - 696 с.

2. Мазур, И.И. Управление качеством [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. - М.: Высшая школа, 2003. - 334 с.

УДК 621.003: 658.523

### МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.А. Клепцов, к.т.н., доцент, М.И. Ятина Кузбасский государственный технический университет Кемерово, тел +7 960 903 43 40, E-mail: kleptsoff@mail.ru А.З. Ядута, к.т.н. Белгородский государственный университет Белгород, E-mail: ayaduta@mail.ru

Представлена методика оптимизации оперативно-технического планирования мелкосерийного и единичного производства, направленная на формирование оптимальных планов запуска в производство продукции.

The method for optimization of operational planning mechanical-assembly small-serial production is presented. This method is intended for form of optimal plans of start production.

Значительная часть предприятий машиностроения характеризуется единичным или мелкосерийным типом производства в сочетании с многономенклатур-

ностью производственного плана и малой повторяемостью выпускаемых изделий. В этих условиях очень важно оптимально распределить производство изделий в планируемом периоде.

Сущность оперативно-технического планирования в наибольшей мере отражает такой критерий оптимальности, как минимизация длительности выполнения плана, или суммарного времени межоперационного пролеживания деталей (изделий) [1].

Действительно, поиск оптимального плана – это сведение к минимуму не столько простоя оборудования (рабочих мест), сколько времени, в течение которого детали (изделия) ожидают обработки (сборки). Сведение к минимуму пролеживания обеспечивается расчетом такого пооперационного распределения обработки деталей (изделий), при котором наилучшим образом синхронизируется длительность технологических операций и повышается загрузка оборудования.

В рассматриваемой модели объектом планирования принято изделие, а планово-учетной единицей – технологическая операция. На стадии оперативнотехнического планирования определяются сроки запуска-выпуска каждого изделия по выбранным для данного производственного участка операциям.

Количество и состав операций определяются по каждому цеху (участку) с учетом действующей на предприятии технологии.

Решение задачи определения очередности запуска изделий в производство сводится к отысканию такого оптимального варианта последовательности запуска изделий в производство, при котором суммарное время пролеживания деталей (изделий) перед обработкой будет минимальным.

Введем обозначения:  $q_s^{\mathfrak{s}}$ ,  $q_s^{\mathfrak{s}}$ ,  $q_s^{\mathfrak{s}}$  – сроки выпуска изделий соответственно в сборочном, механическом и заготовительном цехах;  $q_s^{\mathfrak{s}}$ ,  $q_s^{\mathfrak{s}}$ ,  $q_s^{\mathfrak{s}}$  – сроки запуска изделий соответственно в сборочном, механическом и заготовительном цехах. Зная время изготовления изделий в каждом из цехов и срок выпуска этого изделия в любом из них, определяем все остальные значения сроков запуска-выпуска.

Приняв за исходную величину срок выпуска изделия в сборочном цехе  $q_s^{\varepsilon}$ , получаем все значения сроков:

$$\begin{aligned} q_{s_{j}}^{e} &= q_{s_{j}}^{e} - \sum_{i=1}^{I} t_{um-\kappa_{i,j}}^{e} - \sum_{i=1}^{I} \delta_{i,j}^{e}; \\ q_{s_{j}}^{M} &= q_{s_{j}}^{e}; \ q_{s_{j}}^{M} = q_{s_{j}}^{M} - \sum_{i=1}^{I} t_{um-\kappa_{i,j}}^{M} - \sum_{i=1}^{I} \delta_{i,j}^{M}; \\ q_{s_{j}}^{5} &= q_{s_{j}}^{M}; \ q_{s_{j}}^{3} = q_{s_{j}}^{3} - \sum_{i=1}^{I} t_{um-\kappa_{i,j}}^{3} - \sum_{i=1}^{I} \delta_{i,j}^{3}. \end{aligned}$$

Здесь *j* – номер детали, изделия, заготовки; *i* – номер операции обработки детали, сборки изделия, получения заготовки;  $t_{um-x_{i,j}}^{s}$ ,  $t_{um-x_{i,j}}^{s}$ ,  $t_{um-x_{i,j}}^{s}$ , – нормы штучно-калькуляционного времени по операциям сборки изделий, обработки деталей, получения заготовок;  $\delta_{i,j}^{s}$ ;  $\delta_{i,j}^{s}$ ,  $\delta_{i,j}^{s}$  – время межоперационного транспортирования, пролеживания изделий, деталей, заготовок, непроизводительные потери

времени.

Производственный цикл изготовления изделия С определяется выражением

$$C = q_{\sigma}^{c} - q_{s}^{s}$$

Величины  $\delta_{i,j}$  для каждого из участков находятся путем построения календарного плана-графика обработки изделия в соответствующем цехе, основанного на оптимальной последовательности запуска.

Сроки запуска-выпуска изделий по операциям в сборочном цехе определяются путем последовательного перехода от предыдущей операции к последующей. Срок запуска первого изделия в сборочном цехе всегда может быть задан. На основании сопоставления суточной реально возможной длительности работы на -й операции с расчетной длительностью изготовления данного изделия определяются даты конца и начала *i*-й операции для последующего изделия. При переходе к выполнению последующих операций предполагается, что окончание -й операции *j*-го изделия совпадает с началом обработки на (*i* + 1)-й операции *j*-го изделия.

При этом возможны три варианта:

1.  $t_{um-\kappa_{i,j}} = t_{um-\kappa_{(i+1),(j-1)}}$ ;

2.  $t_{um-\kappa_{i,j}} > t_{um-\kappa_{i+1},(j-1)};$ 

3.  $t_{um-\kappa_{i,j}} < t_{um-\kappa_{(i+1),(j-1)}}$ 

В первых двух случаях к моменту начала (i + 1)-й операции -го изделия рабочее место готово. В третьем случае готовность рабочего места определяется окончанием (i + 1)-й операции (i - 1)-го изделия.

Тогда для определения сроков запуска-выпуска в сборочном цехе справедливы следующие соотношения:

- при  $t_{\operatorname{шт-R}_{\ell,j}} \ge t_{\operatorname{шт-R}_{\ell+1},(j-1)}$   $q_{\mathtt{B}_{\ell+1},(j-1)}^{\mathtt{c}} = q_{\mathtt{B}_{\ell,j}}^{\mathtt{c}};$ 

$$- \inf_{u = m_{i,j}} - \inf_{u = m$$

При наличии нескольких рабочих мест (станок, сборочный стенд) для выполнения операций выбираются места с наиболее производительным оборудованием.

Для планирования сроков запуска-выпуска деталей в механическом цехе целесообразно произвести группирование оборудования по типам и технологическим характеристикам. Группирование оборудования позволяет представить технологический маршрут обработки изделия как параллельно-последовательный переход от одной группы оборудования к другой. Основное различие методов построения графика запуска-выпуска на сборочном и механическом участках состоит в том, что на механическом участке расчет ведется с последнего изделия из очередности и с последней операции обработки. При этом принимается во внимание возможность начала последующей операции раньше, чем закончится предыдущая, в зависимости от размера партии деталей.

На рис. 1 показан график по шкале времени запуска-выпуска изделия по двум группам оборудования и шести операциям. Первая группа оборудования включает четыре операции токарной обработки (с 1-й по 4-ю), вторая группа – две операции фрезерования плоскостей (операции 5 и 6).



Рис. 1 Пример составления графика запуска-выпуска изделия

Задается срок выпуска изделий в сборочном цехе, определяется срок выпуска изделий в механическом цехе.

Срок запуска изделия по второй группе оборудования:

$$\begin{split} q_{\mathtt{B}_{0,j}}^{\mathtt{M}} &= q_{\mathtt{B}_{0,j}}^{\mathtt{M}} - t_{\mathtt{m}\mathtt{T}-\mathtt{K}_{0,j}}; \\ q_{\mathtt{B}_{d,j}}^{\mathtt{M}} &= q_{\mathtt{B}_{d,j}}^{\mathtt{M}} - t_{\mathtt{m}\mathtt{T}-\mathtt{K}_{d,j}}. \end{split}$$

Из значений  $q_{B_{6,1}}^{M}$  и  $q_{B_{6,1}}^{M}$  выбирается минимальное, например  $q_{B_{6,1}}^{M}$ .

Срок начала изготовления изделий первой группой оборудования устанавливается из сопоставления длительности каждой из операций по этой группе оборудования и длительности операции по второй группе с минимальным сроком запуска, т.е.  $q_{\rm bs, J}^{\rm M}$ .

В случае, когда предшествующая операция короче шестой операции, время начала выполнения ее меньше времени начала шестой операции на отрезок, равный интервалу транспортировки и времени изготовления партии деталей.

При условии, что предшествующая операция оказывается длиннее шестой

операции, время окончания ее следует сместить влево от времени окончания шестой операции на отрезок, равный интервалу транспортирования и времени изготовления партии деталей.

Таким образом, зная длительность выполнения операций и время выпуска деталей в механическом цехе, можно определить срок запуска обработки деталей по операциям, используя зависимость

$$q_{\mathfrak{s}_{\ell,j}}^{\mathfrak{m}} = q_{\mathfrak{s}_{\ell,j}}^{\mathfrak{m}} - t_{\mathfrak{m}\mathfrak{r} - \mathfrak{k}_{\ell,j}}.$$

При известном времени запуска изделий срок выпуска определяется выражением

$$q_{\mathbf{B}_{ij}}^{\mathbf{N}} = q_{\mathbf{B}_{ij}}^{\mathbf{N}} + t_{\mathbf{m}\mathbf{T} - \mathbf{N}_{ij}}$$

При необходимости учета технологической привязки рассматриваемой операции к определенному рабочему месту, сравнивается время ее окончания с готовностью рабочего места к выполнению следующей операции. Это значит, что величина  $q_{\mathsf{B}_{i,j}}^{\mathsf{M}}$  для изделия *j* сравнивается с величиной  $q_{\mathsf{B}_{i,j}}^{\mathsf{M}}$  для следующего изделия (j + 1). При этом, если  $q_{\mathsf{B}_{i,j}}^{\mathsf{M}} < q_{\mathsf{B}_{i,j}}^{\mathsf{M}}$  величина  $q_{\mathsf{B}_{i,j}}^{\mathsf{M}}$  принимается как срок выпуска -го изделия по *i*-й операции; если  $q_{\mathsf{B}_{i,j}}^{\mathsf{M}} \ge q_{\mathsf{B}_{i,j}(j+1)}^{\mathsf{M}}$  производится сдвиг вправо срока выпуска (j + 1)-го изделия по -й операции на величину, связанную с готовностью места, тогда  $q_{\mathsf{B}_{i,j}(i+1)}^{\mathsf{M}} = q_{\mathsf{B}}^{\mathsf{M}}$ .

Сроки запуска-выпуска изделий по заготовительным операциям определяются аналогично расчету этих сроков по операциям механической обработки.

Предложенная методика была реализована в виде компьютерной программы. Для получения исходной информации использовалась электронная база технологических процессов Кемеровского филиала ОАО «Сибирьэнергоремонт» ОАО «Кузбассэнерго». Выходная информация включает в себя обозначения сборочных единиц и входящих в них деталей, календарные сроки запуска в производство и выпуска сборочной единицы, сроки запуска в производство и выпуска деталей, входящих в сборочную единицу, разряды работ, трудоемкость и коэффициенты загрузки оборудования по каждой операции и группе оборудования. В настоящее время методика проходит апробацию на указанном предприятии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свирщевский, П.В. Применение экономико-математических методов и/или моделей для оптимизации логистической системы распределения товаров. – М.: Лаборатория книги, 2012.

2. Остапенко, И.И. Преимущества и особенности оперативного управления. – М.: Лаборатория книги, 2012.

# НАПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРГСТРУКТУРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

### О.Б. Дронова, к.э.н. Алтайский государственный технический университет им.И.И.Ползунова Барнаул, тел. +7(3852)29-09-43, E-mail: <u>suholga.08@mail.ru</u>

С точки зрения процессного подхода к управлению совершенствование организационных структур управления логично показать в виде алгоритма проектирования бизнес-процессов, предполагающего переход к оргструктурам, которые поддерживают необходимую гибкость в управлении процессом производственной деятельности. В данных структурах обеспечивается прямая взаимосвязь между функциональными и линейными подразделениями на любом уровне.

From the standpoint of a process approach to the control existent trends of improvement on organization structures. It would be possible to present them in a kind of algorithm of project business - processes. In these organization structures is secured direct connection between functional and lineal subdivisions of some level. These structures allow receiving necessary suppleness in the control of the process.

Современная тенденция в теории и практике менеджмента состоит в проектировании организационных систем, учитывающей требования ситуаций, которые изобилуют случайностями. В этом отношении ни механистическая, ни органическая модели не являются эффективными - все зависит от ситуации.

Представленный алгоритм проектирования определяет переход к новой структуре, соответствующей выбранной стратегии и целевым задачам применительно к конкретным условиям её функционирования. Данный алгоритм можно представить схематично (рисунок 1).

На первом этапе предлагается построить сеть процессов, выделяя процессы в рамках функциональных подразделений. Для закрепления процессов за подразделениями (определения владельцев процессов) используется матрицараспределитель процессов организации. Это даст возможность с самого начала осознать весь комплекс взаимосвязей между подразделениями в организации.

Основными бизнес-процессами организации будут те, которые напрямую добавляют стоимость продукции. По сути, к ним относятся процессы, приводящие к выпуску продукции или предоставлению услуги, начиная с анализа существующих потребностей конкретных потребителей и заканчивая поставкой продукции, другими словами, производящие основные «выходы».

На рисунке 2 представлена «идеальная» модель процессно-ориентированной организации.

Владельцами обеспечивающих процессов и процессов менеджмента являются руководители соответствующих линейно-функциональных подразделений предприятия. Как правило, каждый процесс содержит в себе другие процессы или

#### подпроцессы.



Рис. 1. Алгоритм организационного проектирования

**І этап** – Анализ существующей организационной структуры управления **ІІ этап** – Проектирование новой организационной структуры

**Ш** этап – Процесс организационных изменений

IV этап – Оценка эффективности организационной структуры управления

Те в свою очередь также могут являться объединяющим звеном подпроцессов еще более низкого уровня. И так до нижнего иерархического уровня неделимых элементов, которыми и являются функции. Функцией называется элемент (вид) производственной деятельности, не способный самостоятельно производить продукт, обладающий свойствами потребления вне рамок существующих бизнес-процессов.



Рис. 2. «Идеальная» модель процессно-ориентированной организации

Композиция процесса – это спроектированный набор функций с заданными свойствами соподчиненности и взаимосвязей.

На втором этапе осуществляется проектирование организационной структуры. Новая организационная структура должна соответствовать стратегии организации и быть гибкой, что обеспечивает возможность её развития и адаптации к новым условиям на принципах самоорганизации.

Современный подход к выработке стратегии предполагает детальный анализ деятельности организации на занятых ей рынках товаров и услуг или в стратегической зоне деятельности (СЗД).

При построении матрицы товаров и услуг на рынках потребителей этих услуг, необходимо учесть ряд признаков (таблица 1): З-виды заказчиков (потребителей) товаров и услуг: государство, работодатели, граждане; С- товары и услуги; П- номенклатура товаров и услуг.

В результате матрица производственной деятельности организации приобретает размерность З\*С\*П и в такой обусловленной принятым набором признаков форме описывает содержательно сферы производственной деятельности, подлежащие объединению в командах процессов производственной деятельности.

В результате децентрализации ресурсов и полномочий на низшие уровни

управления (в команды процессов) перераспределяются права и обязанности, а значит и ответственность за определенные процессы между управляющими линейно-функционального уровня и командами процессов.

Таблица 1

Матрица товаров и услуг организации на соответствующих рынках

Заказчики	Товары (Услуги)	Номенклатурный	Команды		
		ряд	процессов		ссов
			(КП)		
			КП		КП
			1		n
Государство	основные				
Предприятия					
Личности					
	дополнительные				

Изменение входящих в процесс набора функций и их взаимосвязей, образующих структуру процесса, называется декомпозицией процесса. Декомпозиция – это кардинальное изменение структуры функций в рамках выделенного процесса. В результате реинжиниринга один подпроцесс переносится из одного процесса в другой и вместе с ним переносится часть или весь входящий в него состав подпроцессов и функций (рис. 3).



Рис. 3. Схема реинжиниринга бизнес-процессов организации

Т.е., перераспределение прав и обязанностей между командами процессов и линейно-функциональными управляющими приводит к изменению структуры (декомпозиции) ряда процессов, входящих в перечень основных бизнеспроцессов, владельцами которых становятся участники команд процесса. С учетом степени централизации действующей линейно-функциональной структуры управления владельцами данных процессов могли быть руководители линейнофункциональных подразделений. Так, например, владельцем подпроцессов «оценка степени удовлетворенности клиентов», «обработка жалоб/гарантийных обязательств/претензий/возвратов» «обработка запросов и предоставление сервисной поддержки клиентам» основного бизнес-процесса «Осуществление продаж/управление обслуживанием клиентов» до перераспределения прав и обязанностей являлся начальник отдела маркетинговых исследований.

Распределение прав и обязанностей между участниками команд процессов и руководителями линейно-функциональных подразделений представлено в матрице распределения ответственности. Изменение владельцев процессов отображено в виде стрелки с началом в ячейке, которая соответствует подразделению, которое было владельцем процесса (В) до трансформации организационной структуры (таблица 2).

Таблица 2

Подпроцессы / подразде-	Команда	про-	Отдел	марке-	Отдел	кад-	
ления, ответственные за	цесса	(цex,	тинговых	ис-	ров		
выполнение	производст-		следован	ий			
	венное	под-					
	разделение)						
Осуществление продаж/у	Осуществление продаж/управление обслуживанием клиентов						
-оценка степени удовле-	В	←	В				
творенности клиентов;							
-обработка жа-	В	←	В				
лоб/гарантийных обяза-							
тельств/претен-							
зий/возвратов							
-обработка запросов и	В	←	В				
предоставление сервис-							
ной поддержки клиентам;							

Фрагмент матрицы – распределителя ответственности

Таким образом, традиционная вертикаль управления по существу преобразуется в горизонталь. На верхнем уровне управления остается общий руководитель – координатор команд процессов и информационно-аналитический центр.

Другими словами, элементы матричной структуры проявляются в создании команд процессов производственной деятельности на базе цехов, производственных подразделений, которые несут ответственность за выпуск продукции по определенному номенклатурному перечню. На первоначальном этапе команда процесса подчиняется начальнику цеха, производственного отдела. Но впоследствии предполагается двойное подчинение: начальнику цеха и менеджеру команды процесса. В задачи начальников цехов входит осуществление учета и контроля возглавляемого ими подразделения, а также согласования условий его взаимодействия с другими подразделениями организации. УДК 621.9

### ОПТИМИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Л. Н. Клепцова, к.э.н., доцент Кузбасский государственный технический университет Кемерово, тел. +7 905 070 32 08 E-mail: kleptsoff@mail.ru

Представлена методика оптимизации оперативного плана ремонтного механосборочного цеха с единичным типом производства, основанная на логистическом подходе.

The method for optimization of operational plan of mechanical-assembly repair shop with individual type of production is presented. This method is based on logistic approach.

Особенностью многих предприятий ремонтного машиностроения является единичный или мелкосерийный характер производства в сочетании с многономенклатурностью производственного плана и малой повторяемостью изделий. Поэтому очень важно оптимально распределить производство изделий в планируемом периоде, выбрать рациональный способ использования ограниченных ресурсов с целью достижения наибольшей эффективности.

Управление материальными потоками всегда являлось существенной стороной хозяйственной деятельности таких предприятий. Однако лишь сравнительно недавно оно приобрело положение одной из наиболее важных функций экономики предприятия. Основная причина – переход от рынка продавца к рынку заказчика, вызвавший необходимость гибкого реагирования производственных систем на быстро изменяющиеся приоритеты заказчика.

Исходя из определения логистики, как науки о движении и управлении материальными, информационными и др. потоками от поставщика сырья до потребителя готовой продукции, возникает задача определения оптимального сочетания характеристик технологического процесса, обеспечивающих стабильность технологического процесса и качество изготавливаемой продукции при минимальных затратах для всей производственной системы в целом и в отдельности для каждого ее участника.

Предлагаемая в данной работе методика параметрической оптимизации технологических процессов разрабатывается для условий мелкосерийного производства, наиболее широко распространенного в машиностроении.

Критерием оптимальности функционирования внутрипроизводственной логистической системы материальных потоков выбрана себестоимость продукции. Наиболее перспективными с точки зрения управления себестоимостью продукции *С* предприятия представляются три ее составляющие [1, 2]: затраты на хранение запасов  $C_{\text{вап}}$ ; транспортные затраты  $C_{\text{трансп}}$ ; технологическая себестоимость продукции  $C_{\text{токн}}$ , как часть полной себестоимости, зависящей от технологии изготовления продукции

$$C = f(C_{\text{sam}}, C_{\text{тран сп}}, C_{\text{техн}}) \to min.$$

При расчете ежегодной стоимости хранения запасов  $C_{\text{вап}}$  принято исходить из среднего количества продукции, которая составляет запас в течение одного производственного цикла. В первом приближении, уровень запасов изменяется линейно в промежутке от q до нуля, следовательно, средний уровень запасов равен q/2, где q – первоначальный объем запасов.

Затраты на хранение единицы продукции С<sub>мд</sub> определяются либо как фиксированная величина на месяц, либо в процентах от общей себестоимости единицы продукции.

Ежемесячная стоимость хранения запасов

$$C_{\rm sam} = C_{\rm eg} \cdot T_{\rm xp} \cdot q/2,$$

где  $T_{\rm KD}$  – время хранения запасов на складе, мес.

Транспортные затраты могут быть определены, как сумма затрат на амортизацию транспортных средств  $A_{\rm TP}$ , затрат на различные виды энергии Э, используемой для транспортирования и затрат на заработную плату работникам, обслуживающим транспортные средства  $3_{\rm TP}$ 

$$\begin{split} C_{\text{транен}} &= A_{\text{тр}} + \Im + \Im_{\text{тр}}, \\ A_{\text{тр}} &= \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \left( \frac{\tau_{i} + t_{\text{max}_{i,j}}}{60} \cdot O_{\text{тр}_{i,j}} \cdot n_{i} \right) \end{split}$$

Здесь і – номер изделия; j – номер операции обработки -го изделия;  $T_i$  – время транспортировки между рабочими местами *i*-го изделия, мин;  $t_{\text{шт}_{i,j}}$  – норма штучного времени обработки *i*-го изделия на *j*-й операции, мин;  $Q_{\text{тр}_{i,j}}$  – часовые расходы на амортизацию и содержание транспортных средств на *j*-й операции обработки *i*-го изделия, руб.;  $n_i$  – партия выпуска *i*-го изделия, штук.

Технологическая себестоимость годового выпуска продукции участком или цехом определяется выражением

$$C_{\text{TEXH}} = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \left[ \frac{c_{\text{wr}_{i,j}}}{60} \cdot \left( S_{p_{i,j}} K_{\text{M}p_{i,j}} + O_{i,j} \right) n_i + 0, 2K_{\text{20}} T_{\Pi - 2i,j} S_{\Pi_{i,j}} K_{\text{M}H_{i,j}} \right]$$

где  $S_{p_{i,j}}$  – часовая тарифная ставка основного рабочего на *j*-й операции обработки *i*-й детали, руб.;  $K_{mp_{i,j}}$  – коэффициент многостаночного обслуживания основного рабочего на *j*-й операции обработки *i*-й детали;  $Q_{i,j}$  – часовые расходы на амор-
тизацию и содержание оборудования и оснастки на *j*-й операции обработки *i*-й детали, руб.;  $K_{so}$  – коэффициент закрепления операций (среднее число переналадок оборудования за месяц на участке или в цехе);  $T_{\pi-s_{i,j}}$  – норма подготовительно-заключительного времени на *j*-й операции обработки *i*-й детали, мин;  $S_{\pi_{i,j}}$  – часовая тарифная ставка наладчика на *j*-й операции обработки *i*-й детали, руб.;  $K_{\text{MH}_{i,j}}$  – коэффициент многостаночного обслуживания наладчика на *j*-й операции обработки *i*-й детали.

В результате целевая функция примет следующий вид:

$$\begin{split} C &= C_{eg} \, q/2 + \Im + \Im_{\rm Tp} + \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \left[ \left( \frac{c_{\rm IDT}_{i,j}}{60} \left( O_{{\rm Tp}_{i,j}} + S_{{\rm p}_{i,j}} K_{{\rm Mp}_{i,j}} + O_{i,j} \right) + \right. \\ &+ T_i O_{{\rm Tp}_{i,j}} \right] N_i + 0.2 K_{\rm so} T_{\pi - \mathbf{s}_{i,j}} S_{{\rm H}_{i,j}} K_{{\rm MH}_{i,j}} \end{split}$$

Для минимизации себестоимости необходимо определить управляющие параметры – характеристики производственного процесса, варьирование которыми на уровне проектирования технологических процессов позволит существенно менять величину себестоимости.

Очевидно, что в представленном выражении такими параметрами могут быть: J – количество операций обработки каждой детали;  $t_{mr_{ij}}$  – нормы штучного времени обработки деталей по операциям;  $T_{n-s_{ij}}$  – нормы подготовительнозаключительного времени по операциям;  $T_i$  – время транспортировки деталей;  $T_{xy}$ – время хранения деталей (заготовок, незавершенного производства) на складе; q– объемы запасов материалов и комплектующих.

В соответствии с общей постановкой задачи параметрической оптимизации в математическую модель материальных потоков, помимо целевой функции входят также ограничения по управляющим переменным.

Вектор оптимизационных параметров выглядит следующим образом:

# $X = (J, t_{\text{max}}, T_{\pi}, T_{\ell}, T_{xp}, q).$

Первая группа ограничений – по объему запасов заготовок, деталей и комплектующих. Наименьший объем запасов равен нулю. Наибольший объем запасов может быть определен по формуле Вильсона [2], как экономически разумный размер заказа *EOQ* (Economic Order Quantity)

# $EOQ = \sqrt{2D \cdot O/C_{eq}}$

где D – годовая потребность в заказываемом продукте, шт.; O – затраты на поставку единицы заказываемого продукта, руб.;  $C_{eq}$  – годовые затраты на хранение единицы заказываемой продукции, руб./шт.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма оптимизации объемов и сроков хранения запасов заготовок, деталей и комплектующих

Тогда ограничение по объему запасов заготовок, деталей и комплектующих выглядит следующим образом:

## 0 < q < EOQ

Ко второй группе ограничений относятся ограничения по количеству операций обработки каждой детали. Учитывая, что количество операций обработки не может быть менее одной, ограничение имеет вид

# $1 \leq J \leq J_0$ ,

где *J*<sub>0</sub> – количество операций обработки каждой детали.

К третьей группе относятся ограничения по срокам хранения запасов заготовок, деталей и комплектующих. Очевидно, что запас не может храниться на складе менее одного рабочего дня (0,045 месяца), необходимого для его приемки и отпуска. В то же время, если запас не востребован в течение года (12 месяцев), а подавляющее большинство машиностроительных предприятий планирует свою работу на год, следовательно, такой запас просто не нужен. Учитывая это, ограничение по срокам хранения запасов заготовок, деталей и комплектующих примет вид:

# $0,045 \le T_{\rm xp} \le 12.$

К четвертой группе относятся ограничения по производительности по каждой группе станков. При односменной работе это ограничение выглядит следующим образом:

$$0 < \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} \left( t_{\min_{i,j}} + T_{\pi - z_{i,j}} / N_{\varepsilon} \right) < 60 \cdot F \cdot \eta \cdot N,$$

где *F* – годовой фонд времени работы оборудования; *η* – коэффициент загрузки

станков; *N* – количество станков в каждой группе.

Предложенная методика была реализована в виде компьютерной программы, блок-схема которой приведена на рис. 1. Для оптимизации объема запасов заготовок, деталей и комплектующих **q** и времени хранения запасов заготовок, де-

талей и комплектующих  $T_{\rm xp}$  на складе был использован метод случайного поис-

ка.

Сущность метода заключается в том, что производится генерация случайных значений q и  $T_{xp}$  в пределах выбранных ограничений и рассчитывается вели-

чина критерия оптимальности С для каждой пары этих параметров. Перебором

выбранного количества вариантов K определяется объем q и срок хранения  $T_{xxx}$ 

запасов заготовок, деталей и комплектующих по каждому наименованию изделий *i*, обеспечивающие минимальную технологическую себестоимость *C* годовой

программы участка или цеха.

Величины остальных управляющих параметров  $I_0$ ,  $t_{urr}$ ,  $T_{n-a}$ ,  $T_i$  определя-

ются технологическими процессами обработки каждой детали.

Для отладки методики и алгоритма была использована электронная база технологических процессов Кемеровского филиала ОАО «Сибирьэнергоремонт» ОАО «Кузбассэнерго». В настоящее время методика проходит апробацию на указанном предприятии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков, С.В. Повышение эффективности логистической деятельности предприятия на основе использования информационных технологий. – М.: Лаборатория книги, 2010.

2. Дегтярев, А.С. Планирование и контроль уровня запасов. – М.: Лаборатория книги, 2011.

УДК 621.9: 658.5

# ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ<sup>‡‡</sup>

Е.В. Мережко, Д.Э. Коробкин, магистрант, С.В. Птицын, доцент, В.Ю. Скиба, к.т.н., доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Новосибирский государственный технический университет» Новосибирск, тел. +7(383) 346-17-79, факс +7(383) 346-17-97. Е-mail: <u>katyam@ngs.ru</u>

В данной статье рассматриваются вопросы обеспечения качества технологических машин применительно к жизненному циклу оборудования. Обсуждаются способы обеспечения

<sup>&</sup>lt;sup>##</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2013 г. и в плановом периоде в 2013-2015 гг. (Номер проекта 13-08-01102 А «Проектноисследовательская разработка технологической установки для плазменно-механической обработки деталей машин»).

качества на каждом этапе, а также методы его оценки.

In paper problems of quality technological machines in relation to the life cycle of equipment are researched. Ways to ensure quality at every stage of the life cycle, as well as its methods of assessment are discussed.

Обеспечение высокого качества технологических машин, а прежде всего металлообрабатывающих станков и комплексов, являющихся основой современного машиностроения, позволит вывести промышленность на новый уровень.

Согласно международному стандарту ISO 8402 качество рассматривается как совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности. С экономической точки зрения избыточное качество также невыгодно, как и недостаточное. Поэтому к выбору рационального уровня качества необходимо приступать, начиная с этапа концептуального проектирования.

Жизненный цикл оборудования состоит из ряда этапов (рис. 1), и на всех этих этапах необходимо заниматься вопросами качества, причем каждый из этапов имеет свои особенности. Для оценки качества существует специальная система показателей. [1]



Рис.1. Этапы жизненного цикла технологических машин

Качество изделия закладывается при его проектировании (1-2 этапы), обеспечивается при изготовлении и формировании станочного парка на машиностроительных предприятиях (3-4 этапы) и поддерживается при эксплуатации (5-6 этапы). Каждый этап имеет свою специфику обеспечения качества и свой набор показателей.

Жизненный цикл оборудования до морального износа составляет примерно 12-15 лет. Он может быть продлен путем модернизации оборудования.

Наибольшие проблемы возникают при оптимизации качества на первом этапе.

Рассмотрим каждый этап жизненного цикла технологических машин в отдельности.

Первым этапом является концептуальное проектирование. В его процессе закладываются такие важные и имеющие большую значимость показатели качества, как эффективность и гибкость. В свою очередь, они зависят от группы технических показателей, в которые входят технические характеристики и уровень автоматизации. Сложность проектирования заключается в том, что на этом этапе при оценке качества возможно применять только метод математического моделирования, так как оборудование еще отсутствует. [2]

На этапе рабочего конструирования закладываются эксплуатационные показатели, такие как точность, надежность, безопасность, эргономичность, экологичность. При оценке качества целесообразно использовать расчетные методы. Расчет производится по известным зависимостям.

Третьим этапом жизненного цикла оборудования является изготовление изделий. На этом этапе определяется материалоемкость изделия, а также его точность, которая зависит от качества изготовления отдельных деталей и качества сборки. Для оценки качества можно использовать экспериментальные методы оценки: испытания, исследования. Так для проверки геометрической точности, а также точности позиционирования станков проводят приемно-сдаточные испытания.

На этапе формирования станочного парка при покупке оборудования определяющими являются технические показатели, стоимость, точность оборудования, уровень автоматизации, а также безопасность, эстетичность и эргономичность. Основная задача этого этапа – подбор оборудования под существующую номенклатуру изготавливаемых изделий. Необходимо обеспечить перекрытие диапазонов обрабатываемых деталей, чтобы в дальнейшем производство было более гибким. [3]

Пятым этапом жизненного цикла оборудования является промышленное использование. Необходима правильная эксплуатация, тогда качество будет полностью реализовано, в противном случае оборудование будет иметь низкое качество. Также эффективность и экономические показатели будут ниже. [4] Так, порядка 90% работ проводится при использовании мощности оборудования только наполовину, что приводит к существенному перерасходу энергии. В этом случае для правильной эксплуатации оборудования необходимо сопоставлять режимы

обработки детали с мощностью станка.

В результате эксплуатации качество постепенно падает, снижается точность, надежность. В связи с этим возникает проблема поддержания качества. Для этого производятся планово-предупредительные ремонты, а в крайнем случае – модернизация оборудования, чтобы вернуть его на прежний уровень качества и продлить срок его эксплуатации. Если теряется точность оборудования, то она должна быть восстановлена. Для восстановления надежности детали, которые исчерпали свой ресурс, должны быть заменены. Чтобы определить характер ремонта, необходимо проводить диагностические испытания. Также после ремонта проводятся повторные испытания для проверки соответствия полученных характеристик требуемым. Для проведения модернизации оборудования также необходима диагностика, которая поможет выявить устаревшие детали.

Решение вопросов качества на всех этапах позволяет повысить эффективность оборудования, что положительно сказывается на экономической составляющей производства. Каждый вопрос качества должен быть решен на соответствующем ему этапе с использованием указанных особенностей оптимизации качества оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.В. Птицын, Е.В. Мережко. Система показателей качества металлообрабатывающих станков и комплексов. // Материалы XVI междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: ПДЗ, 2012.

2. Птицын С.В., Чесов Ю.С. Повышение эффективности металлорежущего оборудования // Обработка металлов.–2006.-№4.–с.25-27.

3. Птицын С.В., Чесов Ю.С. Параметрическая оптимизация качества станочного оборудования // СТИН. – 2002.-№6.-с.19-23.

4. Амиров Ю.Д. Основы конструирования. Творчество - стандартизация – экономика: Справочное пособие. – М.: Изд-во стандартов. 1991. – 392с.

# ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЙ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ИННОВАЦИЯМИ

Ж.М. Козлова, к.э.н., доцент «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, тел. + (385) 38-31-31. E-mail:gannakozlova@mail.ru

Представлены особенности принятия решений в инновационной деятельности

The paper presents the features of decision-making in innovation

Инновации стали неотъемлемой составляющей современной экономики. Их внедрение коснулось всех сфер деятельности человека.

Управление инновациями направлено на принятие таких решений, которые обеспечили бы создание конкурентоспособной продукции, достижение эффективных результатов инновационной деятельности. Методология принятия решений в инновационном менеджменте базируется на системе научных знаний о методах управления, их целевой направленности.

Обширный комплекс работ, выполняемых как в составе инновационных процессов, так и по многим (в большинстве случаев локальным) направлениям инновационной деятельности, имеет высокую неопределенность достижения желаемых результатов, предусматриваемой конечной и промежуточными целями инноваций. При этом каждой промежуточной цели свойственна своя, конкретная ситуация, требующая адекватных решений в процессе управления. В одной ситуации управленческие решения нацелены на уменьшение коммерческого риска инвесторов, в другой — на преодоление возмущающих воздействий многочисленных изменений конструкторской документации при изготовлении опытных образцов новых изделий. Достижение конечной цели требует решений по уменьшению коммерческого риска инвесторов.

Особенности принятия решений в управлении инновациями зависят от степени неопределенности достижения различных целей, как в составе инновационного процесса, так и по локальным направлениям инновационной деятельности. Поэтому очень важно иметь целостное представление обо всех без исключения работах, выполняемых в процессе инновационной деятельности.

Менеджер инновационной деятельности — это тот, кто способен решать необычную, ранее не встречающуюся экономическую, техническую и организационную проблему.

Наличие квалифицированного инновационного менеджера поможет организации снизить расходы, минимизировать риски и ошибки при продвижении инновационных технологий, развитии товаров и услуг, внедрении новых бизнесидей.

В условиях реструктуризации актуализируется необходимость формирования новых механизмов принятия управленческих решений' в инновационном менеджменте с учетом инновационного потенциала и инновационного климата на предприятии.

В теории управленческих решений имеется большое количество всевозможных методов принятия решений, все их можно объединить в три группы: неформальные (эвристические), коллективные и количественные.

Неформальные методы принятия решений основаны на аналитических способностях лиц, принимающих эти решения, и представляют собой совокупность логических приемов и методики выбора оптимальных решений руководителем теоретическое сравнение альтернатив с учетом накопленного опыта. Часто применяемыми на практике коллективными методами принятия решений являются экспертные методы, основанные на совокупном анализе и усреднении различными способами мнений, суждений специалистов по рассматриваемым вопросам, выраженных в количественной и качественной форме с целью подготовки информации для принятия решений. Существуют четыре основных направления экспертных методов: метод простой ранжировки, метод задания весовых коэффициентов, метод последовательных сравнений (сортировки), метод парных сравнений (парная сортировка).

В основе количественных методов принятия решений лежит научнопрактический подход, предполагающий выбор оптимальных решений путем обработки больших массивов информации.

В зависимости от типа математических функций, положенных в основу моделей, различают:

-линейное моделирование, при котором используются линейные зависимости;

-динамическое программирование, позволяющее вводить дополнительные переменные в процессе решения задач;

-вероятностные и статистические модели;

-теория игр – моделирование таких ситуаций, принятие решений в которых должно учитывать несовпадение интересов различных подразделений;

-имитационные модели позволяют экспериментально проверить реализацию решений, изменить исходные предпосылки, уточнить требования к ним.

К основным факторам, влияющим на принятие решений в инновационной деятельности, можно отнести следующие: специализация (сфера деятельности) предприятия; организационно-правовая форма предприятия; политико-правовая среда в сфере регулирования инноваций; -организационная культура предприятия; место расположения предприятия; цели деятельности предприятия; степень централизации управления; инновационный потенциал предприятия; источники финансирования инновационных программ; квалификация персонала; творческая активность и опыт лидера.

Особенности решений по управлению инновационной деятельностью состоят в том, что они:

-способствуют интеллектуализации трудовой деятельности, повышению ее наукоёмкости;

-трудно поддаются стандартизации поскольку проблемы, на решение которых они направлены, нестандартны;

-направлены на изменение состава производимых товаров и услуг, улучшение их качества, развитие и удовлетворение растущих потребностей индивидуума и общества;

-имеют высокую степень неопределенности и риска;

-оказывают сильное влияние на развитие и эффективное функционирование

предприятия;

-разрушают экономическое равновесие, вносят противоречия и неопределенность в экономическую динамику;

-принимаются, как правило, на высшем уровне управления;

-зачастую влекут за собой возникновения сопротивления;

-связаны с повышенными затратами ресурсов;

-требуют использования новейших достижений науки техники.

Методы принятия решений в сфере инновационного менеджмента зависят от этапа разработки инновации (таблица 1) [1].

Таблица 1

Этап разработки	Методы принятия инновационных решений				
инновации					
Генерация и система-	-метод «мозговой атаки»;				
тизация поступающих	-морфологический анализ;				
идей	-методы ассоциаций и аналогий;				
	-метод «матриц открытий»;				
	-синектика				
Отбор и разработка	-методы моделирования;				
идей	-методы ситуационного анализа;				
	-методы многокритериальной оценки альтерна-				
	тив;				
	-методы экспертной оценки альтернатив				
Анализ экономиче-	-методы экономического анализа;				
ской эффективности	-методы оценки эффективности капитальных				
инноваций	вложений и новой техники				
Разработка инноваций	-методы составления инновационных программ;				
	-методы разработки инновации и проведения ис-				
	пытаний				
Внедрение инноваций	-методы групповой организации производства				
	новой техники;				
	-методы оценки рентабельности, степени удов-				
	летворения спроса и потребления;				
	-методы моделирования (модели теории массо-				
	вого обслуживания, оптимального линейного				
	программирования)				

Методы принятия инновационных решений

Таким образом, принимаемые управленческие решения в сфере инновационной деятельности носят творческий характер, нацелены на устойчивое инновационное развитие для обеспечения конкурентоспособности предприятия в условиях рыночных отношений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управленческие решения: учебник: [по специальности "Менеджмент орг."] / Л. И. Лукичева, Д. Н. Егорычев; под ред. Ю. П. Анискина. - 3-е изд., стер. - М.: ОМЕГА-Л, 2008. - 383 с.

2. Разработка управленческих решений: [учеб.пособие по специальности "Менеджмент орг."] / А. Г. Ивасенко, Я. И. Никонова, Е. Н. Плотникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : КНОРУС, 2008. - 166 с.

#### УДК 531.01:378.147:004.9

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ МЕХАНИКЕ

Н.В. Крамаренко, к.т.н., доцент, Новосибирский государственный технический ун-т, г. Новосибирск, Электронный адрес: *teormech@ngs.ru* 

Обсуждаются некоторые формы представления учебных материалов в электронном виде, а также способы их доставки студентам.

Some forms of representation of training materials in electronic form, and also ways of their delivery to students are discussed.

При организации процесса обучения студентов преподаватель должен определить, во-первых, какие учебные материалы он будет представлять в электронном виде, и во-вторых, как организовать доступ к этим материалам.

#### 1. Учебные материалы в электронном виде.

1.1. Электронные лекции. С появлением в вузе компьютеров в комплекте с проекторами стала применяться технология обучения в виде электронных лекций (ЭЛ) [1]. При такой технологии студент освобождается от необходимости конспектировать всю лекцию, т.к. у него есть ее распечатка. На лекции студент вписывает только дополнения, пояснения к основному материалу. Преподавателю технология ЭЛ позволяет увеличить объем материала, включить в лекцию различные демонстрации в виде фотографий, анимации, видеороликов, примеров решения задач. Все это значительно повышает интерес у слушателей и позволяет глубже понять излагаемый материал.

**1.2.** Электронное тестирование. Технология электронного тестирования (ЭТ) знаний реализуется как внутри вуза [2,3], так и между вузами в ви-

де федеральных экзаменов профессионального образования (ФЭПО). Данная технология используется уже несколько лет и по результатам ее применения можно сделать некоторые выводы. Несомненно, что для преподавателя технология ЭТ экономит много времени на подведение результатов. Эта технология удобна для администрации вуза, т.к. позволяет быстро собрать статистику по успеваемости. Но студенты при такой технологии обучения нацеливаются не на изучение предмета, а на добычу правильных ответов. Контроль логических рассуждений при решении тестовых задач выявил, что из тех студентов, которые на электронном тестировании показывают правильные ответы, примерно половина не знает, как решается задача. Поэтому автор отказался от ЭТ и для промежуточного контроля знаний вернулся к бумажной технологии.

**1.3. Виртуальные лабораторные работы.** Это технология обучения с применением интеллектуальных тренажеров [4]. По мнению автора технология обучения механике с применением виртуальных лабораторных работ (ВЛР) должна включать три этапа:

1 - традиционный ручной расчет механической системы,

2 - виртуальный эксперимент, т.е. проверка результатов расчета на компьютерной модели,

3 - натурный эксперимент, т.е. проверка результатов виртуального моделирования на физическом объекте.

На 1-ом этапе выполнения задания каждый студент получает некоторый индивидуальный вариант механизма или конструкции с набором исходных параметров, производит расчет вручную и находит искомые параметры. В традиционной технологии обучения на этом процесс познания заканчивался.

При обучении с применением ВЛР на 2 этапе студенту предлагается смоделировать проектируемое изделие на компьютере. Если параметры, рассчитанные студентом, совпадут с теми, которые покажет компьютер, то расчет выполнен правильно, тема освоена. В случае успешного выполнения 1-го этапа задания студент может в виртуальной среде смоделировать поведение исследуемой механической системы в других условиях, что позволит ему более глубоко усвоить изучаемую тему.

Если ограничиться только **виртуальным** экспериментом, то может оказаться так, что по окончании обучения из студента получится **виртуальный** специалист. Поэтому на 3 этапе студенту дается возможность поработать с реальной механической системой, создать в ней те условия, которые были в его расчете, и исследовать поведение системы с учетом особенностей ее физической реализации. Неизбежные при этом отклонения в поведении физической и виртуальной моделей он должен объяснить.

1.4. Электронный самоучитель. В современных условиях обучения,

когда с одной стороны количество аудиторных часов сокращается, а с другой стороны в технический вуз приходят все менее подготовленные абитуриенты, преподавателю необходимо дать возможность студентам изучать предмет самостоятельно и при этом каким-то образом повышать у них интерес к предмету. В этих условиях автор предлагает технологию обучения с использованием электронного самоучителя, идея которого возникла по аналогии с самоучителями по музыке.

Электронный самоучитель по механике должен позволять студенту посмотреть решения типовых задач, самостоятельно проверить свои знания на тестах, получить краткую справку из теории, а также посмотреть практические ситуации из жизни, описываемые изучаемыми законами механики.

Описанная идея была реализована в обучающих программах СамТ-С и СамТ-КП «самоучитель по термеху, раздел статика и раздел кинематика плоского движения» [5,6]. Программы созданы в виде веб-страниц. Страницы имеют иерархическую структуру, которая отражается в головном меню. Демо-версии программ доступны для скачивания с сайта НГТУ (*http://ciu.nstu.ru/kaf/persons/21514/dlya\_studentov*).

#### 2. Доступ к электронным учебным материалам (УМ).

**2.1.** Диски. Это простейший способ распространения УМ. На дисках автор распространяет УМ для заочников, а также ВЛР по механике.

**2.2.** Сайты вуза. В Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) есть возможность распространять УМ через специализированные сайты *nstu.ru ido.ru*. Первый сайт предназначен для открытого доступа, поэтому все файлы, выложенные преподавателем, может скачать любой человек, т.к. они не защищены паролем. Во втором сайте предусмотрена защита - скачать файлы может только тот, кто знает пароль доступа, который сообщает преподаватель - автор УМ. Кроме того, в этом сайте УМ группируются по видам – рабочая программа, теоретические материалы, самостоятельная работа и т.п. Недостатками этих сайтов является ограничение по размерам файлов, а также авторское право.

**2.3.** Социальные сети. В социальной сети любой человек может завести свою страничку. В том числе и преподаватель может завести учебную страницу по своему предмету. В частности, УМ, размещенные в вышеупомянутых сайтах вуза, автор разместил в социальной сети «ВКонтакте». (доступ <u>http://vk.com/teor\_mech</u>). К достоинствам этой формы распространения УМ можно отнести следующее: во-первых, снимаются ограничения по размерам файлов и по авторскому праву, во-вторых, студенты могут общаться через эту страничку между собой, в-третьих, любая новость от преподавателя (администратора страницы) сразу же появляется у студента.

**2.4.** Авторский сайт. Обучение в вузе ведется в соответствии с требованиями государственных образовательных стандартов (ГОС), которые оп-

ределяют те минимальные знания, которые студент должен освоить по уровням *иметь представление, знать, уметь*. Но в механике много знаний, которые будущему специалисту пригодятся для расширения кругозора, о которых студенту достаточно *иметь представление*. Для этих целей создан сайт **«ИМС - интересная механика для студентов»**, в котором собираются различные материалы, не помещающиеся в рамки учебного процесса. Разработка и сопровождение сайта осуществляется силами студентов, доступ*http://www.inmech.ru/.* 

**2.5.** Защита авторской обучающей программы от несанкционированного копирования. Обучающие программы типа самоучителя удобно создавать в виде веб-страниц в *html*-коде. Но здесь возможна ситуация случайного или умышленного изменения исходного текста пользователем. Кроме того, для автора, который потратил на разработку кода несколько месяцев, а если учесть время на подготовку методического материала для программы, то полное время разработки исчисляется годами, актуален вопрос о защите его интеллектуальной собственности.

Для защиты обучающей программы от несанкционированного вмешательства и копирования разработан программный комплекс *EduDisc* [7]. Защита организована в два этапа. Сначала все файлы с *html*-текстом шифруются и заносятся в архивный файл проекта для того, чтобы защитить исходный текст от вмешательства. Затем этому файлу присваивается код активации, который пользователь должен будет ввести по запросу программы для ее запуска. На выходе получается готовая к выполнению программа в виде *exe*файла. Программный комплекс *EduDisc* может использоваться для распространения на CD или DVD дисках любых учебных курсов, написанных в виде веб-страниц в *html*-коде. Комплекс имеет простой интерфейс и обеспечивает эффективный контроль за распространением копий учебных курсов.

#### 3. Заключение.

Все перечисленные в тезисах краткие положения сопровождаются в докладе расширенными демонстрациями на экране.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.Н., Крамаренко Н.В. Теоретическая механика : слайдконспект лекций для 1-семестрового курса [Электронный ресурс]. 50,2Мб. -Новосибирск: НГТУ, 2011. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Рег. ФГУП НТЦ «ИНФОРМРЕГИСТР» №0321102554.

2. Крамаренко Н.В. Тестирование по теоретической механике. Статика: методические указания для студентов. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008. - 1 п.л.

3. Крамаренко Н.В. Тестирование по теоретической механике. Часть 2.

Кинематика плоского движения твердого тела. Методические указания для студентов. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. - 1 п.л.

4. Крамаренко Н.В., Баран Е.Д., Карнаков Е.С., Купров Я.С. Виртуальный лабораторный практикум по механике. - VIII Научно-практическая конференция «Образовательные, научные и инженерные приложения в среде LabView и технологии National Instruments». Сборник трудов, М.: Издательство Российского университета дружбы народов, 2009, с.405-407.

5. Крамаренко Н.В. Электронный самоучитель по теоретической механике СамТ-С (раздел Статика). - Информационные технологии и технический дизайн в профессиональном образовании и промышленности: сборник материалов III Всероссийской конференции с международным участием. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011, с.123-125.

6. Крамаренко Н.В. Электронный самоучитель по теоретической механике СамТ-КП (раздел Кинематика плоского движения). - Информационные технологии и технический дизайн в профессиональном образовании и промышленности: сборник материалов IV Всероссийской конференции с международным участием. 18-19 апреля 2012 года. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012, с. 47-50.

7. Крамаренко Н.В., Орлов И.С., Паршинцев А.В., Спитченко В.М. Защита авторской обучающей программы от копирования. - Информационные технологии и технический дизайн в профессиональном образовании и промышленности: сборник материалов II Всероссийской конференции с международным участием. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. с.209-212.

УДК 378:62

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

А.Г. Овчаренко, профессор, д.т.н., М.В. Курепина, инженер-менеджер БТИ Алт ГТУ, г. Бийск 659305, Бийск, ул. Трофимова, 27 Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета, e-mail: pbuk@bti.secna.ru

Предлагается методика для оценки результативности и эффективности системы обеспечения качества образования в техническом вузе. Методика может применяться для самооценки вуза.

The technique for evaluation of the effectiveness and efficiency of the quality assurance sys-

tem in education in a technical University is offered. The technique may be used for self-assessment of the University.

В настоящее время отсутствует надежный метод количественной и качественной оценки результативности и эффективности функционирования системы менеджмента качества (СМК) в образовательных организациях. Авторами на основе анализа литературных источников предлагается методика оценки результативности и эффективности СМК вуза (рис.1). Коэффициенты весомости были установлены с учетом важности вклада каждой из составляющей в общий коэффициент результативности. Для оценки результативности используется шкала (таблица 1).

Таблица 1

Критерий, баллы	Оценка	Характеристики оценки			
0,86 - 1	отлично	Деятельность ведется максимально эффективно, достигну- ты максимальные результаты по всем направлениям дея- тельности – СМК является эталонной.			
0,76 - 0,85	хорошо	Деятельности ведется результативно и эффективно, посто- янно совершенствуется качество менеджмента по большин- ству направлений, однако необходимо поддерживать дина- мику улучшений и начать преобразование оставшихся про- блемных областей, используя бенчмаркинг и другие страте- гии.			
0,56 - 0,75	приемлемо (удовле- творитель- но)	Деятельность ведется постоянно и систематически. СМК обеспечивает выполнение нормативных требований к каче- ству, но отдельные элементы СМК требуют доработки. Не- обходимо акцентировать внимание на оптимизации бизнес- процесса и улучшение качества на каждом его этапе.			
0,36 - 0,55	предел	Деятельность ведется частично, в зависимости от ситуации. СМК функционирует со срывом и не позволяет обеспечивать зыполнения поставленных задач. Систематический подход риентирован на исправление ошибок, по результатам улуч- цений в наличии имеется минимальное количество данных.			
0-0,35	неприем- лемо	Деятельность ведется не постоянно, от случая к случаю. СМК не решает поставленных задач по обеспечению каче- ства, требуются полный пересмотр ее функционирования и разработка системы заново.			

Шкала оценки результативности СМК



Рис. 1. Алгоритм расчета результативности СМК

Основной решаемой задачей при функционировании СМК вуза является обеспечение качественной образовательной услуги. Следовательно, эффективность СМК можно оценить как частное от деления результативности СМК на затраты федерального бюджета на одного студента.

Тогда эффективность СМК можно рассчитать по формуле:

Для сравнительной оценки эффективности СМК Бийского технологического института АлтГТУ был проведен анализ СМК трех вузов: Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова (АлтГТУ), Бийского технологического института (филиала) АлтГТУ (БТИ АлтГТУ) и Рубцовского индустриального института (филиала) АлтГТУ (РИИ АлтГТУ). Общая информация о вузах представлена в таблице 2.

Таблица 2

o oldan inithophadin o opabilibaetibin bysan b 2012 rody						
Наименование	АлтГТУ	БТИ Ал- тГТУ	РИИ Ал- тГТУ			
Контингент студентов, приведенный к очному отделению, чел	8792	2133	1298			
Очное отделение, чел	7572	1820	1054			
Очно-заочное отделение, чел	633	272	0			
Заочное отделение, чел	4834	1025	1221			
Численность ППС, чел	927	260	114			
Количество докторов и кандидатов наук, чел	592	165	74			
Количество ППС, прошедших повышение квалификации за последние 5 лет, чел	927	260	114			
Количество аспирантов, чел	350	96	25			
Результативность аспирантуры	46 %	30,5 %	25 %			
Абсолютная успеваемость студентов по ито- гам летней и зимней сессии	67 %	60 %	69 %			
Доля дипломов с отличными оценками	16 %	11 %	7 %			
Качество при сдаче государственного экзаме- на	81,2 %	82,5 %	79, 5 %			
Доля трудоустроенных выпускников	93 %	97,4 %	99,7 %			
Книгообеспеченность, кн/чел	0,80	0,70	0,65			
Результативность СМК	0.7675	0,6857	0.6431			

Общая информация о сравниваемых вузах в 2012 году

Основные показатели и результаты расчета эффективности рассматриваемых вузов представлены на рисунке 2. В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что система СМК БТИ АлтГТУ достаточно эффективна не смотря на ограниченное финансирование. При этом необходимо постоянно улучшать основные показатели, что позволит повысить результативность и как следствие эффективность используемых ресурсов. Предложенная методика может применяться для самооценки вуза.



Рис. 2. Гистограмма показателей и эффективность СМК

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левшина В.В., Шимохина В.В. Оценка результативности системы менеджмента качества образовательной организации // Проблемы современной экономики. – 2007.- №23. - С.18 – 24.

2. Карловский А.В. Формирование системы показателей деятельности высшего учебного заведения // Качество, инновации, образование. – 2008. - №9. - С.16 – 23.

3. Степанов С.А. Модель и критерии эффективности внутривузовской системы менеджмента качества // Качество, инновации, образование. – 2004. - №1. - С.30 – 37.

# СОКРАЩЕНИЕ НЕКОМПЛЕКТНОСТИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКЕ ИЗДЕЛИЙ В СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.А. Панов, к.т.н. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул тел. +7(3852) 29-09-23, E-mail: <u>agtu-otm2010@mail.ru</u>

Показаны преимущества сборки методом индивидуальной комплектации в сравнении с другими разновидностями селективной сборки.

Advantages of assembly by a method of an individual complete set in comparison with other versions of selective assembly are shown.

Селективная сборка, при которой сборочный комплект составляют детали, предварительно отобранные по принятым характеристикам из числа годных, является одним из возможных способов получения заданной точности сборки. Одной из причин, препятствующих применению селективной сборки в машиностроении, является возможная некомплектность. Она проявляется как неодинаковое число собираемых деталей одноименных групп.

Анализ состояния вопроса показал, что в условиях массового производства теоретически можно избежать некомплектности деталей в группах. Для этого необходимо равенство допусков составляющих звеньев и идентичность законов рассеяния их размеров. Тем не менее, в реальных условиях некоторая величина некомплектности является неизбежной, поскольку на контроль (сортировку) и последующую сборку детали поступают определенными партиями, и в пределах этих партий рассеяние размеров может отличаться от ожидаемого. Однако этот некомплект является переходящим, его величина является относительно небольшой и по сути лишь незначительно увеличивает объем незавершенного производства, не оказывая сколь-нибудь заметного влияния на ход производства.

В условиях серийного производства изделия изготавливаются относительно малыми партиями, и селективная сборка с предварительным группированием неприемлема, поскольку объем некомплекта может быть значительным в силу отличия реального рассеяния от ожидаемого. Годные сопрягаемые детали, но принадлежащие к разным группам, не могут быть собраны в изделия со всеми вытекающими последствиями (необходимость пригонки или регулирования, запуск заведомо большей партии и т.п.) и ростом производственных расходов.

Селективная сборка, как известно, реализуется не только предварительной сортировкой на группы, но и непосредственным подбором пар. В последнем случае качество сборки во многом определяется квалификацией комплектовщика.

Поскольку вариантов комплектации в общем случае существует множество, вероятность некомплекта и при этом варианте селективной сборки не исключается.

В данных условиях положительный эффект может дать сборка методом индивидуальной комплектации пар. Выполненные исследования показали, что селективная сборка методом индивидуальной комплектации в сравнении с методом групповой взаимозаменяемости обеспечивает заданную точность при полном исключении некомплекта. При этом методе пары сопрягаемых деталей комплектуются из массива сборочной партии N комплектов без предварительной сортировки на группы. Условием комплектования является минимум дисперсии отклонений размеров замыкающего звена. Величина ожидаемого интервала расположения поля рассеяния размеров замыкающего звена может быть определена по формуле:'

$$T_{\Delta}' = C \frac{T}{\sqrt{N}}, \qquad (1)$$

где Т – величина допуска размеров отверстия и вала;

С – величина, зависящая от ожидаемого закона рассеяния размеров отверстия и вала: С = 2,081 для нормального закона; С = 2,548 для закона Симпсона; С = 3,604 для закона равной вероятности или неизвестного.

Для иллюстрации вышесказанного рассмотрим пример формирования поля рассеяния размеров замыкающего звена трёзвенной цепи. Экономичные допуски на размеры отверстия и вала составляют:  $T_A = T_B = T = 1000$  (в условных единицах). Допуск размера замыкающего звена  $T_{\Delta} = 400$ . Объём сборочной партии N = 100 комплектов. Число групп сортировки деталей при сборке методом групповой взаимозаменяемости составляет:

$$k = \frac{T_A + T_B}{T_\Delta}.$$
 (2)

Для заданных условий k = 5. При рассеянии размеров деталей, близком к равновероятному, в каждую группу должно попасть по 20 деталей, и в этом случае при сборке комплектов из деталей одноименных групп не будет несобираемых остатков. Однако реально рассеяние размеров никогда не соответствует теоретическому, поэтому некомплект при сборке неизбежен, как и отмечено выше.

Экспериментальная проверка была выполнена на компьютерной модели [1]. Сформированные псевдослучайным способом массивы размеров деталей объёмом N = 100 шт. сортировались на 5 групп и комплектовались в соответствии с групповой принадлежностью. Эксперимент был повторён 10 раз. Количество деталей в группах составляло от 13 до 30. Некомплект оценивался для каждой из десяти сборочных партий и общий, формировавшийся после присоединения несобранных остатков от предыдущих партий. Некомплект в партиях составлял от 3 до 19 процентов, а общий некомплект с ростом общего объёма сборки снижался с 12 до 5 процентов.

Сборка методом индивидуальной комплектации моделировалась для тех же десяти сборочных партий. Величина ожидаемого интервала расположения поля рассеяния размеров замыкающего звена определена по формуле (1):  $T'_{\Delta} = 360$ , т. е. (± 180) единиц. При комплектовании массивов размеров замыкающего звена полученные значения изменялись в диапазоне от (– 124) до (+ 173), что не выходит за расчетные границы и границы допуска. Объём минимальной сборочной партии может быть определен из преобразованной зависимости (1):

$$N = 12,989 \left(\frac{T}{T_{\Delta}}\right)^2.$$
 (3)

Для рассмотренных условий N<sub>мин</sub> = 82 комплекта.

Таким образом, сборка методом индивидуальной комплектации обеспечивает полную собираемость в условиях изготовления малых партий изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А. Панов, Н.С. Дегтярева, С.В. Ярмонов. Система моделирования процесса обеспечения точности при селективной сборке изделий машиностроения (Инкомселект). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009614048 от 30.07.2009.

УДК 658.6: 621 (0.45)

#### УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

# Гришаненко Н.А. инженер, Фирсов А.М. к.т.н., доцент Бийский технологический институт Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02 E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Статья посвящена управлению качеством машиностроительной продукции с использованием статистических методов.

The article is devoted to the quality management of machine-building products using statistical methods.

Для снижения затрат от низкого качества продукции машиностроительных производств целесообразно применение статистических методов анализа технологических процессов. Самым распространенным методом для распределения по причинам несоответствий (в том числе потенциальных) является диаграмма Парето [1].

Метод анализа Парето заключается в классификации проблем качества на не-

многочисленные, но существенно важные и многочисленные, но несущественные. Это позволяет распределить усилия и установить основные причины, на которых следует сконцентрироваться в первую очередь.

При изготовлении детали «Днище» на кузнечно-прессовом участке методом штамповки были выявлены следующие виды дефектов: трещины, окалина, раковины, задиры и риски. Были проанализированы 100 изделий. Было установлено, что 45 из них имеют различного рода дефекты. По результатам статистической обработки полученных данных была построена диаграмма Парето, представленная на рисунке 1.



Рис. 1. Диаграмма Парето

Анализ полученной диаграммы показал, что подавляющее число дефектов составляют задиры и риски. Поэтому, прежде всего, необходимо сконцентрировать усилия на устранении причин возникновения именно этих дефектов, что позволит на 87% сократить количество дефектных деталей.

После построения диаграммы по типам дефектов, проводилось расслоение по причинам, возникающим в ходе производства для выявления главных причин. Для этого применялась диаграмма Исикавы [2]. Показатели, по которым проводилось расслоение, выбирались индивидуально. После установления главных причин и влияющих на них факторов разрабатывались мероприятия по их устранению.

Анализ причин возникновения задиров показал, что для их устранения необ-

ходимо производить равномерное обжатие при ковке, соблюдая установленные режимы, а также своевременно производить контрольные замеры и в случае необходимости замену изношенной оснастки при штамповке (рисунок 2).



Рис. 2. Диаграмма Исикавы при анализе задиров

Для устранения рисок необходимо поддерживать оснастку в хорошем состоянии, для исключения царапания поверхности металла наварами и другими выступами при штамповке, а также устранить причины механических повреждений при складировании и транспортировке (рисунок 3).



Рис. 3. Диаграмма Исикавы при анализе рисок

После устранения указанных причин необходимо сконцентрировать усилия на устранении причин возникновения трещин, окалины и раковин. Причиной воз-

никновения трещин является недостаточная пластичность материала. Для устранения данной причины необходимо производить входной контроль материала заготовок, а так же контроль режимов термообработки (рисунок 4).



Рис. 4. Диаграмма Исикавы при анализе трещин

Для устранения причин появления окалины, не удаленной с отдельных участков поверхности необходимо уменьшить продолжительность и температуру нагрева на операции горячая штамповка (рисунок 5).



Рис. 5. Диаграмма Исикавы при анализе окалины

Раковины возникают по причине дефектов проката листа завода изготовителя. Для их устранения необходимо производить визуальный контроль заготовок. Устранение скрытых дефектов возможно методами дефектоскопии (рисунок 6).



Рис. 6. Диаграмма Исикавы при анализе раковин

После того как завершено построение диаграммы, следует распределить факторы по их степени важности, необходимо обозначить те из них, которые оказывают наибольшее воздействие.

Таким образом, применение диаграммы Парето совместно с диаграммой Исикавы позволяет комплексно оценить возможности управления качеством продукции машиностроительных производств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапидус, В.А. Всеобщее качество. (TQM) на российских предприятиях [Текст] / В.А. Лапидус. - М.: ОАО «Типогр. «Новости», 2000. - 432 с.

2. Мазур, И.И. Управление качеством [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. - М.: Высшая школа, 2003. - 334 с.

УДК 621.9

# ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

## Е.Ю. Татаркин, д.т.н., профессор, А.М. Иконников, к.т.н., доцент Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Барнаул, тел. +7(3852) 29-09-23, E-mail: <u>iamagtu@mail.ru</u>

Рассмотрен вопрос применения методики функционально-стоимостный анализ для совершенствования технологических процессов.

The question of application of the methodology of functional cost analysis to improve the process.

Развитие современного производства невозможно без повышения его конкурентной способности за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции. Под функционально-стоимостным анализом (ФСА) понимается метод системного исследования функций объекта (изделия, процесса, структуры), направленный на минимизацию затрат в сферах проектирования, производства и эксплуатации объекта при сохранении (повышении) его качества и полезности.

Основной целью ФСА на стадиях производства и эксплуатации объекта является сокращение (исключение) неоправданных затрат и потерь при сохранении или улучшении потребительских свойств объекта.

Наибольшее распространение для совершенствования действующих технологий

имеет корректирующая форма ФСА, которая предназначена для ликвидации излишних функций, элементов и затрат при сохранении (повышении) качества изготовления деталей. Традиционно эта форма состоит из семи этапов: подготовительного, информационного, аналитического, творческого, исследовательского, рекомендательного и внедрения.

Авторами предлагаются отличительные особенности при поведении ФСА технологических процессов изготовления деталей:

- проводить ФСА конструкции детали;

- проводить анализ технологичности конструкции детали для выявления нетехнологичных элементов;

- в ходе проведения ФСА прогнозировать потенциальные дефекты и отказы;

- для определения значимости функций использовать классификацию поверхностей по служебному назначению (исполнительные, основные, вспомогательные и свободные поверхности). При определении затрат на функции использовать метод пропорционального распределения затрат. Для каждой функции нижнего порядка функциональной модели определяются операции технологического процесса, на которых она формируется. Себестоимость операции пропорционально распределяется межу функциями, формируемыми на этой операции. Затраты на функции вышестоящего уровня определяются суммированием затрат на функции нижнего уровня, входящих в эту вершину;

-после построения функционально-стоимостной диаграммы и выявления зон рассогласования затрат на функции и их значимость предлагается переходить на функционально-стоимостное проектирование (ФСП). Метод ФСП, являясь методом системного анализа функций объекта, обеспечивает на стадии проектирования предупреждение возникновения функционально излишних затрат необходимый уровень качества изготавливаемых деталей.

#### ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

#### ТРУДЫ 4-ой МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИ

#### г. Новосибирск, 2-4 октября 2013 г.

Под редакцией Х.М. Рахимянова

Компьютерная верстка Н.П. Гаар

Подписано в печать 16.09.2013. Формат 60 × 84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная. Тираж 150 экз. Уч.-изд. л. 22,55. Печ. л. 24,25. Изд. № 193. Заказ № 1139

Издательство Новосибирского государственного технического университета 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20. Тел.: (383)–346–31–87.

Отпечатано в типографии Новосибирского государственного технического университета 630073, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20