

Министерство образования и науки Российской Федерации
Администрация Алтайского края
Ассоциация технологов-машиностроителей Российской Федерации
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
Новосибирский государственный технический университет
Кузбасский государственный технический университет
Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Инновации в машиностроении – основа технологического развития России

Материалы VI международной научно-технической конференции
23 – 26 сентября 2014 года

Часть 2

Изд-во АлтГТУ
Барнаул • 2014

УДК 621:658.011.8

Инновации в машиностроении – основа технологического развития России : материалы VI международной научно-технической конференции : Часть 2 / под. ред. А. Г. Сусллова, А. М. Маркова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2014. – 253 с.

ISBN 978-5-7568-1069-1 (ч. 2)

ISBN 978-5-7568-1067-7

В сборнике опубликованы материалы исследований ведущих ученых в рамках тематики VI международной научно-технической конференции «Инновации в машиностроении – основа технологического развития России».

Освещены актуальные вопросы по проблемам современных технологий изготовления деталей и сборки машин, прогрессивные технологические процессы заготовительного производства, упрочняющие технологии и функциональные покрытия, вопросы автоматизации производства.

Редакционная коллегия:

Ситников А.А.

Сусллов А.Г.

Леонов Г.В.

Марков А.М.

Батаев А.А.

Блюменштейн В.Ю.

Овчаренко А.Г.

Рахимьянов Х.М.

Татаркин Е.Ю.

ISBN 978-5-7568-1069-1 (ч. 2)

ISBN 978-5-7568-1067-7

© Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Никитенко В.М. Оценка эффективности использования прогрессивных технологических процессов заготовительного производства	7
Носенко С.В., Носенко В.А., Байрамов А.А., Кременецкий Л.Л. Выбор условий глубинного шлифования титановых сплавов с учетом состояния рельефа и химического состава обработанной поверхности	10
Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю., Курепин М.О. Метод повышения износостойкости сверл	17
Околович Г.А. Стальные поршневые кольца	21
Околович Г.А., Габец А.В., Чертовских Е.О. Ударная вязкость литой стали 20ГФЛ	27
Окунев В.С. Повышение точности взаимного расположения поверхностей нежестких деталей при их изготовлении	33
Плотников Ф.А. Определение продольных неровностей поверхности наружных винтовых канавок при вихревом нарезании	37
Полканов Е.Г., Старков В.К., Рябцев С.А., Горин Н.А. Высокопроизводительная правка шлифовальных кругов из кубического нитрида бора	41
Попов М.Е., Ельшейх Ахмед, Реализация заданного закона упрочнения поверхностного слоя обработкой ППД осциллирующим инструментом	46
Попов М.Е., Попов А.М., Попова С.О. Инновационные технологические процессы утилизации изделий машиностроения	51
Попов М.Е., Эль Дакдуки Ахмад Упрочняющая технология обработки износостойких гальванических покрытий методами ППД	57
Попова А. А., Яковлев В.И., Ситников А.А. Кальций-фосфатные покрытия из слоистых композитов, нанесенные методом детонационно-газового напыления	63
Рахимянов А.Х. Тонкоструйная плазменная резка медных сплавов	66
Рахимянов А.Х., Красильников Б.А. Технологические особенности плазменного раскрытия алюминиевых сплавов	71

Рахимьянов А.Х., Рахимьянов Х.М. Влияние режимов тонкоструйной плазменной резки на качество обработки нержавеющей стали 12Х18Н10Т	78
Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Гаар Н.П., Журавлев А.И., Костюк А.А. Электрохимическое растворение титанового сплава ОТ-4 в условиях лазерного воздействия	86
Рахимьянов Х.М., Локтионов А.А. Выбор способа пробивки при тонкоструйном плазменном раскрое листовых материалов	91
Рахимьянов Х.М., Рахимьянов К.Х., Еремина А.С. Оптимизация технологических режимов электролитно-плазменного упрочнения низкоуглеродистых сталей	96
Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Василевская С.И. Исследование электролитов, обеспечивающих точность электрохимической обработки меди М1	100
Рахимьянов Х.М., Журавлев А.И., Марфелёв А.А. Поверхностное упрочнение сталей 40Х, 38ХМЮА импульсным лазерным воздействием	105
Рахимьянов Х.М., Красильников Б.А., Янпольский В.В., Козич Т.В., Кадырбаев Р.М. Влияние продольной подачи стола на формирование шероховатости поверхности детали с покрытием при электроалмазном шлифовании	109
Рахимьянов Х.М., Семенова Ю.С., Особливцев Э.И. Разработка модуля удаления жидкостей из деталей типа «стакан» для автоматизированной линии горячего лужения	112
Реченко Д.С., Попов А.Ю. Создание твердосплавного инструмента для суперфинишной обработки за счет высокоскоростного шлифования	117
Ромашев А.Н., Бусов Н.А., Хлунов К.О. Модернизация понижающей цепи раздаточной коробки с использованием передачи со свободными телами качения	123
Серга Г.В., Лебедев В.А., Иванов В.В. Применение винтовых барабанов для нанесения механико-химических покрытий	127
Симсиве Д.Ц., Кутышкин А.В., Симсиве Ж.В. Прогнозирование усталостного разрушения режущего инструмента при механической обработке титановых сплавов	131
Скиба В.Ю., Пушкин В.Н., Ерохин И.А., Корнев Д.Ю. Численное моделирование высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты при оплавлении плазменного покрытия	138

Скиба В.Ю., Пушкин В.Н., Ерохин И.А., Корнев Д.Ю. Прогнозирование технических характеристик комплексированного станочного оборудования	145
Смагин Г.И., Карманов В.С., Яковченко К.Н. Обоснование плавающего индекса обрабатываемости материалов при нормировании режимов резания (на примере сверления)	152
Смирнов А.Н., Абабков Н.В. Разработка новых подходов к оценке предельного состояния длительно- работающего металла объектов топливно-энергетического комплекса	163
Смирнов В.В. Подготовка инженера-исследователя в области математического моделирования	168
Собачкин А. В., Ситников А. А., Яковлев В. И., Свиридов А. П. Формирование структуры износостойких покрытий с синтезированными в матрице карбидными соединениями при электродуговой наплавке	175
Татаркин Е.Ю., Кряжев Ю.А., Огневенко Е.С., Кряжев А.Ю. Повышение качества поверхности при иглофрезеровании на основе применения автоматизированного измерительного комплекса	180
Татаркин Е.Ю., Иконников А.М., Силивакин В.С., Гребеньков Р.В., Шрайнер Т.А. Проектирование технологической и инструментальной оснастки для операций магнитно-абразивной обработки	187
Татаркин Е.Ю., Фирсов А.М. Проектирование группового технологического процесса с учетом параметрических отказов	191
Трапеев И.В., Фирсов А.М., Калистру В.А., Дробышев В.М. Влияние переменной толщины стенок на точность обработки базовых отверстий корпусных деталей	197
Трубицын А.В., Свирщёв В.И. Анализ влияния параметров режима бесцентрового шлифования высокотвёрдого порошкового материала на силовые характеристики процесса	202
Федорина Е.В., Дьяков И.Ф., Мищенко О.В., Кокорин В.Н. Кластер номенклатуры листоштамповочных деталей при моделировании раскроя металлопроката	206
Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Ваганов А.С. Сравнительные испытания износостойких плазменных покрытий, сформированных на базе механических смесей из различных порошковых материалов	211

Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Плотникова Н.В. Трегубчак П.В., Ерохин И.А. Исследование влияния токов высокой частоты на структуру плазменных покрытий	216
Чигиринский Ю. Л. Формализация проектирования планов обработки на основе вероятностных таблиц точности	220
Шашок А.В., Кутышкин А.В. Оценка сил резания при высокоскоростном точении конструкционных сталей	226
Шмидт И.В., Дьяконов А.А. Классификация технологий нанесения покрытий под последующую механическую обработку	232
Ямников А.С., Чуприков А.О., Харьков А.И. Обеспечение точности чистовой токарной обработки на основе уменьшения деформационных погрешностей	238
Янюшкин А.С., Лобанов Д.В. Комбинированное электроалмазное шлифование при затачивании инструмента для обработки композиционных неметаллических материалов	242
Савлов А.Н., Свирцев В.И. Методика определения постоянных T-Q характеристик процесса фрезерования современным режущим инструментом	248

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.М. Никитенко, к.т.н., доцент

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

В статье рассмотрены вопросы эффективности использования прогрессивных технологических процессов заготовительного производства на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: коэффициент использования металла, листовой прокат, раскрой полосы, прессование, штамповка, полимеры, эффективность заготовительного производства.

В настоящее время повышение технического уровня производства, особенно на машиностроительных предприятиях, достигается путем внедрения новой передовой техники и прогрессивных технологических процессов в заготовительных цехах (способы обработки металлов давлением, литье и др.), увеличения применения современных конструкционных материалов и периодического проката для изготовления элементов конструкций, замена универсального оборудования высокопроизводительным, автоматизации и механизации производственных процессов, повышения качества продукции в принятых условиях работы, улучшения использования ресурсов, повышения уровня стандартизации и унификации конструкций.

На сегодня такие качественные показатели приобретают определяющее значение для развития машиностроения.

Одной из важнейших тенденций научно-технического прогресса в современном машиностроении – повышение мощности и производительности машин и оборудования, что непременно сопровождается сравнительным снижением их веса, ресурсосбережением, повышением их качества и снижением удельных эксплуатационных расходов, ростом производительности труда.

В машиностроительном производстве происходит процесс замены черных материалов синтетическими, такими как пластическими массами, синтетическими смолами, цветными, легкими металлами и редкоземельными магнитными материалами, в целях снижения металлоемкости и трудоемкости продукции, повышения качества конечной продукции машиностроения [1].

Пластмассы находят эффективное применение в разных областях промышленности, станкостроения, производстве антифрикционных деталей это, позволяет снизить относительный вес оборудования, необходимого для изготовления изделий и обеспечивает экономию металла, количество переходов уменьшается по сравнению с обработкой металлов в 3–8 раз.

Благодаря фундаментальным исследованиям в области металловедения растет число сплавов, обладающих специфическими свойствами: противокоррозионными, жаростойкими и жаропрочными, особыми магнитными, «памятью» механической формы и другие. Перечисленные

примеры применений показывают, что они весьма перспективны. Многие из них обладают уникальными свойствами, которые нельзя получить в материалах, синтезируемых на основе группы Fe. Использование огромных величин магнитной анизотропии и магнитострикции в редкоземельных веществах и нахождение путей управления ими, бесспорно, имеет большое значение для получения магнитных материалов с заданными свойствами, что на сегодня составляет актуальность.

Развиваются исследования в области синтеза и переработки полимеров, направленные на улучшение их механических свойств повышение стойкости к воздействию сред и высоких температур.

Одним из инновационных направлений в машиностроении – получение композиционных материалов путем сочетания разнородных компонентов. Развитие технологий обработки и модификации материалов позволило применить традиционные материалы в жестких условиях эксплуатации современной техники, т.к. при создании новых изделий всегда становится целью повышение эффективности и качества известных существующих изделий: увеличение рабочих давлений, скорости и температуры, снижение массы изделий, приходящихся на единицу создаваемой или передаваемой мощности, что является основой технологического развития России.

При внедрении автоматизированных комплексов оборудования, получают высокоточные заготовки, а также значительное повышение производительности и улучшение условий труда в литейном, кузнечно-штамповочном и сварочном производствах.

В обрабатывающих отраслях промышленности и кузнечно-штамповочных производствах, где используется листовой прокат, экономия материалов достигается применением рациональных форм и размеров заготовок при оптимальном раскрое, обеспечивающих наиболее полное использование поверхности листа, ленты или полосы при получении необходимых заготовок, позволяющие существенно повысить коэффициент использования металла за счет расширения зон деформирования при изготовлении изделий. При решении этой задачи успешно применяют математические методы и электронно-вычислительные машины, благодаря которым определяются оптимальные схемы раскроя [2 - 4].

Необходимость экономии материала предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, в значительной мере определяющей затраты на подготовку производства, себестоимость, надёжность и долговечность изделий. Технологически обоснованный выбор вида заготовки для данного производства важен экономически.

Поэтому, ускорение научно-технического прогресса, использование в производстве достижений науки и передовых технологий – факторы, способствующие росту эффективности производства.

Библиографический список

1. Свободная ковка. Исходные материалы и заготовительные операции : учеб. пособие для студ., обучающихся по спец. 15020165 "Машины и технология обраб. металлов давлением" / Ю. А. Титов [и др.] ; Федер. агентство по образованию, Ульян. гос. техн. ун-т. - Ульяновск : УлГТУ, 2006. - 53 с. : ил. - ISBN 5-89146-911-1 : 10.91.
2. Производство заготовок. Листовая штамповка: Серия учебных пособий из шести книг. Книга 2. Килов А.С., Килов К.А. Получение заготовок из листового материала и гнутые профили. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. - 182 с.
3. Проектирование и производство заготовок: Учебное пособие. Батышев А.И.; Издательство МГОУ, 2003. - 108 с.
4. Клименков С.С. Проектирование и производство заготовок в машиностроении : Учебник. - Издательство: Техноперспектива, 2008. - 407 с.

ESTIMATION OF THE EFFECTIVE USAGE OF PROGRESSIVE TECHNOLOGICAL PROCESSES IN BILLET PRODUCTION

V.M. Nikitenko

The problems of efficiency of progressive technologies in the sphere of billet production at industrial enterprises are considered.

Keywords: metal utilization factor, sheet rolling, strip cutting, pressing, stamping, polymers, efficiency of billet production.

ВЫБОР УСЛОВИЙ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С УЧЕТОМ СОСТОЯНИЯ РЕЛЬЕФА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.В. Носенко¹, к.т.н., **В.А. Носенко¹**, д.т.н., **А.А. Байрамов²**, инженер,
Л.Л. Кременецкий¹, магистрант

¹Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», г. Волжский

²Казанское моторостроительное производственное объединение, г. Казань

Показано влияние правки абразивного инструмента и направления движения стола на изменение параметра шероховатости Ra и состояние рельефа обработанной поверхности при глубинном шлифовании титановых сплавов кругом из карбида кремния. Установленные закономерности базируются на результатах дисперсионного анализа измерений Ra по длине заготовки. С использованием растрового электронного двухлучевого микроскопа Versa 3D установлены закономерности изменения состояния рельефа шлифованной поверхности, которое зависит не только от правки круга, но и направления подачи стола. При глубинном шлифовании титанового сплава кругом из карбида кремния экспериментально доказано наличие кристаллов SiC на обработанной поверхности.

Ключевые слова: глубинное шлифование, титановые сплавы, рельеф, химический состав, направление подачи, правка.

Глубинное шлифование относится к числу наиболее прогрессивных и наукоёмких процессов, обеспечивающее высокое качество поверхности деталей машин и производительность. Новые технологии профильного глубинного шлифования, обеспечивая совмещение в одной операции предварительного формообразования и финишной обработки, позволяют получать сложные по форме фасонные поверхности зубчатых колес, шлицевых соединений, хвостовиков лопаток, подшипников и др. [1-3]. Важным резервом повышения эффективности глубинного шлифования титановых сплавов является применение непрерывной правки абразивного инструмента с учетом особенностей обработки на встречной и попутной подачах [4-7].

В связи с тем, что при глубинном шлифовании удаляют большие припуски, длина дуги контакта круга и детали увеличивается на 1–2 порядка по сравнению с многопроходным шлифованием и соизмерима с размерами обрабатываемой поверхности. Большая длина дуги контакта приводит к необходимости учитывать наличие этапов врезания и выхода, постоянной длины дуги контакта или переходного этапа, на каждом из которых существуют свои особенности обработки, оказывающие существенное влияние на режущую

способность, силу резания, кромкостойкость абразивного инструмента и пр. [8, 9]. Тем не менее, влияние перечисленных факторов на состояние рельефа и химический состав обработанной поверхности при глубинном шлифовании титановых сплавов изучено недостаточно, что и определило цель данной работы.

В качестве объекта исследования выбран титановый сплав ВТ8, применяемый для изготовления ответственных деталей авиационной техники. Эксперименты проведены методом встречного и попутного глубинного шлифования на станке полуавтомате мод. ЛШ220 кругом 1 500×20×127 63CF120Н12V. Режимы шлифования: скорость и глубина шлифования соответственно $v=25$ м/с и $t=3$ мм, скорость подачи стола $v_s=50$ мм/мин. В качестве СОТС использовали водный раствор с присадкой Na_3PO_4 [11]. Обработку осуществляли на встречной и попутной подачах с правкой круга перед опытом и с постоянной правкой в процессе шлифования. Шероховатость измеряли прибором Form Talysurf Intra, относящимся к числу наиболее точных профилометров-профилографов. Состояние рельефа обработанной поверхности исследовали на растровом двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D LoVac.

При длине обрабатываемой поверхности $l=100$ мм на выбранных режимах шлифование осуществлялось в три этапа: этап врезания, этап постоянной длины дуги контакта и этап выхода. Наибольшие изменения показателей процесса, например, силы резания P и мгновенной режущей способности q происходят на этапах врезания и выхода. На этапе врезания P и q возрастают от нуля до максимального значения, а на этапе выхода – снижаются от максимального значения до нуля. На этапе постоянной длины дуги контакта с непрерывной правкой круга P и q практически не изменяются [8, 9]. Обработанная поверхность формируется на втором и третьем этапах (постоянная длина дуги контакта и выход).

Проведено 4 серии экспериментов: на каждой из подач стола (встречная и попутная) шлифование осуществляли с постоянной правкой круга и правкой только перед началом опыта (далее – без правки). Серия состояла из трех параллельных опытов. Выборки параллельных измерений объединили по интервалам в группы. В каждой группе получили 15 значений Ra , по которым рассчитывали исправленную групповую дисперсию S^2_i , групповое среднее арифметическое Ra_i и относили к середине соответствующего интервала l_i (рис. 1). Оценку однородности дисперсий и средних арифметических значений осуществляли с использованием критериев математической статистики.

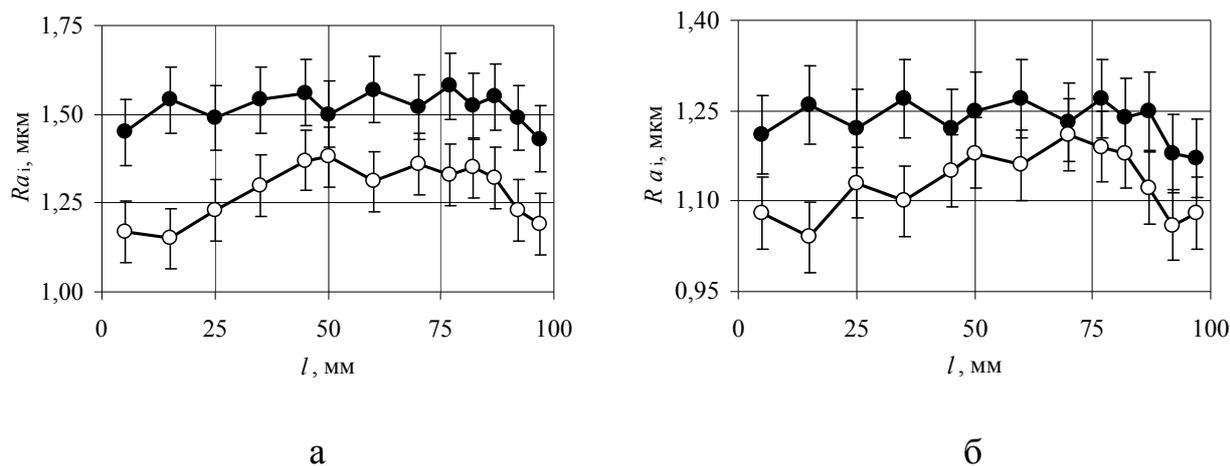


Рисунок 1 - Изменение шероховатости Ra по длине обработанной поверхности при встречном (а) и попутном (б) глубинном шлифовании

● – постоянная правка; ○ – без правки;

На основании дисперсионного анализа результатов измерений шероховатости можно сделать следующие основные выводы о влиянии правки абразивного инструмента и направления движения стола на изменение двух основных статистических характеристик – дисперсии и среднего арифметического значения параметра Ra .

При встречном и попутном направлении стола с переходом от правки перед началом процесса к постоянной правке шлифовального круга общие дисперсии, характеризующие разброс параметра Ra на всей обработанной поверхности, можно считать однородными, т.е. метод правки не влияет на разброс параметра Ra .

Изменение направления подачи при любом способе правки оказывает значимое влияние на общую дисперсию Ra : при встречном направлении подачи стола общая дисперсия Ra больше, чем при попутном.

При шлифовании с постоянной правкой Ra на всей обработанной поверхности, кроме участка выхода круга, можно считать одинаковой.

При шлифовании без постоянной правки круга наблюдается тенденция повышения Ra по длине образца и снижение её в конце этапа выхода круга.

При шлифовании с постоянной правкой круга Ra больше, чем при шлифовании без правки. Наибольшие различия получены на встречном движении стола.

На попутном движении стола Ra меньше, чем на встречном. Наибольшее влияние направление подачи стола оказывает при шлифовании с постоянной правкой круга.

Известно, что титановые сплавы обладают высокой адгезионной активностью к абразивному материалу. Поэтому при шлифовании металл сплава налипает на вершины зерен, что существенно снижает период стойкости, увеличивает износ инструмента, ухудшает качество обработанной поверхности. При глубинном шлифовании длительность контакта абразивного материала с обрабатываемым металлом увеличивается на порядок и существенно возрастает налипание металла на вершины зерен.

В соответствии с кинематикой резания при встречном глубинном шлифовании толщина продольного сечения среза отдельно взятого зерна возрастает по длине дуги контакта с обрабатываемым металлом. При входе в зону резания вершина зерна касается выступа шероховатости обработанной поверхности. В результате когезионного взаимодействия между титановым сплавом и налипом на вершине зерна происходит его перенос на обрабатываемую поверхность. Об этом убедительно свидетельствует большое количество металла, налипшего на основную поверхность (см. рис. 1а). В том, что это не основной металл убеждает рис. 1б, где показана боковая часть налипа и образовавшийся зазор, начальная ширина которого составляет около 1 мкм.

При взаимодействии вершин зерен шлифовального круга в процессе правки с алмазными зернами правящего инструмента происходит не только удаление налипшего металла с вершин зерен или их частичное разрушение, но и нарушение прочности закрепления зерна в связке. При последующем контакте вершины такого зерна с обрабатываемым металлом под действием силы резания возможно смещение зерна, приводящее к изменению траектории царапины, как это наблюдается на рис. 2а и б.

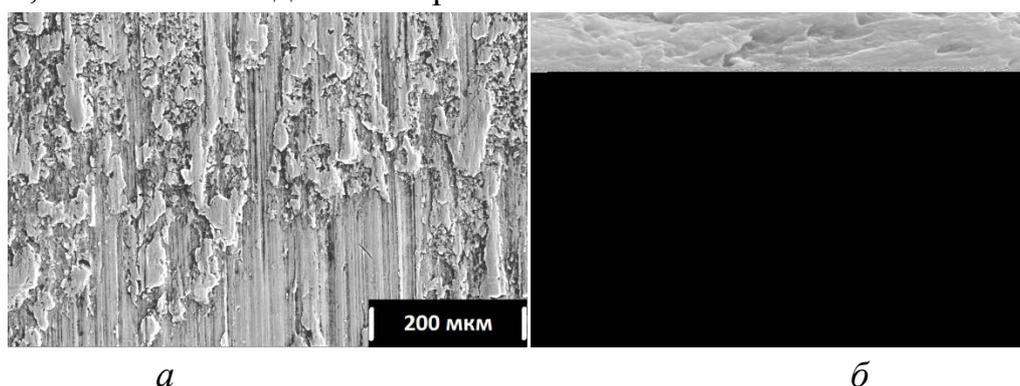


Рисунок 2 - Рельеф обработанной поверхности при шлифовании без постоянной правки круга

Отклонение от вектора скорости главного движения сопровождается увеличением осевой составляющей силы резания, что в рассматриваемом случае привело к мгновенному скалыванию вершины зерна и вдавливанию её в

момент скалывания в обрабатываемую поверхность. О вдавливании зерна свидетельствуют навалы вокруг предполагаемого кристалла карбида кремния. Вдавливание зерна происходит в результате воздействия вновь образованной вершины оставшейся части зерна или в результате контакта с вершиной следующего зерна.

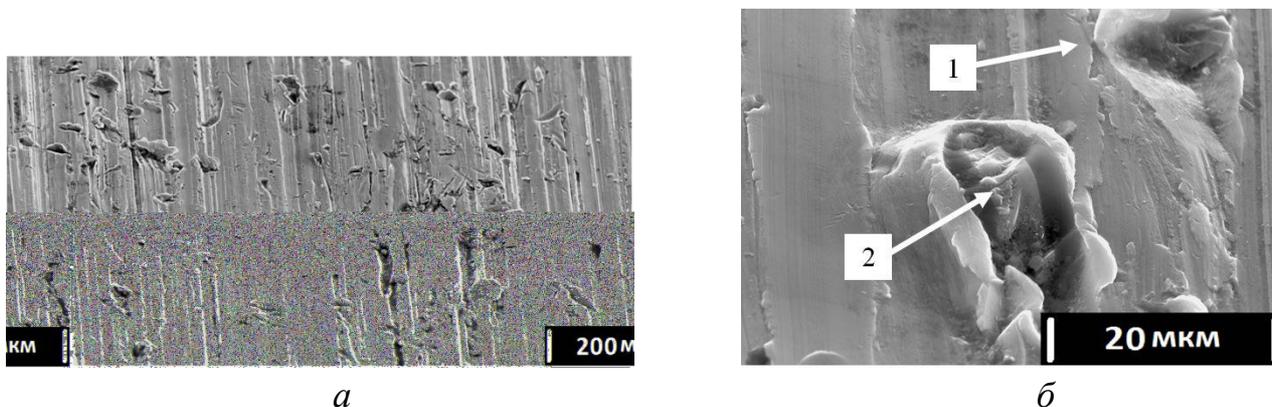


Рисунок 3 - Рельеф обработанной поверхности при шлифовании с постоянной правкой круга

Отличительная особенность шлифования с непрерывной правкой состоит в том, что кроме следов обычного резания, адгезионного и когезионного взаимодействия, царапин и кратеров, свидетельствующих о скалывании или вырывании зерна из связки, обнаружено достаточно большое количество мелких и крупных отдельных царапин, которые можно рассматривать, как небольшие микроцарапины или как мгновенные отпечатки вершин зерен.

По нашему мнению образование подобных отпечатков связано с непрерывной правкой круга алмазным роликом. Алмазные зерна, контактируя с абразивными зернами, не только очищают их от налипшего металла или скалывают вершины, но и оставляют в абразивном материале скрытые дефекты, например в виде микротрещин. При последующем контакте с обрабатываемым материалом такие зерна мгновенно разрушаются, оставляя после себя отпечаток вершины зерна или короткую царапину.

С целью идентификации кристаллов карбида кремния в участках поверхности, выделенных стрелками на рис. 2б, были проведены исследования химического состава в нанослоях предполагаемого кристалла. Химический анализ объекта 2 показал приблизительно одинаковое содержание атомарных процентов Si и C, что свидетельствует о шаржировании шлифованной поверхности кристаллами карбида кремния.

Библиографический список

1. **Старков В. К.** Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. - 688 с.
2. **Полетаев В. А., Волков Д. И.** Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. - 272 с.
3. Surface-layer properties of turbine blade tailpiece in deep grinding by highly porous wheels / Poklad V.A., Abysov I.A., Starkov V.K., Ryabtsev S.A. // Russian Engineering Research. 2010. Т. 30. № 11. С. 1132-1136.
4. **Nosenko V.A., Nosenko S. V.** Unidirectional and opposing deep grinding of titanium alloy with periodic wheel adjustment // Russian Engineering Research. – 2010. - 30 (10), pp. 1016-1021.
5. **Nosenko V.A., Nosenko S.V.** Deep grinding of titanium alloy with continuous wheel correction // Russian Engineering Research. – 2010. - 30 (11), pp. 1124-1128.
6. Removal of material at different stages of deep plane grinding/ Nosenko, V.A., Zhukov, V.K., Zotova, S.A., Nosenko, S.V. // Russian Engineering Research. – 2008.- 28 (6), pp. 606-610.
7. **Starkov V.K.** Deep grinding with continuous tool correction / Russian Engineering Research. - 2010. - Т. 30. № 12. - С. 1218-1221.
8. **Носенко В.А., Авиллов А.В., Носенко С.В.** Закономерности изменения силы плоского глубинного шлифования // Справочник. Инженерный журнал. 2009. - № 7. - С. 10-26.
9. **Nosenko, V.A., Nosenko, S.V.** Mathematical models of operating time and cutting capacity for various stages of flat creep feed grinding of horizontal surface by circle of direct profile // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2010. 39 (4) , pp. 380-385.
10. **Носенко В.А., Носенко С.В.** Плоское глубинное шлифование пазов в заготовках из титанового сплава с непрерывной правкой шлифовального круга // Вестник машиностроения. - 2013. - № 4. - С. 74-79.
12. **Носенко В.А., Васильев А.А., Носенко С.В.** Шероховатость поверхности при плоском глубинном шлифовании титанового сплава // Известия высших учебных заведений. - Машиностроение, 2007. - № 9. - С. 66-70.

THE CHOICE OF CONDITIONS OF CREEP FEED GRINDING TITANIUM ALLOYS WITH REGARD TO STATUS OF RELIEF AND CHEMICAL COMPOSITION OF TREATED SURFACE

Nosenko S. V., Nosenko V. A., Bairamov A. A., Kremenetskiy L. L.

The article shows the effect of editing of an abrasive instrument and the effect of direction of movement of machine table on change Ra parameter and status of relief of treated surface in the process of creep feed grinding titanium alloys by silicon carbide wheel. The established regularities are based on results of analysis of variance of measurements of Ra along the length of the workpiece. The research with using a two-beam electron microscope Versa 3D shows the regularities of changes of relief of grinded surface and availability of SiC crystals on the surface treated by wheel of silicon carbide.

Keywords: creep feed grinding, titanium alloys, relief, chemical composition, direction of movement, editing of an abrasive wheel.

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СВЕРЛ

А.Г. Овчаренко, д.т.н., профессор, **А.Ю. Козлюк**, доцент, к.т.н.

М.О. Курепин, аспирант

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ, г. Бийск

Для повышения износостойкости сверл из быстрорежущей стали Р6М5 предложен метод предварительного нагрева и воздействия импульсного магнитного поля. Приведены экспериментальные результаты для сверл из быстрорежущей стали Р6М5.

Ключевые слова: магнитно- импульсная обработка, износостойкость, режущий инструмент, быстрорежущая сталь, упрочнение поверхностного слоя.

На сегодняшний день изучаются и применяются множество методов направленных на повышение твердости и износостойкости поверхностного слоя режущих инструментов. Наиболее перспективным направлением в этой области является разработка высокоэффективных и высокопроизводительных методов обработки поверхностей с применением концентрированных потоков энергий. Комбинированная магнитно-импульсная обработка (МИО) является одним из таких методов.

Новизна и эффективность предлагаемого способа подтверждается патентом РФ на изобретение №2339704 «Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин», зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 27.11.08 [1].

Данный способ обработки основан на последовательном воздействии на обрабатываемую деталь индукционного нагрева до определенной температуры и направленного импульса магнитного поля высокой напряженности. При импульсном воздействии возникают специфические фазовые и структурные превращения в металле. Это соответственно вызывает изменение физических и механических свойств материала. Также данный способ обработки позволяет свести к минимуму остаточную энергию в обрабатываемой детали за счет электродинамических сил, вызванных импульсом магнитного поля. Таким образом, комбинированное воздействие индукционного нагрева и импульса магнитного поля на обрабатываемую деталь дает возможность увеличить износостойкость режущего инструмента.

Для оптимизации режимных параметров комбинированной МИО, в частности температуры предварительного нагрева, по критерию износа задней поверхности металлорежущего инструмента были проведены испытания сверл диаметром 5,8 мм из стали Р6М5. Ранее было найдено, что оптимальная напряженность для стали Р6М5 равна 1200 кА/м [2-4].

Для определения оптимальной температуры предварительного нагрева обработка сверл проводилась в следующей последовательности.

1. Установка инструмента в индуктор ТВЧ печи.
2. Предварительный нагрев инструмента ТВЧ.

Температура предварительного нагрева была выбрана из анализа физических свойств стали Р5М6 (у быстрорежущей стали высокая твердость сохраняется при нагреве до 500—600 °С).

3. Установка инструмента в комбинированный индуктор.

Установка осуществляется с гарантированным зазором 1 мм.

4. Обработка инструмента импульсным магнитным полем.

Обработка инструмента проводилась при магнитном поле насыщения для стали [5].

5. Выдержка инструмента.

Выдержка инструмента на неметаллической подложке необходима для завершения в металле превращений 1-го и 2-го рода и уменьшения избыточной энергии. Время выдержки обработанных образцов составляло 24 ч [2-4].

Сверления осуществлялся с постоянной скоростью резания на токарном станке 16К20 с использованием специального приспособления при сверление глухих отверстий в заготовках из стали 16ГС [6]. После обработки заготовок проводились измерения износа режущих кромок по задней поверхности сверла через каждые 20 отверстий (глухих). Измерения проводились на измерительном микроскопе БМИ-21. Измерялась величина износа вдоль режущей кромки h . Схема измерений представлена на рисунке 1. График зависимости износа от температуры предварительного нагрева представлен на рисунке 2.

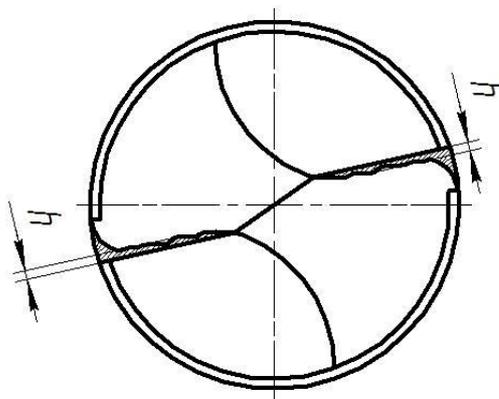


Рисунок 1 – Схема измерения износа режущих кромок сверла диаметром 5,8 мм

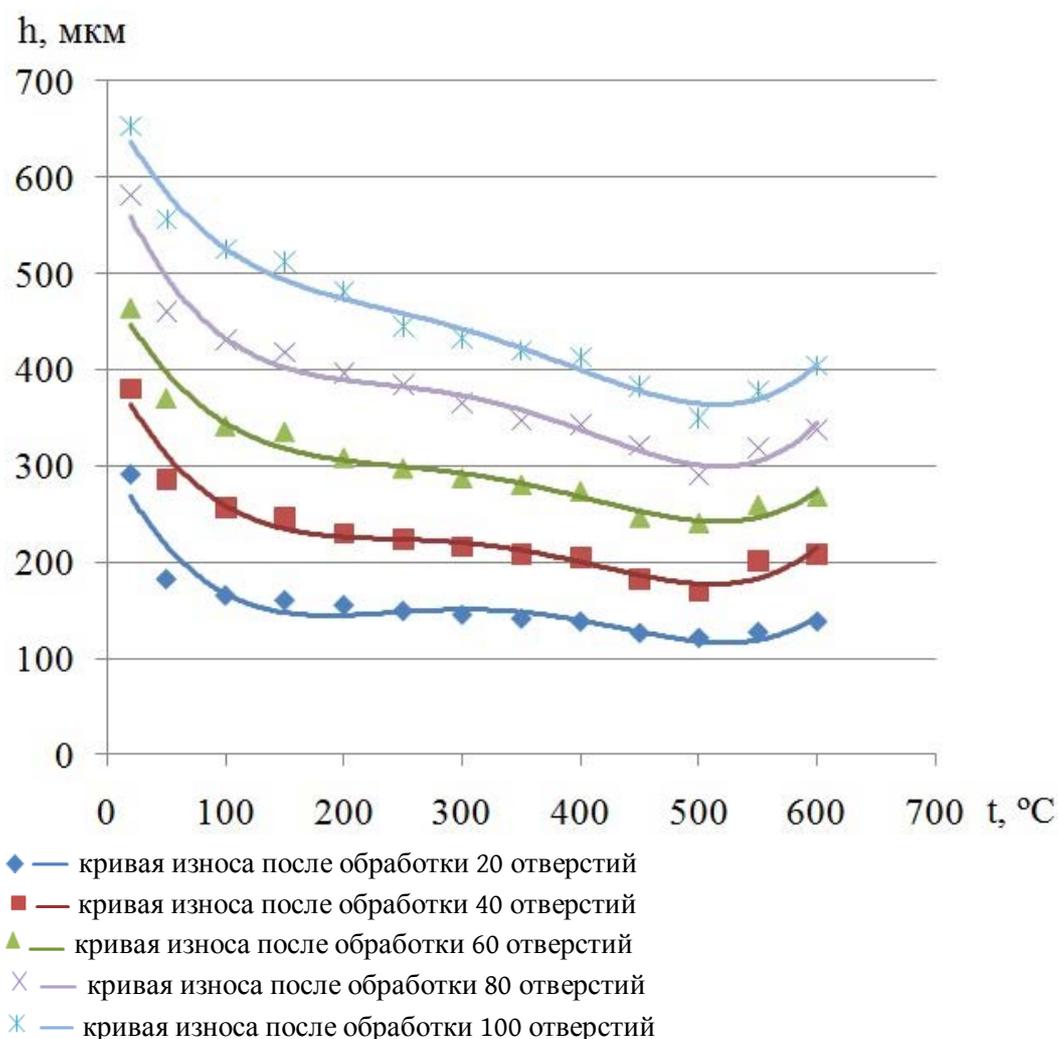


Рисунок 2 – Кривые зависимости износа режущих кромок сверла от температуры предварительного нагрева при КМИО

Из рисунка 2 видно, что оптимальной температурой предварительного нагрева для сверл из стали Р6М5 является температура равная 500°С. Это хорошо прослеживается при увеличении количества обрабатываемых отверстий одним сверлом, то есть по мере увеличения износа режущих кромок сверла. Необходимо отметить, что износостойкость сверл значительно выше при температуре предварительного нагрева 500 °С по сравнению с другими температурами нагрева, что свидетельствует о высокой эффективности предлагаемого режима поверхностного упрочнения.

Проведенные исследования подтвердили перспективность предлагаемого метода поверхностного упрочнения, который также может найти применение для других металлорежущих инструментов.

Библиографический список

1. Патент РФ №2339704. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Способ комбинированной магнитно-импульсной обработки поверхностей инструментов и деталей машин / Бюл. № 33, 2008. – 6 с.
2. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Эффективная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента / Обработка металлов. - 2009. - №1. - С.4-7.
3. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с., ил.
4. Овчаренко А.Г., Козлюк А.Ю. Повышение износостойкости деталей комбинированной магнитно-импульсной обработкой / Обработка металлов. 2006. - №2. - С.24.
5. Мишин Д.Д. Магнитные материалы: Учеб. пособие. - М.: Высш. школа, 1981-335с., ил.
6. Башков В.М., Кацев П.Г. Испытания режущего инструмента на стойкость. - М.: Машиностроение, 1985. - 136 с.

METHOD INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF DRILLS

A.G. Ovcharenko, A.U. Kozluk, M.O. Kurepin

For increase of wear resistance of drills from P6M5 high-speed steel the method of preliminary heating and influence of a magnetic pulse processing is offered. Experimental results for drills from P6M5 high-speed steel are given.

Keywords: magnetic pulse processing, wear resistant, cutting tool, high-speed steel, hardening of surface coating.

СТАЛЬНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА

Г.А. Околович, д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Разработана технология изготовления стальных поршневых колец методом холодной пластической деформации при волочении. Определены режимы термической обработки при рекристаллизационном отпуске, термофиксации и термостабилизации. Выполнен расчет степени пластической деформации при волочении.

Ключевые слова: стальные поршневые кольца, волочение; деформация, термическая обработка, рекристаллизация, термостабилизация, термофиксация, полигонизации, дислокация, твердость.

Производители двигателей внутреннего сгорания постоянно ведут поиск новых технологий в изготовлении поршневых колец. Одно из них – это поршневые кольца из стального проката с высокой механической прочностью вследствие оптимального профильного деформационного упрочнения при волочении.

Технологический цикл изготовления поршневых колец состоит из предварительной термической обработки заготовки; подготовки поверхности заготовки; одно- или многократного волочения; промежуточной термической обработки.

Одним из возможных путей улучшения деформируемости металла при обработке давлением является повышение ресурса пластичности предварительной термической обработкой заготовки. Этот путь наиболее эффективен, когда задачу улучшения пластичности нельзя или нерационально решать посредством изменения схемы деформирования. Нами установлено, что, независимо от состояния поставки следует выполнить рекристаллизационный отжиг на 10 - 20°С ниже A_{c1} .

Компрессионные ПК изготавливают из пружинной стали 65Г после холодной пластической деформации ($\varepsilon = 50...70\%$) при протягивании проволоки диаметром 5-6мм через профильные волочильные ролики (Твердость достигается HRC 36 – 40). Упрочнение при пластической деформации является результатом роста плотности дислокаций. В тоже время, значения свойств, характеризующих пластичность и вязкость стали, с ростом степени обжатия увеличиваются лишь до обжатия 75%, а затем снижаются. Такое состояние наклепанного металла является предельным; при попытке

продолжить деформирование металл разрушается. Это объясняется возникновением очагов разрушения в результате дробления цементитных пластинок, расположенных в сильно упрочненной ферритной матрице. [1]

Для снижения твёрдости и повышения пластичности стали перед навивкой профиля на оправку осуществляют рекристаллизационный отжиг при 500°C , 1ч. Навивка полученного профиля компрессионного кольца на оправку с натяжением сопровождается динамическим старением при последующем термостабилизационном отпуске 550°C , 1ч., и полигонизацией, т.е. упорядочением и стабилизацией структуры [2].

Исследования показали, что при динамическом старении отмечаются признаки полигонизации, изменяется морфология и становятся более упорядочено распложены частицы избыточной фазы. При этом дислокации преобразуются в более устойчивые системы в поле упругих напряжений.

В результате динамического старения резко повышается значение предела упругости, заметно увеличивается предел текучести и несколько повышается предел прочности; достигаются значительно более высокие значения K_{1c} , усталостной прочности и релаксационной стойкости.

Так, после динамического старения предел упругости стали 65Г достигает 2100 МПа, что на 20-30% выше, чем после закалки и отпуска. [3]

Характеристики пластичности – относительное удлинение и относительное сужение – при динамическом старении почти не изменяются. Существенно также, что повышение указанных свойств прочности наблюдаются в широком интервале температур динамического старения.

Главным достоинством динамического старения при отпуске под нагрузкой является то, что структурное и напряженное состояние стали оказывается таким, каким оно будет в деталях и конструкциях в условиях их эксплуатации. Это определяет большую стабильность свойств и повышение надежности. [3].

Для получения сложного профиля маслоъемного кольца необходимо многократное волочение (рис.1).

Количество переходов волочения обусловлено получением изделий с заданными прочностными характеристиками и высокими требованиями к поверхности, так как увеличение числа переходов способствует удалению мелких поверхностных дефектов и снижение шероховатости поверхности.

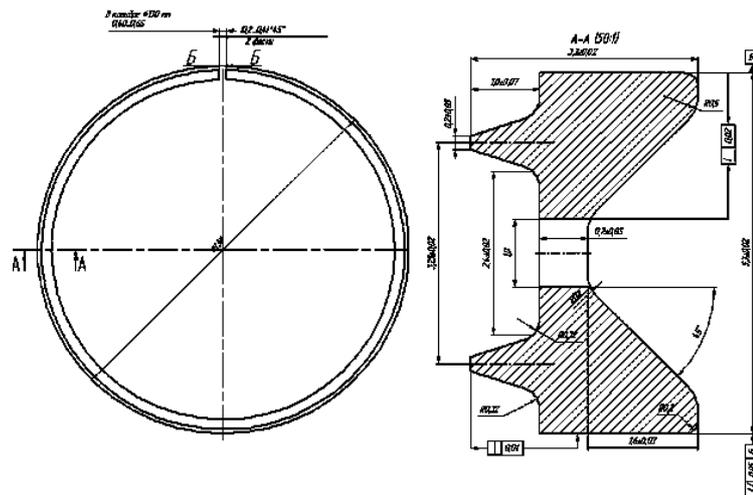


Рисунок 1 – Маслоъемное кольцо

С целью получения повышенной производительности и стойкости инструмента величину единичного обжатия, вследствие упрочнения металла на каждом переходе, постепенно уменьшают. Однако, уменьшение обжатия должно быть строго согласованно с кривой упрочнения металла таким образом, чтобы сопротивление деформации в каждом переходе были равными или близкими по величине. При этом единичное обжатие не должно превышать величину 35...40%, а суммарное – 95% (рис. 2).

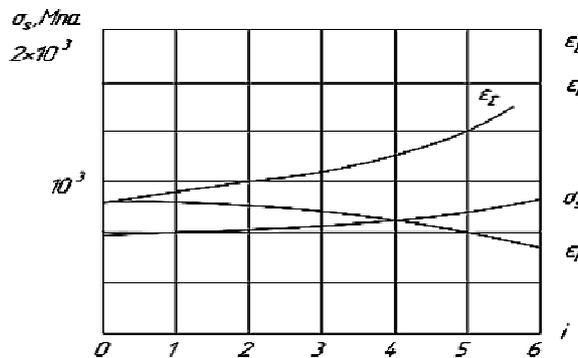


Рисунок 2 – Графики изменения σ_s , ϵ_Σ , ϵ_i по переходам

С нарастанием степени общей деформации (ϵ_Σ) в процессе волочения, вследствие упрочнения металла, вытяжка за проход уменьшается. Чем меньше эти обжатия, тем медленнее нарастает сопротивление деформации, тем выше степень суммарной деформации и тем выше уровень механических свойств. Падение единичной степени деформации (ϵ_i) должно компенсировать рост кривой упрочнения (σ_s), что обеспечивает оптимизацию силовых условий процесса волочения. [4]

Выполненные математические расчёты и построения площади переходов на ЭВМ показали возможность получения сложного профиля стальных

маслосъёмных ПК из стали 20X13 протягиванием проволоки Ø 5 – 6 мм через профильные волочильные ролики за 6 переходов с обжатиями: 21–23 %, 20–21%, 18–20 %, 17–19 %, 16–18 %, 9–11 %.

Поскольку в исходном состоянии в структуре стали присутствуют избыточные карбиды, которые существенно препятствуют пластической деформации, перед волочением необходимо выполнить рекристаллизационный отжиг при температуре 800–820°C, 1ч. (A_{c1} – 10–20°C). После рекристаллизационного отжига карбиды растворяются почти полностью, а твёрдость понижается с HV_{100} 228 до HV_{100} 190. [5]

Следует отметить, что после деформации твёрдость на поверхности и в центре распределяются неравномерно. Так поле первого перехода твёрдость на поверхности составляла HV_{100} 334, а в центре HV_{100} 255 (рисунок 3). Сталь приобретает волокнистую структуру - текстуру деформации

При увеличении степени деформации текстура стали изменяется от волокнистой до веретенообразной а затем до нитевидной. Поверхностные слои имеют большую склонность к удлинению чем внутренние зоны. Возникают сжимающие напряжения, которые приводят к неравномерности деформации и локализуются в некоторых областях.

Путем наклепа твёрдость и временное сопротивление удается повысить в 1,5–3 раза, а предел текучести в 3–7 раз. Такое состояние наклёпанного металла является предельным; при попытке продолжить деформирование металл разрушается.

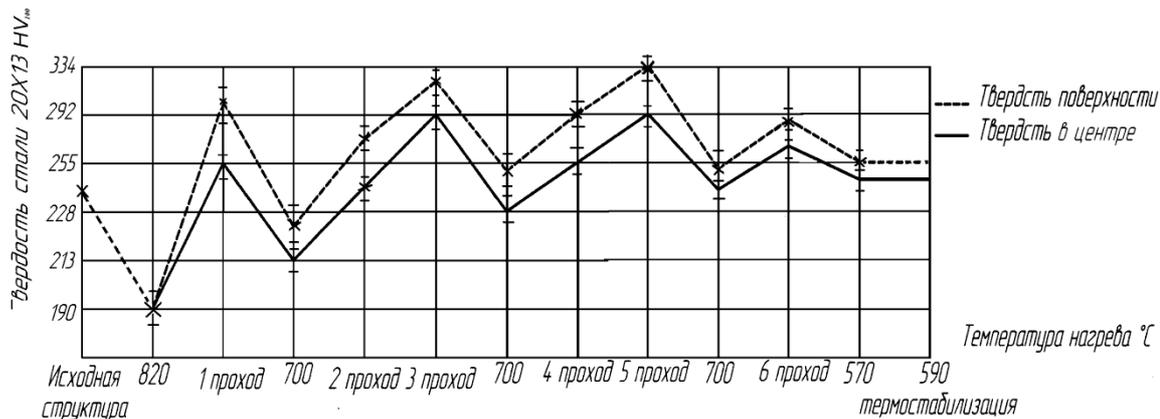


Рисунок 3 – Изменение твердости стали 20X13 в зависимости от степени пластической деформации (ϵ) и температуры отпуска

Поэтому после первого, третьего и пятого деформационного упрочнения осуществляют рекристаллизационный отжиг профиля при температуре 690–710 °C в течении 1 часа, что способствует снижению твердости от HV_{100} 225–242 после первого перехода до HRC HV_{100} 213–228 и равномерной деформации при волочении [6].

При этом после пятого деформационного упрочнения выполняют пробивку перфорированных пазов и калибровку с обжатием 9–11 %, навивку на оправку и термофиксацию при температуре 560–580 °С в течении 1 часа.

На оправке профиль разрезают на отдельные кольца, которые устанавливают в гильзу и в ней подвергают термостабилизации при температуре 590 °С в течении часа для протекания процессов полигонизации т.к. окончательные свойства колец определяются условиями отпуска, в процессе которого реализуются потенциальные возможности для повышения сопротивления малым пластическим деформациям и всего комплекса прочностных свойств (твердость ПК составляет HRC 20–28).

Результаты и обсуждение

Деформационное упрочнение протягиванием проволоки через профильные волочильные ролики производят многократно, так как свойства стали после холодной деформации зависят не только от величины общей или суммарной деформации, но и от величины частных обжатий, т.е. деформации за один проход при волочении. Чем меньше эти обжатия, тем медленнее нарастает прочность, тем выше степень суммарной деформации и тем выше абсолютная величина механических свойств.

Основным материалом для изготовления поршневых колец служит чугуны. Его металлическая основа пронизана микропорами, заполненными графитом. Наличие микропор в чугуне несколько снижает его механические свойства по сравнению со сталью, но вместе с тем делает более износостойким, т.к. свободные включения графита служат своеобразной смазкой сопряженных поверхностей.

При эксплуатации двигателя тепловая нагрузка и механические сотрясения вызывают изменения размера замка и пропорциональное снижение упругости, вызываемое износом кольца по рабочей поверхности. В большинстве случаев сохранение упругости колец, определяющее эксплуатационную надежность двигателя, имеет гораздо большее значение, чем их поведение при износе. Исключения представляют только стальные кольца, которым упругость была задана деформационным упрочнением в холодном состоянии.

Выводы:

1. Установлено, что независимо от структурного состояния поставляемой стали для улучшения пластичности необходимо выполнить отжиг I рода ниже A_{c1} на 10–20 °С.

2. Определены температурные интервалы рекристаллизации, термостабилизации и термофиксации ПК из сталей 65Г и 20Х13 ($Tr=A_{c1}-10-20^{\circ}C$. Температура термофиксации = 500–570 °С, термостабилизации = 550–590 °С) и их влияние на твердость.

Библиографический список

1. Околович А.Г. Исследование технологии изготовления стальных поршневых колец // Ползуновский вестник. - 2009. - №1-2. - С. 256-259.
2. Пат.2341362 РФ, МПК⁷ В23Р15/06, В21F37/02, С21В 8/06. Способ изготовления стальных компрессионных поршневых колец/ Околович Г.А., Карпов А.П., Околович А.Г., Карпов С.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ЦРТ-Алтай» - № 2007109549/02, заявл. 15.03. 07; опубл. 20.12.08, Бюл. №35.
3. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. - М.: Металлургия, 1971 – 495 с.
4. Богатов А.А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. / А.А. Богатов, О.И. Мижирицкий, С.В. Смирнов. – М.: Металлургия, 1984. – 413 с.
5. Пат.2318645 РФ, МПК⁷ В23Р15/06. Способ изготовления стальных маслосъемных поршневых колец/ Околович Г.А., Карпов А.П., Околович А.Г.; заявитель и патентообладатель ООО «ЦРТ - Алтай» - №2005134301/02, заявл. 07.11. 05; опубл. 10.03.08, Бюл. №7.
6. Пат.2386726 РФ, МПК⁷ С23С26/00, С23С28/00. Способ упрочнения поверхностей стальных поршневых колец / Околович Г.А., Гурьев А.М., Околович А.Г.; заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова - № 2008139124/02, заявл. 01.10.08; опубл. 20.04.10, Бюл. №11.
7. Пат. 2407621 РФ, МПК⁷ В23Р С1В23Р 15/06, В23F 37/00,С21D8/00. Способ изготовления стальных компрессионных и маслосъемных поршневых колец. Околович Г.А., Околович А.Г., Сизова А.Е. заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова - № 2009125113/02, заявл. 30.06.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36.

STEEL PISTON RINGS

G.A. Okolovich

The manufacturing techniques of steel piston rings are developed by a method of a cold plastic de-formation at drawing. Modes of thermal processing are defined at recrystallisation holiday, thermofixing and thermostabilization. Calculation of degree of plastic deformation at drawing is executed. The substantiation of a choice of tool steels is spent.

Keywords: steel piston rings, drawing, deformation, thermal processing, recrystallisation, thermostabilization, thermofixing, wear resistance, the tool – rollers, poligonizaciya, disposition.

УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ ЛИТОЙ СТАЛИ 20ГФЛ

Г.А. Околович¹, д.т.н., профессор, А.В.Габец², директор по развитию,
Е.О. Чертовских³, инженер

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
²ООО «Сибтрансмаш», ³ООО «АСЛЗ», г. Барнаул

Совершенствование способов термообработки стали 20ГФЛ путем применения активного охлаждения воздухом, способствующее измельчению феррито-перлитных областей, одновременно приводящее к стабилизации показателя механических свойств ударной вязкости.

Ключевые слова: ударная вязкость, кинетика охлаждения, термообработка, феррито- перлитная структура, низкоуглеродистая сталь.

Авторами статьи ставилась задача исследовать характер изменения структуры литой стали 20ГФЛ с помощью разработанной установки У-1 (рис.1) для определения критических точек распада переохлажденного аустенита. Данные работы проводили в лаборатории кафедры МТиО Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Исследования закономерностей распада переохлажденного аустенита непрерывным охлаждением с различными скоростями известны по работам Портвена, Френча, Вефера, Штейнберга. Проведение таких исследований было связано с большими экспериментальными трудностями, так как требовало одновременной регистрации изменения температуры в процессе охлаждения и характера и полноты развития превращений. Расшифровка экспериментальных данных не всегда давала однозначные результаты особенностей распада аустенита при различных температурах [1]. На установке У-1 результаты замеров температур с частотой в 1 сек автоматически заносятся в базу данных компьютера, что позволяет полностью фиксировать режим термообработки и определять критические точки Ar_3 , Ar_1 .



Рисунок 1 - Камера охлаждения У-1

В состав установки У-1 входит охлаждающая камера с механизмом крепления образцов поз. 1, каналный вентилятор поз. 2, увлажнитель воздуха поз. 3, термопара с порядковым номером № 1 (зачеканеная в опытный образец) поз. 4, прибор измерения температуры поз.5, устройство соединения прибора измерения температуры с компьютером поз. 6, анемометр поз.7, прибор измерения температуры окружающего воздуха и влажности поз. 8, компьютер поз. 9, лабораторная печь сопротивления поз.12. Плунжерная стойка, установленная в камере охлаждения, фиксирует термопару с порядковым номером № 2 поз. 10. Опытный образец в виде заготовки образца на ударную вязкость поз. 11.

С целью выявления превращений переохлажденного аустенита на лабораторной установке У-1 производили термообработку 24 заготовок образцов на ударную вязкость, при этом скорость охлаждения в момент диффузионного превращения $V_{\text{диф}}$ изменялась от 5 до 70°С/сек.

Исследования микроструктуры стали 20ГФЛ после термообработки показали, что продукты превращения после охлаждения дискретны в различных зернах и в пределах одного зерна (рис.2, а). В сталях с одинаковым химическим составом на однородность и равномерность распределения аустенита по всему объему оказывает влияние зависимость времени подготовки аустенита до начала превращения. Поэтому свойства в различных точках одного и того же зерна отличаются. Различная концентрация комплексных карбидов проявляется слегка светлыми не травящимися фрагментами (рис.2, б).

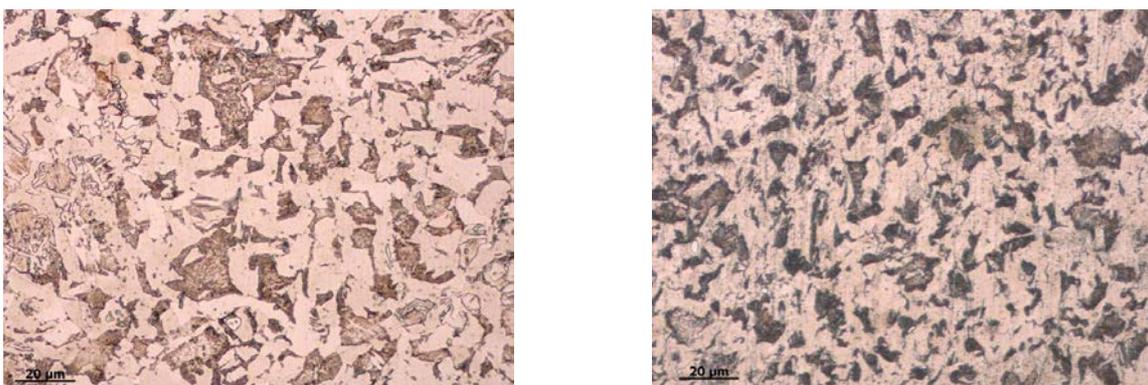


Рисунок 2 - Микроструктура стали 20ГФЛ (X500):

а – T=940 °С, t=1 час, $V_{\text{охл.}}=10$ м/с;

б – T=860 °С, t=1 час, $V_{\text{охл.}}=10$ м/с.

Исследования продолжительности инкубационного периода, характеризующего устойчивость переохлажденного аустенита и область начавшегося, но еще не закончившегося превращения аустенита в перлит вызывает наибольший интерес с точки зрения формирования оптимальной структуры стали 20ГФЛ. Известно, что диффузионные превращения аустенита в перлит происходит при температуре $650 \div 700$ °С. При перлитном превращении ведущей фазой является цементит. В результате формирования пластинок цементита аустенит обедняется углеродом, что приводит к образованию пластинок феррита. Таким образом, увеличение количества зародышей новой фазы приводит к росту числа чередующихся пластин феррита и цементита. Понижение температуры способствует увеличению дисперсности продуктов превращения. Это проявляется в уменьшении расстояния между соседними пластинками феррита и цементита (рис.3).

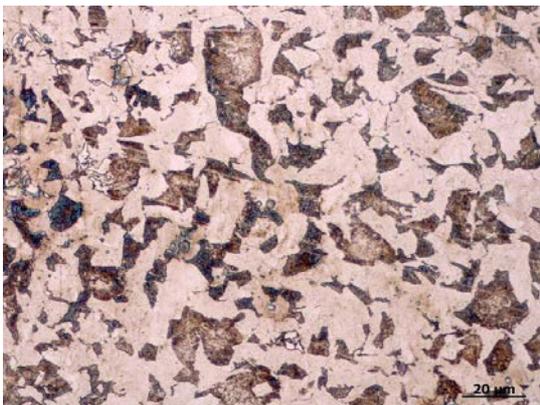


Рисунок 3 - Микроструктура стали 20ГФЛ после нормализации 940 °С, время выдержки 30 час, $V_{\text{охл.}} = 2$ м/с, X500

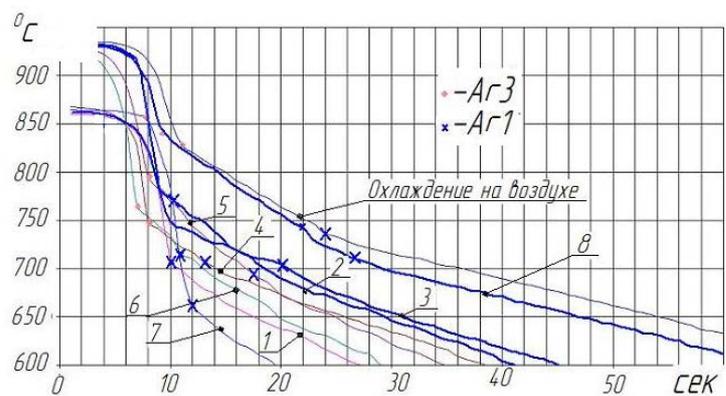
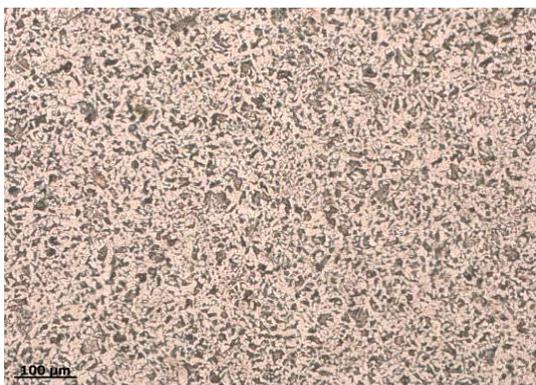
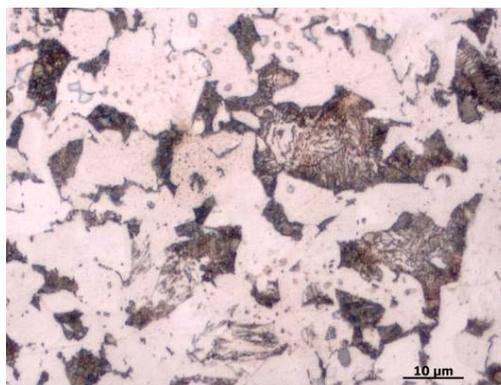


Рисунок 4 - Кривые распада переохлажденного аустенита стали 20ГФЛ

С увеличением скорости охлаждения (до 6 м/с) зерна феррита и перлита измельчаются также как и при понижении температуры превращения. Количество феррита уменьшается в обоих случаях, а количество перлита увеличивается, поэтому и содержание углерода в перлите должно уменьшаться (рис. 5, а). Сетка феррита становится тоньше, одновременно становятся тоньше и короче пластины цементита в перлите и расстояние между пластинами уменьшается (рис. 5, б).



а - x100



б - x500

Рисунок 5 - Микроструктура стали 20ГФЛ после термообработки по режиму №3

Во время превращения области перлита разделяются зернами феррита, потому что феррит выделяется не только по границам зерен, но и внутри этих зерен, что способствует повышению пластичности и ударной вязкости. Кроме того, кристаллографически закономерная ориентация феррита, типа видманштетовой структуры после изотермического превращения (во время самоотпуска за счет теплового гистерезиса) не наблюдается.

Результаты эмпирических значений критических точек Ar_1 и Ar_3 (рис.4), скорость переохлаждения в диффузионном интервале превращения $V_{\text{охл. диф.}}$, ударная вязкость KCV^{60} стали 20ГФЛ сведены в таблице №1. По результатам проведённых экспериментов можно отметить следующие режимы № 1, 2, 3 соответствующие ударной вязкости 35,8; 30,8; 38,5 Дж/см². По двум режимам температура на нижнем уровне $T=860$ °С, время выдержки $t=30\div 60$ мин, при этом скорость потока воздуха $V_{\text{охл.}}=3\div 8$ м/с и ударная вязкость 35,8÷38,5 Дж/см², когда при температуре 940 °С показатель ударной вязкости снижается до 30,8 Дж/см². Построенные температурные поля градиента температуры dT/dt (рис.6) заготовки охлаждаемой на воздухе указывают на необходимость охлаждения приводящего к измельчению зерна и повышению ударной вязкости. В случае охлаждения на воздухе на поверхности заготовки наблюдается замедление кинетики охлаждения. Таким образом технология ускоренного охлаждения обеспечивает отток нагретого воздуха и подачу холодного с заданной временной периодичностью.

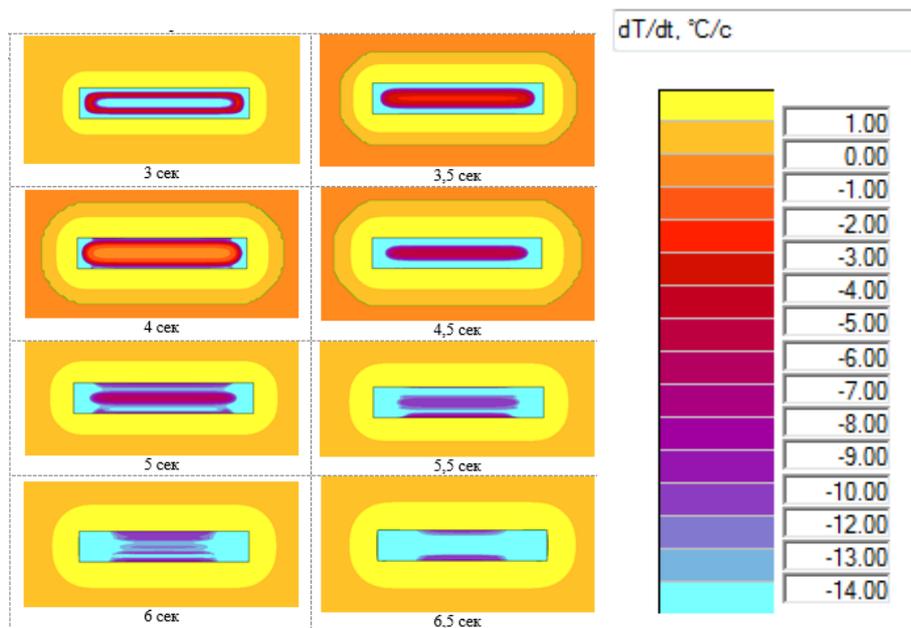


Рисунок 6 - Температурный градиент dT/dt кинетики охлаждения заготовки KCV, $^{\circ}\text{C}/\text{сек}$

Таблица 1 - Сводная таблица результатов экспериментальных работ

№ режима	T, $^{\circ}\text{C}$	t, мин	$V_{\text{охл.}}$ (скорость потока воздуха), м/с	A_{r3} , $^{\circ}\text{C}$	A_{r1} , $^{\circ}\text{C}$	$V_{\text{диф.}}$, $^{\circ}\text{C}/\text{сек}$	*KCV ⁻⁶⁰ , Дж/см ²	KCV ⁻⁶⁰ , Дж/см ²
1	860	30	10	810	710	50	45	35,8
2	940	30	2	900	785	67	19,4	30,8
3	860	60	2	820	745	40	36,1	38,5
4	940	60	10	890	790	50	18,9	11,1
5	860	30	2	800	740	38	27,9	28,2
6	940	30	10	850	755	52	18,2	12,5
7	860	60	10	780	660	60	18,5	23,6
8	940	60	2	830	710	10	19	16,7

*- результаты испытаний ОАО «Алтайвагон» после заводской термообработки.

Выводы:

1. По результатам эксперимента обнаружено, что при изменении $V_{\text{охл.}}$ по режиму 860 °С, $T=30$ мин содержание феррита увеличивается с 65% до 80%.
2. При увеличении времени выдержки образцов в печи до 1 часа, отмечен рост перлита до 30%, снижение ударной вязкости до 23,6 Дж/см², тогда как уменьшение времени выдержки приводит к повышению ударной вязкости до 35,8 Дж/см².
3. При термообработке по режимам с 940 °С с увеличением $V_{\text{охл.}}$ растет число колоний цементита, в независимости от времени выдержки, при этом ударная вязкость снижается до 11,1÷12,5 Дж/см².
4. Отмечено, что при не высоких скоростях охлаждения (менее 2 м/с) количество пластин цементита в перлите снижается до 35% после нормализации 940 °С (1 час), а ударная вязкость до 16,7 Дж/см².
5. Для стали 20ГФЛ эмпирически установлены критические точки Ar_1 , Ar_3 при различных скоростях охлаждения (таблица 1).

Библиографический список

1. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
2. Гладштейн, В.И. Физика прочности и механические свойства материалов / В.И. Гладштейн. - М.: МГВМИ, 2005.

TOUGHNESS OF CAST STEEL

Okolovich G.A., Gabets A.V., Chertovskih E.O.

Improved methods of heat treating steel by applying active cooling air grinding aid ferrite-pearlite areas simultaneously leads to stabilization measure mechanical properties of toughness.

Keywords: toughness, the kinetics of cooling, heat treatment, ferrite-pearlite structure, steel.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

В.С. Окунев, аспирант

Московский государственный индустриальный университет, г. Москва

Представлены некоторые особенности оптимизации обработки при изготовлении тонкостенных деталей в приборостроительном производстве при механической обработке. Показана эффективность применения расчетных программ для управления напряженно-деформированным состоянием в обрабатываемых нежестких деталях для повышения их точности.

Ключевые слова: Проектирование в среде ANSYS, упругая деформация, моментная теория тонкостенных оболочек, метод конечных элементов (МКЭ).

Введение

Обеспечение качества ответственных деталей машин может быть достигнуто за счет управления технологическим процессом их изготовления.

При производстве тонкостенных деталей машин и приборов значительную долю занимают детали, при обработке которых деформации поверхностей под действием сил резания сопоставимы со значениями допуска на обработку. Точность расположения поверхностей при изготовлении деталей в основном определяется режимными параметрами резания с учетом изменения переменной жесткости заготовки при их изготовлении. Кроме того, точность как размеров, так и взаимного расположения поверхностей существенно зависит от выбранной схемы базирования и закрепления заготовки в приспособлении.

В производственных условиях при изготовлении тонкостенных деталей производятся пробные проходы с измерениями, то есть точность детали достигается последовательным приближением.

Для того, чтобы уже на стадии подготовки технологического процесса учесть силовые факторы возникающие при обработке детали, предполагается построение теоретической модели жесткости детали с различными параметрами, с целью оптимизации последующей обработки поверхностей и повышения точности детали.

Анализ и методы расчета деформаций от сил резания при обработке тонкостенных деталей.

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния детали и расчета напряжений, возникающих в процессе обработки, рассчитывалось при помощи метода конечных элементов (МКЭ).

Для автоматизации расчетов методом конечных элементов в качестве расчетного модуля был выбран ANSYS (продукт фирмы ANSYS Inc).

При расчетах тонкостенных деталей машин и приборов методом конечных элементов большое значение имеет выполнение уточненного анализа изгибных составляющих напряжений.

Обязательное условие, связанное с решением МКЭ задач теории оболочек, основанных на кинематической гипотезе Кирхгофа-Лява (волокно, направленное по нормали к отсчетной поверхности оболочки, в процессе деформирования не изменяет своей длины и остается нормальным к этой поверхности) аппроксимируемые поля перемещений должны обладать свойством непрерывной дифференцируемости при переходе через границы элементов [1]. Для того, чтобы учесть это при расчетах МКЭ, используются конечные элементы для расчета тонких оболочек Shell, 3D_4node 181. В других случаях могут использоваться элементы группы solid45.

Для расчета были выбраны типовые детали типа обечаек корпусов приборов.

Обечайки корпусов приборов, для которых проводился расчет, имеют следующие размеры: длина 100 мм, диаметр 100 мм, толщина стенки 2 мм.

Из следующих материалов:

АМг6 ГОСТ 4784-97, Сталь 08 ГОСТ1050-88, Сталь 40Х ГОСТ4543-71.

Режимы резания на операции точения наружной поверхности для стали 40Х [2]: $S_0 = 0,5 \text{ мм/об}$, $v = 244 \text{ м/мин}$, $t = 0,5 \text{ мм}$

Шаг разбиения конечных элементов выбирался 0,05мм и уменьшался по мере уточнения проводимого расчета.

При расчетах учитывались также деформации от кулачков зажимного приспособления (клинового трехкулачкового патрона), одновременно с этим полученная конечно-элементная модель лишалась степеней свободы, путем наложения ограничений на перемещения узлов, принадлежащих базирующим поверхностям детали.

В результате расчетов осевая составляющая силы резания на операции точения в зависимости от материала детали:

АМГ 6 : $P_y = 60 \text{ Н}$ Сталь 08: $P_y = 108 \text{ Н}$ Сталь 40Х: $P_y = 256 \text{ Н}$

В результате произведенных расчетов по методу конечных элементов с использованием программы ANSYS (рис.1, 2) получены следующие величины деформаций образующей детали:

АМГ 6: $\omega = 0,160 \text{ E} - 03 = 160 \text{ мкм}$, Сталь 08: $\omega = 0,150 \text{ E} - 04 = 15 \text{ мкм}$

Сталь 40Х: $\omega = 0,267 \text{ E} - 04 = 26,7 \text{ мкм}$

В результате аналитического расчета методами сопротивления материалов по моментной теории расчета тонкостенных оболочек, проведенного чтобы оценить степень расхождения результатов с решением МКЭ, значение прогиба образующей обечайки, например, для стали 40Х: $\omega = 24,5 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 24,5 \text{ мкм}$. Получаемая погрешность менее 10%, что говорит о достаточной точности вычислений.

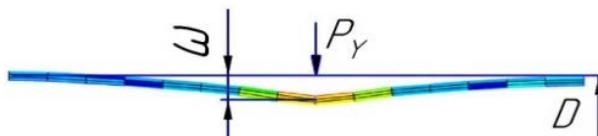


Рисунок 1 - Результат расчета прогиба от силы резания в программе ANSYS

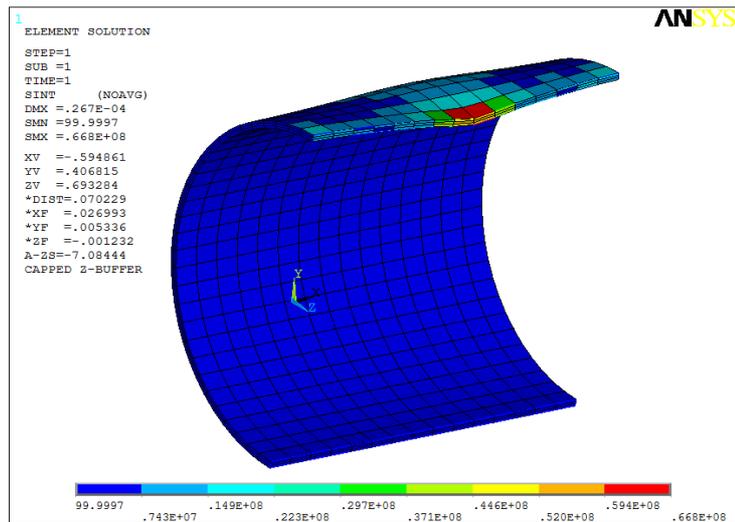


Рисунок 2 - Конечно-элементная модель заготовки с упругой деформацией стенки детали от приложенной радиальной силы резания

По мере удаления припуска, после каждого прохода уменьшается жесткость детали, и с уменьшением толщины стенки детали, возрастают и величины деформаций. Аналогичным образом возможно проведение расчета и для других операций обработки деталей.

По результатам расчетов осуществляется выбор оптимального для данной детали технологического процесса обработки.

Различные комбинации конструктивных элементов деталей приводят к неравномерному изменению жесткости, твердости и др. в местах их сочетаний, а, следовательно, и к неравномерному напряженному состоянию в процессе обработки деталей, что может быть учтено при помощи метода конечных элементов, позволяющего рассчитывать детали с различными геометрическими формами [3].

Применение программ ЭВМ и метода конечных элементов для технологических целей позволяет избежать грубых ошибок при проектировании технологического процесса, снизить издержки производства, связанные с опытной отработкой технологического процесса, повысить качество получаемых изделий.

Выводы.

По результатам проведенных расчетно-теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведенный расчет позволяет определить деформации тонкостенных деталей приборов при обработке от сил резания, и провести коррекцию режимов резания

2. При рассчитанных больших значениях прогибов от сил резания при обработке деталей, возможно дать следующие рекомендации:

а) Корректировка управляющей программы станка с ЧПУ, в соответствии с изменяющимися условиями обработки после каждого нового прохода.

б) Применение оснастки повышающей жесткость обрабатываемых участков деталей.

в) Применение технологического процесса учитывающего неравномерную жесткость обрабатываемых участков детали.

Библиографический список

1. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.

2. Барановский Ю.В., Брахман Л.А. Режимы резания металлов. Справочник. - М.: НИИТавтопром, 1995.

3. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Хисамов Р.З. Метод исследования напряженно-деформированного состояния конструкций сложной геометрии // Вестник РУДН, спец. выпуск Геометрия и расчет. - 2002. - №1. - с.27-31.

INCREASE OF PRECISION LOCATION SURFACE NON-RIGID DETAIL FOR IT MACHINING

V.S. Okynev

Are considered the technological questions of ensuring accuracy in machining non - rigid parts leads to a decrease in percent wedlock and increase the accuracy of its processing.

Keywords: Design in Ansys, elastic deformation, moment theory thin-walled shell, finite element method (FEM).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ НЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НАРУЖНЫХ ВИНТОВЫХ КАНАВОК ПРИ ВИХРЕВОМ НАРЕЗАНИИ

Ф.А. Плотников, аспирант

Московский государственный индустриальный университет, г. Москва

Рассматривается задача определения продольных неровностей поверхности наружных винтовых канавок при вихревом нарезании с внешним и внутренним касанием резцовой головки. Приводятся теоретические зависимости для расчета шага и высоты продольных неровностей. Сформированы справочные данные по определению шага и высоты неровностей винтовых канавок.

Ключевые слова: наружные винтовые канавки, вихревое нарезание, продольные неровности поверхности, шаг, высота.

Вихревое нарезание является высокоэкономичным методом нарезания наружных винтовых канавок, так как обеспечивается большой съём металла при высокой точности обработки за один проход. За счет малых погрешностей шага и возможности получения высокого качества поверхности данный метод используется для изготовления длинных ходовых винтов с высокими требованиями по точности [1].

При вихревом нарезании винтовых канавок образование продольных неровностей в основном обусловлено кинематикой взаимного перемещения резцов по формируемой винтовой канавке. Необходимо учитывать то, что при вихревом нарезании винтовых канавок существуют две схемы - с внешним и внутренним касанием, следовательно, процесс образования продольных неровностей рассмотрен для двух схем [2, 3]. Схема формирования наружных винтовых канавок при внешнем и внутреннем касании резцовой головки приведена на рис. 1, а, б.

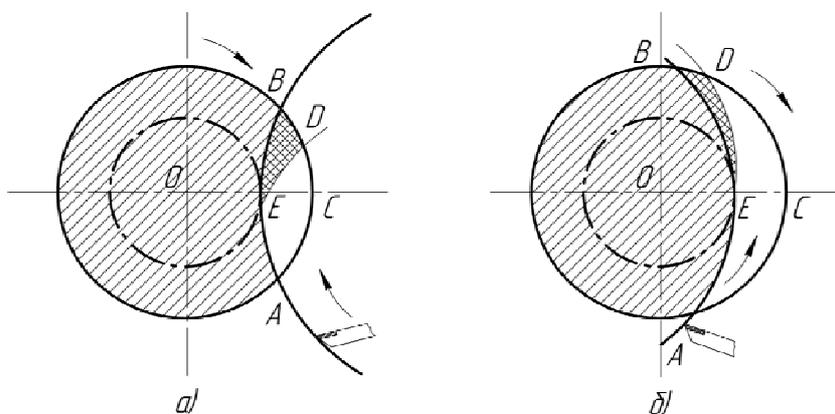


Рисунок 1 - Схема формирования: наружных винтовых канавок
а) внешнее касание; б) внутреннее касание

Для определения шага продольной неровности необходимо определить время, в течение которого произошло это перемещение.

Шаг неровностей S будет определяться по формуле:

$$S = \frac{\pi \cdot d_d \cdot V_d}{n_{\text{pr}} \cdot z}, \text{ мм.} \quad (1)$$

где d_d – диаметр детали, мм;

n_{pr} – частота вращения резцовой головки; об/мин;

V_d – скорость вращения детали, м/мин.

z – число резцов в резцовой головке.

После математических преобразований получим уравнение для расчета высоты продольных неровностей наружных винтовых канавок для схемы с внешним касанием инструмента:

$$h = \frac{\frac{d_d}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{180 \cdot V_d \cdot d_{\text{pr}}}{V_p \cdot z \cdot d_d}\right) + \frac{d_{\text{pr}}}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{1,8}{z}\right)}{\cos \frac{180 \cdot V_d \cdot d_{\text{pr}}}{V_p \cdot z \cdot d_d}}, \text{ мм.} \quad (2)$$

где d_d – диаметр детали, мм;

d_{pr} – диаметр резцовой головки, мм;

V_d – скорость вращения детали, м/мин.

V_{pr} – скорость вращения резцовой головки; м/мин;

z – число резцов в резцовой головке.

Анализ схемы образования продольных неровностей винтовых канавок при вихревом нарезании с внутренним касанием показывает, что вывод формулы для определения шага неровности будет аналогичен. Таким образом, шаг будет рассчитываться по формуле (1).

Уравнение для определения высоты продольных неровностей наружных винтовых канавок для схемы с внутренним касанием будет иметь следующий вид:

$$h = \frac{\frac{d_d}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{180 \cdot V_d \cdot d_{\text{pr}}}{V_p \cdot z \cdot d_d}\right) - \frac{d_{\text{pr}}}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{1,8}{z}\right)}{\cos \frac{180 \cdot V_d \cdot d_{\text{pr}}}{V_p \cdot z \cdot d_d}}, \text{ мм.} \quad (3)$$

Значения шагов S и высот h продольных неровностей наружных винтовых канавок для различных условий вихревого нарезания при внешнем и внутреннем касании, рассчитанные по вышеприведенным формулам представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Шаг и высота продольных неровностей наружных винтовых канавок при внешнем и внутреннем касании резцовой головки для различных условий

d_d	d_{pr}	z	V_d	V_{pr}	$S_{поп,мм}$	$S_{встр,мм}$	$h_{поп,мкм}$	$h_{встр,мкм}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Внешнее касание. Быстрорежущая сталь								
20	50	4	2	100	0,8014	0,7700	8,8056	8,1874
20	50	8	2	125	0,3193	0,3092	1,4671	1,3881
20	50	12	2	70	0,3850	0,3636	1,9388	1,7386
40	65	12	3	70	0,7620	0,6993	3,7405	3,1684
40	65	8	3	125	0,6277	0,5983	2,7132	2,4877
60	100	12	4	70	1,5867	1,4151	10,6640	8,5175
60	100	8	4	125	1,2982	1,2177	7,4089	6,5647
Внешнее касание. Твердый сплав								
20	50	4	3	150	0,8014	0,7700	8,8056	8,1874
20	50	8	3	180	0,3328	0,3219	1,5774	1,4881
20	50	12	3	200	0,1993	0,1934	0,5824	0,5535
40	65	4	3	150	1,0419	1,0010	7,7888	7,2668
40	65	8	3	180	0,4326	0,4184	1,4205	1,3450
40	65	12	3	200	0,2591	0,2515	0,5311	0,5067
60	100	12	2	150	0,3538	0,3445	0,6929	0,6658
60	100	4	2	180	0,8825	0,8631	4,7874	4,6463
60	100	8	2	200	0,3967	0,3888	1,0412	1,0154
Внутреннее касание. Быстрорежущая сталь								
20	40	4	2	70	0,9240	0,8727	10,0641	8,90035
20	40	8	2	100	0,3206	0,3080	1,1305	1,03154
20	40	12	2	125	0,1703	0,1649	0,2939	0,27141
40	60	8	4	70	1,4280	1,2736	12,5201	9,90586
40	60	12	4	100	0,6545	0,6042	2,5748	2,17839
60	90	8	3	70	1,5825	1,4524	10,0908	8,44252
60	90	12	3	100	0,7287	0,6863	2,0585	1,80812
60	90	4	3	125	1,7382	1,6567	11,2045	10,0469
Внутреннее касание. Твердый сплав								
20	40	4	3	150	0,6411	0,6160	4,5233	4,12566
20	40	8	3	180	0,2662	0,2575	0,7319	0,67464
20	40	12	3	200	0,1595	0,1548	0,2494	0,23083
40	60	4	2	150	0,6368	0,6201	1,6094	1,47747
40	60	8	2	180	0,2647	0,2589	0,2067	0,18768
40	60	12	2	200	0,1587	0,1555	0,0545	0,04836
60	90	12	4	150	0,6455	0,6120	1,5822	1,40636
60	90	4	4	180	1,6065	1,5366	9,3683	8,4498
60	90	8	4	200	0,7213	0,6930	1,8208	1,654

Сравнение полученных данных показывает, что формируемые продольные неровности наружных винтовых канавок для схемы внутреннего касания резцовой головки будут значительно меньше, чем для внешнего касания.

Библиографический список

1. Справочник по технологии резания материалов. В 2 кн. Кн. 2 / под ред. Г. Шпура, Т. Штеферле; Пер. с нем. под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1985. – 688 с.
2. Научные основы технологии машиностроения. А.Г. Суслов, А.М. Дальский. - М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. High precision threading performance. Electronic source / 2014. URL: <http://www.sandvik.coromant.com>.

Longitudinal irregularities on surface test of external helical ball rolling grooves at thread whirling

F.A. Plotnikov

At thread whirling cutters are mounted on the inside of a cutting ring to a predetermined cutting circle diameter calculated from the detail's data (outer diameter, pitch, lead). The rotating detail combined with the advancement of the longitudinal slide produces the required pitch of the ball screw. The conclusion of the theoretical dependences for calculation of pitch, height and longitudinal irregularities of screw grooves at thread whirling with external and internal contact are given. The tangential cutting action of the whirling process leaves the tool in contact with the helical ball rolling groove for a much longer time along the arc of the "cutting circle" of the inserts. This allows a smaller chip load, minimizing the risk of deflection, while significantly reducing cycle times. High precision helical ball rolling grooves can be produced from rough stock at high speeds in a single pass. The improvement in surface finish by the thread whirling process result of the unique tangential cutter path and the increased rigidity.

Keywords: external helical ball rolling grooves, thread whirling, longitudinal irregularities on surface, pitch, height.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ПРАВКА ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА

Е.Г. Полканов¹, начальник управления инструментального производства, **В.К. Старков**², директор научно-исследовательского центра, **С.А. Рябцев**², ведущий научный сотрудник, **Н.А. Горин**², младший научный сотрудник

¹«НПЦ газотурбостроения «Салют», ²Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва

Исследована кинематика ротационной схемы правки шлифовальных кругов вращающейся алмазной чашкой. На примерах шлифования высокопористыми кругами из кубического нитрида бора на керамических связках деталей из жаропрочных никелевых и титановых сплавов и высоколегированных сталей показаны ее преимущества в сравнении с правкой обтачиванием алмазными карандашами.

Ключевые слова: ротационная правка, шлифовальный круг, алмазная правящая чашка, стойкость круга, время правки.

Опыт использования шлифовальных кругов из кубического нитрида бора (КНБ) на керамических связках при шлифовании деталей из сплавов на основе никеля и титана взамен инструмента на основе электрокорунда и карбида кремния подтверждает их очевидные достоинства [1, 2, 3]. Однако фактором, сдерживающим эффективное применение шлифовальных кругов из КНБ, остается их малопроизводительная и неэкономичная правка.

Правка алмазным карандашом методом точения известна как низкопроизводительный процесс с относительно невысокой точностью профилирования. В случае правки кругов из КНБ ресурс эксплуатации одного карандаша обычно составляет не более одной рабочей смены, при низком качестве правки как по точности формы, так по режущей способности шлифовального круга.

С целью повышения эффективности правки шлифовальных кругов прямого профиля на основе кубического нитрида бора на керамических связках была предложена замена правки алмазным карандашом на ротационную схему правки алмазной вращающейся чашкой (рис. 1).

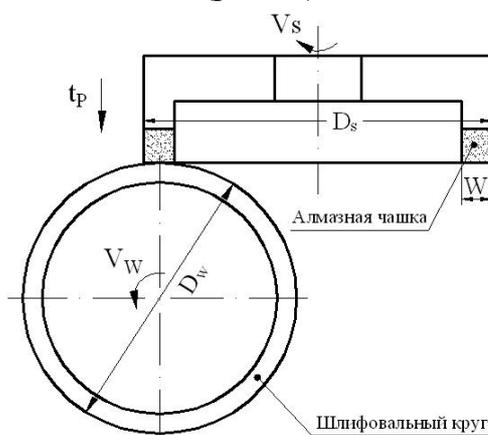


Рисунок 1 - Схема правки шлифовального круга вращающейся алмазной чашкой

Методика экспериментальных исследований. Технология правки осуществляется с помощью автономной правочной шпиндельной системы с необходимым приборным сопровождением, которая устанавливается на рабочем столе станка. Продольное перемещение шлифовального круга относительно алмазной чашки и подача правки обеспечиваются рабочими движениями шпинделя координатно-шлифовального станка.

В качестве правочного шпинделя была выбрана мод. C58F фирмы Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge (Германия) с системой управления CFU 0401 SSE, который был установлен на рабочем столе координатно-шлифовального станка мод. S40 фирмы Hauser (рис. 2). Выбранная модель шпинделя с учетом предполагаемых условий правки обеспечивает частоту вращения правящей чашки от 8 000 до 20 000 мин⁻¹ с эффективной мощностью 0,2 кВт.



Рисунок 2 - Установка правящего шпинделя на рабочем столе станка

Вместе с системой правки фирмой Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge по оригинальной технологии была изготовлена алмазная чашка с наружным диаметром 63 мм, шириной алмазоносного слоя на спекаемой металлической связке, равной 1,6 мм и высотой 8 мм. Зернистость алмаза – D301. Характеристика чашки соответствовала рекомендациям, обусловленным кинематикой правки предполагаемой номенклатуры шлифовальных кругов из кубического нитрида бора. Скорость правочной чашки во всех случаях была постоянной, равной 25,1 м/с. Продольная скорость перемещения шлифовального круга относительно неподвижной чашки в процессе правки также принята постоянной, равной 1 м/мин.

Исследование работоспособности и условий правки выполнялось на трех типоразмерах высокопористых шлифовальных кругов из кубического нитрида бора: 1A1 63x32x20x5, 1A1 32x16x10x5 и A8 16x10x6. В кругах на керамической связке K27 с 50%-ой концентрацией зерен ЛКВ 50 зернистостью V123 твердость изменялась от К до Р.

Высокопористые круги были изготовлены с учетом технологических принципов, изложенных в [4] и положительного опыта их применения [5].

Период стойкости КНБ – кругов при шлифовании различных деталей, а также настройка режима правки на заданную глубину подачи t_p определялись оператором с помощью акустической системы станка. Стойкость инструмента на принятых режимах шлифования определялась по времени наступления характерного звука работы круга с металлической стружкой, налипшей на его рабочую поверхность.

Результаты и их обсуждение. Теоретическим анализом кинематики ротационной правки были установлены размеры поверхности взаимного контактирования рабочей поверхности алмазной чашки с периферией шлифовального круга. Ее площадь F_k при постоянном диаметре чашки D_s зависит от ширины контакта b и высоты T шлифовального круга.

Мощность правки пропорциональна площади контакта и также, как ее величина, зависит от глубины правки и высоты круга. На рис. 3 показана экспериментальная зависимость измеренной мощности правки N от глубины правки t_p в диапазоне от 0,002 до 0,01 мм для высот круга, равных 10, 16 и 32 мм.

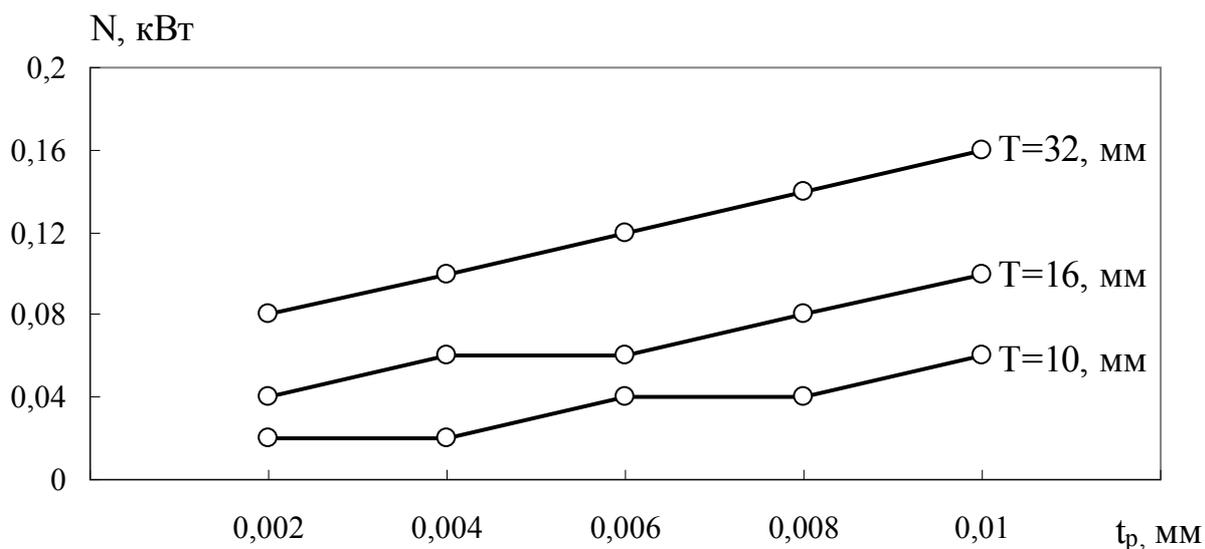


Рисунок 3 - Мощность правки в зависимости от глубины правки и высоты шлифовального круга

Особенностью данных по мощности, приведенных на рис. 3, является их дискретность, обусловленная дискретностью показаний датчика в 10% от максимальной мощности правочного шпинделя.

При увеличении глубины правки круга высотой 32 мм с наружным диаметром 63 мм от 0,002 до 0,010 мм площадь контакта по расчетам возрастает в 2,24 раза. Пропорционально увеличивается и мощность правки. Отмеченная закономерность связи мощности с площадью контакта алмазной правочной чашки и шлифовального круга подтверждается и в случаях правки инструмента с высотой 10 (диаметр круга 16 мм) и 16 (Ø32мм).

На примере трех шлифовальных кругов различных типоразмеров были исследованы условия шлифования на предмет выявления их периода стойкости и условия их правки алмазной чашкой по схеме ротационной обработки.

В таблице приведены условия применения шлифовальных кругов при внутреннем шлифовании отверстий с охлаждением, их период стойкости на принятом режиме обработки и время ротационной правки.

Условия применения, период стойкости и время ротационной правки высокопористых шлифовальных кругов из КНБ

Обрабатываемая деталь	Типоразмер и характеристика круга	Режим шлифования	Стойкость круга, мин	Время правки, мин
Диск турбины; Никелевый сплав ХН73МБТЮ-ВД	1A1 63x32x20x5 ЛКВ50 В213100PV	$V_S = 35$ м/с $V_W = 5,6$ м/с $t_p = 0,008$ мм	24±3	0,15
Переходник; Титановый сплав BT20Л	1A1 32x16x10x5 ЛКВ50 В213100LV	$V_S = 43,2$ м/с $V_W = 0,03$ м/с $t_p = 0,02$ мм	28±3	0,08
Корпус; Сталь 95X18	A8 16x10x6 ЛКВ50 В213100K V	$V_S = 22,5$ м/с $V_W = 0,01$ м/с $t_p = 0,01$ мм	42±4	0,05

Стойкость круга для конкретной операции, безусловно, зависит от обрабатываемости материала и режима шлифования. Причем обрабатываемость оказывает более сильное влияние, чем принятый режим шлифования. В этой связи при шлифовании жаропрочных никелевых и титановых сплавов из-за их низкой шлифуемости стойкость в 1,5 – 1,75 раз меньше, чем при обработке легированной стали.

При использовании ротационной правки алмазной чашкой время восстановления режущей способности кругов составляет в среднем 0,28 – 0,3с на 1 мм их высоты, что в 10 раз меньше, чем при обтачивании алмазным карандашом.

Положительными моментами ротационной правки является ее возможность применять на рабочей скорости шлифовального круга. Условия восстановления режущего рельефа рабочей поверхности кругов из кубического нитрида бора более благоприятны с точки зрения физики хрупкого разрушения. При обтачивании алмазным карандашом разрушение зерен происходит в результате механического давления с усилием 20 – 100 Н при интенсивном его шлифовании зернами КНБ. В процессе ротационной правки микроскалывание зерен КНБ является результатом их усталостного разрушения при соударении с алмазными зернами правящей чашки. Расчетами установлено, что для исследованных условий правки по характеристикам инструмента (прежде всего, размером и концентрации алмазов и КНБ) и режимам, усилие разрушения составляет 0,8 – 1,6 Н при частоте соударений зерен $(5 - 6) \cdot 10^4$ с⁻¹.

Эффективность ротационной правки шлифовальных кругов из КНБ обусловлена также существенным снижением затрат на правящий инструмент:

за полгода активной эксплуатации алмазной чашки высота ее рабочего слоя уменьшилась только на 1/8 исходного размера.

Выводы. Кинематическим анализом ротационной схемы правки шлифовальных кругов вращающейся алмазной чашкой установлено, что ширина ее рабочей части должна устанавливаться в зависимости от глубины правки и диаметра круга.

Для условий максимальной производительности правки, при которых обеспечивается максимально возможная площадь контактной поверхности круга и алмазной чашки, получены расчетные оценки для назначения размеров чашки и их рабочих скоростей, а также экспериментальные значения затрачиваемой мощности.

В сравнении с правкой обтачиванием алмазным карандашом ротационной правкой время восстановления режущей способности высокопористых кругов из КНБ на керамических связках сокращается до 10 раз при высоком качестве рабочей поверхности. Эффективность ротационной правки обусловлена физикой микроскалывания зерен КНБ в результате усталостного разрушения при соударении с алмазными зернами правящей чашки.

Библиографический список

1. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. 688 с.
2. Носенко В.А. Шлифование адгезионно-активных материалов. – М.: Машиностроение, 2000. – 262 с.
3. Кремень З.И. Шлифование суперабразивами высокопластичных сплавов / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2013. – 167 с.
4. Starkov V. K. Highly porous cubic boron nitride wheels for dry grinding // Journal of Superhard Materials, 2013. Volume: 35. Issue: 5. Pages: 298-302.
5. Starkov V.K., Ryabtsev S.A., Polkanov E.G., Kiskin O.S. Comparative analysis of performance of cubic boron nitride and microcrystalline alumina tools in profile grinding of form cutters // Journal of Superhard Materials, 2014. Volume: 36. Issue: 1. Pages: 43-48.

HIGH-PERFORMANCE DRESSING OF CUBIC BORON NITRIDE GRINDING WHEEL

Polkanov E.G., Starkov V.K., Ryabtsev S.A., Gorin N.A.

Studied rotational kinematics scheme dressing of grinding wheels by rotating diamond cup. Examples of highly porous grinding wheels of cubic boron nitride ceramic ligaments parts of heat-resistant nickel alloys and titanium alloys and alloyed steels shown its advantages in comparison to edit the turning of diamond pencils.

Keywords: rotational dressing, grinding wheel, diamond cup ruling, resistance range, while editing.

РЕАЛИЗАЦИЯ ЗАДАННОГО ЗАКОНА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОБРАБОТКОЙ ППД ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

М.Е. Попов, профессор, **Ельшейх Ахмед**, аспирант
Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

Представлены результаты исследования процесса отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием инструментом тороидальной формы с наклонённой осью.

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование; ППД; осциллирующий инструмент; упрочнение; поверхностный слой

Одним из эффективных направлений совершенствования методов обработки является применение дополнительных колебательных и осциллирующих движений [1].

В настоящей работе для решения задач отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием исследуется процесс обработки инструментом с рабочей поверхностью тороидальной формы, расположенной наклонно по отношению к оси вращения инструмента (рис. 1). При этом проекция эллипсного тора на плоскость, перпендикулярную оси вращения инструмента, образует окружность. Эллипсным тором считается тело, образованное движением центра круга по эллипсу, плоскость которого перпендикулярна плоскости круга.

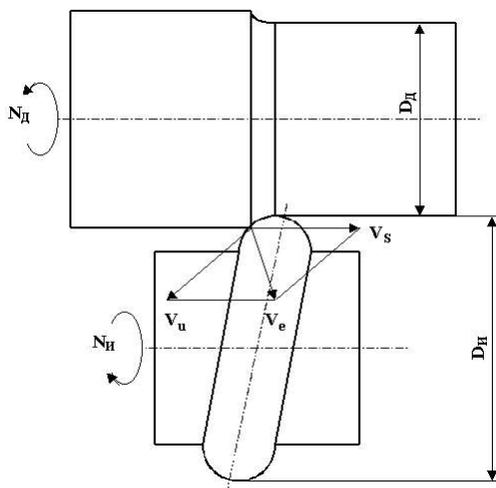


Рисунок 1 - Схема обработки осциллирующим инструментом

Инструмент в форме эллипсного тора с заданным радиусом скругления, наклонённого к оси вращения под углом α , вращается и контактирует с обрабатываемой деталью, перемещаясь вдоль ее оси. Деталь, закрепленная в патроне токарного станка, вращается с заданной скоростью. Причем деталь и инструмент могут вращаться как в одном, так и в разных направлениях.

Для расчета режима обработки определим кинематические параметры контакта инструмента с поверхностью обрабатываемой детали, а также геометрические параметры зоны контакта, величину и направление вектора скорости относительного скольжения контактирующих тел.

Рассмотрим траекторию и относительную скорость скольжения инструмента по поверхности детали. Расстояние от точки контакта эллипсного тора (инструмента) до выбранной точки отсчета вдоль оси детали в любой момент времени t

$$Y(t) = S_0 \cdot n_d \cdot t + A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n_u \cdot t + \varphi_0)$$

где S_0 – подача на оборот;

n_d - частота вращения детали;

n_u - частота осцилляции точки контакта (равна частоте вращения инструмента);

$A = D_e / (2 \operatorname{tg} \alpha)$ – амплитуда осцилляции точки контакта эллипсного тора

при вращении инструмента,

D_u – диаметр инструмента,

φ_0 – начальный угол поворота инструмента относительно выбранной системы координат (начальной точки отсчёта), с которой начинается контакт инструмента с обрабатываемой деталью в начальный момент обработки.

За начальную точку отсчёта поворота инструмента принимается точка контакта инструмента, продольное перемещение которой зависит только от подачи S_0 . Относительно этой точки все остальные точки контакта совершают гармонические колебания с амплитудой A и с частотой n_u .

Начальная точка отсчёта поворота инструмента соответствует точке контакта, расположенной на пересечении малой полуоси эллипса с поверхностью контакта инструмента. Если обработка начинается с этой точки, то начальный угол поворота $\varphi_0 = 0$.

Текущее продольное перемещение точки контакта инструмента складывается из двух составляющих: постоянной части, обусловленной движением подачи инструмента по станку S_0 , и переменной части, обусловленной продольным движением точки контакта наклонной торовой части инструмента при его вращении. Вращение может осуществляться свободно, за счёт сил трения с обрабатываемой поверхностью, или принудительно, за счёт специального привода.

С применением пакета MathCAD исследованы характеристики процесса обработки инструментом со скользящим контактом для разных сочетаний значений подачи, амплитуды осцилляции, частоты вращения инструмента и детали; рассчитаны относительная скорость скольжения инструмента по обрабатываемой поверхности детали и траектория перемещения точки контакта.

Путём изменения соотношения частот вращения инструмента и детали, можно обеспечить следующие режимы:

1) обкатывание при $v_u = v_d$;

2) обкатывание с проскальзыванием инструмента по обрабатываемой поверхности детали при $v_u > v_D$;

3) обкатывание с проскальзыванием детали по инструменту при $v_u < v_D$.

На рис. 2 показаны полученные траектории перемещения инструмента по поверхности обрабатываемой детали для перечисленных режимов обработки. При этом подача S_o - это расстояние между начальной и конечной точкой средней линии каждой кривой, а амплитуда A - это максимальное отклонение точки контакта от средней линии кривой.

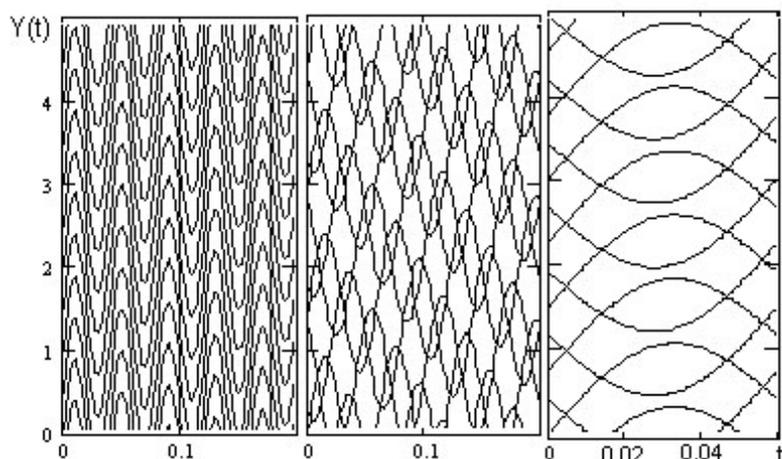


Рисунок 2 - Расчётные траектории перемещения точки контакта инструмента по обрабатываемой поверхности для режимов обработки 1 а), 2 (б) и 3 (в)

Рисунок 2 отображает развёртку обработанной цилиндрической детали со следами точки контакта инструмента. По оси абсцисс отложено текущее время одного поворота детали t , по оси ординат Y - расстояние от текущей точки контакта инструмента вдоль оси детали до исходного положения инструмента (торца детали); при этом каждая кривая соответствует этому расстоянию при первом, втором, третьем и последующих оборотах детали.

По характеру физико-механического воздействия на обрабатываемую поверхность проскальзывание в зоне пластического контакта аналогично процессу алмазного выглаживания. Поэтому с увеличением угла α возможно снижение шероховатости обработанной поверхности, что и было подтверждено экспериментально.

Режим 2 и 3 обеспечивают разные термомеханические условия обработки. В первом случае процесс сопровождается интенсивным нагревом поверхностных слоев детали, а инструмент успевает охладиться, что в ряде случаев исключает необходимость проведения поверхностной закалки. Во втором, наоборот деталь не успевает нагреваться, но происходит более интенсивное сглаживание неровностей.

Зная относительную скорость скольжения инструмента по поверхности детали, можно рассчитать интенсивность тепловыделения и температуру в зоне пластического контакта.

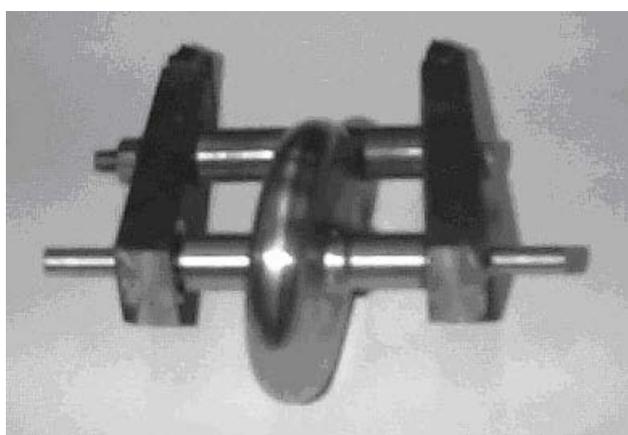
Характер распространения теплоты в тело детали зависит от скорости движения инструмента по поверхности детали, его размеров и интенсивности тепловыделения. Температура в зоне контакта, а также время нагрева и охлаждения могут быть достаточными для того, чтобы в поверхностном слое произошли структурно-фазовые превращения.

Управляя процессом обработки можно регулировать термомеханические условия обработки в зоне фрикционного контакта инструмента и детали и, таким образом, достигать требуемых характеристик физико-механических свойств материала поверхностного слоя деталей.

Для проверки адекватности полученных математических моделей, проведены экспериментальные исследования процесса обработки инструментом со скользящим контактом. Исследования проводились на токарном станке модели 1К62. Экспериментальное приспособление с инструментом (рис. 3, а) устанавливалось в резцедержателе станка (рис. 3, б). Диаметр инструмента 100 мм, радиус сферы 10 мм, угол наклона рабочей части инструмента $\alpha = 80^\circ$. В качестве образцов использовались заготовки в форме цилиндра (пруток, труба) диаметром 20...80 мм. Материал образцов - сталь 45 и алюминиевый сплав АК6. Варьируемые параметры: частота вращения инструмента n_u ; частота вращения детали n_d ; подача суппорта S_p ; исходная шероховатость обрабатываемой поверхности R_a .

После обработки производилось фотографирование (рис. 4) и измерение шероховатости полученной поверхности.

По результатам измерения среднего арифметического отклонения профиля поверхности R_a построены кривые распределения их значений до и после обработки. Результаты экспериментальных исследований показывают, что после обработки качество поверхностного слоя улучшается. Из кривых распределения и таблицы видно, что по сравнению с состоянием поверхности до обработки, поле рассеяния шероховатости после обработки уменьшилось в три раза, т. е. стабильность шероховатости поверхности улучшилось. В три раза уменьшилось также среднеарифметическое значение шероховатости.

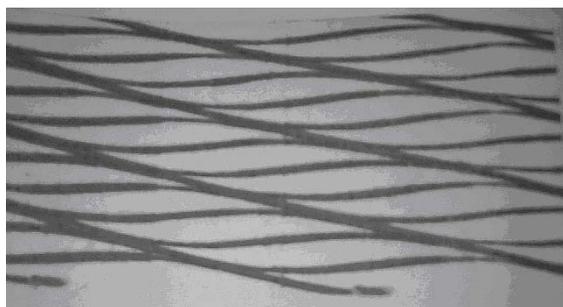


а)

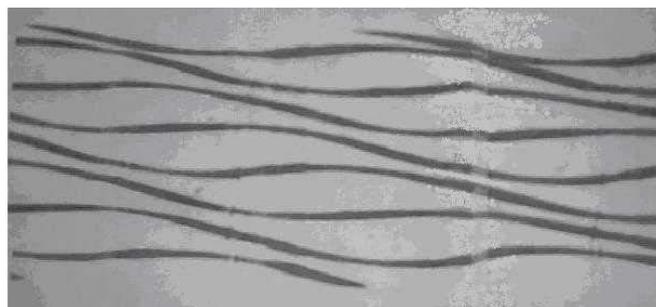


б)

Рисунок 3 - Экспериментальный осциллирующий инструмент (а) и обработка детали на станке



а)



б)

Рисунок 4 - Фото траектории следов перемещения точки контакта инструмента по обрабатываемой поверхности

Выводы. Изменение режимов обработки осциллирующим инструментом со скользящим контактом позволяет в широких пределах изменять параметры траектории перемещения точки контакта и обеспечивать получение поверхности с различной микрогеометрией а также изменять температуру в зоне контактного взаимодействия и открывает возможность управлять свойствами материала поверхностного слоя.

Библиографический список

1. Попов М.Е., Аваниш А. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностей деталей осциллирующим инструментом // СТИН. - 2003. - № 11. - с. 34-36

REALIZATION OF THE GIVEN LAW HARDENING THE SURFACE LAYER PROCESSING SPD OSCILLATING TOOL

Popov M.E., Elsheykh Ahmed

The results of research process отделочно-strengthening processing surface plastic deformation tool toroidal shape with his axe.

Keywords: surface plastic deformation; SPD; oscillating tool; Hardening; Realization of the given law of hardening of the surface layer processing SPD an oscillating tool.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ УТИЛИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

М.Е. Попов, профессор, **А.М. Попов**, доцент, **С.О. Попова**, аспирант
Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

Представлены результаты исследования проблемы утилизации отходов и изделий, как дальнейшее развитие технологии машиностроения на современном этапе.

Ключевые слова: жизненный цикл конструкционных материалов; утилизация; реновация; рециклинг; бережливое производство.

В настоящее время большинство ученых, исследующих общие вопросы охраны окружающей среды и рационального природопользования, как одну из приоритетных выдвигают задачу снижения антропогенных воздействий на окружающую среду и разработку методов и технологий ее экологической реабилитации. Масштабы естественных и антропогенных процессов в экосфере стали сейчас сопоставимыми, а соотношение между ними продолжает изменяться с ускорением в сторону возрастания мощности антропогенного влияния на биосферу. Повсеместное загрязнение окружающей среды разнообразными веществами представляет серьезную опасность для здоровья человека и благополучия будущих поколений людей.

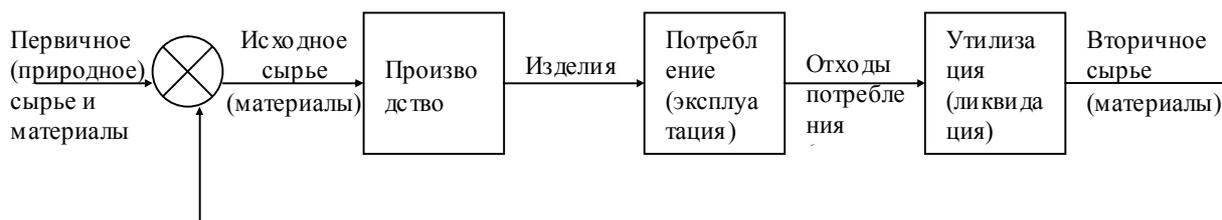


Рисунок 1 - Жизненный цикл (кругооборот) конструкционных материалов

Большинство современных технологий в процессе производства продукции сопровождаются значительными потерями и большим количеством отходов. К потерям следует отнести и неэффективное использование отработавшей техники и предметов потребления (рис. 1). В настоящее время объемы накопленных отходов начинают превышать восстановительный потенциал природы, что ведет к ухудшению экологии среды обитания и возникновению техногенных экологических катастроф. Поэтому в ряде промышленно развитых стран в отношении отходов производства принят лозунг RRR (reduce – reuse – recycling), то есть «снижение – вторичное использование – переработка». Эта концепция получила дальнейшее развитие в методологии «бережливое производство» (рис. 2). На самом деле бережливое производство работает не с сокращением расходов, что могло бы привести к снижению качества продукции, а с сокращением потерь.

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды - негативного и кумулятивного воздействия на человека и биоту - следует рассматривать отходы производства и потребления. С другой стороны, отходы

являются, прежде всего, источником вторичных материальных и энергетических ресурсов. Масштабы образования отходов позволяют говорить сегодня о «второй геологии» - науке об антропогенных ресурсосберегающих отходах.



Рисунок 2 - Стратегическое структурирование четырех ключевых моментов бережливого производства [1]

В настоящее время при решении задач, связанных с обращением с отходами, необходимо учитывать ряд факторов:

- отходы образуются в сфере производства, обращения и потребления, при этом в сфере производства, прежде всего, - в результате несовершенства базовых технологических процессов;
- несмотря на то, что отдельные виды отходов используются почти на 100%, средний уровень использования твердых отходов в России довольно низок и составляет примерно 25-30%;
- значительная часть отходов не находит хозяйственного применения не только потому, что слабо развита научно-техническая и производственная база их переработки, но и вследствие избыточности объемов их образования;
- высокий уровень переработки отдельных видов отходов еще не означает, что задача их использования решена или близка к завершению. Необходимо учитывать также экономический эффект от принятого способа их хозяйственного применения, причем с учетом экологических и социальных факторов;
- отходы представляют собой ценное сырье, сопоставимое по концентрации содержащихся в них полезных компонентов с первичным сырьем и материалами, а в ряде случаев - даже превосходящее их;
- складирование, захоронение или уничтожение отходов (например, сжигание) по экономическим соображениям требуют значительных капитальных, а также эксплуатационных затрат и др.

Сложность и многообразие задач защиты окружающей среды от воздействия отходов производства и потребления требует создания в Российской Федерации многоуровневой системы управления отходами, основанной на сочетании административно-правовых, нормативных и экономических методов (рис. 3).



Рисунок 3 - Модель федерального управления ресурсосбережением [2,3]

Актуальность рассматриваемой темы подтверждается также тем, что в соответствии с «Основами политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» направление исследований «Природоохранные технологии, переработка и утилизация техногенных образований и отходов» включено в перечень критических технологий федерального уровня (утверждены Президентом РФ 30 марта 2002 г. № Пр-576, № Пр-578).

В решении проблем экологии магистральными направлениями являются широкое внедрение ресурсосберегающих технологий [4] и реновация средств и объектов материального производства [5].

Ресурсосберегающая технология – технология, обеспечивающая получение готовой продукции с меньшими затратами природных ресурсов, энергии, других видов ресурсов, чем прежде. Она предусматривает проведение единой технологической политики и проектирование производственных мощностей с высокими показателями эффективности капиталовложений, производительности труда и качества выпускаемой продукции. Основное внимание уделяется малоотходным и безотходным технологиям, внедрению замкнутых автоматизированных технологических процессов, использованию промышленных роботов, повышению степени механизации и автоматизации труда, использованию вторичных материальных и энергоресурсов, прогрессивных конструктивных решений.

Техническое переоснащение любого производства является в настоящее время острой проблемой, из-за недостатка оборотных средств и инвестиций, ограниченности многих видов материальных ресурсов. В этой связи большая роль сегодня отводится разумной эксплуатации имеющихся машин и оборудования, своевременному восстановлению работоспособности, модернизации, при необходимости утилизации и вторичному использованию различных агрегатов или отдельных их частей.

В большой степени поставленные проблемы могут быть решены, если придать необходимое значение вопросам реновации средств и объектов материального производства [6].

Реновация – это комплекс технологических, конструкторских и организационных мероприятий, направленных на восстановление или продление рабочего ресурса объектов материального производства, а также на использование их по новому назначению с минимальными затратами энергии и материалов, либо на утилизацию их с минимальной экологической вредностью (рис. 4).

Реновацией можно сэкономить не только материальные ресурсы, уменьшить огромные затраты на добычу и переработку сырья для выплавки металла, производства других видов материалов, заготовок, механическую обработку, но и снизить вредное воздействие на окружающую среду.

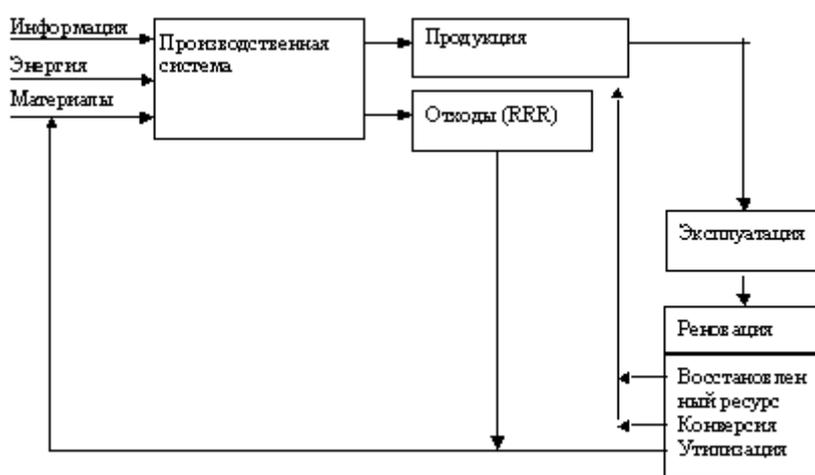


Рисунок 4 - Реновация материальных объектов

Число технологических процессов, которые могут быть названы реновационными, достаточно велико. Для правильного выбора технологии реновации и ее параметров необходимо иметь представление о характере дефектов, износа, вызывающих выход детали из строя, о причинах, приводящих к такому результату, о явлениях, происходящих в самой детали, как в процессе эксплуатации, так и на более ранних стадиях ее существования, в том числе и на стадии изготовления.

В последние годы исследования в области конструкционных материалов и методика конструирования развиваются в направлениях, обеспечивающих минимизацию отходов производства и возможность вторичного использования элементов изделия по истечении срока его эксплуатации.

Вторичное использование (Recycling) – это повторное применение изделия или его элементов в замкнутом цикле. Можно выделить вторичное использование изделия (его деталей и узлов) после окончания срока эксплуатации и повторное применение материалов как утильсырья после соответствующей переработки и обогащения (рис. 5).

Существуют две дополняющие друг друга стратегии реализации цели вторичного использования изделий:

- 1) разработка технологии обогащения утильсырья и модернизация изделия, способствующая его эффективной утилизации;
- 2) конструирование изделия с учетом его вторичного использования.

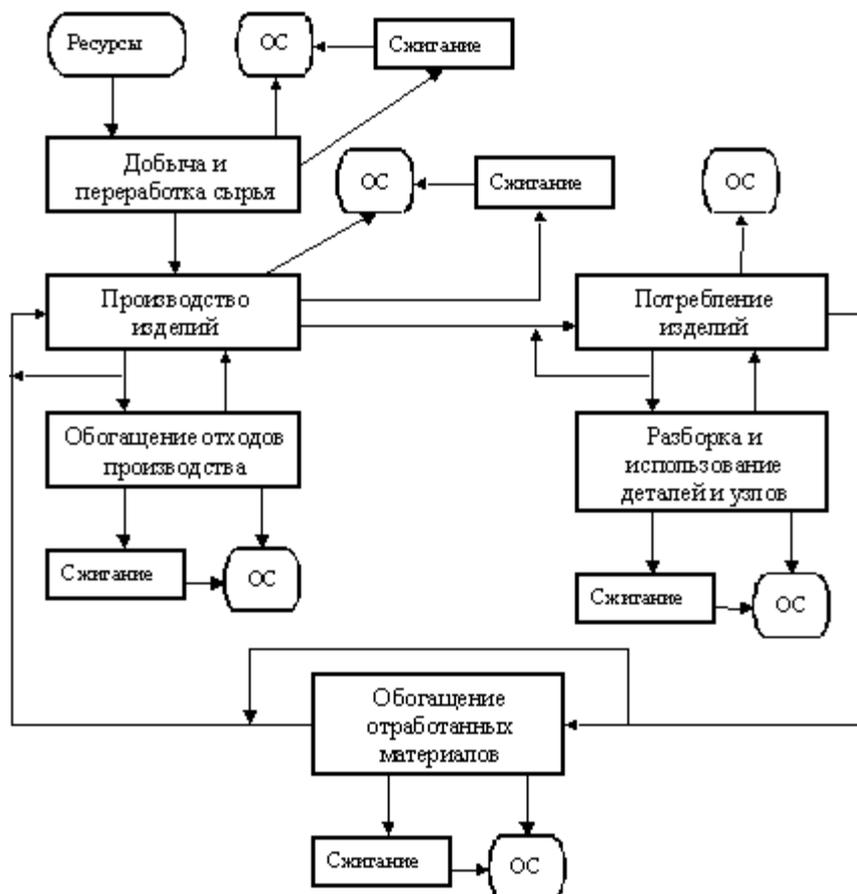


Рисунок 5 - Возможность вторичного использования изделий и материалов (ОС – окружающая среда)

При конструировании изделия наряду с различными требованиями, определяющими его качество, необходимо учитывать и требования, обусловленные вторичным использованием изделия [7]. Можно выделить два основных требования.

Во-первых, независимо от выбранной стратегии вторичного использования необходимо обеспечить благоприятный для демонтажа способ соединения деталей.

Во-вторых, разрабатывая конструкцию изделия, следует учитывать совместимость материалов при их использовании и утилизации.

Следует отметить, что вторичное использование эффективно лишь в тех случаях, когда себестоимость изделия, полученного из вторичного сырья, оказывается ниже аналогичного изделия, изготовленного из традиционных материалов. Например, выбранный способ обогащения материала не должен быть более энергоемким, чем производство нового материала, а конструкторское решение не должно снижать качество получаемого изделия и

возможностей его совершенствования. С этой точки зрения необходимо учитывать затраты всего жизненного цикла изделия [7].

Решение о величине будущих затрат необходимо принимать как можно на более ранних стадиях проектирования, когда затраты на внесение изменений в изделие будут наименьшими. Так как в этом случае мы сталкиваемся с ситуацией ограниченной информации о новом создаваемом изделии, то необходимы простые и надежные методы оценки затрат всего жизненного цикла изделия. Эти методы должны давать возможность быстрой оценки и принятия правильных решений о стоимости и ожидаемых затратах еще до точной их калькуляции и определения цены изделия, обычно делающихся перед запуском продукции в производство.

Библиографический список

1. Вумек Дж., Джонс Д.Ю., Рус Д. Машина, которая изменила мир. Пер. с англ. – Минск.: Попурри, 2007.

2. Бунин Г.П., Плотников А.В., Плущевский М.Б. Стандартизация и стандартофилы на службе цивилизации (Прошлое, настоящее, будущее). – М.: Изд-во НТК «Трек», 2011.

3. Бунин Г.П., Плущевский М.Б., Плотников А.В. Военная стандартизация в России / Аналитический обзор к 85-летию создания военной стандартизации. – М.: Изд-во Академии стандартизации, метрологии и сертификации, 2012. – С. 90.

4. Попов М. Е., Попов А. М. Ресурсосберегающие технологии и проблемы экологии // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 1997.

5. Попов М. Е., Чудин Р. Х., Шацкий Я. Л. Переработка и повторное использование отходов и лома РЭА и ЭВМ // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. Материалы всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 1997.

6. Реновация материальных объектов как перспективное направление научно-технического прогресса / Гаврилюк В. С., Колесников А. Г., Ляпунов Н. И. и др. // Вестник машиностроения. – 1998. – № 11. – с. 20-23.

7. Байтц В. Конструирование изделий и проблема их вторичного использования // СТИН. – 1998. – № 4. – с. 38-41.

INNOVATIVE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF UTILIZATION OF PRODUCTS OF MECHANICAL ENGINEERING

Popov M.E., Popov A.M., Popova S.O.

The results of research of problems of waste utilization and products, as a further development of mechanical engineering at the present stage.

Keywords: life cycle of structural materials; recycling; renovation; recycling; lean manufacturing

УПРОЧНЯЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ИЗНОСОСТОЙКИХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДАМИ ППД

М.Е. Попов, профессор, Эль Дакдуки Ахмад, аспирант
Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

Представлены результаты исследования технологических возможностей повышения качества хромовых электролитических покрытий методами поверхностного пластического деформирования (ППД).

Ключевые слова: упрочняющая технология; гальванические покрытия; поверхностное пластическое деформирование; ППД.

Работа машин и агрегатов современной техники происходит с возрастающими скоростями и нагрузками, при высоких и низких температурах, в агрессивных средах и вакууме. Наряду со стремлением к упрощению и удешевлению разрабатываемых конструкций, повышаются требования к их надёжности и долговечности. В этих условиях всё большее применение находят упрочняющие методы обработки поверхностей деталей машин [1,2].

Вследствие недостаточно обоснованного выбора материала и технологии его упрочняющей обработки сроки службы машин и агрегатов уменьшаются, возрастает количество ремонтных работ, и, как следствие, снижается производительность из-за дополнительных простоев оборудования.

В зависимости от условий эксплуатации деталей машин методы упрочнения можно условно разделить на следующие группы (рис. 1, табл. 1).

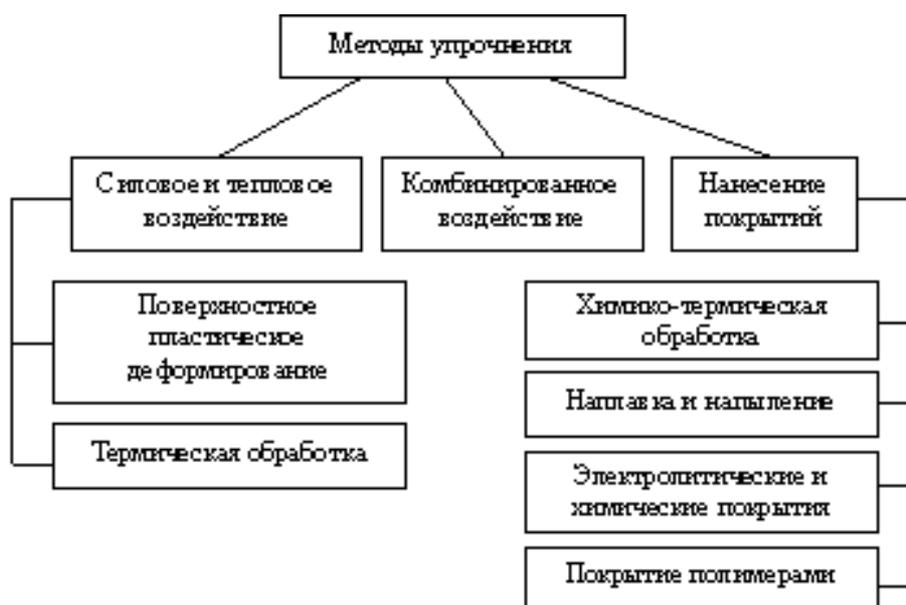


Рисунок 1 - Методы упрочнения деталей машин

Из трех указанных в таблице 1 групп методов упрочнения, к первой относятся все методы поверхностного пластического деформирования (ППД), термической, химико-термической (ХТ) и термомеханической (ТМ) обработки. Применение этих методов вызывает деформационные, структурные, фазовые изменения или изменения по химическому составу поверхностного слоя однородного материала детали.

Таблица 1 - Методы упрочнения

Условия эксплуатации	Методы технологического воздействия (упрочнения)
Циклические нагрузки, требующие высокой усталостной прочности материалов	Силовое и тепловое воздействие на поверхностные слои деталей машин для их упрочнения
Износ различных видов, требующий высокой износостойкости материалов	Методы защиты поверхностного слоя, улучшающие триботехнические свойства поверхности
Сложные условия циклических нагружений с одновременным изнашиванием отдельных поверхностей	Комбинированные методы технологического воздействия

Ко второй группе относятся методы, связанные с нанесением различных твердых покрытий из самых разнообразных материалов (металлов, сплавов, керамики, пластмасс), в результате чего физико-химическое состояние поверхностного слоя может значительно отличаться от основного материала детали. К ним относятся наплавка и напыление, электролитические и химические покрытия, покрытия полимерными материалами, плазменные покрытия и т.д.

К третьей группе относятся методы комбинированные, включающие одновременно два или более методов, принадлежащих к различным группам (например, нанесение покрытия наплавкой с последующим ППД).

В данной работе представлены результаты исследования технологических возможностей повышения качества хромовых электролитических покрытий методами поверхностного пластического деформирования (ППД).

Качество электролитического покрытия зависит от материала детали, материала покрытия, шероховатости исходной поверхности перед покрытием, толщины покрытия, режимов нанесения покрытия и других факторов.

Толщина хромовых электротехнических покрытий определяется служебным назначением покрытия поверхности детали. В соответствии с этим будет различная и толщина требуемого покрытия. Различают антикоррозионные покрытия (рис. 2,а), износостойкие покрытия (рис. 2,б) и покрытия для восстановления изношенных поверхностей детали (рис. 2,в).

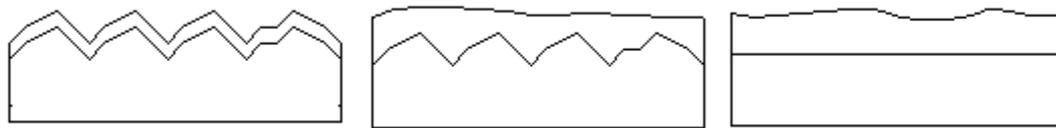


Рисунок 2 - Толщина электролитических покрытий в зависимости служебного назначения поверхности детали

Проведены исследования влияния режимов обкатывания роликом [3,4] на качество хромовых покрытий толщиной 5 и 10 мкм (рис. 3, рис. 4, рис. 5).

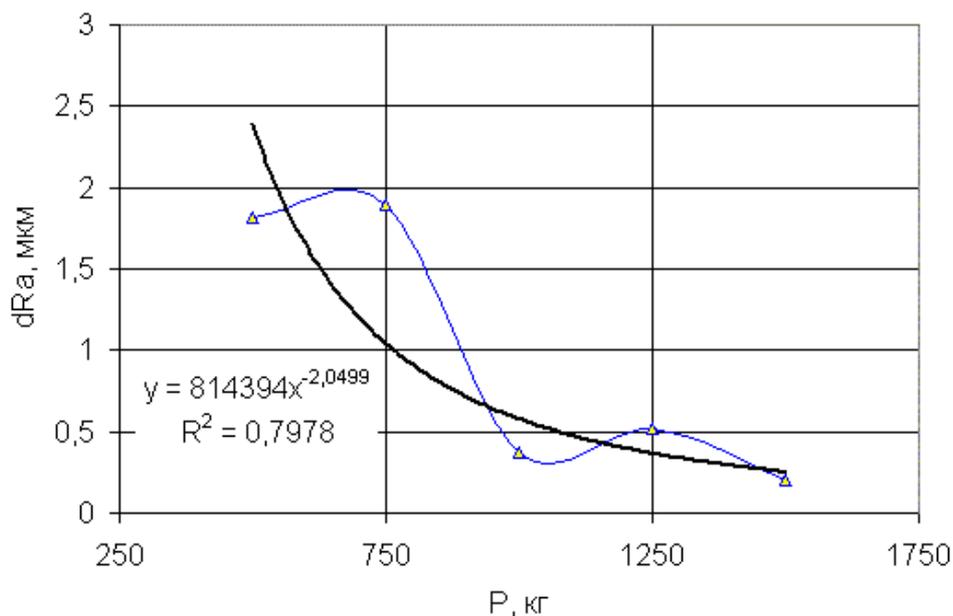


Рисунок 3 - Зависимость $dRa=F(P)$ при обкатывании роликом хромового покрытия толщиной 5 мкм

Из рис. 3 видно, что с увеличением усилия обкатывания, при толщине покрытия 5 мкм, происходит интенсивное уменьшение шероховатости исходной поверхности $dR_a = (R_{аисс} - R_a)$. При толщине покрытия 10 мкм интенсивность снижения шероховатости меньше (рис. 4).

Значительное влияние на шероховатость поверхности покрытия после обкатывания оказывает подача S (рис. 5).

Аналогичные результаты были получены при обработке гальванических покрытий другими методами ППД: алмазном и твердосплавном выждаживании, виброударной обработке в среде стальных шаров, дорновании, раскатывании жесткими и упругими раскатниками.

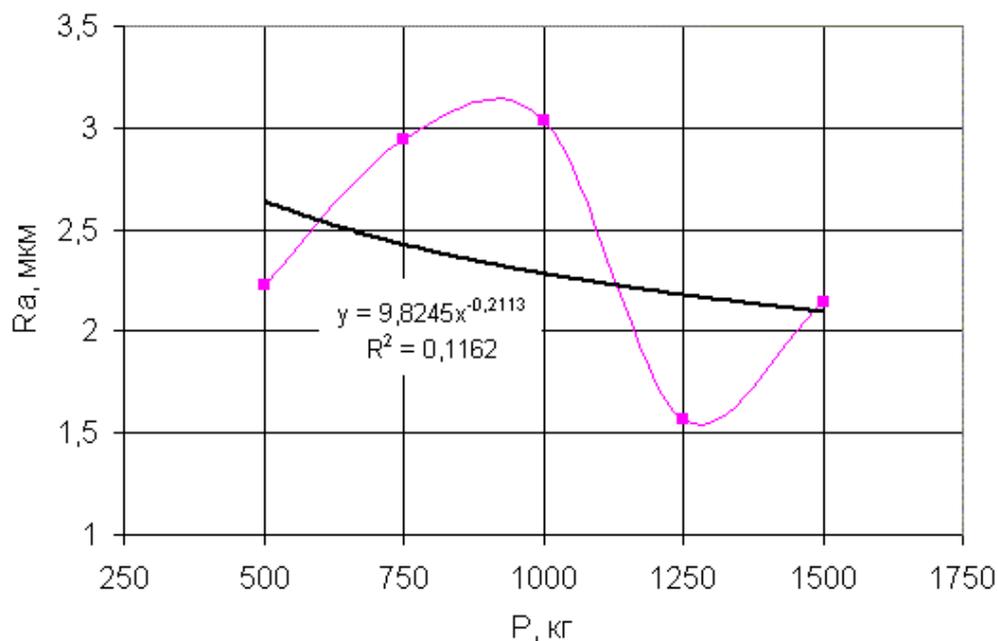


Рисунок 4 - Зависимость $Ra=F(P)$ при обкатывании роликом хромового покрытия толщиной 10 мкм

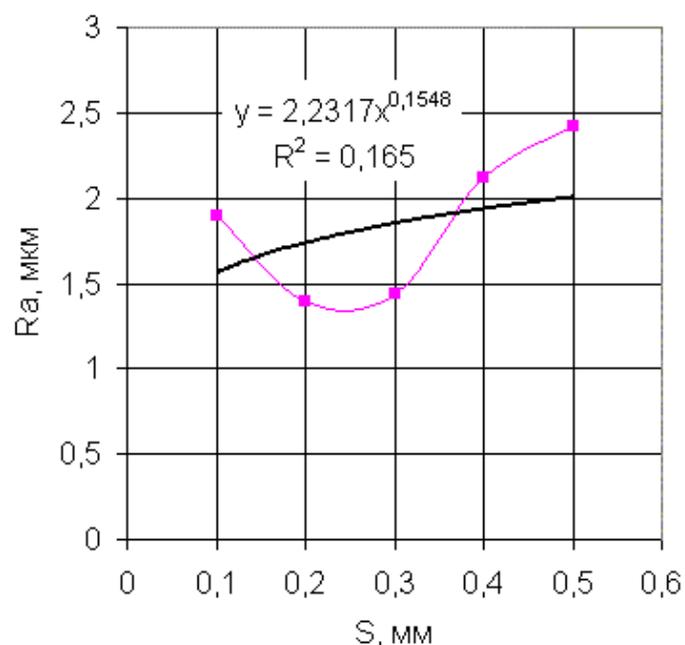


Рисунок 5 - Зависимость $Ra=F(S)$ при обкатывании роликом хромового покрытия толщиной 5 мкм

Таким образом, как показали результаты исследований, наибольшее влияние на шероховатость поверхности хромового покрытия влияют величины подачи, усилия обкатывания и толщины покрытия.

Для антикоррозионных покрытий толщина покрытия меньше или равна шероховатости поверхности до нанесения покрытия, для износостойких покрытий толщина покрытия сопоставима с величиной шероховатости, а для покрытий при восстановлении изношенной детали толщина покрытия на порядок превосходит величину шероховатости поверхности под покрытие. Эти особенности определяют характер напряженно деформированного состояния и особенности пластического течения металла поверхностного слоя детали при его поверхностном пластическом деформировании. Большое влияние на этот процесс оказывает марка основного металла детали и способ получения её заготовки [5].

Задачами дальнейших исследований является выявление особенностей механики поверхностного пластического деформирования поверхностей деталей машин с электролитическими покрытиями из различных материалов, обработанных различными методами ППД, выявление влияния обработки методами ППД на эксплуатационные свойства поверхностей с электролитическими покрытиями.

Библиографический список

1. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1987. -311 с.
2. Попов М.Е. Основы САПР технологических процессов упрочняющей обработки: Учеб. пособие / РИСХМ. – Ростов н/Д. 1987. – 91 с.
3. Попов М.Е., Аваниш А. Финишная обработка прецизионных поверхностей осциллирующим инструментом // Вестник ДГТУ. – 2002. – №1. – с. 40-50.
4. Попов М.Е., Аваниш А. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностей деталей осциллирующим инструментом // СТИН. – 2003. – № 11. – с. 34-36.
5. Попов М.Е. Основы ресурсосберегающей технологии: Учебное пособие. – Ростов н/Д, РИСХМ, 1991. – 87 с.

HARDENING TECHNOLOGY OF PROCESSING OF WEAR-RESISTANT GALVANIC COATINGS BY SPD

Popov M. E., El Dacduqui Ahmad

Results of research of technological capabilities of improvement of quality of chromic electrodeposited coatings are presented by superficial plastic deformation (SPD) methods.

Keywords: strengthening technology; electroplated coatings; superficial plastic deformation; SPD.

КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИТОВ, НАНЕСЕННЫЕ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ

А.А. Попова, магистрант, **В.И. Яковлев**, к.т.н., доцент,
А.А. Ситников, д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

В работе исследовалась возможность получения детонационным способом кальций-фосфатных покрытий из слоистых композитов состава гидроксиапатит - никелид титана. Проводились исследования шероховатости, фазового состава, адгезионной прочности полученных покрытий.

Ключевые слова: слоистые композиты, детонационно-газовое напыление.

Введение

Одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений современного медицинского материаловедения является создание имплантатов для замены поврежденных участков ткани [1]. При этом возникает необходимость нанесения на имплантанты биосовместимых покрытий, которые не оказывают отрицательного действия на живой организм и стимулируют процессы регенерации ткани. К таким материалам относится гидроксиапатит (ГА) - $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$. 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.

Методика экспериментального исследования

В качестве материала использовались порошки из композиционных материалов состава $\text{NiTi}(40\%)+\text{ГА}$, полученных методом механоактивированной обработки. Размер исходного порошка гидроксиапатита кальция - 150-300 мкм.

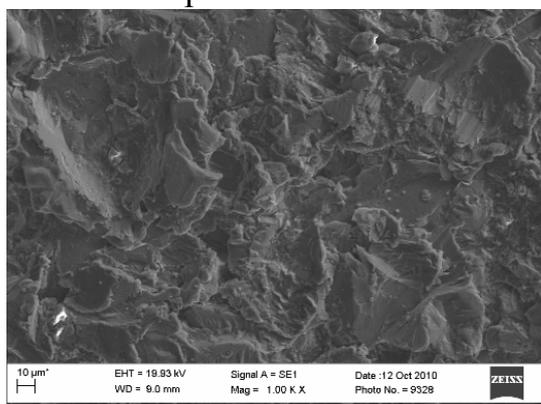
Механическую активацию (МА) исходных реакционных смесей $\text{NiAl}(40\%)+\text{ГА}$, проводили в планетарной шаровой мельнице АГО–2 с водяным охлаждением. Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы 160 см³. Диаметр шаров 8 мм, масса шаров в каждом барабане 200 грамм, масса образца 10 г. Центробежное 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 20x20x3 мм произведено на детонационно-газовой установке «Катунь-М»[3]. Перед нанесением покрытий проводилась пескоструйная обработка титановой основы с использованием порошка окиси алюминия Al_2O_3 фракции 250-380 мкм, а затем химическое травление путем протравливания поверхности в кислотном травителе, 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.

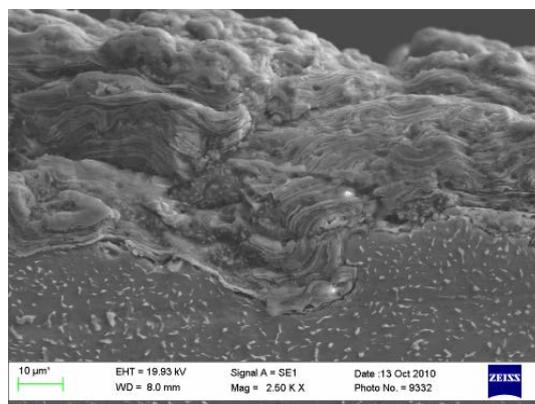
Результаты и обсуждение

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 детонационные покрытия из композиционного материала представлены на рис. 1



а)



б)

Рисунок 1 - РЭМ изображения покрытий состава:
 $\text{NiTi}(40\%)+\text{ГА}(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$:
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.

Библиографический список

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.

CALCIUM FOSFATNYKE COATINGS LAYERED COMPOSITES, CAUSED BY METHOD DETONATION-GAS SPRAYING

A. A. Popova, V. I. Yakovlev, A. A. Sitnikov

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.

Keywords: composite laminates, detonation-gas spraying.

ТОНКОСТРУЙНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ РЕЗКА МЕДНЫХ СПЛАВОВ*

А.Х. Рахимянов, инженер

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Выявлены технологические особенности тонкоструйной плазменной резки меди марки М1. Экспериментально доказана возможность эффективного использования технологической схемы Hi-Focus для раскроя медных сплавов. Установлены режимные параметры обработки, исключающие образование граты на нижней кромке реза.

Ключевые слова: тонкоструйная плазменная резка, медь и медные сплавы, технологические схемы, ширина реза, расплав, грат.

В работах [1 - 3] показаны перспективы использования современной технологии тонкоструйной плазменной резки для раскроя листовых материалов конструкционных углеродистых и легированных сталей. Данная технология отличается достижением хорошего качества и точности реза сталей при высокой производительности процесса. Потребности современного производства, вызванные необходимостью обработки широкого спектра металлических материалов, определяют технологические задачи, связанные с раскроем цветных металлов и сплавов. Достижение высокой точности и качества реза уже на стадии заготовительного производства позволяет исключить дополнительные операции механической обработки из технологического процесса изготовления деталей машин. Это позволит не только снизить трудоемкость изготовления продукции, но и минимизировать потери дорогостоящих цветных металлов и сплавов.

Настоящая работа посвящена выявлению особенностей раскроя медных сплавов с использованием тонкоструйной плазменной резки.

Для исследований использовался листовой прокат меди марки М1 ГОСТ 495-92 толщиной 2мм, химический состав и теплофизические свойства которой представлены в таблицах 1, 2.

В работе [1] отмечены рекомендуемые разработчиком (фирма Kjellberg, Германия) тонкоструйной плазменной резки технологические схемы Hi-Focus,

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, по государственному заданию № 2014/138, проект № 257.

Ni-Focus^{plus}, Ni-FocusF для раскроя материалов класса конструкционных углеродистых и легированных сталей. Для обработки меди и ее сплавов не существует конкретных данных по назначению режимных параметров для

Таблица 1 - Химический состав меди М1

	Cu+Ag, %	Примеси, %							
		Pb	Fe	Sn	Si	Sb	As	Mn	Ni
Согласно ТУ.У27.4- 00195452- 015-2003	99,90	Прочие элементы (исключая Ag, Ni, O ₂) всего 0,05%							
Фактически	99,97	0,0024	0,0015	0,0042	Сл.	0,0012	0,0001	-	0,0109

	Примеси, %									
	Bi	P	Zn	S	Ag	Cd	O ₂	Co	Cr	Se
Согласно ТУ.У27.4- 00195452- 015-2003							0,100			
Фактически	0,0004	0,0020	0,0023	0,0005	-	Сл.	0,0042	-	-	-

Таблица 2 - Теплофизические свойства меди М1

Плотность, г/см ³	Теплоем- кость, кал/г·град	Теплопроводность, ккал/м·час·град			Темпера- тура плавления, ° С	Удельная теплота плавления, кДж/кг
		20° С	200° С	500° С		
9,0	0,0913	330	321	309	1083	213

определенных технологических схем. Существуют общие рекомендации по их выбору из ряда технологических схем, предназначенных для раскроя углеродистых сталей [1] за исключением схемы Ni-Focus^{plus}.

Принимая во внимание то, что выбранная для экспериментов толщина реза составляет 2 мм, соответствующей технологической схемой следует признать схему Ni-Focus с токовым режимом $I = 35$ А. В качестве плазмообразующего газа используется кислород, а завихряющего – смесь кислорода и азота. Диапазон рекомендуемых скоростей соответствует $V = 1,3 - 1,7$ м/мин.

Анализ морфологий поверхностей реза, представленных на рисунке 1, свидетельствует о хорошем качестве раскроя без каких-либо следов осаждения элементов расплава. Это объясняется малой динамической вязкостью расплава меди и достаточными газодинамическими потоками для его удаления из канала реза.

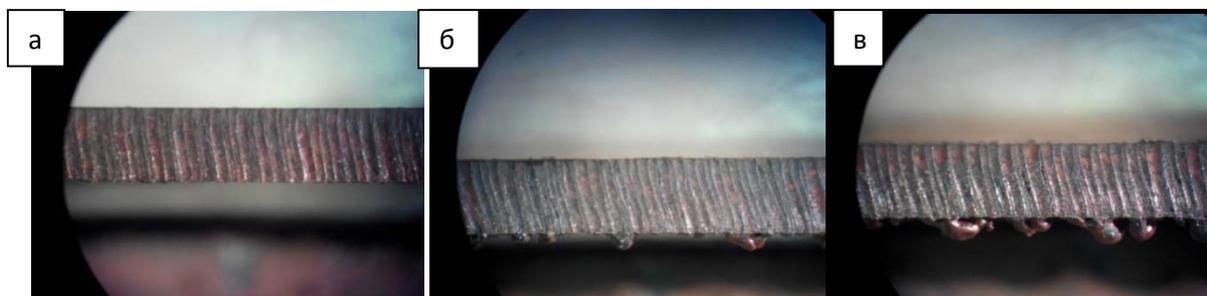


Рисунок 1 - Морфология поверхности реза меди М1 при разных скоростях обработки:

а - $V = 1,3$ м/мин; б - $V = 1,5$ м/мин; в - $V = 1,7$ м/мин

Повышение скорости реза до 1,7 м/мин приводит к образованию определенного количества грата на нижней кромке реза, который легко удаляется.

Анализ точности реза при раскрое меди показал на формирование определенной конусности, которая выражается разницей ширины реза на верхних и нижних его кромках (рисунки 2, 3).

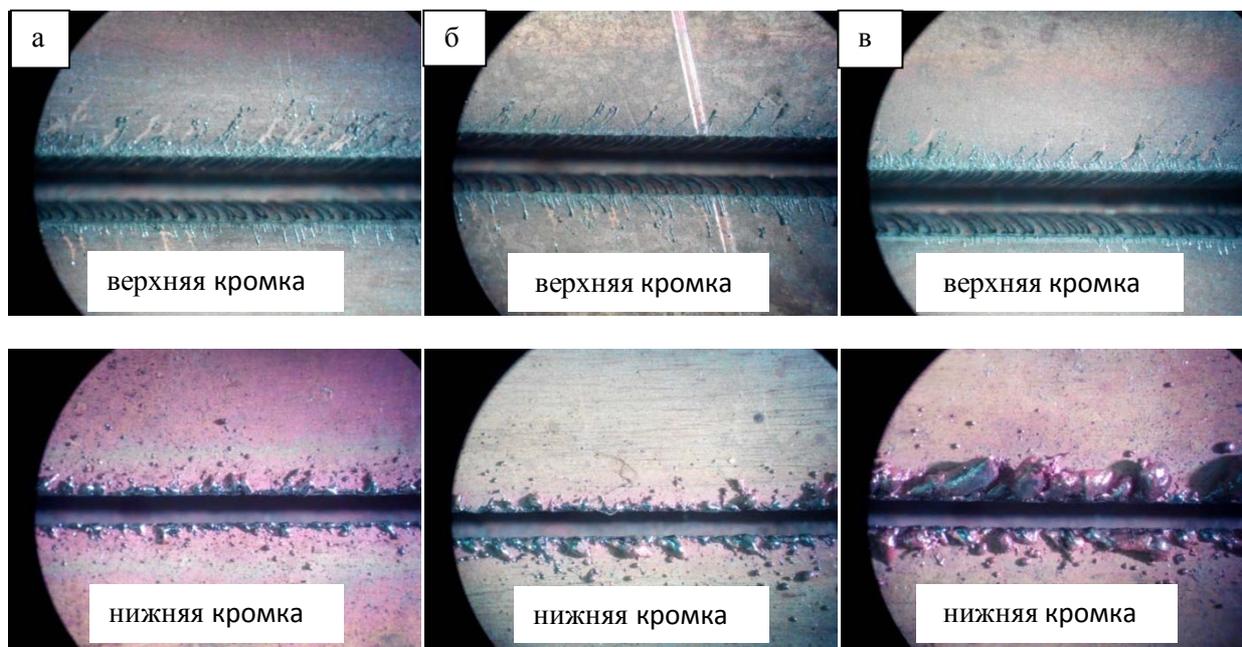


Рисунок 2 - Внешний вид реза по верхним и нижним кромкам:

а - $V = 1,3$ м/мин; б - $V = 1,5$ м/мин; в - $V = 1,7$ м/мин

Анализ результатов экспериментальных данных по раскрою меди марки М1 показал на хорошее качество реза без следов налипания продуктов расплава после обработки в исследованном диапазоне скоростей. Оптимальной скоростью реза является $V = 1,3$ м/мин, характеризуемая практически отсутствием грата на нижней кромке реза. Значительную конусность реза можно объяснить разной эффективностью теплопередачи от плазменной дуги обрабатываемому материалу в верхней и нижней части ее столба при высокой теплопроводности меди.

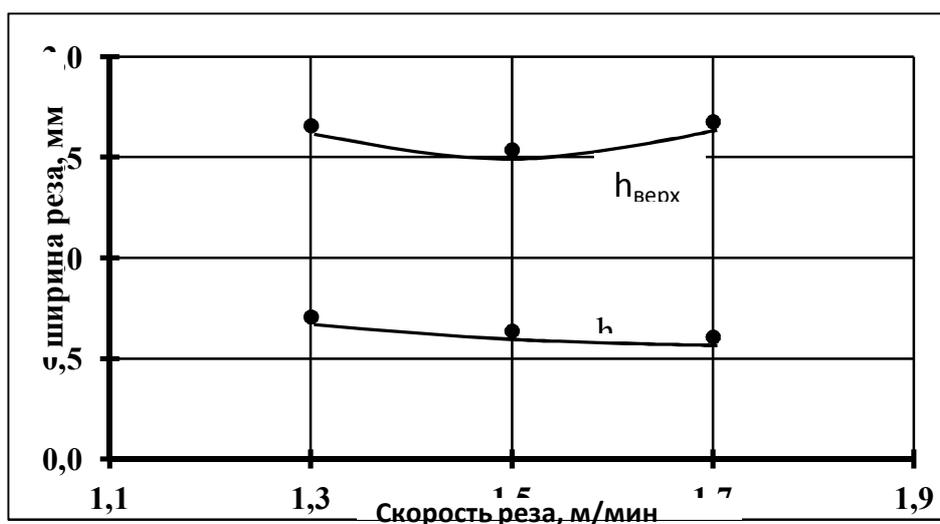


Рисунок 3 - Зависимость ширины реза меди М1 от скорости обработки:
 $h_{\text{верх}}$ – ширина реза по верхним кромкам; $h_{\text{низ}}$ – ширина реза по нижним кромкам

Библиографический список

1. Рахимянов А.Х. Выбор технологических схем и оптимизация режимов тонкоструйной плазменной резки конструкционных сталей // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2014. - № 2 (63). – С. 46-55.
2. Рахимянов А.Х. Исследование обрабатываемости стали Ст3 методом тонкоструйной плазменной резки / А.Х. Рахимянов, К.Х. Рахимянов, С.В. Шопф // Ползуновский альманах. – 2012. - № 1. – С. 121 – 124.
3. Исследование обрабатываемости стали 12Х18Н10Т методом тонкоструйной плазменной резки / Х.М. Рахимянов, К.Х. Рахимянов, А.Х. Рахимянов, С.В. Шопф, В.В. Захаров // Инновации в машиностроении: тр. 4

международ. науч.-практ. конф. – Новосибирск, 2-4 октября 2013 г. –
Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – С. 38 -44.

HIGH-PRECISION PLASMA CUTTING COPPER ALLOYS

Rakhimyanov A.Kh.

Technological features of high-precision plasma cutting copper grade M1 are identified. Experimentally demonstrated the ability to efficient use the Hi-Focus technological scheme for cutting copper alloys. Operating parameters processing excluding formation of burr at the lower edge of the cut are installed.

Keywords: high-precision plasma cutting, copper and copper alloys, technological schemes, cutting width, melt, burr.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННОГО РАСКРОЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ*

А.Х. Рахимьянов, инженер, **Б.А. Красильников**, к.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Рассмотрены вопросы выбора технологических схем тонкоструйной плазменной резки алюминиевых сплавов. Проведена оптимизация режимов обработки алюминия марки А5М по критериям качества реза. Установлено, что повышение скорости обработки до 1,2 – 1,4 м/мин приводит к снижению количества грата на нижней кромке реза и уменьшению его ширины.

Ключевые слова: тонкоструйная плазменная резка, технологические схемы, алюминиевые сплавы, канал реза, расплав, грат.

В работе [1] дано подробное обоснование использования современной технологии термической резки – тонкоструйной плазменной на этапе заготовительного производства, позволяющей исключить для определенной номенклатуры деталей последующую механическую обработку за счет достижения высоких показателей точности и качества раскроя углеродистых сталей. В современном производстве в ряде его отраслей широко используются изделия, выполненные из цветных металлов и сплавов. Учитывая особенности химического состава, теплофизических свойств, можно предполагать, что тонкоструйная плазменная резка данного класса материалов будет иметь определенные технологические особенности.

Настоящее исследование посвящено вопросам назначения технологических схем тонкоструйной плазменной резки, а также выбора параметров технологических режимов для обработки алюминиевых сплавов.

В общем случае для плазменных технологий раскроя ширина и форма реза, в итоге определяющие точность его геометрии, обусловлены как режимными параметрами процесса, так и конструктивными элементами плазматрона, формирующими геометрию столба дуги. Управление режимными параметрами осуществляется за счет напряжения, тока дуги, скорости резки,

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, по государственному заданию № 2014/138, проект № 257.

состава и параметров плазмообразующего газа. Основным конструктивным элементом плазмотрона, определяющим формирование столба плазменной дуги, является сопло. Для традиционной технологии плазменной резки характерна низкая точность геометрии реза, определяемая его конусностью, что объясняется физическими особенностями взаимодействия плазменной дуги и обрабатываемого материала. Специфика формирования реза определяется наличием в структуре плазменной дуги трех характерных участков – столба дуги, анодного пятна и факела, имеющих разную степень энерговыклада в процесс термической резки [2].

Дальнейшее развитие технологии плазменно-дуговой резки для повышения ее эффективности как с позиций достижения высокой производительности процесса, так и обеспечения показателей точности и качества реза, характерных для лазерной обработки, реализовано в технологии тонкоструйной плазменной резки. Отличительным ее моментом является сжатие и стабилизация плазменной дуги завихряющим газом. С технологических позиций сжатие плазменной дуги повышает реализуемую плотность мощности, а ее стабилизация – улучшает качество реза, уменьшает графообразование на нижней кромке реза, повышает точность реза и снижает оплавление верхних его кромок.

Существует ряд технологий тонкоструйной плазменной резки - Hi-Focus, Hi-Focus^{plus}, Hi-FocusF, предназначенных для раскроя различных классов металлических материалов. Технологическая схема Hi-Focus реализуется на токах от 20 до 50 А и предназначена для реза толщин до 6-8 мм. Отличительная особенность технологии Hi-FocusF заключается в использовании максимального тока $I = 130$ А (для установки Hi-Focus 130i) для широкого диапазона толщин реза (от 7 до 25 мм). Выбор составов плазмообразующего (режущего) и завихряющих газов определяется классом обрабатываемых металлических материалов. Технология Hi-Focus^{plus} ориентирована на повышение производительности (~ 1,5 раза) реза только углеродистых сталей за счет повышения давления плазмообразующего газа. Это обеспечивает интенсификацию удаления продуктов расплава из канала реза, а использование кислорода в качестве режущего газа позволяет задействовать в образовании канала реза в углеродистых сталях и механизма кислородной резки.

Таким образом, для раскроя цветных металлов и сплавов выбор технологических схем ограничивается только парой: Hi-Focus и Hi-FocusF. На рисунке 1 представлены технологические параметры раскроя алюминиевых сплавов для технологической схемы Hi-Focus, а на рисунке 2 - для Hi-FocusF.

Из рисунка 1 следует, что технологическая схема Ni-Focus может быть реализована для толщин реза от 1 до 6 мм на токах от 30 до 50 А. В качестве плазмообразующего (режущего) газа использовался воздух при давлении 5-6 бар и расходе 30-35 условных единиц шкалы прибора установки Ni-Focus 130i. Резка на токах от 30 до 50 А осуществляется на скоростях 1,8 м/мин для толщины реза 1 мм и 1,3 м/мин для толщины реза 6 мм. При этом ширина реза составляла 1,5 и 1,9 мм. Для стабилизации дуги в качестве завихряющего газа используется азото-водородная смесь (95/5 %) при давлениях 5-6 бар и расходах 60-75 условных единиц.

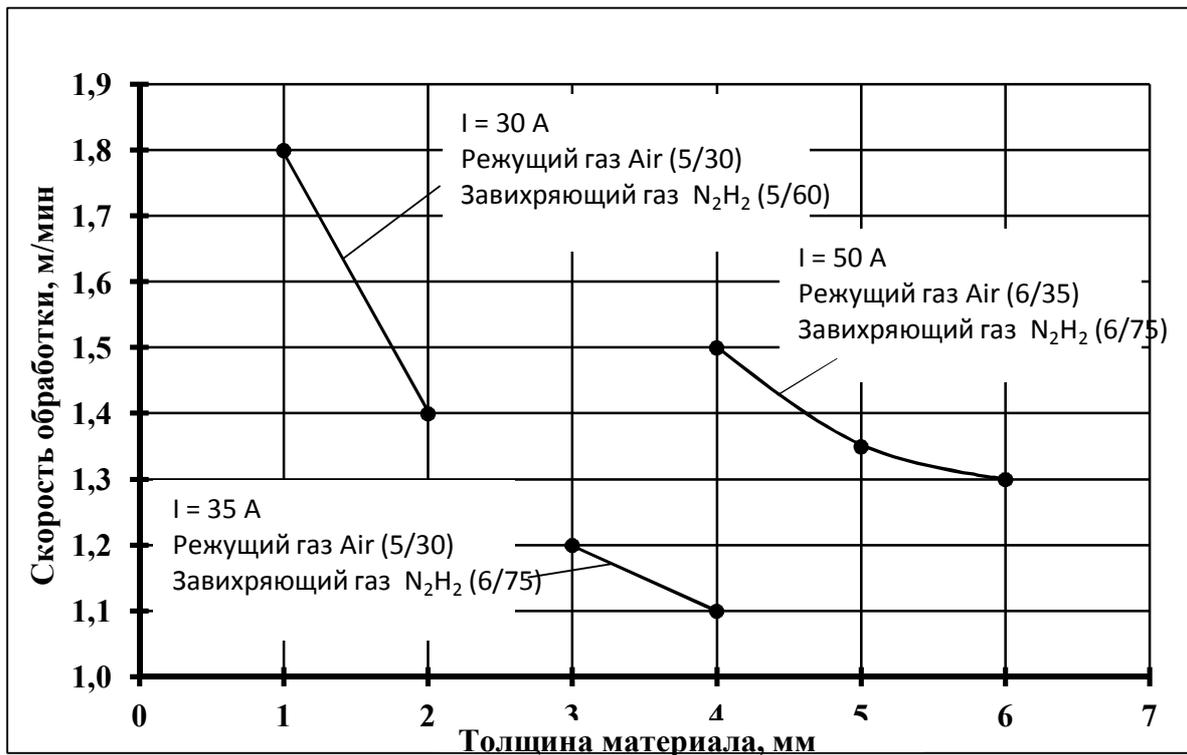


Рисунок 1 - Технологические параметры раскроя алюминиевых сплавов для технологической схемы Ni – Focus

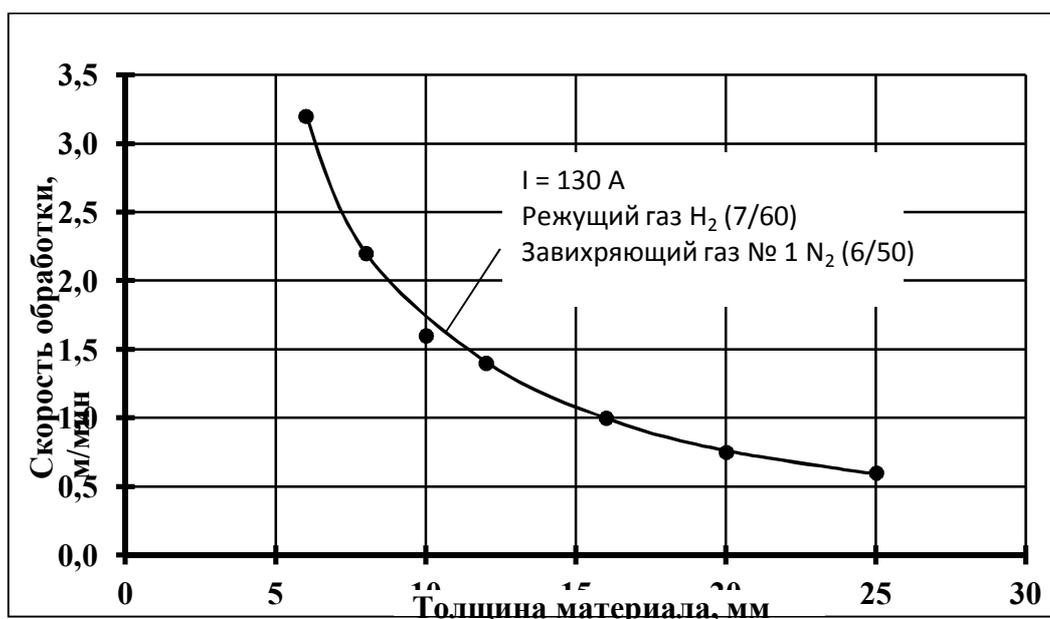


Рисунок 2 - Технологические параметры раскроя алюминиевых сплавов для технологической схемы Ni – FocusF

Переход к технологической схеме Ni – FocusF предполагает замену режущего газа с воздуха на водород, а завихряющий газ становится двухкомпонентным, состоящим из чистого азота и азото-водородной смеси.

Результаты, представленные на рисунках 1 и 2, могут рассматриваться как режимные области для выбора технологических схем обработки исследуемого класса металлических материалов. Для выявления оптимальных режимов раскроя металла конкретной марки, в определенном состоянии поставки необходимо проведение экспериментальных исследований с оптимизацией обработки по критериям качества реза.

В качестве представителя класса алюминиевых сплавов использован алюминий марки А5М ГОСТ 21631-76 в виде листового проката толщиной 3 мм. Химический состав и теплофизические свойства данного материала представлены в таблицах 1,2.

Таблица 1 - Химический состав алюминия А5М

	Массовая доля химических элементов, %								
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ga	Ti
Основные элементы согласно ГОСТ 21631-76	не менее 99,50	0,25	0,30	0,02	0,05	0,03	0,06	0,03	0,02
Фактически	99,49	0,08	0,33	0,03	0,003	0,001	0,01	0,009	0,006

Таблица 2 - Теплофизические свойства алюминия А5М

Плотность, г/см ³	Теплоемкость, кал/г·град	Теплопроводность, ккал/м·час·град	Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления, кДж/кг
2,70	0,2129	197	660	390

Характерной особенностью при тонкоструйном плазменном раскросе алюминиевых сплавов является образование мощного грата на нижней кромке реза (рисунок 3), что можно объяснить большой вязкостью расплава исследуемого материала. Повышению вязкости расплава в канале реза может способствовать образование окислов алюминия при взаимодействии расплава с кислородом воздуха, используемого в качестве режущего газа. Высокая динамическая вязкость расплава алюминия при малой его плотности препятствует полному удалению продуктов реза из канала, что сопровождается их осаждением нижних его кромках в виде грата. Следует отметить увеличение количества грата при снижении скорости обработки, что объясняется как увеличением объема жидкой фазы в канале реза, так и ослаблением газодинамического потока в нем (рисунок 3, а,б,в).



Рисунок 3 - Формирование грата на нижней кромке реза алюминия А5М при обработке на скоростях: а – $V = 1,0$ м/мин; б - $V = 1,2$ м/мин; в - $V = 1,4$ м/мин

Изменение геометрических параметров реза алюминия в зависимости от скорости обработки показано на рисунке 4.

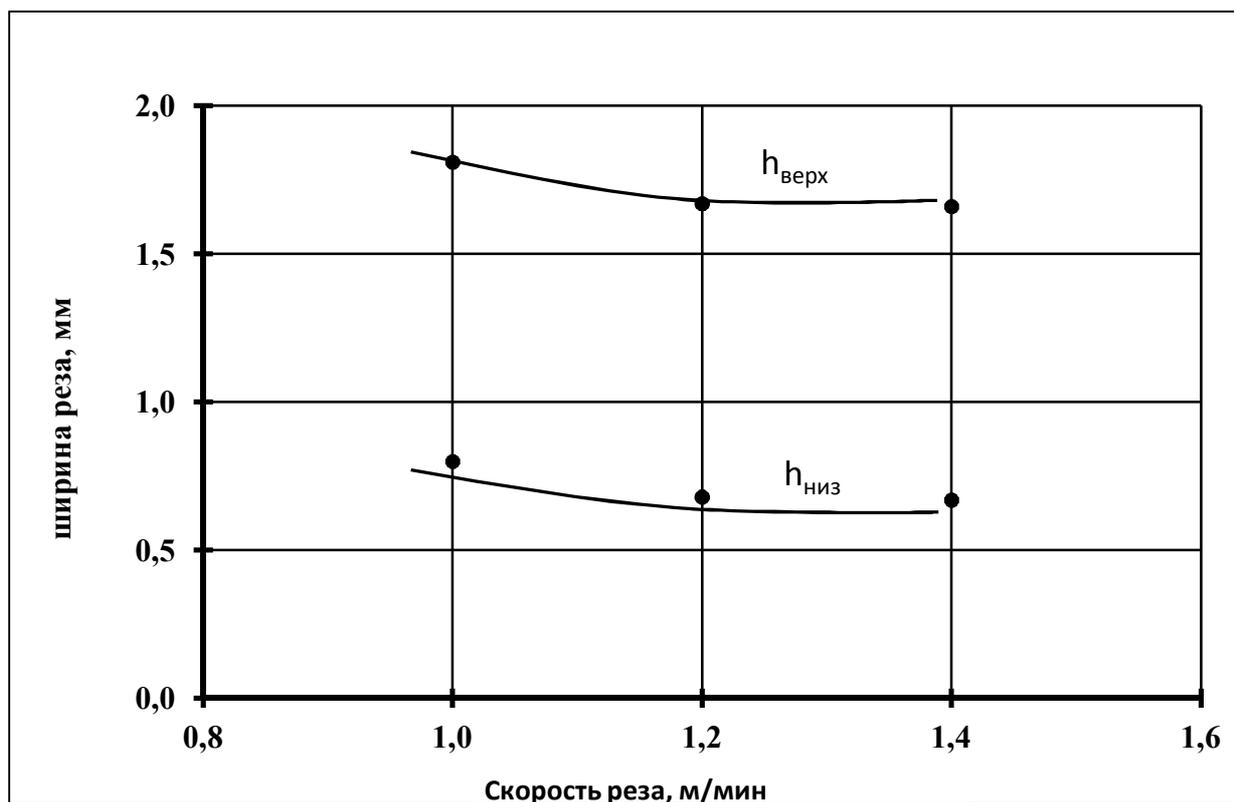


Рисунок 4 - Зависимость ширины реза от скорости обработки алюминия А5М: $h_{\text{верх}}$ – ширина реза по верхним кромкам; $h_{\text{низ}}$ – ширина реза по нижним кромкам

Снижение скорости обработки приводит к расширению канала как на входе, так и выходе реза, при этом угол его наклона меняется незначительно (с $9,1$ до $9,3$ °).

Таким образом, наиболее приемлемые скорости раскроя алюминиевых сплавов находятся в диапазоне $1,2 - 1,4$ м/мин, как с позиций уменьшения количества грата, так и формирования минимальной ширины реза. Дальнейшее повышение скорости обработки нецелесообразно, так может привести к непрорезу материала на всю толщину.

Библиографический список

1. Рахимьянов А.Х. Выбор технологических схем и оптимизация режимов тонкоструйной плазменной резки конструкционных сталей // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2014. – № 2 (63). – С. 46-55.
2. Г.В. Полевой, Г.К. Сухинин Газопламенная обработка металлов.- М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 336 с.

TECHNOLOGICAL FEATURES PLASMA CUTTING ALUMINUM ALLOYS

Rakhimyanov A.Kh., Krasilnikov B.A.

The problems of choice of technological schemes high-precision plasma cutting aluminum alloys are considered. The optimization of treatment regimes aluminum A5M by the criteria of cutting quality is presented. It has been established that the increase in processing speed to 1,2 – 1,4 m / min leads to a decrease in the amount of burr on the bottom edge of cutting and reduce its width.

Keywords: the high-precision plasma cutting, technological schemes, aluminum alloys, channel cut, melt, burr.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ НА КАЧЕСТВО ОБРАБОТКИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т*

А.Х. Рахимянов, инженер, **Х.М. Рахимянов**, д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск

Рассмотрены возможные технологические схемы обработки металлических материалов класса легированных сталей. Дано обоснование выбора технологии Hi-Focus для тонкоструйной плазменной резки нержавеющей стали 12Х18Н10Т заданной толщины. Проведены экспериментальные исследования по оптимизации технологических режимов по току плазменной дуги и скорости реза по критериям качества обработки – количеству грата на нижней кромке реза и шероховатости его поверхности.

Ключевые слова: тонкоструйная плазменная резка, технологические схемы, скорость реза, плазмообразующий и завихряющий газы, морфология поверхности, грат, плазменная дуга.

Введение

Современные технологии разделительной резки металлических материалов основаны на использовании электрофизических процессов. Возможность концентрации энергии в зоне обработки объясняет достигаемые эффекты в обработке различного класса металлических материалов. Использование специфических физических процессов определяет принципиальные отличия этих технологий от традиционных методов, основанных преимущественно на механическом воздействии на обрабатываемые материалы.

Весьма привлекательным методом для раскрытия листовых металлических материалов является тонкоструйная плазменная резка, отличительной особенностью которой является сочетание высокой производительности обработки, присущей плазменно-дуговому способу, с достижением показателей точности и качества реза, характерных для лазерной обработки. Данный факт позволяет рассматривать тонкоструйную плазменную резку как альтернативу лазерной обработке для качественной разделительной резки листовых металлических материалов в диапазоне толщин от 2 до 10 мм.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, по государственному заданию № 2014/138, проект № 257.

Материалы и методы исследования

Для экспериментальных исследований тонкоструйной плазменной резки использовался листовой прокат нержавеющей стали аустенитного класса ГОСТ 5582-75 толщиной 3мм. В таблицах 1-3 представлен химический состав, механические свойства и теплофизические характеристики исследуемого материала.

Таблица 1 - Химический состав стали 12X18H10T

	Массовая доля химических элементов, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P
Основные элементы по ГОСТ 5582-75	не более 0,12	не более 0,8	не более 2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	5·с-0,8	0,020	0,035
Фактически	0,05	0,54	1,22	17,30	9,19	0,32	0,0007	0,024

Таблица 2 - Механические свойства стали 12X18H10T

Режим термической обработки листов	Временное сопротивление, δ_b , МПа	Предел текучести, δ_t , МПа	Относительное удлинение, δ_5 , %
	не менее		
Закалка 1050-1080 °С, охлаждение в воде или на воздухе	530	205	40

Таблица 3 - Теплофизические свойства стали 12X18H10T

Плотность, г/см ³	Теплоемкость, кал/г·град	Теплопроводность, ккал/м·час·град			Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления, кДж/кг
		20° С	200° С	500° С		
7,80	0,1077	12-13	14-15	18	1460-1500	277

Фактическое значение химического состава стали определялось на оптико-эмиссионном спектрометре модели ARL Quantris 3460 OES с точностью оценки концентрации легирующих элементов не ниже 0,001%.

Анализ геометрии поверхности для оценки точности реза проводили на оптическом микроскопе модели AXIO Observer A1m с использованием методов светлого и темного поля. Съемка изображений с микроскопа осуществлялась камерой модели AxioCam MRc5.

Микрогеометрическое состояние поверхности реза исследовалось на профилографе-профилометре модели 252 с цифровой индикацией результатов

измерений. Для получения трехмерного изображения топографии поверхности использовался комплекс ZIGO New View 7300, реализующий современные технологии трехмерной сканирующей интерферометрии.

Методика оценки геометрии реза описана в работе [1].

Экспериментальные исследования проводились на технологическом комплексе на базе установки тонкоструйной плазменной резки Hi-Focus 130i, структура и состав которого изложены в работе [1].

Обсуждение результатов

Поскольку тонкоструйная плазменная резка является термическим способом разделения материалов, то видно, что основным параметром, определяющим процесс обработки, является плотность мощности плазменной дуги. Для реализации процесса раскроя определенной толщины конкретного материала необходимо назначение скорости перемещения теплового источника относительно изделия ниже критической, обеспечивающей сквозной прорез материала. Исходя из этих соображений разработчиком технологий тонкоструйной плазменной резки (фирма Kjellberg, Германия) предложен ряд технологических схем (Hi-Focus, Hi-Focus^{plus}, Hi-FocusF) для различных материалов и толщин реза. Класс обрабатываемого материала в пределах технологических схем определяет выбор плазмообразующего (режущего) и завихряющего газов, а также назначение их параметров (расход и давление), что во многом определяет характер газо и гидродинамических потоков в канале реза.

Оптимизация скорости, как параметра технологических режимов, направлена на обеспечение таких показателей качества обработки как: отсутствие грата на нижней кромке реза, достижение его точности, минимизация оплавления на верхних кромках.

На рисунке 1 представлены режимные параметры раскроя легированных сталей для возможных технологических схем Hi-Focus и Hi-FocusF.

Для оптимизации режимных параметров по критериям качества обработки при раскрое определенной марки материала в первую очередь необходим подбор соответствующей технологической схемы в зависимости от толщины разрезаемого материала. Это позволит установить токовую характеристику процесса и соответствующие составы и параметры режущего и завихряющего (завихряющих) газов. В рамках выбранной технологической схемы назначение режимов обработки сводится к установлению взаимосвязи параметров качества реза со скоростью обработки.

Исходя из вышеизложенного, и учитывая, что толщина реза равна 3 мм, целесообразным представляется выбор технологической схемы Hi-Focus с токовой характеристикой $I = 30$ А, режущим газом Air (воздух), завихряющим

газом – азото-водородной смесью в процентном содержании 95/5 % с давлениями 5 бар и расходами от 30 до 80 условных делений по шкале прибора установки Ni-Focus 130i, соответственно (рисунок 1). Принимая во внимание, что рекомендованная скорость реза $V = 1,1$ м/мин является ориентировочной для данного класса материалов, варьирование данным режимным параметром в экспериментальных исследованиях осуществлялось в диапазоне $V = 0,9 - 1,3$ м/мин.

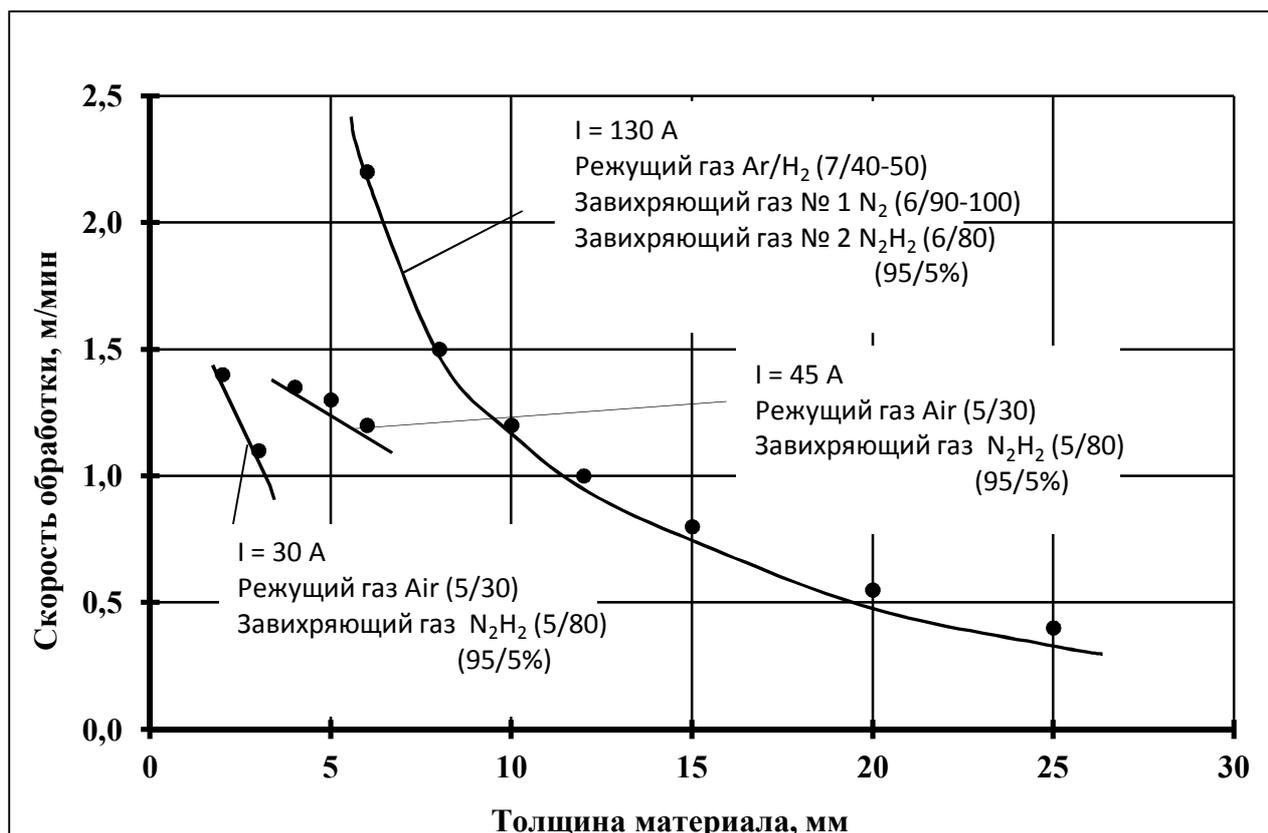


Рисунок 1 - Режимные параметры раскроя легированных сталей для технологических схем Ni-Focus, Ni-FocusF

Внешний вид поверхности реза исследуемой стали (рисунок 2) свидетельствует о наличии на ней разных участков. Так на фоне основного участка, образованного следами движущейся плазменной дуги, у верхней кромки реза имеет место участок с отличной от основной морфологией. Образование такого участка можно объяснить тем, что после расплавления металла в зоне реза и по мере удаления его основной части газодинамическими потоками, на верхнем участке, вследствие сохранения высоких температур из-за низкой теплопроводности стали 12X18H10T протекают химические реакции окисления легирующих элементов, как атмосферным воздухом, так и неионизированной частью режущего газа. Это приводит к образованию в

расплаве тугоплавких соединений типа Cr_2O_3 , увеличивающих вязкость расплава и мешающих полному его удалению из зоны расплава. В связи с этим часть его продуктов осаждается в верхней части, формируя подобную морфологию реза. Подтверждением данного объяснения служит результат роста участка осаждения продуктов расплава на поверхности реза при снижении энергетических и гидродинамических характеристик процесса, проявляющихся при уменьшении тока резки и скорости обработки (рисунок 3).



Рисунок 2 - Внешний вид поверхности реза стали 12X18Н10Т после тонкоструйной плазменной резки ($I = 30\text{A}$, $V = 1,3\text{ м/мин}$)



Рисунок 3 - Увеличение зоны осаждения расплава на поверхности реза стали 12X18Н10Т после тонкоструйной плазменной резки при уменьшении тока и скорости обработки ($I = 26\text{ A}$, $V = 0,9\text{ м/мин}$)

Низкая теплопроводность нержавеющей стали 12X18Н10Т обуславливает высокую чувствительность качества реза к энергетическим параметрам плазменного раскроя. В связи с этим, наряду с установлением взаимосвязи качества реза со скоростью обработки, необходимо оценить и влияние тока

резки. Так как максимальное значение тока определяется типоразмером сопла, то его изменение возможно лишь в меньшую сторону. Это ограничение и определило диапазон варьирования от $I = 26$ А до $I = 30$ А.

Увеличение силы тока при плазменном раскросе стали 12Х18Н10Т приводит к снижению шероховатости поверхности и уменьшению количества грата на нижней кромке реза (рисунок 4).

Увеличение силы тока ведет к снижению участка осаждения расплава (рисунок 5). Так при максимальном значении тока ($I = 30$ А) отмеченный участок рельефа на поверхности реза минимальный по величине (рисунок 5, в).

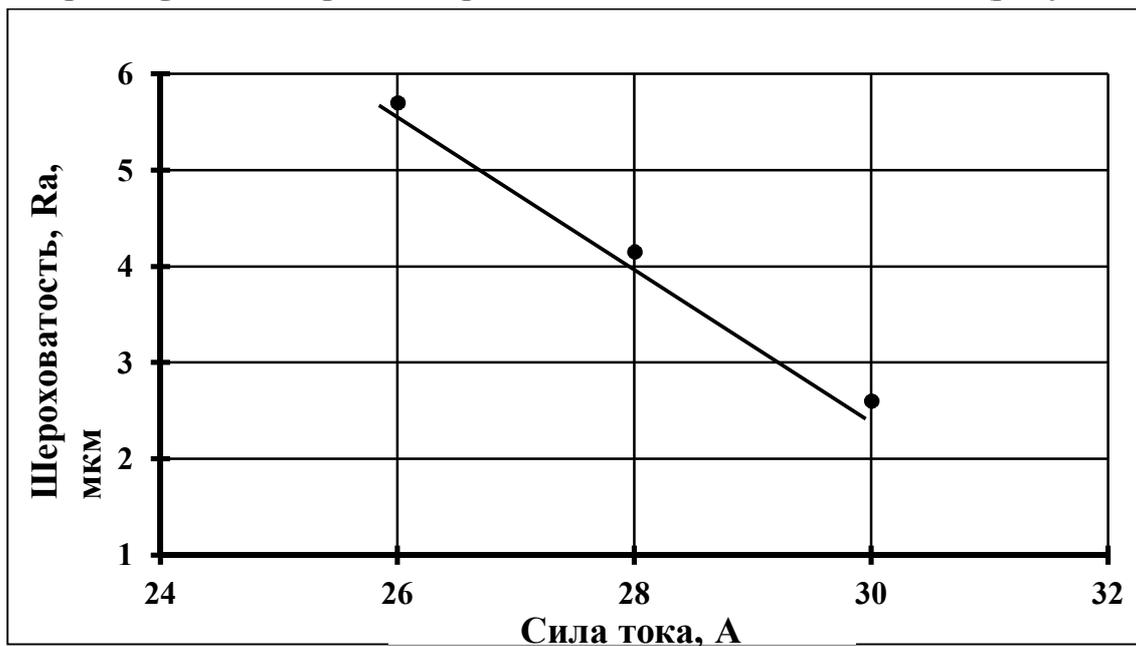


Рисунок 4 - Влияние силы тока на шероховатость поверхности реза стали 12Х18Н10Т ($V = 1,1$ м/мин)

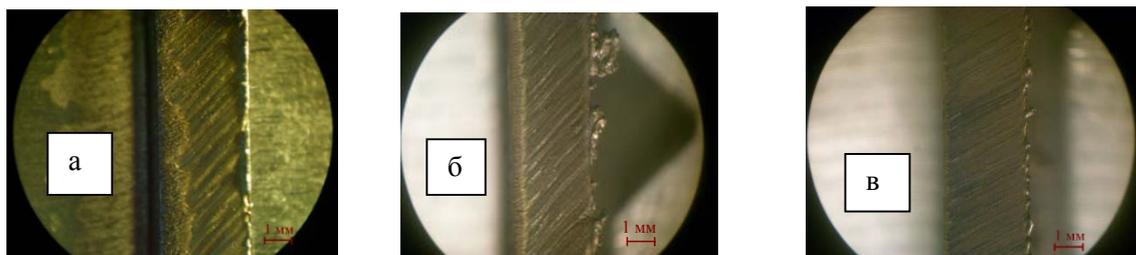


Рисунок 5 - Морфология поверхности реза стали 12Х18Н10Т при различных токах тонкоструйной плазменной резки:

а - $I = 26$ А; б - $I = 28$ А; в - $I = 30$ А; $V = 1,1$ м/мин

Увеличение скорости обработки при раскросе нержавеющей стали 12Х18Н10Т приводит к росту шероховатости в исследованном диапазоне токов резки (рисунок 6).

Влияние скорости обработки на шероховатость поверхности реза имеет определенное противоречие. Несмотря на то, что снижение скорости ведет к появлению и росту участка осаждения элементов расплава на рельефе поверхности реза, ее шероховатость при этом снижается. Этот факт можно объяснить тем, что при повышении скорости реза морфология поверхности имеет более грубые следы от плазменной дуги в виде рисок, которые по мере прохождения расплава частично заполняются шламом, и шероховатость при этом ухудшается.

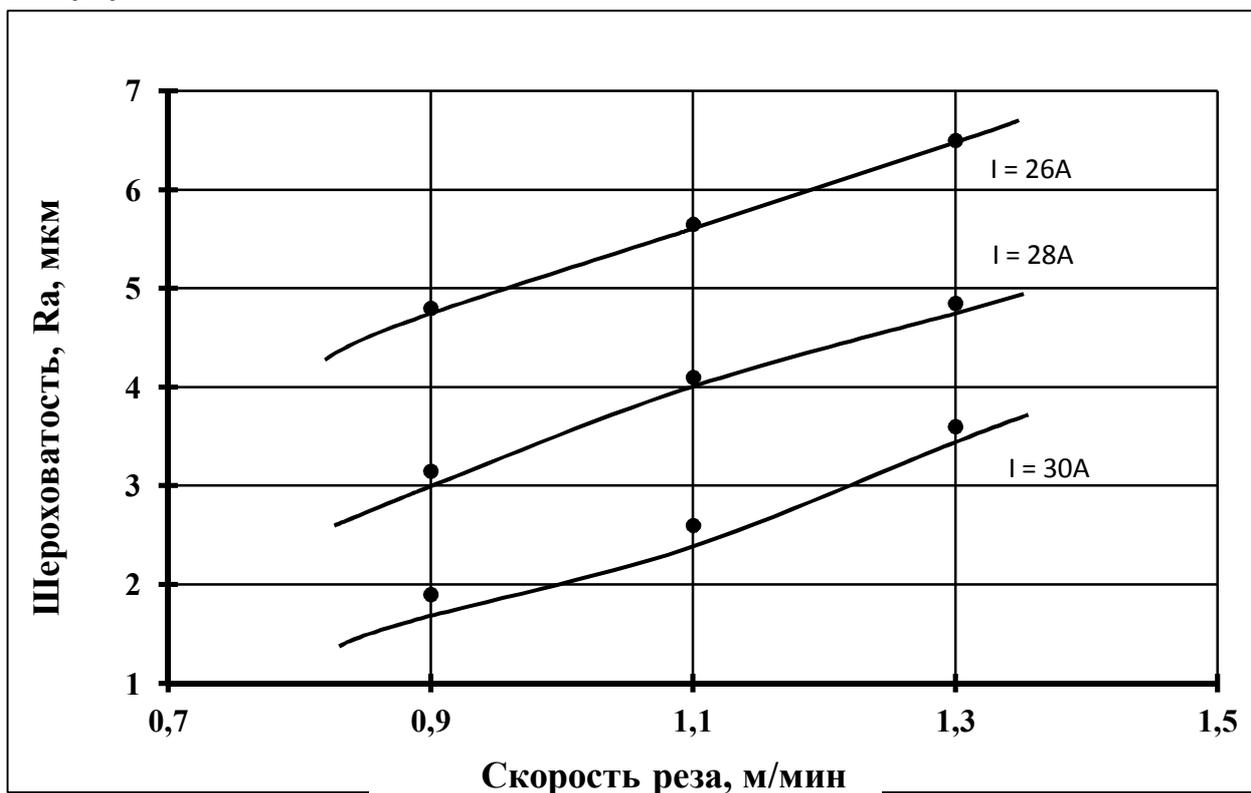


Рисунок 6 - Влияние скорости обработки на шероховатость поверхности реза стали 12X18H10T

Выводы

При выборе технологической схемы раскроя металлических материалов класса легированных сталей необходимо назначать вариант с минимальным токовым режимом для требуемой толщины реза. При экспериментальном исследовании технологической схемы Ni-Focus для раскроя листового материала нержавеющей стали 12X18H10T морфологический анализ поверхности реза позволил выявить наличие двух участков по каналу реза. На верхнем участке наблюдается осаждение части расплава обрабатываемого материала, склонного к образованию тугоплавких соединений расплава с атмосферным воздухом и неионизированной частью плазмообразующего газа. Это приводит к повышению вязкости расплава и затруднению его удаления из канала реза.

Нижний участок представляет собой совокупность следов воздействия плазменной дуги на обрабатываемый материал в виде рисок, частично заполненных элементами расплава.

Экспериментально установлено, что снижение тока плазменной дуги и увеличение скорости обработки в исследованных диапазонах приводят к ухудшению шероховатости поверхности реза и увеличению грата на нижней его кромке.

Библиографический список

1. Рахимьянов А.Х. Выбор технологических схем и оптимизация режимов тонкоструйной плазменной резки конструкционных сталей // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2014. - № 2 (63). – С. 46-55.

IMPACT MODES OF HIGH-PRECISION PLASMA CUTTING ON QUALITY PROCESSING STAINLESS STEEL 12X18H10T

Rakhimyanov A.Kh., Rakhimyanov Kh.M.

The possible technological schemes of processing of metallic materials grade alloy steels are considered. Provide a rationale for the choice of Hi-Focus technology for high-precision plasma cutting stainless steel 12X18H10T predetermined thickness. Experimental study on the optimization of technological regimes current plasma arc and cutting speed quality of processing by criteria - the number of burr on the bottom edge of the cut and its surface roughness is presented.

Keywords: the high-precision plasma cutting, technological schemes, processing speed, plasma gas and swirl gas, surface morphology, burr, plasma arc.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ РАСТВОРЕНИЕ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ-4 В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **Б.А. Красильников**, к.т.н., профессор, **Н.П. Гаар**, к.т.н., **А.И. Журавлев**, **А.А. Костюк**
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Проведены исследования электрохимического растворения титанового сплава ОТ-4 в условиях лазерного воздействия длиной волны 1,06 мкм в 10% водном растворе хлорида натрия. Определено, что введение лазерного излучения в зону обработки увеличивает плотность тока в 7 раз.

Ключевые слова: титановый сплав, электрохимическая обработка, лазерно-электрохимическая обработка, оксидные пленки

Введение

Титановые сплавы широко распространены в различных отраслях промышленности. Они обладают рядом свойств, обеспечивающих их широкую область применения: малой плотностью, высокой механической прочностью и коррозионной стойкостью. Однако, именно уникальные свойства титановых сплавов создают проблемы для традиционной механической обработки. В этой связи электрофизические технологии стали альтернативой для создания изделий из титановых сплавов. Одним из них является электрохимическая размерная обработка, применяемая для титановых сплавов начиная с 70-х годов 20-го века [1]. Несмотря на этот факт, высокая коррозионная стойкость титанового сплава остается причиной низкой производительности процесса обработки. Как один из вариантов выхода из данной ситуации может быть использование в качестве активатора процесса электрохимического растворения лазерного излучения, обладающего рядом уникальных свойств [2, 3]. Этот метод получил название лазерно-электрохимической размерной обработки и был запатентован в 2010 году [4].

Для развития нового метода необходимо проведение исследований анодного растворения токопроводящих материалов в условиях лазерного воздействия с целью рационального подбора электрохимических параметров процесса и лазерного воздействия.

Методика экспериментального исследования

Анодное поведение материалов исследовалось при помощи потенциодинамического метода, основанного на развертке потенциала с регистрацией установившегося значения тока. Это позволило определить участки активного и пассивного электрохимического растворения токопроводящего материала.

Развертка потенциала и регистрация значения тока в данной работе осуществлялась при помощи потенциостата-гальваностата IP-Pro-M, к которому посредством соответствующих клемм присоединяется катод, анод (образец материала) и электрод-сравнения (платиновый), установленные в электрохимическую ячейку. Электрохимическая ячейка, которая использовалась в экспериментах и подробно описана в работе [6], имеет специальное кварцевое окно. Это позволяет использовать ее как в электрохимических исследованиях в стационарных условиях (без лазерного излучения), так и в электрохимических исследованиях при лазерной активации. Такой подход позволил обеспечить идентичные условия проведения экспериментов.

Сама установка, состоящая из потенциостата-гальваностата, электрохимической ячейки и источника лазерного излучения с оптической системой, подробно описана в работе [7].

В настоящей работе проводились исследования анодного поведения титанового сплава ОТ-4. В качестве электролита использовался 10% водный раствор хлорида натрия. Данный электролит является оптически проницаемым для большинства длин волн лазерного излучения, что является одним из требований к применяемым в лазерно-электрохимической обработке электролитам [5].

Лазерное излучение использовалось с длиной волны 1,06 мкм. Частота следования импульсов составляла - 2,5 кГц, 5кГц и 10 кГц. Эти значения были выбраны согласно данным работ [8, 9]. Максимальная плотность мощности излучения составляла $1,39 \cdot 10^2$ Вт/см². Диапазон исследуемых мощностей согласно [10] является благоприятным для сочетания лазерного излучения с электрохимическими процессами анодного растворения.

Для исследования рельефа поверхности образцов в условиях лазерной активации электрохимического растворения использовалась растровая электронная микроскопия. Исследования выполнялись на микроскопе Zeiss EVO 50 XVP при ускоряющем напряжении 10 кВ.

Результаты и обсуждение

Поляризационные кривые анодного растворения в 10% хлориде натрия, полученные при электрохимическом растворении в стационарных условиях и в условиях лазерного воздействия представлены на рисунке 1.

Анализ поляризационных кривых указывает на тот факт, что достигаемые значения плотности тока при лазерном воздействии составляют 550 мА/мм², что значительно выше, чем в стационарных условиях (80 мА/мм²). Наибольшее значение плотности тока достигается при частоте следования импульсов 5 кГц. Это подтверждает эффективность данного метода активации электрохимического растворения. При этом начало процесса электрохимического растворения смещается в сторону больших значений потенциалов. Так без наложения лазерного излучения процесс начинается с 1,5 В, а при наложении лазерного излучения с частотами следования импульсов 2,5 кГц и 10 кГц – 2,65 В, 5 кГц -2,25 В. Вероятно это объясняется тем, что титан

может выходить в разных валентностях при разных потенциалах, а следовательно, образовывать различные пленки. Наложение лазерного излучения, возможно, не только может их разрушать, но и в какой-то мере может способствовать их осаждению на обрабатываемой поверхности, но с другой структурой. Однако, ввиду того, что пленки титана имеют малую толщину и хорошую оптическую прозрачность, данный факт визуальным наблюдением не может быть обнаружен.

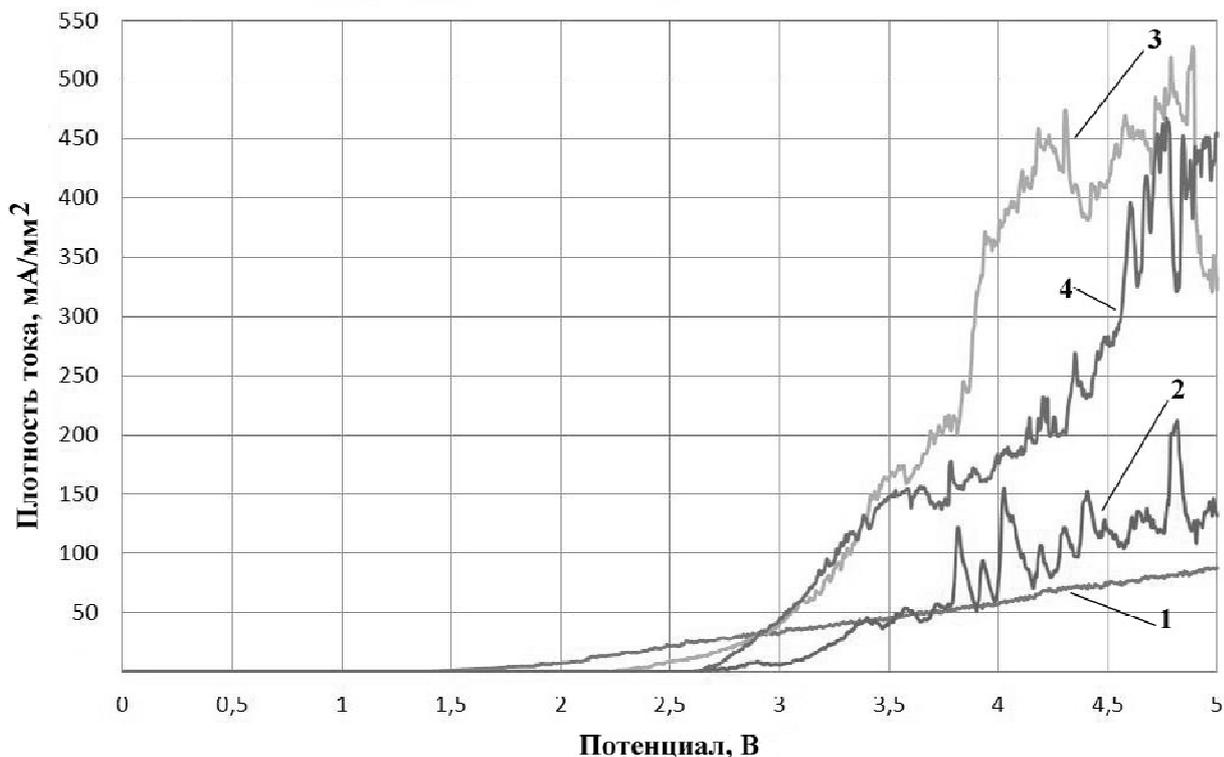
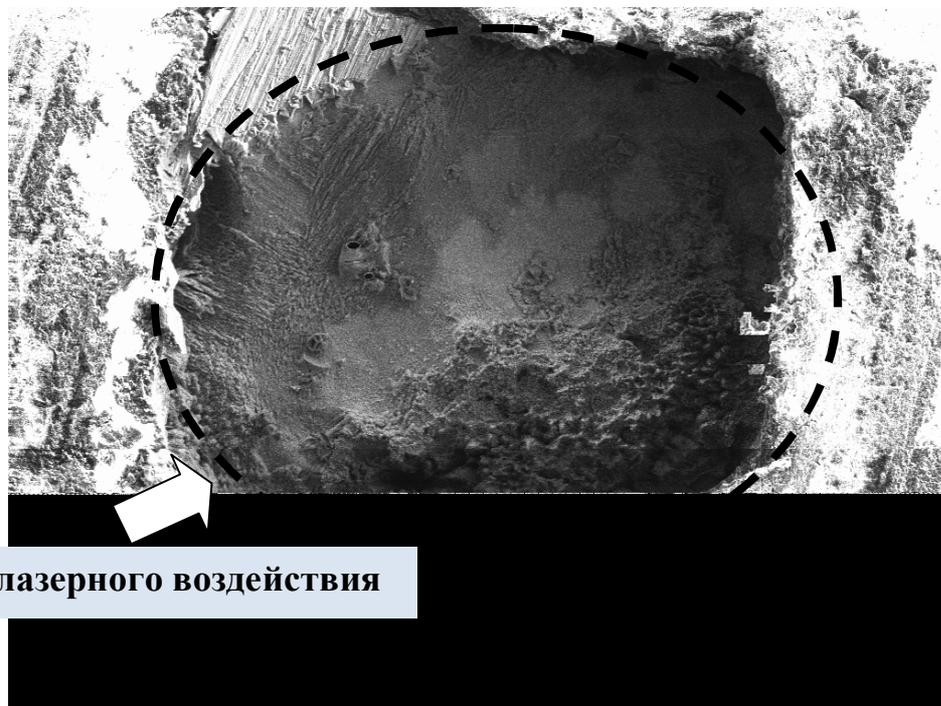


Рисунок 1 - Поляризационные кривые, полученные при помощи потенциодинамического метода в 10% водном растворе хлорида натрия: 1-в стационарных условиях, 2- с наложением лазерного излучения 2,5 кГц; 3- с наложением лазерного 5 кГц; 4- с наложением лазерного излучения 10 кГц

Подтверждением различия электрохимического растворения и растворения в зоне наложения лазерного излучения можно считать фотографию образца, сделанную на растровом электронном микроскопе и представленную на рисунке 2. Зона лазерного воздействия характеризуется большим количеством растворенного материала, чем в зоне просто электрохимического воздействия. В зоне электрохимического воздействия без наложения лазерного излучения растворения практически нет, видны следы от шлифовальной шкурки, при помощи которой производилась предварительная зачистка образца перед исследованием.

Это позволяет говорить том, что электрохимическое растворение, как и предполагалось, носит локальный характер. Кроме того, совпадение наиболее эффективного значения частоты следования импульсов (5кГц) для титанового сплава (рис. 1) и нержавеющей стали [9], позволяет предположить о возможном

задействовании основного механизма активации электрохимического растворения, вероятно связанного с активацией электролита - 10% водного раствора хлорида натрия.



Место лазерного воздействия

Рисунок 2 - Внешний вид образца после электрохимического растворения в условиях лазерного воздействия

Выводы

Лазерное излучение с длиной волны 1,06 мкм оказывает активирующее действие на применяемый электролит (10% водный раствор хлорида натрия), что позволяет повысить его электрохимическую активность, благодаря чему, анионы электролита разрушают пленку, образовавшуюся на поверхности титана. При этом достигаемые значения плотности тока увеличиваются в 7 раз по сравнению со стационарными условиями электрохимического растворения (без наложения лазерного излучения).

Библиографический список

1. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Том 1. Обработка материалов с применением инструмента. Под ред. В.П. Смоленцева. - М.: Высшая школа, 1983. - 247 с.
2. Гаар Н. П. Пути интенсификации электрохимической размерной обработки /Н. П. Гаар, Х. М. Рахимьянов // Ползуновский альманах. – Барнаул: Изд-во «АлтГТУ», 2008. - № 4. - С. 191-192.
3. Gaar N. P. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining(DECМ) / N. P. Gaar, Kh.M. Rakhimyanov //IFOST. Novosibirsk- Tomsk, Russia, June 23-29, 2008 -Proceedings of the third international forum on strategic technologies.- Novosibirsk, NSTU-2008- P. 106-107.

4. Пат. 2451582 Российская Федерация, МПК 54 В23Н5/00, В23К28/02, В23Н3/00, В23К26/00 Способ размерной обработки металлов и сплавов [Текст]/ Х.М. Рахимьянов, А.И. Журавлев, Н.П. Гаар, А.А. Локтионов; заявитель и патентообладатель: Новосиб. гос. техн. ун-т. – № 2010128204/02; заявл. 07.07.2010; опубл. 27.05.2012 Бюл № 15 – 11 с.: ил.

5. Методика выбора электролита для лазерно-электрохимической обработки / Н. П. Гаар, А. И. Журавлев, Б. А. Красильников, А. А. Локтионов, Х. М. Рахимьянов // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. - № 2(55). - С. 18-21.

6. Гаар Н. П. Электрохимическая ячейка для исследования интенсификации ЭХРО лазерным излучением. / Н. П. Гаар, Х. М. Рахимьянов // Современные пути развития машиностроения и автотранспорта Кузбасса. Труды первой всероссийской научно-технической конференции, конф., Кемерово., 24-25 октября 2007 г.- Кемерово : ГУ КузГТУ, 2007 г.-С. 251-254.

7. Установка для исследования электрохимических процессов в условиях лазерной активации процесса электрохимической размерной обработки / Н. П. Гаар, А. И. Журавлев, Х. М. Рахимьянов // Научный вестник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010 г. №2 (39). С. 133-144.

8. Лазерно-электрохимическая обработка с применением комбинации спектров излучения / Н. П. Гаар, А. И. Журавлев, Б. А. Красильников, А. А. Локтионов, Г. Б. Мироненко, Х. М. Рахимьянов // Ползуновский альманах. - 2012. - № 1. - С. 95-96.

9. Гаар Н. П. Анодное поведение компонентов нержавеющей стали в условиях лазерной интенсификации. / Н. П. Гаар, Х. М. Рахимьянов// Инновации в машиностроении : тр. 2 междунар. науч.-практ. конф., Кемерово, 6–8 окт. 2011 г. – Кемерово : Изд-во КузГТУ, 2011. – С. 157–160.

10. Математическое моделирование при лазерной термоактивации электрохимической размерной обработке / Н. П. Гаар, Х. М. Рахимьянов // Современные технологические системы в машиностроении (СТСМ-2006). Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции. конф., Барнаул, 2006г.- Барнаул: Из-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2006.С.45-47.

ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF TITANIUM ALLOY LASER CONDITIONS IMPACT

Rakhimyanov Kh. M., Krasilnikov B. A., Gaar N. P., Kostyuk A.A.

Researches of electrochemical dissolution of a titanium alloy under conditions the laser action wavelength of 1.06 microns in 10% aqueous solution of sodium chloride. It is determined that the current densities attained in conditions of the laser action is 7 times higher than that in stationary conditions (without overlaid laser radiation).

Keywords: titanium alloy, electrochemical processing, laser-electrochemical processing, the oxide film.

ВЫБОР СПОСОБА ПРОБИВКИ ПРИ ТОНКОСТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РАСКРОЕ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **А.А. Локтионов**, аспирант
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Рассмотрены способы пробивки, используемые при тонкоструйной плазменной резки по технологии HiFocus^{plus}. Даны рекомендации по их применению в зависимости от толщины разрезаемого материала.

Ключевые слова: тонкоструйная плазменная резка, пробивка, расплавленный материал, высота пробивки, высота реза

Введение

При тонкоструйном плазменном раскрое листовых материалов процесс разделения можно разбить на два этапа. Первый этап связан непосредственно с пробивкой материала, а второй его раскромом.

Существенным отличием стадии пробивки и стадии реза является то, что в первом случае удаление жидкой фазы осуществляется вверх по направлению к плазматрону (рис. 1), а на стадии реза удаление происходит вниз посредством газодинамического потока.

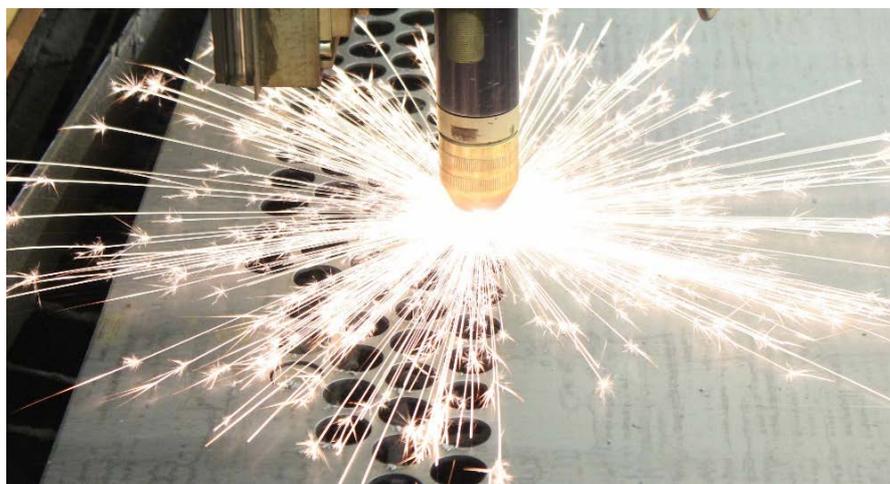
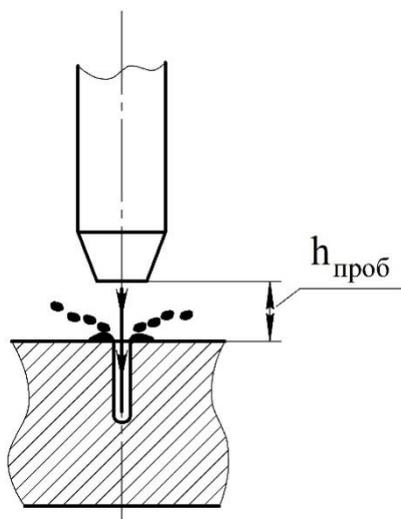


Рисунок 1 - Стадия пробивки материала
 $h_{\text{проб}}$ – высота пробивки

До момента образования сквозного канала на стадии пробивки весь объем жидкой фазы устремляется в направлении плазматрона. Чем выше ток резки, тем больше объем и интенсивность выплеска. При малых толщинах разрезаемого материала доля выплеска жидкой фазы на стадии пробивки незначительна. При этом жидкая фаза на стадии пробивки не должна достигать плазматрона для исключения образования «мостиков замыкания» между деталью и плазматроном. Возникновение этих «мостиков» может привести к двойному дугообразованию, которое, в свою очередь, приводит к выходу из строя расходных элементов плазматрона (защитного колпачка и сопла). Кроме

этого, необходимо установить правильное значение высоты пробивки и ее времени в зависимости от толщины разрезаемого материала и его класса.

В случае назначения отмеченных величин меньше рекомендуемых значений возможен выход из строя расходных элементов плазмотрона. Это происходит в результате попадания на них расплавленного материала под действием газодинамического потока до момента формирования канала. Если пробивка осуществляется при большей высоте, то это приведет к изменению условий оптимального расплавления и удаления материала, а в некоторых случаях ее невозможности из-за отсутствия рабочей дуги. Таким образом, этап пробивки является самым критичным моментом при раскрое листовых материалов.

В технологии плазменного раскроя листовых материалов существуют следующие способы пробивки: пробивка при неподвижном источнике, заход с краю и летящая пробивка. В данной работе рассматриваются способы пробивки при использовании технологии NiFocus^{plus}.

Теоретические исследования

Пробивка при неподвижном источнике является наиболее распространенным способом при плазменной резке материалов. Она применима как для резки наружных, так и внутренних контуров. Сущность данного способа заключается в следующем. В первоначальный момент плазмотрон находится на расстоянии от разрезаемого листа на высоте пробивки $h_{\text{проб}}$ (рис. 2, а).

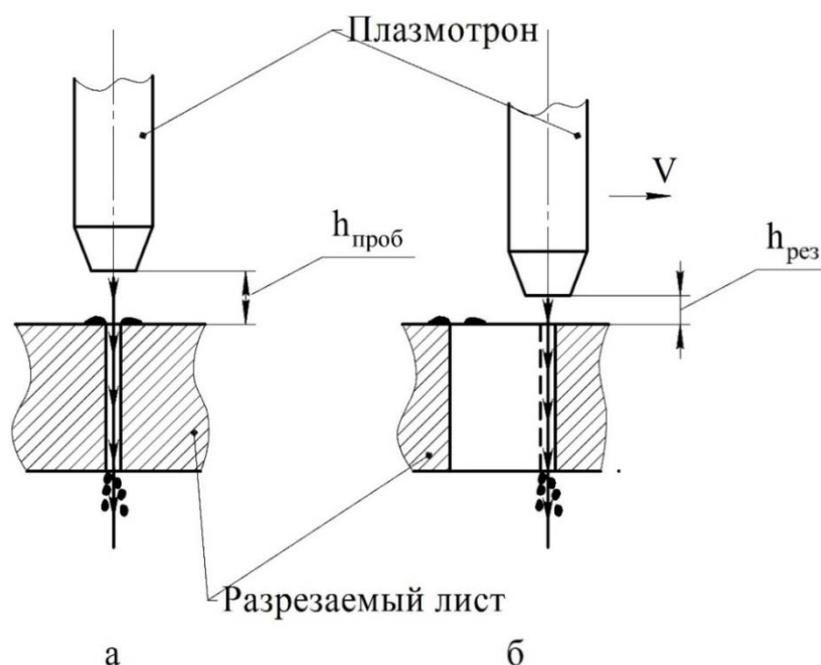


Рисунок 2 - Схема пробивки при неподвижном источнике

а – этап пробивки, б – рез,

$h_{\text{проб}}$ – высота пробивки, $h_{\text{рез}}$ – высота реза

После поджига дуги в течении определенного времени происходит формирование канала. Затем, после того как сформировался канал, плазмотрон опускается на высоту реза $h_{рез}$, на которой происходит дальнейшая обработка контура (рис. 2, б). При этом весь объем расплавленного материала удаляется из зоны реза через сформированный канал.

Для технологии резки NiFocus^{plus} значение высоты пробивки $h_{проб}$ и значение высоты реза $h_{рез}$ также зависит от толщины разрезаемого материала и его марки. Зависимости $h_{рез}$, $h_{проб}$ от толщины разрезаемого материала представлены на рис. 3. Отмеченная технология предназначена для раскроя материалов в широком диапазоне толщин.

Рост $h_{рез}$, $h_{проб}$ от S связан с изменением тока резки на разных толщинах. По мере увеличения толщины разрезаемого материала необходимо увеличивать плотность мощности для обеспечения гарантированного этапа пробивки. Это возможно за счет увеличения тока резки.

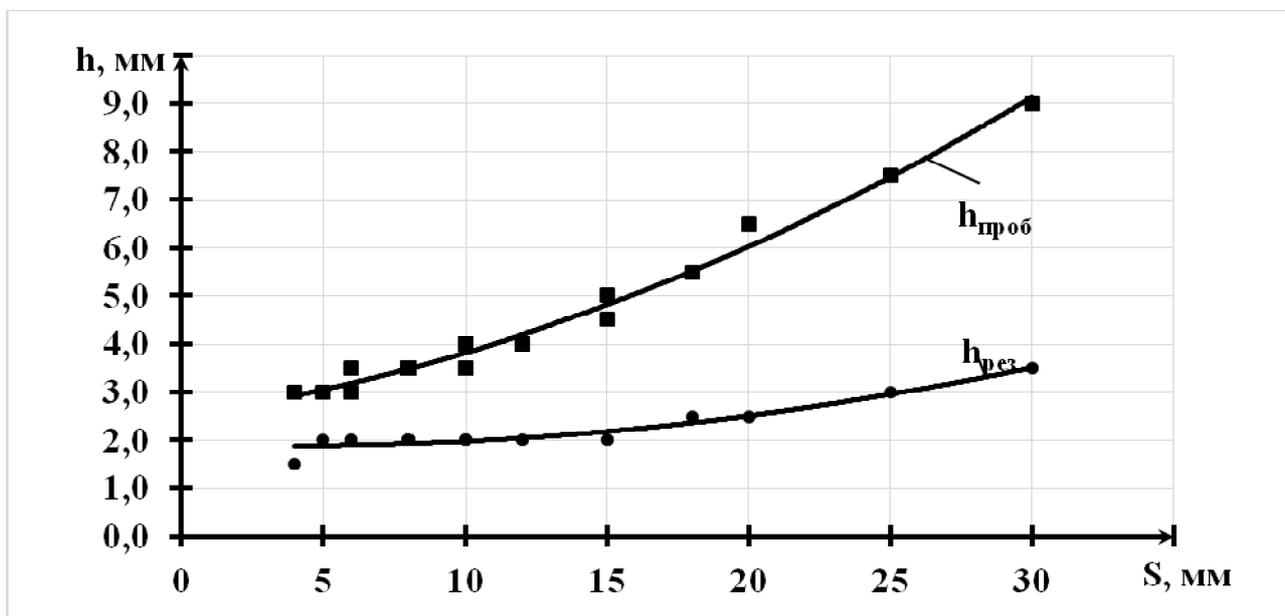


Рисунок 3 - Зависимость величины $h_{проб}$, $h_{рез}$ от толщины материала S
Технология резки NiFocus^{plus}, разрезаемый материал – конструкционная сталь

Для малых толщин (до 15 мм) соотношение высот пробивки и резки сохраняются. В отмеченном диапазоне высота пробивки увеличивается незначительно, это связано с повышением тока резки. При этом высота реза в отмеченном диапазоне толщин остается практически неизменной и равна 2 мм. При данной величине обеспечивается наилучшее истечение плазмы через сформированный канал для качественного разделения материала.

При дальнейшем увеличении толщины разрезаемого материала соотношение $h_{проб}/h_{рез}$ увеличивается. Очевидно, это связано с одновременным увеличением объема и интенсивности выплеска жидкой фазы на поверхность разрезаемого материала. Так для толщины 30 мм высота пробивки соответствует 9 мм, а высота реза 3,5 мм. При уменьшении рекомендованных величин высот пробивки происходит выход из строя колпачка сопла из-за попадания на него расплавленного материала.

При значительном увеличении высоты пробивки снижаются режущие свойства плазменной дуги, что приводит к затруднению этапа пробивки, а в некоторых случаях ее невозможности.

Принципиальное отличие схемы с заходом с краю от предыдущего метода заключается в отсутствии необходимости формирования канала. В первоначальный момент плазматрон располагается на краю разрезаемого материала. Это связано с тем, что в момент поджига выплеска на поверхность разрезаемого листа и плазматрон не происходит ввиду отсутствия сопротивления потоку, а следовательно нет необходимости в отводе плазматрона на безопасное расстояние в момент пробивки. Однако, для реализации захода с краю необходимо чтобы центр плазматрона находился непосредственно на краю разрезаемого листа. Заход с краю на обрабатываемый контур плазматрона применим только для резки наружных контуров.

Таким образом, заход с краю применим для материалов в процессе пробивки которых возникают затруднения, а также при раскрое только наружных контуров. В случае необходимости обработки внутренних контуров и толщин более 30 мм требуется применение другого способа пробивки – «летающая» пробивка.

Способ летающей пробивки может быть применим, как для резки наружных так и внутренних контуров и используется для раскроя бóльших толщин в диапазоне от 25 до 50 мм. Пробивка листового проката для отмеченных толщин при тонкоструйной плазменной резке должна осуществляться в движении. Перемещение плазматрона осуществляется как вдоль разрезаемого контура, так и по высоте. При такой пробивке расплавляемый металл выбрасывается в направлении противоположном перемещению реза (рис. 4), что снижает риск повреждения расходных элементов плазматрона.

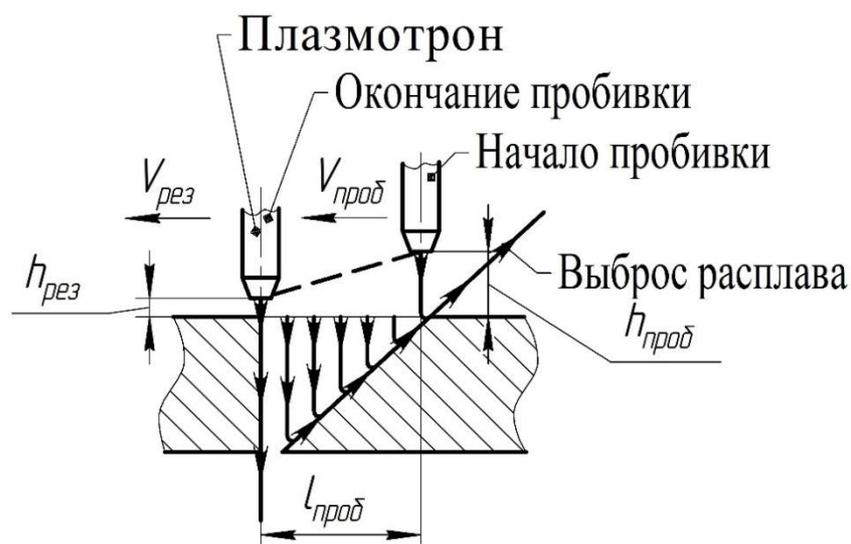


Рисунок 4 - Схема летающей пробивки

Для гарантированной пробивки металла при использовании летающей пробивки необходимо соблюсти четыре условия:

- 1) мощность плазменной дуги должна обеспечивать гарантированное разделение металла;
- 2) нарастание тока дуги до рабочего значения должно быть плавным;
- 3) изменение расходов плазмообразующих и завихряющих газов должно быть также плавным;
- 4) перемещение плазмотрона на этапе пробивки должно быть в 1,5 – 2 раза меньше рабочей скорости.

Выводы

Способ пробивки при неподвижном источнике применим для листового материала толщиной до 30 мм при обработке, как для наружных, так и внутренних контуров.

Схема с заходом с краю используется для резки материала свыше 30 мм. Однако, применение данного способа возможно только для раскроя наружных контуров. При необходимости раскроя листового материала свыше 30 мм и наличием внутренних контуров применяют летящую пробивку.

Библиографический список

1. Износ расходных элементов плазмотрона при термической резке листового материала / А. А. Локтионов, Х. М. Рахимьянов, А. И. Журавлев // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): материалы докладов II Всеросс. с междунар. участием науч.-техн. конф. (Иркутск, 25-27 апреля 2012 г.) / под ред. профессора С.А. Зайдеса. - Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. - С. 61-65.

2. Влияние износа расходных элементов на точность формообразования при тонкоструйной плазменной резке / Х. М. Рахимьянов, А. А. Локтионов // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2011. – № 4 (53). – С. 14–18.

3. Повышение точности реза при тонкоструйной плазменной обработке / Х. М. Рахимьянов, А. А. Локтионов // Механики XXI века. VII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. Сборник докладов. конф. Братск, 18-20 марта 2008 г.- Братск: изд-во ГОУ ВПО "БрГУ", 2008 г. – С. 200-202.

SELECTION OF PUNCHING TECHNIQUE FOR HIGH-PRECISION PLASMA CUTTING OF SHEET MATERIALS

Rakhimyanov Kh. M., Loktionov A.A.

The techniques of punching used in the high-precision plasma cutting with technology HiFocus^{plus} are considered. Recommendations for their application, depending on the thickness of the material to be cut, are given.

Keywords: the high-precision plasma cutting, punching, molten material, punching height, cutting height.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **К.Х. Рахимьянов**, к.т.н., доцент,
А.С. Еремина, ассистент
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Представлены результаты по упрочнению низкоуглеродистой стали марки Ст. 20 методом электролитно-плазменного нагрева. Определены условия создания устойчивой парогазовой оболочки на аноде для процесса цементации. Установлена взаимосвязь технологических режимов с глубиной цементации при электролитно-плазменном нагреве.

Ключевые слова: цементация, поверхностный слой, упрочнение, электролитно-плазменный нагрев.

Введение

Развитие промышленности на современном этапе требует применения дешевых высокопрочных материалов. Эксплуатационные характеристики деталей машин и инструментов во многом определяются свойствами поверхностного слоя. К перспективным способам улучшения или модифицирования свойств поверхностного слоя металла относится электролитно-плазменное упрочнение, которое позволяет реализовать высокоскоростную химико-термическую обработку.

Подбор состава электролита в условиях данной технологии позволяет реализовать широкий спектр видов химико-термической обработки. Известны электролиты, позволяющие осуществить наиболее распространенный способ химико-термической обработки низкоуглеродистых сталей – цементацию, заключающуюся в насыщении поверхностного слоя стали углеродом с последующим его охлаждением со скоростями, превышающими критические скорости закалки [1]. Электролитно-плазменное упрочнение в растворах для цементации реализует закалку непосредственно после завершения нагрева в этом же электролите. Механизм упрочнения основан на формировании после закалки высокоуглеродистого поверхностного слоя, состоящего из мартенсита повышенной твердости и остаточного аустенита [2]. Такая структура способствует повышению износостойкости поверхностей деталей машин и инструментов.

Применение электролитно-плазменного нагрева для цементации низкоуглеродистых сталей существенно сокращает время процесса цементации по сравнению с традиционными методами (от нескольких часов до нескольких минут) [3], тем самым уменьшая энергозатраты и повышая производительность процесса.

В литературных источниках освещены вопросы по выбору и эксплуатации электролитов для цементации, предложены технологические режимы для реализации процесса нагрева [3-6]. Остается актуальной задача

оптимизации технологических режимов в зависимости от напряжения на электродах и времени обработки для получения качественных структур поверхностного слоя.

Методика экспериментального исследования

Для проведения экспериментального исследования была разработана и изготовлена установка для электролитно-плазменного нагрева, включающая источник питания, электролитическую ячейку, систему подачи и охлаждения электролита, комплекс измерительных приборов [4]. Для обработки использовались образцы цилиндрической формы диаметром 10 мм, высотой 25 мм, изготовленные из низкоуглеродистой стали марки Ст. 20. В качестве электролита был выбран широко используемый водный раствор для цементации, содержащий 15 % хлорида аммония и 10 % ацетона [3]. Согласно [5] рекомендуемая глубина погружения образцов в раствор составляла 18 мм. Температура электролита в процессе обработки не превышала 35°C при напряжении на электродах от 120 В до 240 В. Время обработки изменялось в диапазоне от 1 до 10 минут. Закалка производилась сразу после отключения напряжения при интенсивном перемешивании раствора за счет ускоренной прокачки в течении 30-40 сек. В процессе обработки проводился непрерывный контроль текущего значения напряжения на электродах, тока в ячейке и температуры электролита.

Изучение микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ – 3М. Индентором служила четырехгранная алмазная пирамидка, нагрузка на которую составляла 0,490 Н. Измерения микротвердости осуществлялись как на поверхности образцов, так и по глубине поверхностного слоя на подготовленных продольных шлифах.

Для выявления структуры поверхностного слоя шлифы травили спиртовым раствором азотной кислоты (5 мл концентрированной азотной кислоты и 95 мл этилового спирта). Металлографическое исследование полученной структуры проводилось с помощью оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Observer Zlm при увеличениях до 1000 крат.

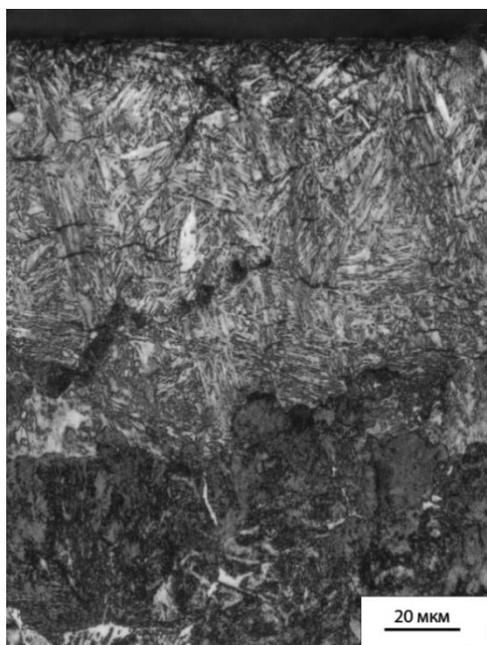
Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что разогрев образца с возникновением плазмы приводит к образованию устойчивой парогазовой оболочки вокруг образца-анода в определенный период времени (до 30 сек) при установленном напряжении на электродах 180 В. При меньшем, либо большем напряжении оболочка образуется в течение длительного времени, неустойчива, свечение отсутствует или не распространяется на всю область обработки образца. Таким образом, напряжение в 180 В соответствует участку реализации высокотемпературного нагрева на вольтамперных и вольт-температурных характеристиках ячейки с малой поверхностью анода [6].

После выхода на режим устойчивого горения плазмы устанавливалось рабочее напряжение в отмеченном выше диапазоне и проводился отсчет времени обработки.

Металлографические исследования поверхностного слоя образцов, упрочненных при рабочих напряжениях от 120 В до 170 В выявили наличие неравномерного по толщине слоя с низкой твердостью (до 4,5 ГПа), толщина которого возрастает с увеличением длительности обработки, но не превышает 35-37 мкм. Данный результат является следствием создания температур, недостаточных для развития эффективного процесса диффузии углерода из парогазовой оболочки в поверхностный слой образца на данных режимах обработки.

При рабочих напряжениях 180-240 В, упрочненный слой является равномерным по всей поверхности образца, микротвердость достигает значений 10 ГПа. Структура слоя соответствует структуре цементованной и закаленной стали, состоящей из мартенсита и участков остаточного аустенита (рис. 1, а). Наибольшая толщина слоя (150 мкм) достигается при напряжении 240 В и времени обработки 7 мин (рис 1, б).



а



б

Рисунок 1 - Структура поверхностного слоя, после электролитно-плазменного нагрева

Попытки дальнейшего увеличения рабочего напряжения свыше 240 В приводили к срыву стабильности процесса.

Выводы

Установлено значение напряжения ($U=180$ В) на электродах, соответствующее выходу на режим образования устойчивой сплошной парогазовой оболочки на аноде, обеспечивающего процесс равномерного его разогрева.

Максимальная толщина цементованного слоя для стали Ст. 20 достигает 150 мкм при времени обработки 7 мин при рабочем напряжении 240 В.

Структура поверхностного слоя стали Ст. 20 после электролитно-плазменного нагрева в исследуемом электролите представляет собой мартенсит с участками остаточного аустенита с максимальной твердостью у поверхности 10 ГПа.

Библиографический список

1. Лахтин Ю. М. *Металловедение и термическая обработка металлов* : учебник / Ю. М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1977. – 407 с.
2. Болховитинов Н. Ф. *Атлас макро- и микроструктур металлов и сплавов* : учеб. пособие для вузов / Н. Ф. Болховитинов, Е. Н. Болховитинова. – М. : Изд-во машиностроительной литературы, 1959. – 87 с.
3. Белкин П. Н. *Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов* / П. Н. Белкин. – М. : Мир, 2005. – 630 с.
4. Рахимьянов Х. М. *Установка для химико-термической обработки в электролитной плазме* / Х. М. Рахимьянов, А. С. Еремина, И. А. Леонтьев // Сб. науч. тр. НГТУ. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2006. - №3 (45). – С. 141-144.
5. Дураджи В. Н. *Науглероживание стали в электролитной плазме при анодном процессе* / В. Н. Дураджи, И. В. Брянцев, А. М. Мокрова, Т. С. Лаврова // *Электронная обработка материалов*. – 1979. - №6. – С.20-24.
6. Суминов И. *Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов* / И. Суминов, П. Белкин, А. Эпельфельд, в. Людин, Б. Крит, А. Борисов – М. : Техносфера, 2011. – 463 с.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF ELECTROLYTIC-PLASMA HARDENING OF LOW-CARBON STEELS

Rakhimyanov Kh.M., Rakhimyanov K.Kh., Eremina A.S.

Presents the results on the hardening of low-carbon steel St. 20 by electrolytic-plasma heating. The conditions for creating a stable vapor-gas casing on the anode for the cementation process. The interrelation between technological modes with depth cementation by electrolytic-plasma heating.

Keywords: cementation, surface layer, hardening, electrolytic-plasma heating.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ТОЧНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИ М1

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **Б.А. Красильников**, к.т.н., профессор,
С.И. Василевская, аспирант

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

В работе рассмотрены процессы электрохимического растворения меди в нейтральных, щелочных, кислотных электролитах. Получены сравнительные данные об анодном поведении меди в нейтральных, щелочных и кислотных электролитах различной концентрации.

Ключевые слова: анод, растворение, медь, нейтральные, щелочные, кислотные электролиты, потенциал, плотность тока.

Введение

Электрохимическая обработка (ЭХО) основана на принципе анодного растворения металла и не зависит от механических свойств обрабатываемого материала. ЭХО в последнее время находит применение при изготовлении деталей не только из труднообрабатываемых материалов, но и из вязких, в частности, из меди [1,2].

На результаты ЭХО существенное влияние оказывает тип применяемого электролита. Электролит должен обеспечивать оптимальные технологические требования при обработке детали и соответствовать определенным свойствам, таким как: активность электролитов - свойство, влияющее на производительность ЭХО при максимальном анодном растворении материала в данном электролите; влияние электролита на качество обрабатываемых поверхностей: полирующие свойства; склонность к растворению по границам зерен и образованию питтинговой коррозии; избирательность – свойство электролитов, связанное с возможностью процесса переходить в узких значениях электрических и гидравлических параметров от активного растворения к пассивному (способность электролитов влиять на точность обработки); эксплуатационные характеристики электролита (энергоёмкость процесса, коррозионная активность, токсичность) [3].

Механизм съема (растворения, удаления металла) основан на процессе электролиза. Съём металла подчиняется закону Фарадея, согласно которому количество снятого металла пропорционально силе тока и времени обработки [3]. Особенности электролиза являются пространственное окисление (растворение) анода и восстановление (осаждение) металла на поверхности катода. В ЭХО применяют такие электролиты, катионы которых не осаждаются при электролизе на поверхности катода.

В связи с тем, что на одном электроде могут одновременно протекать несколько электродных реакций, объем растворенного материала, рассчитанный с использованием закона Фарадея, не всегда соответствует объему реально снимаемого материала.

В реальных условиях поляризационная кривая может включать участки активной растворимости (значение плотности тока увеличивается с

увеличением значения потенциала) и участки пассивной растворимости (значение плотности тока уменьшается или не изменяется с увеличением значения потенциала).

Причин торможения процесса растворения материала может быть несколько. Основными из них являются: образование на поверхности труднорастворимых пленок различной природы, малая активность анионов электролита, засорение продуктами реакции рабочего пространства (межэлектродного промежутка).

Развитие ЭХО в техническом и технологическом направлении способствует повышению точности, производительности и качеству обработки.

Методика экспериментального исследования

В качестве исследуемого материала была взята медь М1. Медь обладает коррозионной стойкостью, высокой электропроводностью и теплопроводностью, а также стойкостью против атмосферной коррозии.

В данной работе для поляризационных исследований использовалось оборудование: потенциостат марки П – 5827М, задающий по определенному алгоритму развертку потенциала или тока; прибор, регистрирующий значение тока; трехэлектродная электрохимическая ячейка.

В качестве электролитов для поляризационных исследований были взяты 5%, 10%, 15% водные нейтральные, щелочные и кислотные растворы KCl, NH₄NO₃, NaNO₃; KOH; HCl.

Образцы вырезали размером 2x2x15 мм. К каждому образцу припаивали провод и помещали в эбонитовую оправку, заливали эпоксидным клеем марки ЭПО-8, химически стойким к применяемым в ЭХО растворам электролитов.

Для исследования анодного поведения меди М1 использовались потенциодинамический и потенциостатический методы. Потенциодинамический метод заключается в развертке потенциала с заданной скоростью с одновременной регистрацией плотности тока на исследуемом электроде [4]. Потенциостатический метод основан на регистрации плотности тока при заданном постоянном потенциале [4].

Перед экспериментом образец зачищался на наждачной бумаге № 600, обезжиривался и промывался в дистиллированной воде. С целью получения достоверных экспериментальных данных для каждого электролита поляризационные кривые были построены на основании пяти результатов измерений.

Результаты и обсуждения

Эксперименты проводились при температуре электролита $T = 20^{\circ} \text{C}$. Исследования заключались в следующем: снятие поляризационных кривых потенциодинамическим методом в электролитах с различными концентрациями; снятие потенциостатических поляризационных кривых, на основании которых исследуется кинетика анодного поведения материала, в электролитах с различными концентрациями.

Анализ полученных поляризационных кривых в различных электролитах при потенциодинамическом методе позволил установить области активного растворения металла и области пассивного растворения металла.

Результаты потенциодинамического исследования для меди М1 в 5 %, 10 %, 15 % водных нейтральных, кислотных и щелочных растворах представлены на (рис. 1 - 5).

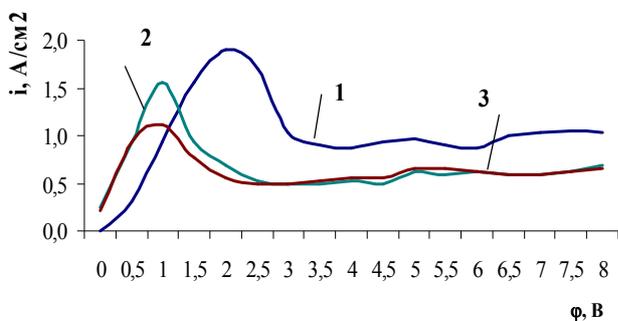


Рисунок 1 - Поляризационные кривые в водном растворе NH_4NO_3 (1-5%, 2-10%, 3-15%)

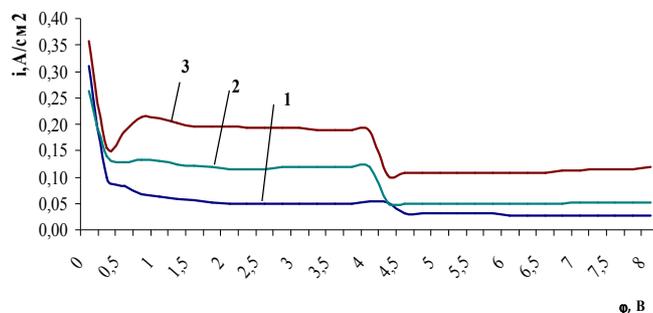


Рисунок 2 - Поляризационные кривые в водном растворе HCl (1-5%, 2-10%, 3-15%)

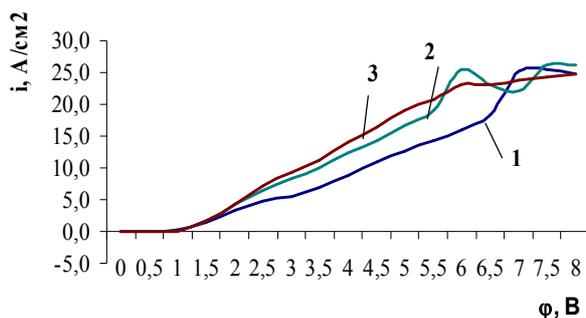


Рисунок 3 - Поляризационные кривые в водном растворе KOH . (1-5%, 2-10%, 3-15%)

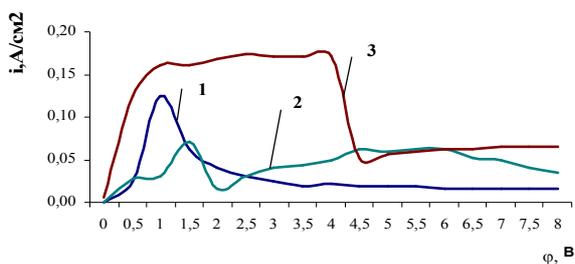


Рисунок 4 - Поляризационные кривые в водном растворе KCl (1-5%, 2-10%, 3-15%)

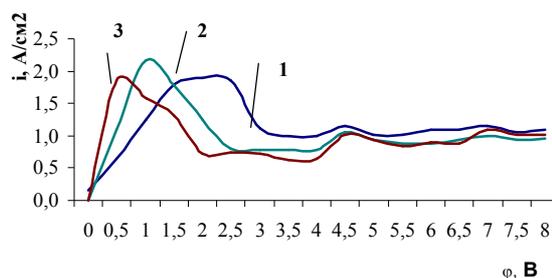


Рисунок 5 - Поляризационные кривые в водном растворе NaNO_3 (1-5%, 2-10%, 3-15%)

Исследования показали, что в водных растворах NH_4NO_3 , NaNO_3 , KCl ; HCl различной концентрации потенциодинамические поляризационные кривые характеризующие растворение меди М1, имеют активную и пассивную области растворения. В водных растворах KOH растворение меди М1 имеет только в активную область растворения. Наибольшая плотность тока достигается в 10% водном растворе KOH ($i = 25 \text{ A/cm}^2$).

При сравнении результатов полученных потенциодинамическим и потенциостатическим методом, для оценки избирательности процесса было введено соотношение плотности тока $\gamma = i_{\text{ПС}}/i_{\text{ПД}}$. Где $i_{\text{ПС}}$ – плотность тока на пассивных участках потенциостатической поляризационной кривой 1 (рис. 6 – 10); $i_{\text{ПД}}$ – плотность тока на пассивных участках потенциодинамической поляризационной кривой 2 (рис. 6 – 10). Введенное соотношение позволило, определить во сколько раз повысится плотность тока на пассивных участках поляризационной кривой при удалении окисной пленки. Соотношение плотности тока в 5 % растворе KCl составило $\gamma = 73$ (рис. 6); в 5 % растворе NaNO_3 $\gamma = 6$ (рис.7); в 5% растворе NH_4NO_3 $\gamma = 4$ (рис.8); в 5 % растворе HCl $\gamma = 13$ (рис.9), что значительно выше, чем при определении плотности тока потенциодинамическим методом. На (рис. 10) показаны поляризационные кривые в 10% в растворе KOH с соотношением плотности тока $\gamma = 0,8$. В исследованиях по растворению меди M1 в растворах KOH активно выделяется газ.

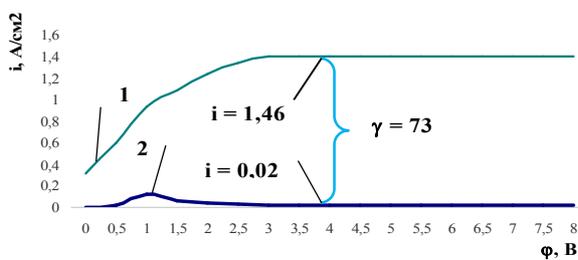


Рисунок 6 - Поляризационные кривые в водном растворе KCl (1-ПС, 2-ПД)

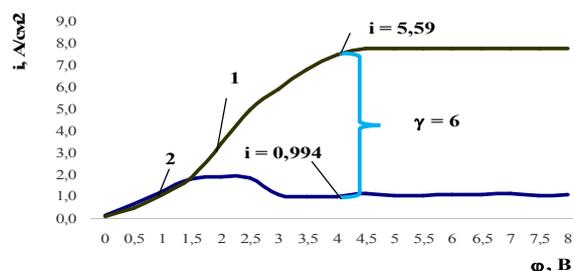


Рисунок 7 - Поляризационные кривые в водном растворе NaNO_3 (1-ПС, 2-ПД)

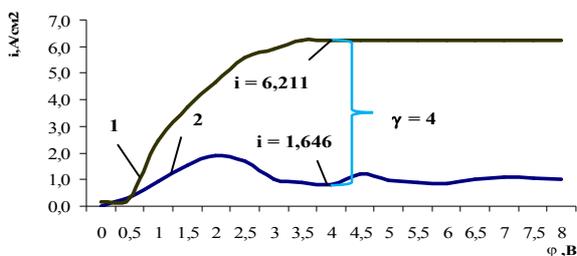


Рисунок 8 - Поляризационные кривые в водном растворе NH_4NO_3 (1-ПС, 2-ПД)

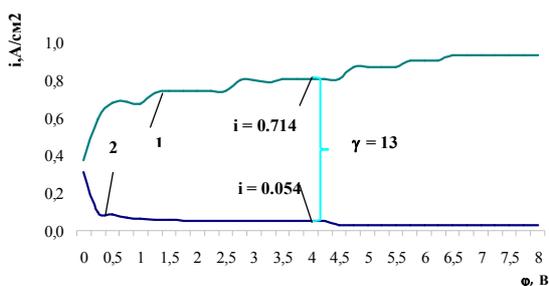


Рисунок 9 - Поляризационные кривые в водном растворе HCl (1-ПС, 2-ПД)

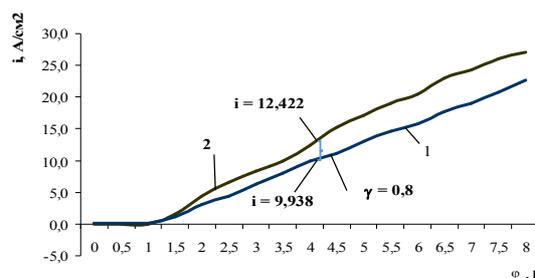


Рисунок 10 - Поляризационные кривые в водном растворе KOH (1-ПС, 2-ПД)

Выводы

При анализе потенциостатических поляризационных кривых, на основании которых исследуется кинетика анодного поведения материала, была определена концентрация электролитов, которая обеспечивает производительность и качество обработки.

Исследования показали, что в водных растворах NH_4NO_3 , NaNO_3 , KCl ; HCl различной концентрации потенциодинамические поляризационные кривые характеризующие растворение меди М1, имеют активную и пассивную области растворения. В водных растворах KOH растворение меди М1 имеет только в активную область растворения. Наибольшая плотность тока достигается в 10% водном растворе KOH ($i = 25 \text{ A/cm}^2$).

Высокая избирательность процесса в пассивных электролитах подтверждается соотношением плотностей токов при пассивации и обновлении поверхности. Соотношение плотности тока в 5 % растворе KCl составило $\gamma = 73$; в 5 % растворе NaNO_3 $\gamma = 6$; в 5% растворе NH_4NO_3 $\gamma = 4$; в 5 % растворе HCl $\gamma = 13$.

Библиографический список

1. Электрохимические методы получения проводящих рисунков на диэлектрических подложках/ В.В. Любимов, В.К. Пашков, В.К. Сундуков – В кн.: Всесоюз. Науч.-техн. Конф.: Размер. электрохим. обраб. деталей машин «ЭХО-80»: Тез.докл.- Тула, 1980. - с. 181-188.

2. Электрохимическая обработка в технологии производства радиоэлектронной аппаратуры/Ф.В. Седыкин, В.В. Любимов. - М., 1980. - 136 с.

3. Н.А. Амирханова, А.К. Журавский/о рациональном составе электролита для электрохимической обработки материалов. В кн. электрохимическая обработка металлов/издательство «Штиинца». - Кишинев, 1971. - с.99-104.

4. Фрейман, Л.И. Потенциостатические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защите [Текст] / Л.И. Фрейман, В.А., Макаров, И.Е. Брыскин; под ред. Я.М.Колотыркина. – Л.: Химия, 1972. - 240 с.

RESEARCH OF ELECTROLYTES PROVIDING THE ACCURACY OF THE ELECTROCHEMICAL MACHINING OF COPPER M1

Kharis M. Rakhimyanov, Boris A. Krasilnikov, Svetlana I. Vasilevskaya

The paper discusses the processes of electrochemical dissolution of copper in neutral, alkaline, acidic electrolytes. Comparative data on the anodic behavior of copper in neutral, alkaline and acidic electrolytes of different concentrations are obtained.

Keywords: anode, dissolution, copper, neutral, alkaline, acidic electrolytes, potential, current density.

ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЕЙ 40Х, 38ХМЮА ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **А.И. Журавлев**, доцент,
А.А. Марфелёв, магистрант

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Приведены результаты исследования микротвердости сталей 40Х, 38ХМЮА после импульсного воздействия лазерным излучением.

Ключевые слова: лазерное воздействие, азотирование, поверхностное упрочнение, микротвердость, глубина закаленного слоя.

Введение

В различных областях машиностроения широко используются конструкционные стали 40Х и 38ХМЮА. Их применяют при изготовлении валов, шестерен, направляющих для станков и т.д. При производстве применяют стандартные средства снижения износа, которые не всегда учитывают конкретные условия работы. Из-за этого при эксплуатации возникают проблемы с преждевременными поломками и отказами механизмов. Актуальной задачей является задача повышения износостойкости трущихся (взаимодействующих) поверхностей деталей машин, следовательно, увеличения их срока службы, а также снижения себестоимости производства за счет изменения и обновления технологий производства и обработки.

Поверхность крупногабаритных направляющих для станков из сталей 40Х и 38ХМЮА на реальном производстве для достижения высокой твердости и износостойкости подвергают азотированию при температуре 500...520°С при длительности процесса 60-70 часов. Процесс азотирования является трудоемким, энергоемким, а, следовательно, несет большие материальные затраты.

Повысить эффективность технологии поверхностного упрочнения данных сталей возможно лазерным поверхностным упрочнением.

В отличие от известных процессов упрочнения, нагрев при лазерной закалке не является объемным процессом, а осуществляется с поверхности, тем самым происходит экономия энергии и времени, а внутренний объем материала остается практически в состоянии поставки и может хорошо воспринимать ударные нагрузки. При этом не требуется применять какие-либо охлаждающие среды, охлаждение после воздействия идет со сверхкритической скоростью за счет теплоотвода во внутренние слои материала. Также, при лазерном упрочнении на поверхности заготовки отсутствует деформированный слой, что

обуславливается локальностью данного вида обработки и малым временем воздействия [1].

Лазерной обработке, а в частности лазерному поверхностному упрочнению посвящены научные труды [2], [3], [4], [5] и др. Исходя из результатов данных исследований, можно сделать вывод, что лазерная поверхностная обработка может выступить заменой азотированию по показателям глубины закаленного слоя, микротвердости, износостойкости, а также снизить себестоимость операции упрочнения за счет сокращения трудовых и энергетических затрат.

Целью данного исследования являлось получение упрочненного слоя при лазерной поверхностной термообработке импульсным методом; исследование возможности получения твердости и глубины упрочненного слоя сопоставимые со значениями, получаемыми при процессе азотирования.

Методика проведения экспериментального исследования

В ходе исследования образцы из сталей 40X и 38ХМЮА подвергались импульсному лазерному воздействию при помощи установки «Квант-15». Изменением диаметра пятна достигалось регулирование температуры поверхности, остальные параметры не менялись (см. таблицу). Излучение фокусировалось в круглое пятно. В процессе подготовки образцы подвергались шлифованию на шлифовальном станке, затем доводке на карбиде бора, в результате чего обеспечивалось снятие температурно-деформированного слоя после предшествующих обработок и однородность распределения коэффициента поглощения материала в пределах зоны воздействия. Материал после обработки приобрел матовый серый цвет.

Режимы импульсной лазерной обработки

№	Плотность мощности q , Вт/м ² *10 ⁸	Энергия излучения W , Вт*с	Длительность импульса t , мсек	Диаметр пятна d , мм	Оплавление поверхности
1	160	2,5	4,5	2,1	Без оплавления
2	218	2,5	4,5	1,8	С оплавлением
3	314	2,5	4,5	1,5	С оплавлением

Результаты и обсуждение

В ходе данного исследования была найдена зависимость микротвердости поверхностного слоя от глубины. Для изучения зависимости микротвердости от глубины поверхностного слоя изготавливались шлифы в поперечном направлении. Измерение твердости производилось на приборе ПМТ-3 под нагрузкой 20 г. Такая нагрузка была выбрана с целью уменьшения размера отпечатка, что позволило делать замеры на глубине 0,0125 мм. Максимальное значение микротвердости достигало 1000-1100 кг/мм². На разных режимах

глубина упрочненного слоя изменяется в пределах 0,1-0,12 мм, изменение микротвердости незначительно. Зависимость микротвердости от плотности мощности представлена на рисунке 1.

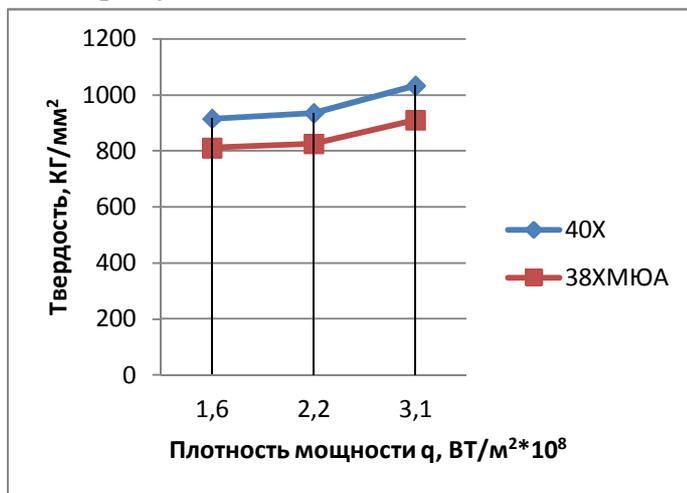


Рисунок 1

Сравнение микротвердости образцов полученных после лазерного упрочнения с микротвердостью образцов после азотирования показало, что данный метод поверхностного упрочнения может заменить процесс азотирования по абсолютному значению микротвердости и глубине закаленного слоя. Максимальное значение твердости было достигнуто при режиме №3 с оплавлением поверхности. На рисунке 2 представлена зависимость микротвердости от глубины для лазерной обработки и азотирования.

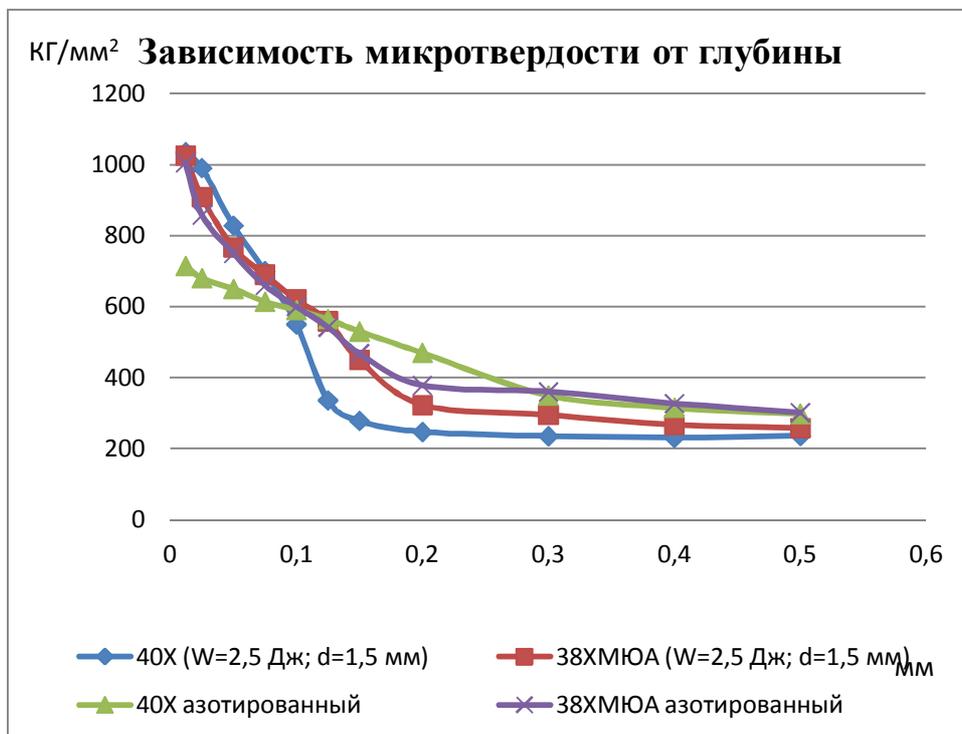


Рисунок 2

Из рисунка 2 видно, что глубина упрочненного слоя как при азотировании, так и при лазерном воздействии достигает 0,1 мм; микротвердость образцов из стали 38ХМЮА после азотирования имеет близкое значение с микротвердостью образцов после лазерного воздействия; микротвердость образцов из стали 40Х после лазерного воздействия значительно выше микротвердости после азотирования.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показали, что лазерное поверхностное упрочнение импульсным воздействием может служить альтернативной заменой процессу азотирования, а также повысить эффективность за счет снижения временных и материальных затрат; самый большой эффект упрочнения лазерным излучением по сравнению с азотированием наблюдается на стали 40Х, что позволяет заменить не только процесс азотирования, но и использовать сталь 40Х вместо более дорогой стали 38ХМЮА.

Библиографический список

1. Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 6, Основы лазерного термоупрочнения сплавов: Учеб. Пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов; Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высш. Шк., 1988. – 159 с.: с ил.
2. Лазерная закалка инструментальных сталей со структурами, близкими к равновесным / Костромин С.В. – Нижний Новгород: НГТУ. - 2004.
3. Поверхностное упрочнение заготовок из порошковых сталей с использованием лазерного нагрева / С.В. Чурносков и др. – Вестник ОГУ. – 2013 №1.
4. Повышение физико-механических свойств конструкционных сталей методом объемного импульсного лазерного упрочнения / Пинахин И.А. // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. - 2012. - №4.
5. Повышение износостойкости стальных поверхностей путем лазерной обработки / Любченко А.Л. – ХНАДУ, 2006.

The results of the research the microhardness of steel 40h, 38hmua after laser surface hardening by pulse method.

Keywords: laser, nitriding, surface hardening, microhardness, the depth of the hardened layer.

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ПОДАЧИ СТОЛА НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ С ПОКРЫТИЕМ ПРИ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **Б.А. Красильников**, к.т.н., профессор,
В.В. Янпольский, к.т.н., доцент, **Т.В. Козич**, магистрант,
Р.М. Кадырбаев, магистрант,
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

Представлены результаты исследования зависимости шероховатости поверхности детали с покрытием на основе порошковой смеси ПС12НВК от режимов электроалмазного шлифования в водном растворе нейтральной соли NaNO_3 . Установлено, что минимальное значение шероховатости поверхности $Ra = 0.9$ мкм достигается при величине продольной подачи стола 90 мм/мин.

Ключевые слова: электроалмазное шлифование, электрохимическое растворение, покрытия, режимы шлифования.

Введение

В настоящее время для повышения срока службы деталей машин, работающих в условиях трения, применяют различные методы нанесения износостойких покрытий. Точность работы и срок службы деталей с износостойкими покрытиями во многом зависит от показателей качества сформированных на этапах, как нанесения покрытия, так и последующей механической его обработки. В качестве механической обработки, как правило, используется шлифование. Однако применение традиционных способов шлифования, таких как абразивное и алмазное, приводит к снижению физико-механических характеристик поверхностного слоя, достигнутых на этапе нанесения покрытий. Снижение качества поверхностного слоя связано с тем, что твердость покрытия зачастую сопоставима с твердостью абразивного инструмента, что приводит к увеличению сил резания, а, следовательно, и температуры в зоне обработки [1]. Повышение температуры может неблагоприятно сказываться на качестве обработанной поверхности, в частности, возможно образование дефектов в виде сетки микротрещин и прижогов, а в некоторых случаях и приводить к отслаиванию покрытия.

Одним из способов формообразования деталей с покрытиями является электроалмазное шлифование [2]. Вместе с тем для эффективного применения данного метода для шлифования деталей с покрытиями необходимо определить режимы формообразования, обеспечивающие заданное качество поверхностного слоя.

Методика экспериментального исследования

Формообразование деталей с покрытиями проводили на плоскошлифовальном станке 3Г71, модернизированном под процесс

электроалмазного шлифования. Продольная подача стола варьировалась от 70 до 90 мм/мин с шагом 10 мм/мин. Шлифование осуществлялось по глубинной схеме. Глубина резания(t) в экспериментах изменялась в диапазоне от 0,4 мм до 1,2 мм с шагом 0,4 мм. В качестве электролита использовали водный раствор нейтральной соли NaNO_3 10% -й концентрации. Напряжение составляло 8 В. В экспериментах применяли покрытие на основе порошкового материала ПС12НВК. Оценка шероховатости поверхности после электроалмазного шлифования осуществлялась на профилографе-профилометре модели 252.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена зависимость шероховатости поверхности детали с покрытием на основе порошковой смеси ПС12НВК после электроалмазного шлифования от величины продольной подачи стола. Из рисунка видно, что с увеличением продольной подачи стола происходит снижение величины шероховатости поверхности до значения $Ra=0,9$ мкм.

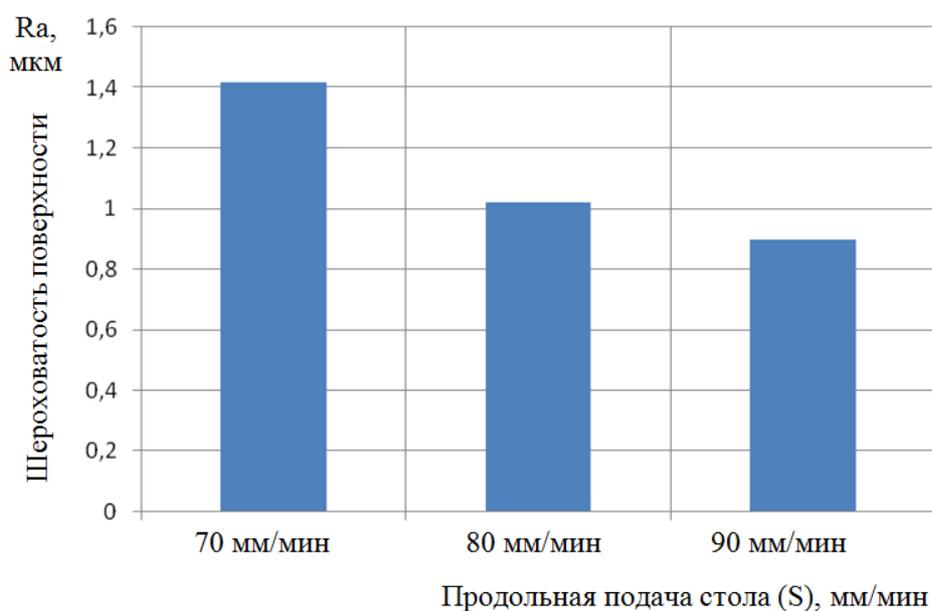


Рисунок 1 - График зависимости шероховатости поверхности детали с покрытием на основе порошковой смеси ПС12НВК после электроалмазного шлифования от величины продольной подачи стола при $t=0,8$ мм.

Формирование микрорельефа после электроалмазного шлифования связано с особенностями электрохимического растворения материала ПС12НВК в используемом электролите. В работе [3] установлено, что электрохимическое растворение порошковой смеси ПС12НВК в водном растворе NaNO_3 происходит в активном состоянии. Характер растворения указанного покрытия определяется процессом электрохимического поведения таких элементов как никель (Ni) и кобальт (Co), входящих в состав порошковой смеси. В связи с этим при повышении величины продольной подачи стола сокращается время контакта алмазного круга с деталью, а соответственно и время электрохимического растворения поверхности. В этом случае

формирование микрорельефа поверхности при электроалмазном шлифовании происходит за счет механического резания зернами алмазного круга.

Библиографический список

1. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении/ З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошин; под общей ред. З.И. Кремня. – СПб.: Политехника, 2007. – 424 с.

2. Рахимьянов Х.М. Электрохимическое растворение покрытий из порошковых материалов. /Х.М. Рахимьянов, В.В. Янпольский, М.И. Никитенко, А.Н. Моисеенко // Обработка металлов. – 2011. – №2(51). – С. 3 – 5.

3. Рахимьянов Х.М. Особенности электроалмазного шлифования деталей с покрытием на основе порошкового материала ПС12НВК. /Х.М.Рахимьянов, Б.А.Красильников, В.В.Янпольский, Т.В.Козич // Обработка металлов. – 2013 - № 3 (60). – С. 36-40.

INFLUENCE OF LONGITUDINAL TABLE FEED ON THE FORMATION OF SURFACE ROUGHNESS IN THE COATED ELECTRODIAMOND GRINDING

**Kh.MRakhimyanov, B.A. Krasilnikov, V.V. Yanpolskiy, T.V. Kozich,
R.M. Kadyrbaev**

The results of the study according to the surface roughness of the coated powder mixture based on modes PS12NVK electrodiamond grinding in an aqueous neutral salt solution NaNO₃. It has been established that the minimum value of surface roughness Ra = 0.9 microns is achieved when the magnitude of longitudinal feed of the section of 90 mm / min.

Keywords: electrodiamond grinding, electrochemical dissolution, coating, grinding modes.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ УДАЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «СТАКАН» ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ ГОРЯЧЕГО ЛУЖЕНИЯ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., профессор, **Ю.С. Семенова**, к.т.н.,
Э.И. Особливцев, магистрант
Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск

В работе предлагаются возможные способы решения проблемы обеспечения качества деталей, обрабатываемых на автоматизированной линии горячего лужения. Проблема заключается в удалении жидкостей из деталей типа "стакан" на этапах технологического процесса лужения. Спроектировано и изготовлено два экспериментальных модуля для выбора схемы, наиболее пригодной для удаления жидкости в условиях работы автоматизированной линии.

Ключевые слова: горячее лужение, модуль удаления жидкостей, автоматизированная линия

Введение

В настоящее время предприятие ОАО «Новосибирский завод радиодеталей Оксид» является одним из ведущих производителей танталовых конденсаторов. Конденсатор представляет собой двухполюсник с определённым значением ёмкости и малой проводимостью, устройство для накопления заряда и энергии электрического поля. В простейшем варианте конструкция состоит из двух электродов в форме пластин, называемых обкладками, которые разделены диэлектриком. По сравнению с размерами диэлектрика толщина обкладок мала (рис. 1).

Одной из технологических задач производства конденсаторов является обработка их корпусов горячим лужением. Лужение производится с целью предотвращения коррозии материала корпуса. Изображение корпуса конденсатора перед лужением представлено на рис.2.

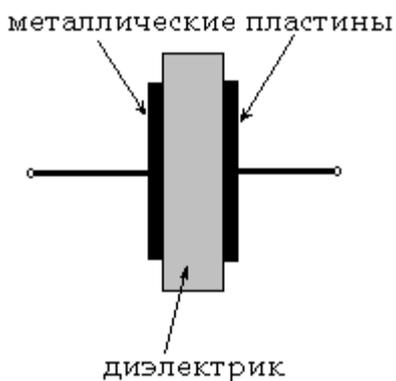


Рисунок 1 - Схема конденсатора



Рисунок 2 - Корпус конденсатора

Для обеспечения необходимых параметров качества нанесения покрытия в процессе лужения необходимо строго соблюдать технологические режимы обработки, в частности - время на транспортирование деталей от одного этапа операции к другой, а так же на обработку деталей в рабочих жидкостях. При этом после каждого этапа (травление, промывка, флюсование, лужение, отбивка, осветление, каскадная промывка) остатки рабочей жидкости из деталей необходимо удалять. Ручной труд не всегда обеспечивает нужные скорости и усилия для качественного удаления жидкостей, большое значение играет человеческий фактор.

Автоматизация позволит сократить временные промежутки между операциями и исключить человеческий фактор, что приведет к повышению качества технологического процесса получения деталей, а также ускорить темпы выпуска изделий. Замена оборудования позволит более эффективно использовать производственные площади и производственные мощности.

Постановка задачи

На данный момент предприятием закуплена автоматизированная линия горячего лужения. На рис.3 показаны единицы оборудования автоматизированной линии, расставленные в соответствии с технологическим процессом лужения. Она представляет собой: панель питания(1), панель управления(2), манипулятор(3), ванны с жидкостями(4), вытяжка(5), тигель(6), центрифуга(7). Корзина с обрабатываемыми деталями подвешивается на манипулятор, осуществляющий подъем, перемещение корзины от одного этапа обработки к другому и опускание корзины в емкости с рабочими жидкостями. Наиболее ответственным этапом работы является перемещение с одновременным встряхиванием корзины с деталями из тигеля в центрифугу, которое ограничено условием застывание металла и невозможностью его последующего удаления.

В процессе запуска линии было установлено, что существующий механизм удаления жидкости не позволяет полностью удалять рабочие жидкости и требует усовершенствования. Под воздействием вибраций, возбуждаемых существующим манипулятором в деталях типа «стакан» жидкость задерживается на границе между дном и стенками, что приводит к появлению брака.

Для устранения отмеченных недостатков при проектировании модуля были учтены следующие условия:

1. При работе механизма необходимо обеспечить полное удаление жидкостей.
2. Объем партии одновременно обрабатываемых деталей должен составлять не менее двухсот деталей.
3. В процессе обработки модуль погружает корзину в жидкость и обеспечивает движение потоков жидкости для взаимодействия с обрабатываемыми поверхностями.
4. Удаление жидкого металла на этапе лужения должно происходить за время перемещения деталей из тигеля в центрифугу, ограниченное 6 секундами.

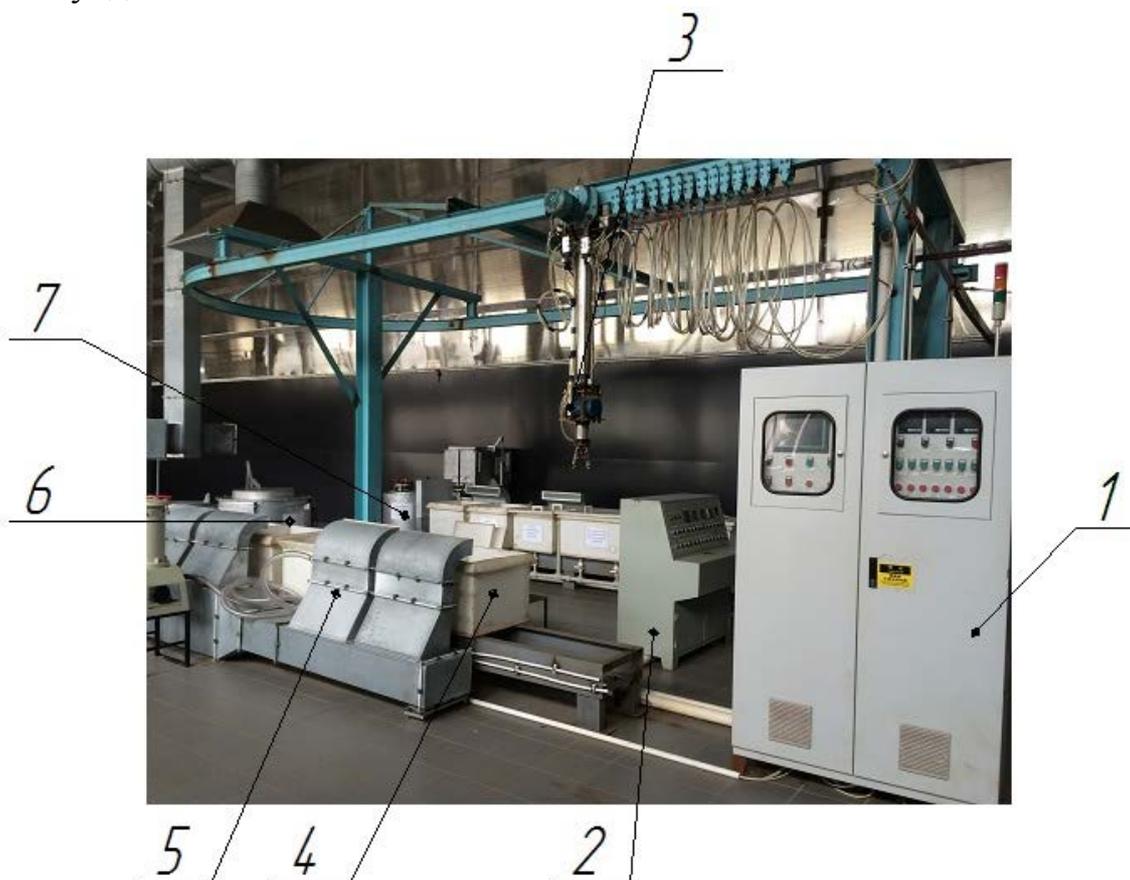


Рисунок 3 - Автоматизированная линия горячего лужения

Результаты и обсуждение

Для решения данной проблемы разработано два макета манипуляторов с функцией удаления жидкостей из обрабатываемых деталей.

Первый представляет собой основание, в которое закреплены стойки под определенным углом (рис. 4). Между тремя стойками загружается по три обрабатываемых детали (рис. 4, б). Основание погружается поочередно в ванны в соответствии с технологическим процессом. Для обеспечения равномерного воздействия рабочей жидкости на каждом этапе обработки шаговый двигатель раскручивает по часовой, а затем против часовой стрелки основание,

обрабатывая деталь в жидкости. Затем основание с обработанными деталями поднимается вверх до защитного экрана и шаговый двигатель начинает вращать основание поочередно в разные направления, тем самым удаляя лишнюю жидкость из обработанных деталей.

Наличие участков контакта деталей между собой, а также деталей со стойками создает затруднения для доступа рабочих жидкостей к поверхностям корпуса. Это в итоге приводит к неравномерности нанесения антикоррозионного покрытия на деталь.



а



б

Рисунок 4 - Макет №1

Второй макет представляет собой закрытую корзину цилиндрического типа с отверстиями в нижней части, которую приводит во вращение шаговый двигатель (рис 5). Вращение корзины происходит в одном направлении, но с резкими остановками, что обеспечивает встряхивание деталей. Детали засыпаются в корзину свободно. Таким образом, при встряхивании деталей в корзине точки контакта обрабатываемых деталей постоянно меняются. У конструкции имеется блок управления, который настраивают на определенную частоту вращения шагового двигателя, обеспечивающую торможение в процессе вращения.

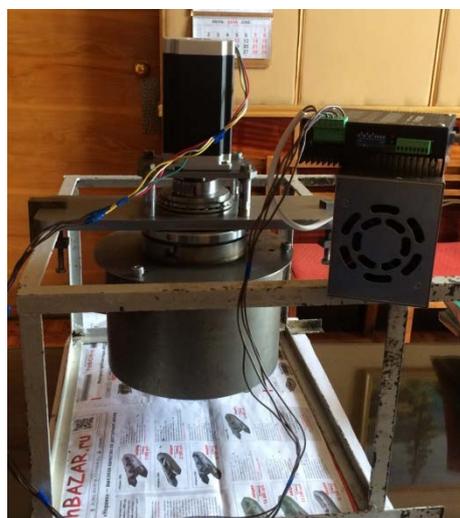


Рисунок 5 - Макет №2

При проведении экспериментальных исследований макета №2 выяснилось, что настройка частоты вращения шагового двигателя требует более глубокого исследования. Так, недостаточная величина частоты вращения не обеспечивает достаточного ускорения для встряхивания деталей, в результате чего снижается качество лужения. При увеличении частоты вращения промежутки торможения сокращаются, происходит проскальзывание при вращении корзины, что приводит к излишней равномерности движения без торможения. В этом случае встряхивания деталей не происходит, и рабочая жидкость не удаляется из деталей полностью.

Выводы

Лучший результат по качеству обработанных деталей, который заключается в равномерном нанесении антикоррозионного состава, показал макет №2. Его конструкция позволяет эффективно решать поставленные задачи, обеспечивая требуемое качество лужения. Однако настройка шагового двигателя требует дальнейшей проработки для установления режимов, обеспечивающих необходимое усилие встряхивания корзины с загруженными деталями.

DESIGN OF MODULE FOR REMOVAL OF LIQUIDS MACHINE PARTS OF TYPE "GLASS" UNDER CONDITIONS OF AUTOMATED LINE HOT-DIP TINNING OPERATING

Rakhimyanov Kh. M., Semenova Iu. S., Osoblitsev E. I.

The paper suggests possible ways to solve the problem of machine parts quality providing that are processed on the automated line of hot-dip tinning. The problem is to remove fluids from machine parts of type "glass" on the stages of tinning. Two experimental modules are designed and manufactured for setting the most suitable method for removing liquid under automated line operation conditions.

Keywords: hot tinning, module for removal of liquids, automated line.

СОЗДАНИЕ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СУПЕРФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ЗА СЧЕТ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Д.С. Реченко, к.т.н., доцент **А.Ю. Попов**, д.т.н., профессор
Омский государственный технический университет, г. Омск

Качество затачивания твердосплавного режущего инструмента определяет его стойкость, качество и надежность лезвийной обработки. На сегодняшний день существует большое количество фирм поставляющих металлорежущий инструмент в Россию. Номенклатура представленного инструмента разнообразна и включает режущий инструмент для высокоточной обработки, при этом качество затачивания лезвия, то есть радиус округления лезвия этого инструмента составляет порядка 10...15 мкм, что в свою очередь позволяет производить обработку с толщиной стружки не менее 20...30 мкм. Это ограничение зачастую является критическим и предельным, так как точность обработки некоторых ключевых деталей составляет 3...5 мкм, а также приводит к значительному снижению потенциального ресурса режущего инструмента. Повышение качества затачивания до значений 1...3 мкм позволяет получать высокую точность обработки и ресурс режущего инструмента, что также положительно отражается на качестве обработки.

Ключевые слова: металлообработка, высокоскоростное шлифование, затачивание твердосплавного инструмента.

Современные станки позволяют позиционировать металлорежущий инструмент относительно обрабатываемой заготовки с точностью в 1 мкм, но повышение точности изготовления деталей может быть достигнуто только повышением остроты режущего инструмента, что позволит гарантированно срезать требуемые слои металла размерами 2...5 мкм, а также позволит уменьшить время, затрачиваемое на чистовые операции. Существующие технологии изготовления и затачивания режущего инструмента позволяют получать остроту лезвия до 10 мкм. Дальнейшее повышение остроты, используя существующие технологии и оборудование невозможно [3, 4, 5].

На сегодняшний день наблюдается бурное развитие металлообрабатывающей отрасли. Вкладываются значительные средства на создание и восстановления машиностроительных предприятий, осуществляется их перевооружение. Предприятия оснащаются новыми станками, технологиями, инструментом и квалифицированными кадрами, но вместе с этим возникает и ряд существенных технических, финансовых, кадровых и других проблем. Потребность предприятий в вышеупомянутых ресурсах значительно превышает предложения на рынке. Наибольшую потребность в

этих ресурсах испытывают предприятия аэрокосмической отрасли, так как они занимаются производством наиболее сложных и дорогостоящих деталей двигателей летательных аппаратов. Для изготовления ключевых деталей двигателей (диски лопаток турбин, лопатки, валы, кожуха, ротора и т.д.) как правило, используют жаропрочные сплавы, характеризующиеся высокой прочностью, износостойкостью, а также устойчивостью к высоким температурам. Стоимость некоторых ключевых деталей может достигать 1,5 млн. рублей при цене заготовки около 300-400 тыс. рублей. Учитывая режимы и условия работы деталей двигателей летательных аппаратов, требуемая точность при их изготовлении составляет несколько микрометров.

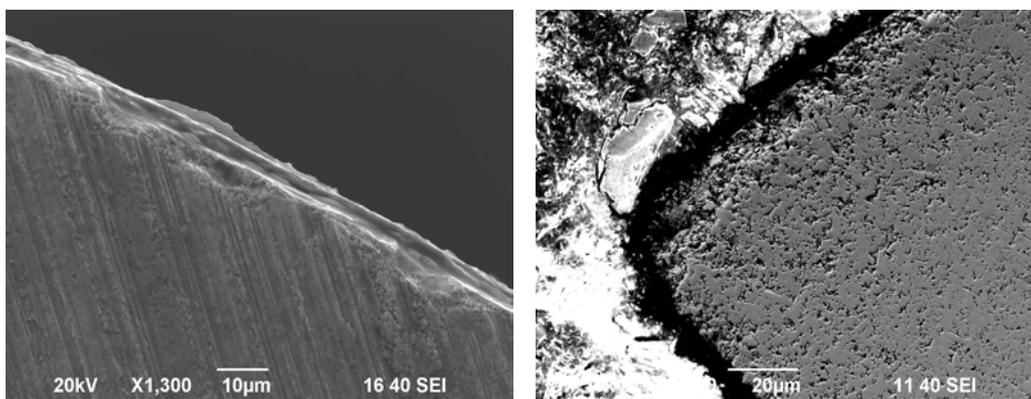
Существующее оснащение аэрокосмических предприятий металлорежущим инструментом не обеспечивает стабильности качества и производительности обработки ключевых деталей двигателей самолетов и ракет. Поэтому создание двигателей сводится к индивидуальной (селективной) подборке при сборке их узлов. То есть существующие технологии, в которые входят режущий инструмент, режимы обработки и металлообрабатывающее оборудование не позволяют в полной мере получать стабильные размеры и качество поверхности обрабатываемых деталей. Наилучшая точность, которую реально могут достигать предприятия, при лезвийной обработке составляет порядка 10 мкм.

При изготовлении диска лопаток турбин на производстве затрачивается порядка 3 рабочих дней на выполнение черновых операций, чистовые операции могут занимать до 4-5 дней. Это связано с тем, что существующие станки и программное обеспечение позволяют позиционировать режущий инструмент относительно заготовки с точностью 1 мкм, однако металлорежущий инструмент, используемый для обработки жаропрочных сплавов, имеет остроту (радиус округления режущей кромки) 10...15 мкм (лучшие зарубежные образцы). Российский аналог режущего инструмента имеет максимальную остроту лезвия 30...35 мкм. Для достижения требуемой точности обработки оператор станка вынужден многократно осуществлять операции по доводке детали, причем при перемещении режущего инструмента на 10 мкм он вдавливаясь в деталь, однако резания не происходит из-за её малой жесткости. Оператору увеличивать глубину резания и приходится повторять проход, при этом на каком-то очередном проходе происходит врезание режущей кромки в деталь и срезается гораздо больший слой металла, чем нужно, что может привести к браку детали. Используя существующий металлорежущий инструмент, практически невозможно гарантированно получить заданную точность.

Из 100% деталей двигателей летательных аппаратов, изготавливаемых из жаропрочных сплавов, 20% удовлетворяют требованиям точности изготовления, на 50% деталей составляется дефектная ведомость (при этом их стоимость снижается на 1/3) и 30% бракуются окончательно. Учитывая этот факт, сборка готового двигателя осуществляется селективным методом, по наиболее подходящим размерам. В большинстве случаев при ремонте двигателей самолетов невозможно заменить изношенную деталь на новую, так как при изготовлении не обеспечивается их унификация. Для обеспечения унификации необходимо повысить точность изготовления, что приведет к увеличению количества деталей попадающих в поле допуска размеров.

Для снижения издержек и повышение производительности производства деталей аэрокосмической отрасли из жаропрочных сплавов необходимо решить научно-техническую задачу по разработке металлорежущего инструмента с радиусом округления лезвия менее 1 мкм (суперлезвие). Этот инструмент позволит снизить количество деталей с дефектовкой, уменьшить брак, за счет повышения точности, а также производительности обработки.

Классические методы и режимы затачивания с применением доводочных операций позволяют получать лезвие с остротой не менее 5...6 мкм (рис. 1). Обработка производилось при режимах затачивания $V=30$ м/с, $S=1...1,5$ м/мин и $t=0,01$ мм/дв. ход, что позволяет получать лезвие с остротой 5...10 мкм. Исследования проводились на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-5700.



а)

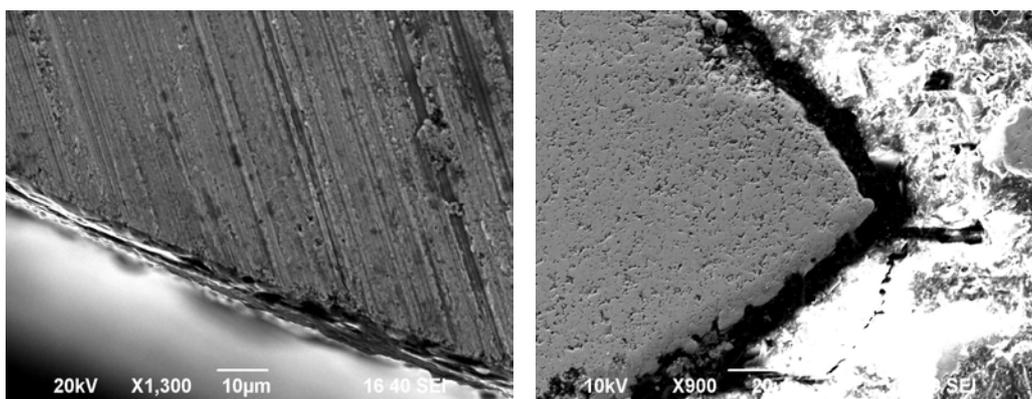
б)

Рисунок 1 - Лезвие твердосплавного режущего инструмента, полученное при классическом затачивании с применением доводочной операции: а) вид сверху; б) микрошлиф в продольном сечении

Обработка при режимах затачивания $V=260$ м/с, $S=1...1,5$ м/мин и $t=0,01$ мм/дв. ход позволяет получать лезвие с остротой 1...2 мкм (рис. 2).

По проведенным исследованиям видно, что при высокоскоростном затачивании твердосплавной пластины качество лезвия и обработанных поверхностей режущего клина значительно выше. При классических режимах затачивания острота лезвия составляет 5...10 мкм, а при высокоскоростном затачивании составляет 1...2 мкм, при этом на обработанных поверхностях отсутствуют следы окислов.

Традиционные технологии затачивания позволяют получать высокое качество лезвия лишь с помощью трудоемких доводочных операций, при этом не всегда гарантируется отсутствие завалов и прижегов. Переход на высокоскоростное затачивание позволяет, используя традиционные схемы формообразования режущей части, получать качественно новый результат за счет изменения механизма износа зерен шлифовального круга, а именно образования острых граней алмазных зерен. Данный эффект наблюдается при повышении скорости резания свыше 120 м/с. Однако в литературе отсутствуют результаты исследований по высокоскоростному шлифованию твердых сплавов алмазными кругами и не определена граница высокоскоростного шлифования.



a)

б)

Рисунок 2 - Лезвие твердосплавного режущего инструмента, полученное при высокоскоростном затачивании: *a)* вид сверху *б)* микрошлиф в продольном сечении

Повышение скорости резания до нескольких сотен метров в секунду связано с решением сложных технических задач – разработки привода, проблем прочности шлифовального круга и балансировки привода. Представленная работа выполнена для определения целесообразности применения высококачественного лезвия.

Основные исследования в данной работе связаны с получением высококачественного лезвия твердосплавного режущего инструмента, позволяющего производить точение различных сталей, применяемых в

авиационной и аэрокосмической промышленности, с паспортной точностью технологической системы. Рассматривались сталь 12X18H10T и сплав ВТ3-1.

Применение твердосплавных пластин, с радиусом округления менее 1 мкм, на токарных операциях возможно при глубине резания не менее 2-3 мкм. Для подтверждения данного утверждения проводились исследования при наружном точении деталей: из стали 12X18H10T, *HRC* 41...42 [1]; титанового сплава ВТ3-1, *HRC* 39...40 [2] (начальный диаметр $D=42,8$ мм и длина $L=20$ мм) на токарном станке с ЧПУ EMCO 450 Concept Turn. Точение осуществлялось заточенной твердосплавной пластиной CNMG 120408 сплав 1105 Sandvik Coromant (острота лезвия составляет 0,8...1 мкм) при скоростях резания $V=60$ и 120 м/мин, подаче $S=0,05$ и 0,08 мм/об и глубине $t=3$ мкм.

По проведенным испытаниям получены результаты:

1. Осуществлялось точение с глубиной резания 3 мкм и осуществлялся контроль размера детали через каждые 10 проходов, при этом, получаемый размер контролировался и сравнивался с требуемым номинальным. По полученным измерениям построена зависимость стойкости твердосплавной пластины. Величина технологического износа пластины принята равной 10 мкм во всех случаях.

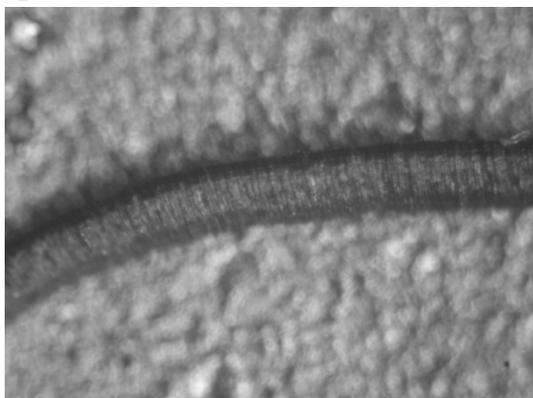
Зависимости стойкости режущего инструмента при точении стали 12X18H10T имеет вид:

$$T = 0,000 \cdot V^2 - 0,338 \cdot V + 50,6;$$

при точении ВТ3-1:

$$T = 0,000 \cdot V^2 - 0,25 \cdot V + 37.$$

На рисунке 3 приведена стружка, образованная в результате обработки. Вид и форма соответствует нормальному типу стружки. При этом длина микростружек составляет 5-10 мм. На стружке не наблюдается прижогов и цветов побежалости, что свидетельствует о малых величинах контактных температур.



а) верхняя поверхность, х500

б) прирезцовая поверхность, х500

Рисунок 3 - Стружка, образованная в результате обработки

4. Качество обработанной поверхности детали, определяющееся высотой неровностей достаточно высокое. Величина неровностей (шероховатость) находится в пределах $R_a=0,08...0,16$ мкм. Точность размеров составляет $\Delta=\pm 0,25$ мкм (отклонение фактического от номинального размера).

Точность обработки и качество обработанной поверхности является закономерными и адекватными т.к. точность обработки и качество поверхности составляет 5-8% от глубины резания.

Библиографический список

1. ГОСТ 5632 – 72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.
2. ГОСТ 19807 – 91. Титан и сплавы титановые деформируемые. Марки.
3. Гуревич Я.Л., Горохов М.В., Захаров В.И. и др. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справочник. - М.: Машиностроение, 1976. - 176 с.
4. Захаренко И.П., Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / Захаренко И.П. - Киев: Наукова думка, 1981. - 300 с.
5. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Кузнецов А.М., Стлидзан М.В. Анализ методов определения радиуса округления режущей кромки // Труды Братского гос. ун-та: Серия Естественные и инженерные науки. Т. 2. Братск: БрГУ, 2006. С. 256–260.

THE CREATION OF CARBIDE TOOLS FOR SUPERFINISHING PROCESSING BY HIGH-SPEED GRINDING

D.S. Rechenko, A.U. Popov

Quality sharpening carbide cutting tool determines its durability, quality and reliability of the blade processing. Today, there are a large number of companies supplying metal-cutting tool in Russia. The range is represented tool is diverse and includes cutting tools for high-precision processing, while the quality sharpening blades, i.e. the radius of rounding blade of this tool is about 10...15 microns, which in turn allows to make processing with chip thickness not less than 20...30 microns. This restriction is often critical limit and, as the accuracy of the processing of some key details is 3...5 mm, and also leads to a significant reduction potential of the cutting tool. Improving the quality of sharpening to the values 1...3 microns allows to obtain high accuracy of processing and resource cutting tool, which also positively influences on quality of processing.

Keywords: metal processing, high-speed grinding, sharpening carbide tools.

МОДЕРНИЗАЦИЯ Понижающей цепи раздаточной коробки с использованием передачи со свободными телами качения

А.Н. Ромашев, к.т.н., доцент, **Н.А. Бусов**, студент, **К.О. Хлунов**, студент
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
г. Бийск

В статье представлен вариант модернизации понижающей цепи раздаточной коробки с использованием передачи со свободными телами качения, что позволит значительно повысить передаточное отношение приводного устройства, при этом не требуется увеличение габаритов и доработка существующих деталей.

Ключевые слова: Передача со свободными телами качения, понижающая цепь раздаточной коробки.

В последнее время эксплуатация автомобилей УАЗ получила широкое применение в связи с наличием у них целого ряда достоинств, которые послужили причиной проявляемого к ним повышенного интереса, как со стороны заказчика, так и со стороны теоретиков и практиков автомобилестроения.

Одним из основных достоинств данного автомобиля является его высокая проходимость. Большое количество людей работает вахтовыми методами, в разведывательных экспедициях, на территориях заповедных зон, мест отрезанных от основного материка, в тех регионах, где строительство дороги невозможно или было бы экономически не целесообразно и конечно же, большое количество автолюбителей использует автомобили повышенной проходимости для личных целей, на отдыхе, охоте, рыбалке и просто при увлечении именно самим процессом проезда по пересеченной местности. Однако, в более "жестких" дорожных условия этого достоинства, зачастую, бывает не достаточно. В связи с этим приходится устанавливать дополнительное оборудование, что влечет за собой большие затраты на проектирование, изготовление, доработку, продажу и обслуживание машин повышенной проходимости.

В итоге модернизация уже имеющихся устройств может сыграть очень большую роль, так как транспорт уже изготовлен, находится уже у конкретных пользователей, и они уверенно могут сказать - требуется ли им дополнительная модернизация, которая позволит использовать автомобиль в более тяжёлых дорожных условиях.

Во многих случаях передаточное отношение необходимо значительно изменить, что приводило, к такому же значительному увеличению габаритов зубчатых передач, которые будут применяться в данной раздаточной коробке и как следствие увеличиваются и размеры самого агрегата, что не всегда приемлемо в заданных условиях. Когда габариты передачи играют очень важную роль, а изменение передаточного отношения необходимо, и в чем большей степени оно будет изменено, тем лучше это скажется на работе данного агрегата, тогда необходимо применение других способов и методов,

которые позволили бы решить данную задачу. К таким методам как раз и относятся передачи вращательного движения с помощью тел качения, которые за счет изменения траектории движения и использования спрофилированных поверхностей позволяют решить задачу значительного изменения передаточного отношения при неизменности или даже уменьшении габаритов самой передачи.

Раздаточная коробка служит для увеличения тяговой силы на ведущих колесах и повышения проходимости автомобиля. Она одновременно выполняет функции демумльтипликатора, что позволяет увеличить диапазон передаточных чисел коробки передач и эффективнее использовать автомобили в различных дорожных условиях.

Раздаточной коробкой называется дополнительная коробка передач, распределяющая крутящий момент, создаваемый двигателем, между ведущими мостами автомобиля.

В последнее время активно исследуются и развиваются механизмы преобразования движения, в которых используется не зубчатое зацепление, а новый тип зацепления с помощью периодических дорожек качения и промежуточных тел качения: шариков или роликов.

Передача со свободными телами качения служит для изменения скорости вращения с помощью периодических дорожек качения и промежуточных тел качения (шариков). Может быть использовано в различных силовых механизмах и агрегатах.

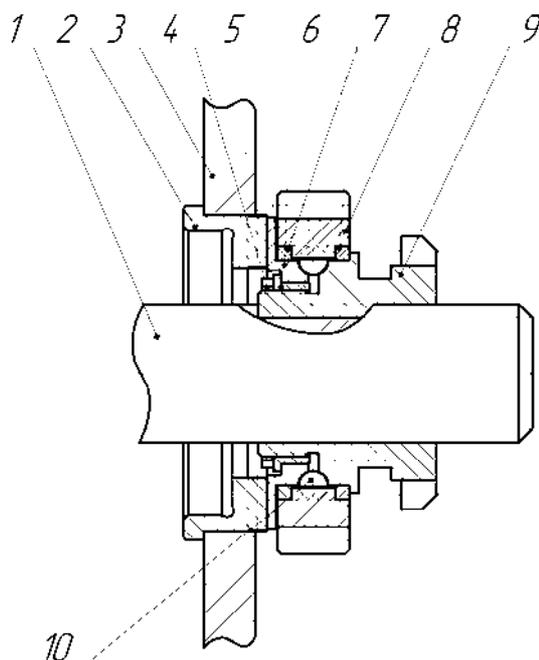


Рисунок 1 - Передача со свободными телами качения

Рассмотрим рисунок 1, где представлена передача со свободными телами качения. Данная передача может работать и как редуктор и как прямая передача. В крайнем левом положении передача со свободными телами качения работает как редуктор. В этом случае неподвижный кулачек (6) входит в

зацепление с втулкой (2) которая жёстко соединена с корпусом редуктора. Крутящий момент передается через шлицы с вала (1) на ведущий кулачек (9). Тела качения (10) обкатываясь по неподвижному кулачку (6) передают повышенный крутящий момент на сепаратор (8).

При смещении блока шестерни в крайнее правое положение, конструкция работает как прямая передача. Ведущий кулачек (9) своей правой частью входит во внутренне зацепление с валом заднего моста, а неподвижный кулачек (6) и сепаратор (8) выходят из своих зацеплений. В этом случае они будут одновременно вращаться с ведущим кулачком(9) .

На рисунке 2 показана 3-D модель конструкции передачи со свободными телами качения. Все составляющие элементы редуктора представляют собой детали типа тел вращения, что значительно упрощает конструкцию и технологию изготовления.

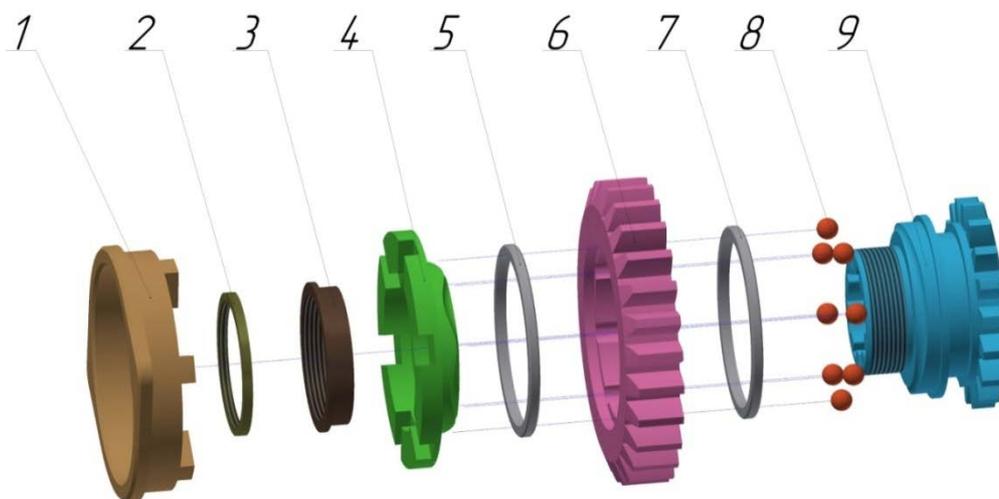


Рисунок 2 – Редуктор на основе передачи со свободными телами качения

На рисунке 3 представлена 3-D модель модернизированной раздаточной коробки на основе передачи со свободными телами качения.

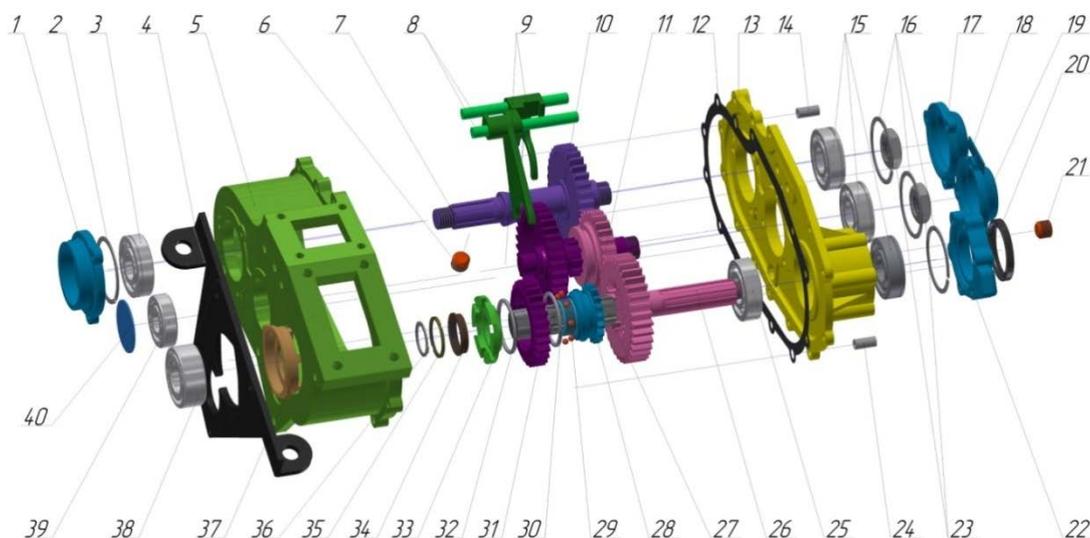


Рисунок 3 – Раздаточная коробка на основе передачи со свободными телами качения

Предложенная конструкция раздаточной коробки дает ряд преимуществ:

- малые габариты и низкая относительная масса;
- широкий диапазон передаточных отношений;
- высокий коэффициент полезного действия до 92%;
- высокая надёжность и долговечность;
- высокая устойчивость к перегрузкам;

С использованием передач со свободными телами качения передаточное отношение понижающей цепи раздаточной коробки было существенно увеличено. Исходная раздаточная коробка имела понижение порядка 1:1,94, а с модернизацией – 1:8,69. Раздаточная коробка с таким понижением может во много раз увеличить проходимость автомобилей, которые используются для работ в тяжелых условиях, для тех, кто любит приключения, поездки по труднопроходимым местам. Участники внедорожного движения специально забираются в самые труднопроходимые территории страны, чтобы испытать свой автомобиль, а также свое снаряжение.

Сама разработка весьма перспективна, и если поставить задачу реализации проекта в широких масштабах, то необходимо внести дополнительные денежные средства на изготовление и испытание изделия. Так же можно оценить то, что стоимость изготовления деталей редуктора предлагаемой конструкции в 2,5-3 раза ниже, чем деталей редуктора с зубчатыми колесами.

MODERNIZATION OF THE LOWERING CHAIN OF THE TRANSFER BOX USING TRANSFER WITH FREE BALL BODIES

A.N. Romashev, N.A. Busov, K.O. Hlunov

The option of modernization of a lowering chain of a transfer box is presented in article with transfer use with free ball bodies that will allow to raise considerably the transfer relation of the actuating unit, the increase in dimensions and completion of existing details thus isn't required.

Keywords: Transfer with free ball bodies, a lowering chain of a transfer box.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИНТОВЫХ БАРАБАНОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МЕХАНИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Г.В. Серга¹, д.т.н., профессор, **В.А. Лебедев²**, к.т.н., профессор, **В.В. Иванов²**, к.т.н., доцент

¹Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, ²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на Дону, Россия

Предложен станок для нанесения механико-химических покрытий, разработанный на базе винтового барабана. Раскрыты конструктивные особенности станка, обеспечивающие повышение интенсивности процесса нанесения покрытия. Представлены технико-экономические преимущества применения его в технологии нанесения механико-химических покрытий.

Ключевые слова: винтовой барабан, механико-химическое покрытие.

Введение

В технологии изготовления деталей машин, с целью повышения их долговечности, все более широкое применение находят механо-химические покрытия. Дальнейшее совершенствование существующих и разработка эффективных методов нанесения механо-химических покрытий, а также способов их реализации на основе поиска качественно новых нетрадиционных путей решения технологических задач, позволяет решать большой комплекс технико-экономических проблем, связанных с изготовлением и эксплуатацией машиностроительных изделий.

Одним из перспективных путей в этом направлении является разработка технических средств, обеспечивающих эффективное их нанесение на поверхность деталей. В этой связи особый интерес представляют винтовые барабаны. В основу винтовых барабанов положены шнековые устройства, обеспечивающие непрерывное транспортное движение предметам обработки от загрузки к выгрузке. Однако одно только транспортное перемещение со стационарным характером движения деталей и частицами или средами рабочей среды надлежащего эффекта процессу нанесения механико-химических покрытий не приносит. Необходимо было создать такое принципиально новое технологическое оборудование для осуществления процессов нанесения механико-химических покрытий, которое обладало бы функцией перемешивания и функцией сложного пространственного движения обрабатываемых деталей и рабочих сред. Обеспечить это возможно за счет использования в качестве рабочего и транспортирующего органа устройства в дискретно расположенными по периметру, разнонаправленными по отношению к винтовым линиям плоскими элементами [1,2,3].

Сущность и конструктивные особенности винтового барабана, обеспечивающего интенсификацию нанесения покрытий

Предлагаемый станок для нанесения механико-химических покрытий состоит из станины 1, выполненной в виде сварной рамы (рисунок 1). На станине закреплен привод главного движения 2 состоящий из электродвигателя и редуктора и четырех роликовых опор 3. Винтовой барабан 4 снабжен двумя ободами 5, опирающимися на роликовые опоры 3. На станине 1 смонтировано средство для загрузки 6 и разгрузки 7, а также бункер 8 для отходов обработки. Над бункером 8 в барабане 4 выполнены отверстия 11 для удаления отходов обработки (облой, металл заусенцев, окалина, остатки химического раствора и т.п.). Станок снабжен трубопроводом 9 для подачи внутрь винтового барабана 4 химического раствора. Для обеспечения дополнительного продольного перемещения в противоположном направлении обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред и химического раствора внутри барабана 4 смонтирована пружина 10 волнообразной формы с плоским сечением витков, которая оборудована устройством для изменения шага витков пружины 10 путем растяжения или сжатия.

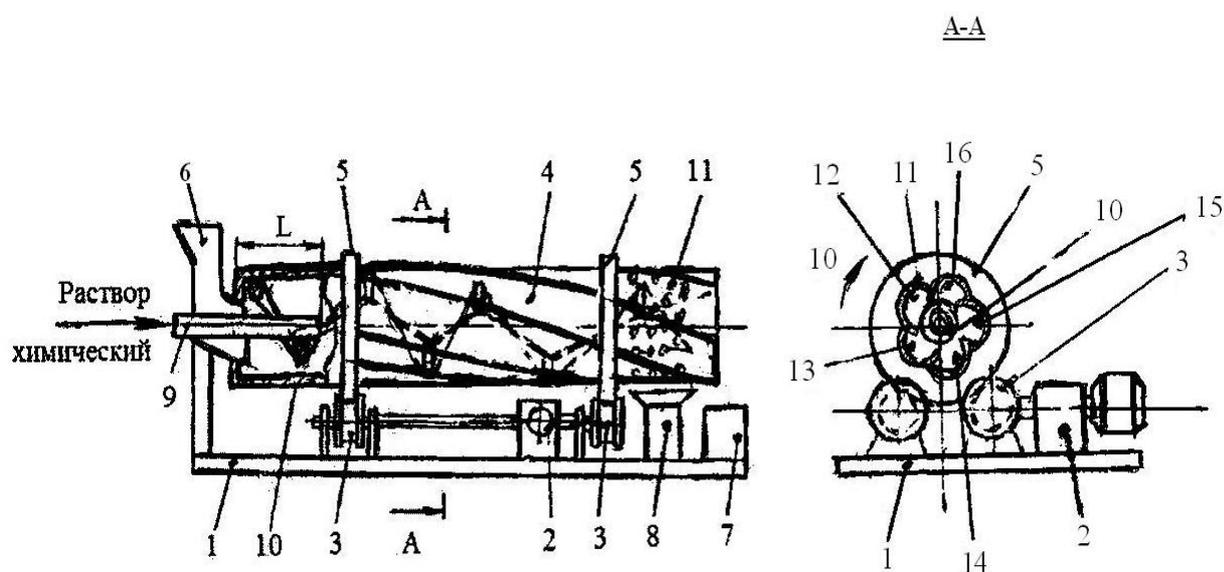


Рисунок 1 - Станок для нанесения механико-химических покрытий

В зависимости от характеристик обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред и химического раствора, требуемого времени обработки устанавливается такой шаг пружины, который отвечает оптимальным условиям обработки. Например, если требуется малое время для нанесения покрытий, то уменьшается шаг пружины 10 и, таким образом, изменяется поток движения обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред и химического раствора в обратном направлении, а значит, соответственно изменяется их скорость перемещения от загрузки к выгрузке. При нанесении покрытий требующей длительное время пребывания в винтовом барабане 4, шаг витков пружины 10 увеличивают и, таким образом, изменяется поток движения обрабатываемых

деталей, частиц рабочих сред и химического раствора в обратном направлении, а значит соответственно, изменяется их скорость перемещения от загрузки к выгрузке. Регулировка величины шага пружины 10 может быть осуществлена также и в процессе нанесения покрытий.

Многозаходный винтовой пустотелый барабан 4 (рис.1) выполнен из трех и более полос прямоугольной формы, формирующих по периметру винтового барабана внутренние криволинейные поверхности выпуклой формы с центрами кривизны во внутрь барабана и образующих напуски в виде винтовых лопастей по всей длине винтового барабана. Таким образом, внутри винтового барабана 4 получаются винтовые канавки в виде карманов криволинейной формы 12,13,14,15,16 с центрами кривизны расположенными внутри поперечного сечения барабана. Скручивание каждой полосы обеспечивает дополнительное искривление поверхности пустотелого винтового барабана 4, благодаря чему увеличивается закрутка потоков обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред и потоков химического раствора,

Предлагаемый станок для нанесения механико-химических покрытий работает следующим образом. В винтовой барабан 4 через средство для загрузки 6 непрерывно загружаются обрабатываемые детали, частиц рабочих сред и посредством трубопровода 9 внутрь винтового барабана 4 подаются химические растворы. При вращении винтового барабана 4 эти обрабатываемые детали, частицы рабочих сред захватываются внутренней винтовой поверхностью и в направлении вращения поднимаются вверх и перемещаются в сторону выгрузки. По достижении определенной высоты под действием гравитационных сил и образовавшегося угла естественного откоса обрабатываемые детали и частиц рабочих сред движутся навстречу друг к другу под определенными углами и к стенкам вращающегося барабана 4 и перемещается в сторону выгрузки. Так как, криволинейная поверхность винтового барабана 4 непрерывна, то и непрерывен процесс движения последующих порций обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред, которые поднимаются вверх, падают вниз и движутся криволинейно. В каждой порции обрабатываемые детали и частицы рабочих сред перемещаются по своему вектору направления в сторону выгрузки, что в значительной степени интенсифицирует процесс нанесения механико-химических покрытий, повышает производительность и расширяет технологические возможности. Криволинейность внутренней поверхности винтового барабана 4 значительно расширяет диапазон изменений результирующих векторов перемещений обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред. Каждая из обрабатываемых деталей и частиц рабочей среды движется по разным векторам направления, что обеспечивает большую вероятность столкновений в начальный момент отрыва этих деталей и частиц от стенок винтового барабана, где они обладают определенным запасом кинетической энергии и движутся с большой кинетической энергией. Поэтому и обеспечивается интенсификация процесса нанесения механико-химических покрытий.

При движении вдоль оси винтового барабана в смесь обрабатываемых деталей и частиц рабочих сред на определенном расстоянии посредством тру-

бoppersoda 9 подается химический раствор и происходит процесс нанесения механико-химических покрытий. Отходы обработки (облой, металл заусенцев, окалина, остатки химического раствора и т.п.) выгружаются через отверстия 11 в средство для выгрузки отходов 8, а обработанные детали выгружаются в средство для выгрузки 7.

Выводы

Наличие в конструкции винтового барабана винтовых лопастей интенсифицирует процесс нанесения механико-химических покрытий. Техничко-экономические преимущества обусловлены наличием по внутренней поверхности винтового барабана плавных винтовых канавок одного направления, с винтовыми лопастями, которые не только расширяют технологические возможности, но и обеспечивают перемещение обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред и потоков химических растворов от загрузки и выгрузке при горизонтальном расположении оси вращения винтового барабана. Кроме того они усложняют траекторию движения обрабатываемых деталей, частиц рабочих сред и потоков химических растворов, что приводит к увеличению частоты их взаимодействия и, как следствие, к повышению производительности процесса.

Библиографический список

1. Лебедев В.А. Интенсификация отделочно-упрочняющей обработки в винтовых барабанах путем последовательного уплотнения и разряжения массы загрузки / В.А.Лебедев В.В, Н.Н.Кузнецова, Серга Г.В. // Межвуз. сб. научн. ст./ Донской Гос. Тех. Университет. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – С. 214-231.
2. Пат. № 2507053 Российская Федерация. Заявка 23.11.2012. № 2012150229/02. Оpubл. 20.02.2014. Бюл. № 5. 11с. Устройство для отделочно-зачистной обработки / Г.В. Серга, В.А. Лебедев, В.В. Иванов; заявитель и патентообладатель КубГАУ.
3. Решение о выдаче патента на изобретение «Станок для химико-отделочно-упрочняющей обработки деталей». Серга Г.В., Иванов В.В., Лебедев В.А. Решение от 04.03.2014. Заявка: 2013106597/02(0097800), подано: 14.02.2013.

APPLICATION OF SCREW DRUMS FOR THE APPLICATION OF MECHANICAL AND CHEMICAL COATINGS

Serga G.V., Lebedev V.A., Ivanov V.V.

Offered a machine for applying mechanical and chemical coatings developed on the basis of screw drum. Disclosed design features of the machine, providing increase in the intensity of the coating process.

Presentsthechnical appraisal and economic benefits ofits application in the application technology of mechanical and chemical coatings. Keywords: screw dryer, mechanical and chemical coating.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Д.Ц. Симсиве¹, аспирант, А.В. Кутышкин¹, д.т.н., профессор, Ж.В. Симсиве²,
к.т.н., доцент

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, ²Рубцовский индустриальный институт (филиал)
Алтайского государственного технического университета им. И.И.
Ползунова, г. Рубцовск

В статье предложена методика оценки стойкости режущего инструмента, оснащенного кубическим нитридом бора (КНБ), применяемого при точении титанового сплава по критерию усталостного разрушения его режущей части. Представлены результаты расчета стойкости режущего инструмента в сравнении с результатами экспериментальных исследований, опубликованных в открытой печати.

Ключевые слова: износ режущего инструмента, усталостное разрушение, стойкость режущего инструмента, точение.

Усталостное разрушение режущих пластин инструмента (режущего инструмента), используемого при точении, вызвано изменениями величины силы резания. Эти изменения обусловлены колебаниями величины припуска на обработку и периодическим образованием скалывающей трещины при формировании стружки. По мнению большинства отечественных исследователей [1,2] влияние второго фактора на усталостное разрушение режущего инструмента и его соответствующую стойкость превалирует. В настоящее время для оценки максимального P_{max} до минимального P_{min} значений силы резания при образовании скалывающей трещины, как правило, используются эмпирические и полуэмпирические зависимости. Это не только существенно усложняет получение оценок усталостной прочности и соответствующей стойкости инструмента, т.к. требует предварительного проведения экспериментальных исследований, но и ограничивает область применения полученных результатов, поскольку они связаны как с определенными технологическими условиями проведенных исследований, так и с механическими свойствами материалов инструмента и заготовки, которые использовались при этом.

В данной работе предлагается методика оценки стойкости режущего инструмента с пластинами из кубического нитрида бора, используемого при

механической обработке (точении) титановых сплавов, по критерию усталостного разрушения его режущих поверхностей. В качестве критериев прочности были приняты – хорошо известный критерий прочности Писаренко-Лебедева [3] (КПЛ) и относительно новый натуральный критерий прочности (НКП) [4,5].

При разработке данной методики были приняты следующие допущения. Материалы обрабатываемой заготовки и режущей части инструмента являются однородными, изотропными, жесткопластичными. Процесс резания считается установившимся, осуществляется с постоянной скоростью, колебания глубины резания отсутствуют, динамические колебания режущего инструмента не учитываются. Значение коэффициента трения μ на передней и задней поверхностях режущей части инструмента постоянно в течение времени обработки $T_{обр}$. Напряженное состояние режущей части инструмента считается плосконапряженным. Считается, что разрушение режущей части инструмента происходит в условиях многоциклового усталости из-за циклических колебаний величины силы резания (пульсаций силы резания) в процессе обработки. Циклом нагружения считается одно изменение величины силы резания при ее пульсации. Периодическая пульсация величины силы резания происходит в результате образования в стружке скалывающей трещины. При этом величина силы резания скачкообразно меняется от максимального P_{max} до минимального P_{min} значений, которые рассчитываются по зависимостям, приведенным в работе [6]. Изменяются также и значения температур на передней поверхности режущей части инструмента от Θ_{max} до Θ_{min} , которые определялись по методике, приведенной в работе [7]. Распределение же температуры по задней поверхности режущей части инструмента остается практически постоянным [7]. Влияние остальных видов износа не учитывалось.

В качестве критерия, определяющего возникновение усталостного разрушения режущей части инструмента при его эксплуатации, предлагается принять общее число циклов нагружения до разрушения, которое можно оценить зависимостью [3]:

$$N = N_{\sigma} \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_{max.\Sigma}} \right)^m. \quad (1)$$

Здесь $\sigma_{max.\Sigma}$ - максимальное суммарное напряжение, действующее на режущую часть инструмента в цикле нагружения; σ_R – предел выносливости материала режущей части инструмента при асимметричном цикле нагружения; N_{σ} – базисное количество циклов нагружения.

Учитывая, что общее число циклов нагружения до разрушения N соответствует стойкости инструмента $N = T \cdot f$, выражение для определения стойкости режущего инструмента принимает вид:

$$T = \frac{N_{\sigma}}{f} \left(\frac{\sigma_R}{\sigma_{max.\Sigma}} \right)^m, \quad (2)$$

где f - частота пульсации (колебаний) силы резания.

Частоту пульсации (колебаний) колебаний силы резания f можно оценить следующим выражением:

$$f = (2t_p)^{-1}; t_p = s_p / v; s_p = \frac{e_p \cdot a \cdot k_c}{2,31 \cdot \cos \gamma}; a = s \cdot \sin \varphi. \quad (3)$$

Здесь s_p – перемещение режущей части инструмента от окончания разрушения стружки в предыдущем цикле стружкообразования до начала образования в стружке трещины в следующем цикле; e_p – накопленная деформация материала заготовки в зоне острия режущей части инструмента, при которой начинается образование скалывающей трещины в основании стружки [6]; k_c – коэффициент изменения толщины стружки [6]; t_p – время, за которое режущая часть инструмента пройдет расстояние s_p ; γ, φ - передний и главный угол плане режущей части инструмента; v, s - скорость резания и подача.

Максимальное суммарное напряжение в режущей части инструмента $\sigma_{max.\Sigma}$, действующее в пределах цикла, оценивается выражением:

$$\sigma_{max.\Sigma} = \sigma_{\text{эkv.max}} + \sigma_{\Theta.max}, \quad (4)$$

где $\sigma_{\text{эkv.max}}$ – максимальное эквивалентное напряжение цикла нагружения режущей части инструмента; $\sigma_{\Theta.max}$ – максимальное термическое напряжение, возникающее в режущей части инструмента в течение цикла нагружения.

Предел выносливости σ_R при асимметричном цикле нагружения предлагается рассчитывать по зависимостям:

$$\sigma_R = \sigma_a + \sigma_m; \sigma_a = \sigma_{-l} - \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m; \psi_{\sigma} = \frac{2 \cdot \sigma_{-l} - \sigma_0}{\sigma_0}; \sigma_m = 0,5(\sigma_{max} + \sigma_{min}), \quad (5)$$

где $\sigma_a, \sigma_m, \sigma_{max}, \sigma_{min}$ – амплитуда напряжений, максимальное, минимальное и среднее напряжения цикла нагружения; ψ_{σ} – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла напряжений при нагружении; σ_{-l}, σ_0 – пределы выносливости материала режущей части инструмента при симметричном и отнулевом цикле нагружения.

Максимальное эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{эkv.max}}$ цикла нагружения режущей части инструмента согласно критерию Писаренко – Лебедева оценивается выражением [3]:

$$\sigma_{\text{эkv.max}} = \chi \cdot \sigma_i + (1 - \chi) \cdot \sigma_l \cdot A^{1-J}; \quad (6)$$

$$\chi = \frac{\sigma_B}{\sigma_{-B}}; \sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}; J = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}; \sigma_3 = 0;$$

$$\sigma_1 = 0,5 \left[\sigma_x + \sigma_y + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right]; \sigma_1 = 0,5 \left[\sigma_x + \sigma_y - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right].$$

Здесь A – константа, определяющая статическую сущность процесса разрушения, зависящая от характера имеющихся в материале дефектов и размеров тела [1]; χ – параметр, определяющий долю сдвиговой деформации в процессе разрушения; σ_i – интенсивность напряжений; J – параметр, характеризующий жесткость нагружения; σ_B, σ_{-B} – предел прочности материала режущей части инструмента и его предел выносливости при симметричном цикле нагружения; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные нормальные напряжения; $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – нормальные и касательные напряжения, действующие в режущей части инструмента в период цикла ее нагружения.

Согласно натуральному критерию прочности можно записать [4,5]:

$$\begin{cases} \sigma_{\text{экв. max}} = \sqrt{K_1 \cdot \tau_v^2 + K_2 \cdot \sigma_v^2} \leq \sigma_B; \\ \sigma_{\text{экв. max}} = \sqrt{K_1 \cdot \tau_v^2 + K_3 \cdot \sigma_v^2} \leq \sigma_B. \end{cases} \quad (7)$$

$$\sigma_v = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3;$$

$$\tau_v = \sqrt{(\sigma_1 \cdot \cos \alpha_1)^2 + (\sigma_2 \cdot \cos \alpha_2)^2 + (\sigma_3 \cdot \cos \alpha_3)^2};$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{\Sigma_1}{\Sigma_p}; \cos \alpha_2 = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_p}; \cos \alpha_3 = \frac{\Sigma_3}{\Sigma_p};$$

$$\Sigma_1 = 2 \cdot \sigma_1 - \chi \cdot (\sigma_2 + \sigma_3); \Sigma_2 = 2 \cdot \sigma_2 - \chi \cdot (\sigma_1 + \sigma_3); \Sigma_3 = 2 \cdot \sigma_3 - \chi \cdot (\sigma_1 + \sigma_2);$$

$$\Sigma_p = \sqrt{2 \cdot \left[(2 + \chi^2) \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - \chi \cdot (4 - \chi) \cdot (\sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2 \cdot \sigma_3 + \sigma_3 \cdot \sigma_1) \right]};$$

$$K_1 = \frac{3 \cdot (2 + \chi^2)^2}{2 \cdot (4 - \chi^2)}; K_2 = \frac{(2 + \chi^2)^2}{(4 - \chi^2)} \cdot (1 - \chi^2); K_3 = \frac{(2 + \chi^2)^2}{4 \cdot (4 - \chi^2)} \cdot (1 - \chi^2) \cdot \chi^2.$$

Здесь σ_v, τ_v – функции нормальных и касательных напряжений на опасной площадке с нормалью v ; $\cos \alpha_1, \cos \alpha_2, \cos \alpha_3$ – направляющие косинусы нормали v опасной площадки; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы, которые образуют нормаль v с направлениями главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$; K_1, K_2, K_3 – коэффициенты, зависящие от свойств материала.

Распределения температур Θ , термических напряжений и напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$, в режущей части инструмента для P_{max} и P_{min} оценивались методом конечных элементов.

Апробация предложенной методики осуществлялась с использованием экспериментальных данных, приведенных в работе [8]. Обработывались

заготовки из титанового сплава Ti-6Al-4V (BT-6). На основании данных работы [9] предел текучести материала обрабатываемой заготовки σ_s можно оценить зависимостью: $\sigma_s = 900 \cdot \exp(0,0618 \cdot (1700 - \Theta))$. В качестве инструментального материала использовались режущие пластины CNGA 120408S1020 KD120 (КНБ) со следующими геометрическими характеристиками: $\varphi = 60^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$. Механические параметры материала режущей пластины характеризуются следующими величинами [10]: $\sigma_H = 1000$ МПа, $\sigma_B = 700$ МПа, $\sigma_{-B} = 6500$ МПа, $\sigma_0 = 450$ МПа, $\sigma_{-1} = 400$ МПа. Режимы обработки заготовки приведены в таблице 1.

Таблица 1

Номер эксперимента	Режимы обработки		
	v , м/мин	s , мм/об	t , мм
1	280	0,25	0,5
2	280	0,25	0,1
3	280	0,05	0,5
4	180	0,25	0,5

Расчетные значения температур в зоне резания, на передней и задней поверхностях приведены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 видно, что колебания значений температур на передней и задней поверхностях режущей части инструмента при изменении силы резания от P_{max} до P_{min} не превышают 1,5 %. Это позволяет при оценке величин напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} , σ_a , σ_m , σ_{max} , σ_{min} (б) использовать средние значения температур Θ_p , Θ_z .

В таблице 3 приведены значения P_{max} , P_{min} , а также $\sigma_{экр. max}$, $\sigma_{max. \Sigma}$, с учетом принятых критериев прочности.

Таблица 2

Номер эксперимента	Температура на передней поверхности режущей части инструмента Θ_p , °C		Температура на задней поверхности режущей части инструмента Θ_z , °C		Средняя температура в зоне резания $\Theta_{з.р.}$, °C	Напряжение $\sigma_{\Theta. max}$, МПа
	$\Theta_{п. max}$	$\Theta_{п. min}$	$\Theta_{з. max}$	$\Theta_{з. min}$		
1	950	937	268	265	743	852
2	592	578	292	288	442	825
3	714	702	574	570	679	787
4	834	823	393	390	653	584

Таблица 3

Номер эксперимента	P_{max} , кН	P_{min} , кН	$\sigma_{экв.мах}$, МПа	$\sigma_{мах.Σ}$, МПа	$\sigma_{экв.мах}$, МПа	$\sigma_{мах.Σ}$, МПа
			критерий Писаренко-Лебедева		натуральный критерий прочности	
1	869	595	671	1523	620	1472
2	1632	1170	613	1438	557	1382
3	1570	953	554	1341	505	1292
4	543	341	421	1005	370	954

В таблице 4 совместно приведены экспериментальные значения и значения стойкости T режущей части инструмента, рассчитанные с учетом обоих критериев прочности, а также относительная ошибка ε между ними.

Таблица 4

Номер эксперимента	$T_{эксп.}$, мин	$T_{расч.}$, мин	ε	$T_{расч.}$, мин	ε
		критерий Писаренко-Лебедева		натуральный критерий прочности	
1	0,7	0,6	0,142	0,736	-0,05
2	1	0,93	0,07	1,15	-0,15
3	2,5	2,24	0,104	2,8	-0,12
4	1	0,87	0,13	1,16	-0,16

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы. Значения величины относительной ошибки ε свидетельствуют о незначительном расхождении расчетных и экспериментальных значений стойкости режущего инструмента по критерию его усталостного разрушения, что говорит о возможности использования предложенной методики при разработке технологических процессов механической обработки и выборе режущего инструмента. Так же для оценки максимального эквивалентного напряжения цикла нагружения режущей части инструмента возможно применение, как критерия прочности Писаренко-Лебедева, так и натурального критерия прочности.

Библиографический список

1. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
2. Ибатуллин И.Д. Кинетика усталостной повреждаемости и разрушения поверхностных слоев. – Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2008. – 387 с.

3. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Справочник. Т.1. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 346 с.

4. Цыбулько А.Е., Козлов П.Н. Теория прочности широкого класса изотропных материалов при сложном напряженном состоянии // Вестник машиностроения. – 2005. – №12. – с. 21-24.

5. Цыбулько А.Е., Романенко Е.А., Козлов П.Н. Оценка прочности конструкций по натуральному критерию предельного состояния материалов // Вестник машиностроения. – 2007. – №7. – с. 10-12.

6. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. 7. Математическое описание образования стружки разных видов, пульсации силы резания и параметров контакта обработанной поверхности заготовки с задней поверхностью резца // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – с. 56 - 71.

7. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю., Савкин А.И. Разработка новой теории тепловых процессов резания. 6. Определение температурных полей и контактных температур при резании // Вестник машиностроения. – 2011. – № 5. – с. 63–71.

8. Y. Burhanuddin, C.H. Che Haron, J.A. Ghani, A. K. Ariffin, G.A. Ibrahim, A. Yasir and N.H. El-Maghribi The Effects of CBN Cutting Tool Grades on the Tool Life and Wear Mechanism When Dry Turning of Titanium Alloy//Asian International Journal of Science and Technology in Production and Manufacturing 2008, Vol. 1, No.2, pp. 105-110.

9. Гохфельд Д.А., Гецов Л.Б., Кононов К.М. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник. – Екатеринбург: УрОРАН, 1996. – 408 с.

10. Петруша И.А., Смирнова Т.И., Осипов А.С., Стратийчук Д.А., Шишонок Н.А. Твердость и прочность высокочистых поликристаллических материалов кубического нитрида бора// Актуальные проблемы физики твердого тела. Междунар. науч. конф. «ФТТ–2005», Минск, 26 - 28 октября 2005 г.: Сб. докл. – Минск: Изд. центр БГУ, 2005. Т.1. – с. 484 - 486.

PREDICTION OF FATIGUE FAILURE OF THE CUTTING TOOL AT TURNING TITANIUM ALLOYS

D.C. Simsive, A.V. Kutyshkin, J.V. Simsive

The paper proposes a method of estimating the life of the tool, equipped with cubic boron nitride (CBN), in turning titanium alloy by fatigue failure of its cutting part. The results of the calculation of life of the tool in comparison with the results of experimental studies published in the press.

Keywords: cutting tool wear, fatigue failure, life of the tool, turning.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ПРИ ОПЛАВЛЕНИИ ПЛАЗМЕННОГО ПОКРЫТИЯ¹

В.Ю. Скиба, к.т.н., доцент, **В.Н. Пушкин**, аспирант,

И.А. Ерохин, аспирант, **Д.Ю. Корнев**, магистрант

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Для повышения эксплуатационных свойств деталей машин все большее распространения получают методы модифицирования поверхностных слоев деталей с использованием концентрированных источников энергии, обеспечивающих высокие скорости нагрева – порядка $10^4 \dots 10^5$ °C/с. Вследствие чего, достаточно затруднительно экспериментальное определение значений параметров термических циклов, необходимых для рационального назначения технологических режимов упрочнения. В работе решается задача конечно-элементного моделирования высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ) при оплавлении плазменного покрытия. Результаты расчета с достаточно высокой точностью подтверждаются данными оптической и растровой микроскопии.

Ключевые слова: ВЭН ТВЧ, плазменное покрытие, конечно-элементное моделирование, оплавление, поверхностный слой, упрочнение.

Введение

Объектом исследования является процесс упрочнения (с оплавлением) плазменного покрытия с использованием объемных концентрированных источников энергии. Основа детали – сталь 20, материал покрытия - порошок марки ПГ-С27 (высокохромистый легированный чугун). В качестве источника энергии использовали ламповый генератор марки ВЧГ 6-60/0.44 (рабочая частота $440 \cdot 10^3$ Гц). Процесс нагрева осуществлялся по глубинной схеме (толщина упрочненного слоя не превышает глубины проникновения тока в горячий металл – 0,6...0,8 мм) непрерывно-последовательным способом.

Целью работы является разработка математической модели ВЭН ТВЧ при оплавлении покрытия и верификация результатов численного моделирования с данными натуральных экспериментов.

Методика экспериментального исследования

Воспользоваться разработанным математическим аппаратом теории теплопроводности становится возможным только лишь при соответствующем описании теплового источника в месте его действия.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2014 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").

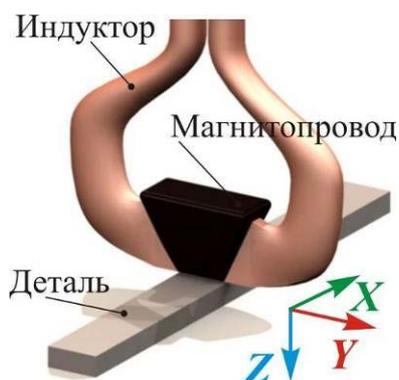


Рисунок 1 – Общий вид

При обработке ВЭН ТВЧ форма источника в плоскости X - Y (т.е. в плоскости, которая перпендикулярна активному проводу индуктора) представляет собой прямоугольник, стороны которого определяются длиной l и шириной паза магнитопровода b (рис. 1). Распространение индуктивного тока на поверхности обрабатываемого изделия будет определять распределение удельной мощности. Вдоль оси Y распределение удельной мощности равномерно, а по оси X - определяется отношением ширины паза магнитопровода b к величине зазора Δ между

обрабатываемой деталью и активным проводом индуктора. Кривые распределения удельной мощности представлены на рисунке 2 [1]. Здесь

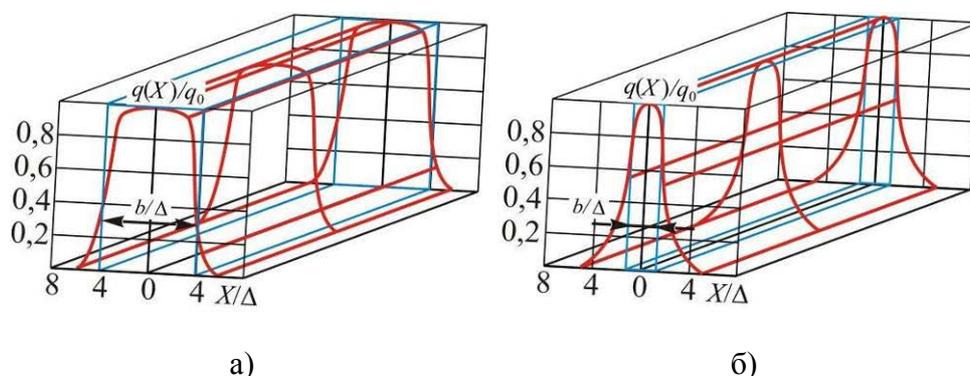


Рисунок 2 – Характер распределения удельной мощности под индуктором: q_0 – максимальное значение удельной мощности; b – ширина паза магнитопровода индуктора

отношение $q(X)/q_0 = \left(H_X/H_0 \right)^2 = f(X)$, где $q(X)$, q_0 , H_X , H_0 – значения

удельной мощности и напряженности магнитного поля на поверхности в точке X и под серединой индуктора ($X = 0$). Принимая во внимание результаты работ [2, 3], процесс перераспределения выделяемой энергии по глубине материала при нагреве ТВЧ можно разбить на три этапа (рис. 3). На первом и третьем этапах материал является однородным: удельное электрическое сопротивление ρ_s и относительная магнитная проницаемость материала μ в пределах слоя, где происходит выделение энергии, имеют одно значение. На втором этапе нижние слои обрабатываемого материала обладают ферромагнитными свойствами, а верхний слой, считается, что их уже потерял.

Распределение мощности по глубине материала (ось Z) в начале процесса нагрева ТВЧ, когда не один слой материала не достиг температуры точки Кюри T_K (рис. 3, а), будет описываться зависимостью

$$q(Z) = q_0 e^{-Z \cdot \sqrt{\frac{\pi \mu_0 \mu(T) f}{\rho_s(T)}}}, \quad (1)$$

где q_0 – мощность, выделяемая в поверхностном слое, устанавливается исходя из общего количества подводимой энергии; величины ρ_3 и μ рассчитываются для значения температуры $T = 20$ °С. При частоте $f = 440$ кГц глубина проникновения тока в холодный металл составляет порядка 0,04...0,10 мм, поэтому, и температура в первый момент времени будет увеличиваться лишь в поверхностном слое на данной глубине. Как только во всех слоях стали (чугуна) на глубине δ_K температура превысит значение T_K (рис. 3, з) (конечная стадия нагрева), распределение мощности по глубине также определяется по зависимости (1), только с соответствующим уровнем мощности на поверхности

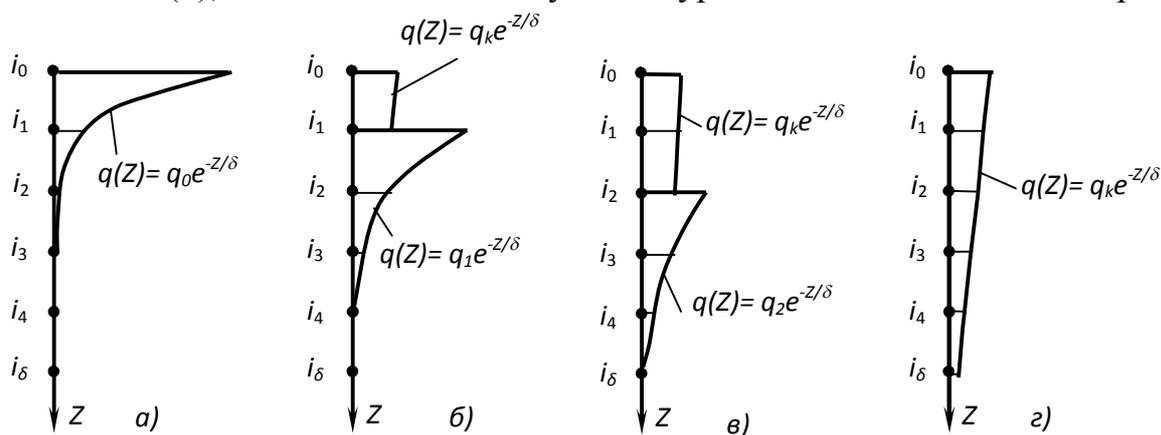


Рисунок 3 - Распределение удельной мощности по глубине материала на разных стадиях нагрева ТВЧ: а) – $T_{i0} < T_k$; б) – $T_{i0} \geq T_k$, $T_{i1} < T_k$; в) – $T_{i0} > T_k$, $T_{i1} \geq T_k$, $T_{i2} < T_k$; з) – $T_{i0}, T_{i1}, T_{i2} \dots T_{i\delta} \geq T_k$

q_K и значениями ρ_3 и μ для температур превышающих T_K .

На втором этапе, когда температура поверхностного слоя достигнет значения T_K , его магнитная проницаемость станет близкой к единице. Уменьшится и количество энергии, которое будет выделяться в этом слое (рис. 3, б). Тепловая мощность, действующая в нём, будет соответствовать уровню мощности для этого слоя на последнем этапе нагрева (рис. 3, з). Большая часть из оставшейся энергии будет выделяться в более глубоких слоях, которые по-прежнему обладают ферромагнетизмом. При этом $q(Z)$ также определяется по функциональной зависимости (1). Удельное электрическое сопротивление ρ_3 и относительная магнитная проницаемость материала μ принимаются для значений текущей температуры этого слоя. Определение значения удельной мощности q_1 будет происходить с учетом потери части энергии в поверхностном слое. При данных условиях именно в слое i_1 будет наблюдаться интенсивный рост температуры. Как только в этом слое температура станет равной T_K – произойдет очередное перераспределение энергии по ранее описанному алгоритму (рис. 3, в). Таким образом, процесс увеличения глубины проникновения тока будет происходить до тех пор, пока вся подводимая энергия не будет поглощена в горячем неферромагнитном слое (рис.3, з). При этом, по мере расширения зоны, в которой материал теряет свои магнитные

свойства, будет наблюдаться и постепенное уменьшение максимального уровня удельной мощности.

Представленная расчетная схема перераспределения выделяемой энергии по глубине материала согласуется с физикой самого процесса обработки токами высокой частоты и была применена в процессе формирования параметров конечно-элементной модели. Проверка адекватности параметров источника в математической модели проверялась опосредованно посредством предварительно проведенных структурных исследований и определения микротвердости упрочненного слоя [4].

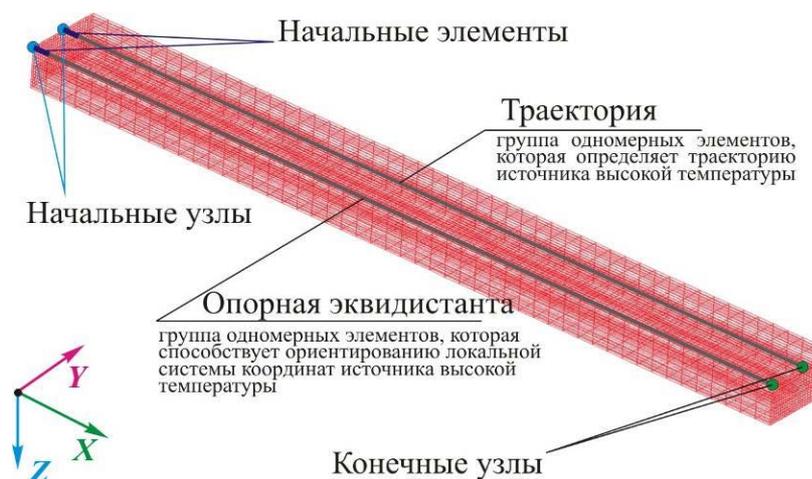


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель образца

Построение 3D модели испытуемого образца, назначение типа конечных элементов (КЭ) и создание регулярной КЭ сетки, а так же разбиение на компоненты осуществляли в программном комплексе ANSYS. На рисунке 4 представлена КЭМ заготовки.

Моделирование процесса ВЭНТВЧ осуществляли в системе SYSWELD,

позволяющей использованием модели упруго-вязкопластического поведения материала и современного математического аппарата, осуществить расчет температурных полей, распределения структурных составляющих, твердости, внутренних напряжений и деформаций [5].

Результаты и обсуждение

Моделирование выполнялось для следующего диапазона режимных параметров: скорость перемещения источника $V_{ист} = 50...100$ мм/с; удельная мощность источника $q_{ист} = 150...400$ МВт/м²; размер источника (ширины паза магнитопровода) $b = 2$ мм. В результате проведенного численного моделирования были получены распределения тепловых полей в процессе поверхностного оплавления плазменного покрытия. Как видно из рисунка 5 температура на поверхности детали, на глубине равной толщине покрытия ($h = 0.5\sim 1$ мм) достигает значений порядка 1200 °С (температуры плавления порошка марки ПГ-С27). При этом, как показывают результаты оптической и растровой микроскопии, оплавление ВЭН ТВЧ способствует тому, что в структуре покрытия практически ликвидируются поры и нерасплавленные частицы порошка, отсутствуют участки с несплошностью на переходной границе. Исследование динамики процесса позволило определить скорости нагрева (охлаждения), которые достигают следующих значений: $V_H = 5200$ °С/с, $V_O = -2800$ °С/с. С учетом структурно-фазовых превращений стало возможным

определение величины и характера распределения остаточных напряжений. На рисунке 6 представлено поле распределения остаточных напряжений (осевых).

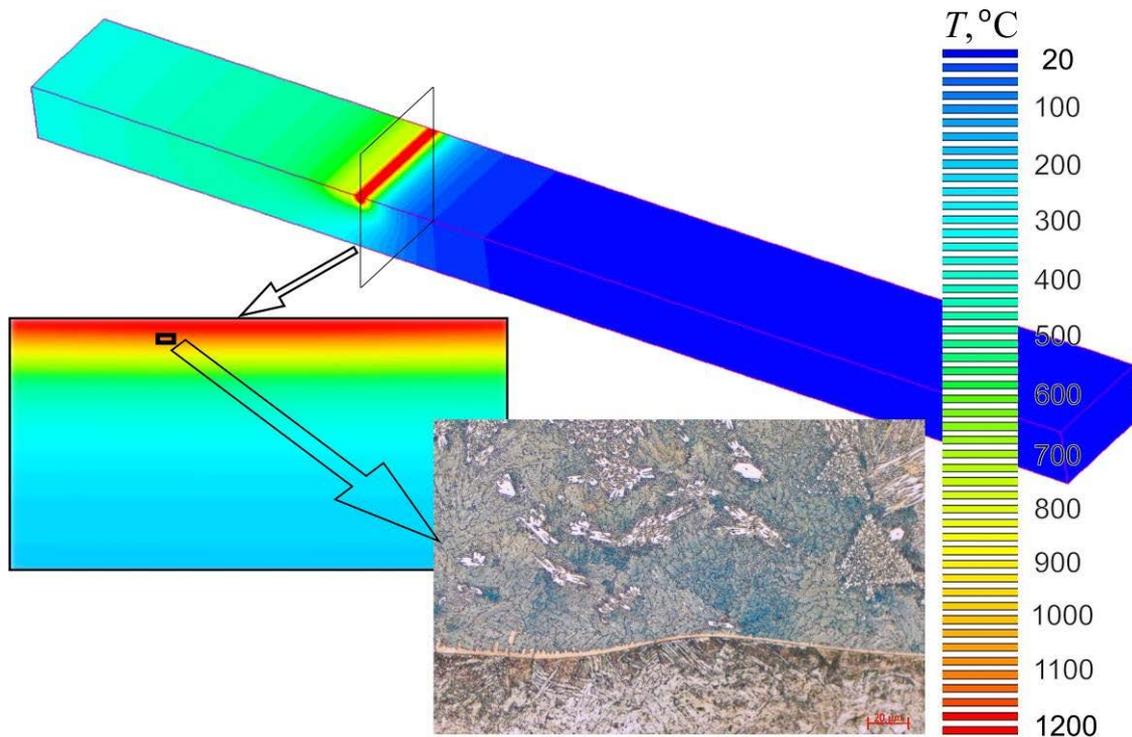


Рисунок 5 – Распределение тепловых полей в процессе оплавления ВЭН ТВЧ:
 $q_{ист} = 3,4 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$, $V_{ист} = 100 \text{ мм/с}$

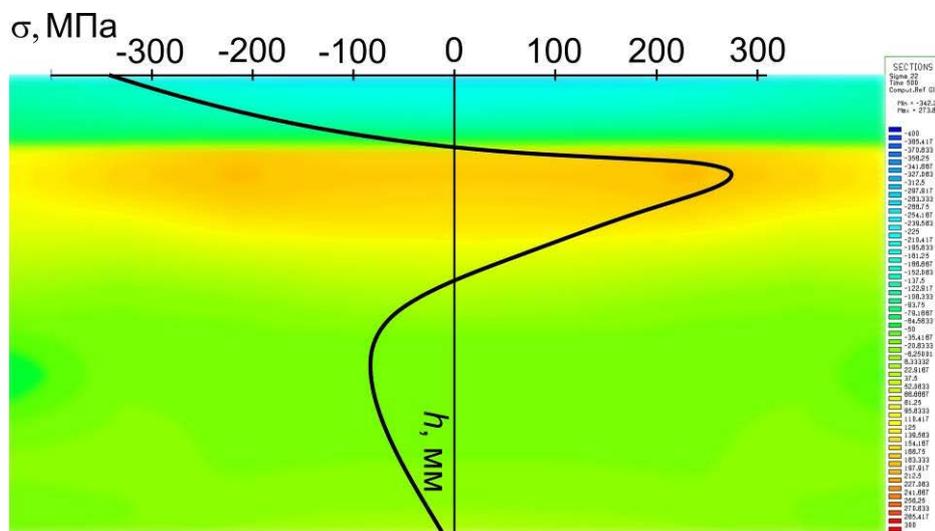


Рисунок 6 – Распределение осевых остаточных напряжений

Уровень $\sigma_{сж}$ на поверхности достигает значений -342 МПа, причем пик растягивающих напряжений смещен на глубину порядка 1,5 мм. При таком характере распределения следует ожидать прироста контактно-усталостной прочности изделия.

Выводы

Средствами конечно-элементных комплексов *ANSYS* и *SYSWELD* с учетом характерных особенностей распределения тепловой энергии при высокоэнергетическом индукционном нагреве разработана математическая модель поверхностного оплавления покрытия. Получены значения температурных полей, скоростей нагрева-охлаждения, структурно-фазовых превращений. Показано, что применение данного источника нагрева способствует повышению качества плазменного покрытия, поскольку в его структуре по всему объему ликвидируются поры и нерасплавленные частицы порошка. При этом в поверхностном слое изделия формируются остаточные напряжения сжатия, уровень которых составляет порядка -342 МПа, что, несомненно, повысит эксплуатационные свойства детали. Дальнейшее использование разработанной конечно-элементной модели позволит определить рациональные режимы при оплавлении плазменного покрытия посредством ВЭН ТВЧ.

Библиографический список

1. Слухоцкий А.Е. Индукторы для индукционного нагрева / А.Е. Слухоцкий, С.Е. Рыскин. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
2. Иванцовский В.В. Связь режимов обработки с теплофизическими процессами в материале при интеграции поверхностной термической и финишной механической обработок / В.В. Иванцовский // Современная электротехнология в промышленности России: Тр. Всеросс. науч.-техн. конф.[Электрон. ресурс], Тула, 27-28 окт. 2003 г. – Тула, 2003. – С. 249-258. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - ISBN 0320300984.
3. Иванцовский В.В. Упрочнение поверхностных слоев деталей машин с использованием высокоэнергетического нагрева токами высокой частоты / В.В. Иванцовский, В.А. Батаев // Ползуновский вестник. – 2005. – №2. – С. 104 – 113.
4. Моделирование процессов структурообразования при формировании сварного соединения из разнородных сталей / А. А. Никулина, В. Ю. Скиба, Е. Е. Корниенко, Е. Н. Миронов // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2011. – № 4 (53). – С. 54–61.
5. Моделирование тепловых полей в материале при абразивном шлифовании углеродистой стали в конечно-элементном комплексе *SYSWELD* / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцовский, Н. П. Зуб, С. В. Туревич // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: Материалы VI Международной

научно-технической конференции. - Пенза: Изд-во "Приволжский Дом знаний", 2010. - С. 50-53.

NUMERICAL SIMULATION OF HIGH-ENERGY HEATING BY HIGH-FREQUENCY CURRENTS AT MELTING PLASMA COATING

Skeeba V. Yu., Pushnin V.N., Erohin I.A., Kornev D.Yu.

Methods of the surface layers modification using concentrated energy sources are becoming increasingly popular to improve the performance characteristics of machinery. The process of high-energy heating by high frequency currents (HEH HFC) is carried out at high speeds in the region of few tens or even hundreds of thousands of degrees Celsius per second. This complicates the experimental determination of the numerical values of thermal cycles required for rational prescription of technological modes of hardening. This article presents a finite element model of HEH HFC during plasma coating melting. The results of calculation with sufficient accuracy are confirmed by optical and scanning microscopy.

Keywords: high-energy heating by high-frequency currents, plasma coating, finite-element modeling, melting, surface layer, hardening.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСИРОВАННОГО СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ²

В.Ю. Скиба, к.т.н., доцент, **В.Н. Пушкин**, аспирант,

И.А. Ерохин, аспирант, **Д.Ю. Корнев**, магистрант

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Решению задачи прогнозирования технических характеристик металлообрабатывающих станков посвящено достаточно большое количество работ. В них используются различные подходы, в том числе, основанные на аналитических методах расчета. Однако применение последних не всегда корректно, поскольку они не учитывают многих характерных особенностей, присущих реальным условиям эксплуатации интегральных комплексов. В статье предлагается универсальная методика обоснования технических характеристик комплексированного станочного оборудования на базе математического моделирования условий его эксплуатации. Предложенный подход обеспечивает возможность использования систем автоматического проектирования на начальной стадии создания общей концепции нового технологического оборудования.

Ключевые слова: прогнозирование, технические характеристики, комплексирование, логнормальное распределение, металлообрабатывающий станок.

Введение

Задача обоснования технических характеристик (ТХ) является одной из главных при разработке общей концепции новых технологических машин, поскольку именно на данном этапе закладывается базовый ряд основных показателей качества создаваемого изделия, в конечном итоге отражающих его потребительскую ценность [1, 2]. Специфика проблемы применительно к комплексированному металлообрабатывающему оборудованию заключается в следующем: во-первых, при разработке станочной системы такого уровня необходимо спрогнозировать условия ее эксплуатации на долгосрочный период. Учитывая суммарную длительность процессов проектирования, изготовления, испытания и функционирования станочного комплекса данный период времени может составлять порядка десяти и более лет; во-вторых, между размерами, характеризующими геометрию деталей и инструментов, и режимными параметрами процессов резания и обработки высокоэнергетическими методами нагрева существует корреляционная связь [3, 4]. Но особую сложность этот вопрос приобретает для интегральных

² Работа выполнена при финансовой поддержке проекта, выполняемого в рамках гранта РФФИ в 2014 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").

металлообрабатывающих станков, предназначенных для выполнения большого числа самых разнообразных технологических операций, значительно отличающихся между собой природой функционального воздействия на изделия широкой номенклатуры.

Для решения задачи прогнозирования ТХ станков нами предлагается методология, построенная на базе математического моделирования [5...7].

Теория

В любой технологической машине, несмотря на то, что ей свойственен достаточно большой перечень ТХ, всегда можно выделить несколько доминирующих характеристик. Основными ТХ, по мнению многих исследователей, в станкостроении являются: предельные значения частоты вращения исполнительного органа (n_{\min} и n_{\max}), номинальный крутящий момент M_H и мощность привода главного движения (электродвигателя) N_D . Оставшиеся технические характеристики являются либо производными от основных ТХ, либо не оказывают заметного влияния на главные показатели качества.

В процесс функционирования станочного оборудования параметры технологических операций (диаметр d детали (инструмента), скорость резания V_p , скорость перемещения источника энергии высокой концентрации $V_{\text{ист}}$, сила резания P и т.д.) имеют стохастический характер. В этом случае, согласно теории вероятностей, они могут быть описаны каким-либо законом распределения. Однако при определении типа закона необходимо принимать во внимание, что такие режимные параметры обработки как скорость (V_p и $V_{\text{ист}}$) и сила резания, являются производными от мультипликативного действия многих независимых и слабо зависимых случайных факторов (глубины резания, глубины упрочнения, подачи, стойкости инструмента и т.д.). Степень влияния каждого фактора различна, но в пределах свойственного для них уровня изменяется незначительно. В связи с этим на основании теоремы Ляпунова можно предположить, что итоговая случайная величина (параметр операции) U будет обладать логарифмически нормальным распределением, дифференциальная функция которого

$$f(\ln U) = \frac{1}{\sigma_{\ln U} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln U - \overline{\ln U})^2}{2\sigma_{\ln U}^2} \right], \quad (1)$$

где $\overline{\ln U}$ и $\sigma_{\ln U}$ - показатели распределения: среднее значение (математическое ожидание) и среднее квадратическое отклонение логарифмов случайной величины соответственно.

Принятое предположение подтверждается многочисленными результатами статистических исследований размеров обрабатываемых поверхностей деталей и используемого инструмента. Поскольку для

построения логнормального распределения требуются только средние и максимальные значения случайной величины (которые достаточно просто предсказать на требуемый период учреждения), то принятая модель обладает неоспоримым достоинством – простотой процедуры её прогноза. Более того, использование при численном моделировании только лишь величин математического ожидания $E_{\ln U} \approx \overline{\ln U}$ и дисперсии $\sigma_{\ln U}$, позволяет значительно повысить надежность прогноза, а благодаря устойчивости закона (при формировании нормально распределенных величин обеспечивается и результирующее нормальное распределение их производной величины), становится возможным моделировать распределения эксплуатационных характеристик (ЭХ) станка: частоту вращения n и крутящий момент M на шпинделе, эффективную мощность N (как текущие значения, не выходящие за пределы ТХ) через параметры технологических операций при условии, что они с ней связаны, но легче поддаются прогнозу. Таким образом, на основании теорем о математических ожиданиях и дисперсиях, а также известного уравнения $n = \frac{V}{\pi d}$ можно записать

$$E_{\ln n} = E_{\ln V} - E_{\ln d} + \ln \pi ; \quad (2)$$

$$\sigma_{\ln n} = \sqrt{\sigma_{\ln V}^2 + \sigma_{\ln d}^2 - 2R_{\ln n} \delta_{\ln V} \delta_{\ln d}},$$

где $2R_{\ln n}$ - коэффициент корреляции между логарифмами V и d .

На основе известных соотношений $M = P \cdot d/2$ и $N = \frac{\pi \cdot n \cdot M}{30}$ аналогичным образом формируются зависимости, используемые при расчете показателей логарифмически нормальных распределений для данных ЭХ.

Необходимо отметить, что на интегральном станочном оборудовании различные условия обработки объективно воспроизводятся с неодинаковой степенью повторяемости. Поэтому, наделение конкретных условий обработки отличительными признаками с целью их идентификации позволяет одновременно идентифицировать границы исследуемой области эксплуатации станка. Ниже это достигается сочетаниями метода обработки (точение, алмазное выглаживание, фрезерование, сверление, шлифование, плазменное напыление, поверхностное упрочнение высококонцентрированным источником энергии и т.д.) A , материалов детали B и инструмента C . Тогда вероятность реализации каждого из возможных условий обработки может быть получена на основе теоремы умножения вероятностей

$$p_{ijk} = p_i(A)p_j(B)p_k(C/AB), \quad (3)$$

где $p_i(A)$ - вероятность i -го метода обработки; $p_j(B)$ - вероятность обработки детали из j -го материала; $p_k(C/AB)$ - условная вероятность применения k -го

материала инструмента при соответствующем методе обработке и материале заготовки. Следует отметить, что суммарная вероятность p_{ijk} всех условий обработки должна быть равной 1, т.е. $\sum_{q=1}^{\omega} p_q = 1$. В предыдущем и последующих математических выражениях сложный индекс ijk заменен на мультииндекс q .

Результаты и обсуждение

Таким образом, для построения распределений эксплуатационных характеристик станка необходимо иметь достоверную информацию о \bar{U} , U_{\max} , R и p_q . В свою очередь, при прогнозировании этих начальных значений разумно использовать: методы математического моделирования (позволяет прогнозировать протекание эволюционных процессов, хорошо описываемых S -образными функциями); методы экспертных оценок (применяют, при отсутствии или малом объеме статистической информации за ретроспективный период, а также при прогнозировании развития технических систем в отдаленном будущем).

В предложенной математической модели [8], заложен принцип суперпозиции, в соответствии с которым

$$f(x) = \sum_{q=1}^{\omega} p_q f_q(x), \quad (4)$$

где $f(x)$ – дифференциальная функция итогового распределения исследуемой характеристики x (x – натуральный логарифм n , M или N); $f_q(x)$ – дифференциальная функция элементарного распределения характеристики для конкретного условия обработки q ; ω – количество разных условий обработки.

Анализируя выражение (4), приходим к выводу, что конечная картина дифференциальной функции распределения эксплуатационной характеристики формируется путем сложения частных функций с учетом их весовых коэффициентов. Более того, после построения картин распределений всех ЭХ можно определить наиболее рациональные значения каждой характеристики в отдельности, по сути, решая проблему начального этапа оптимизации. Поскольку, на ранней стадии проектирования за критерий оптимизации нельзя принять «*приведенные затраты*», то необходимо прибегнуть к анализу характера изменения моделируемой зависимости (4), для чего лучше всего подходит ее вторая производная

$$f''(x) = \sum_{q=1}^{\omega} p_q f_q''(x), \quad (5)$$

в которой

$$f_q''(x) = -\frac{1-t_{xq}^2}{\sigma_{xq}^3 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t_{xq}^2}{2}} \text{ при } t_{xq} = \frac{x - E_{xq}}{\sigma_{xq}}, \quad (6)$$

где t_{xq} - нормированное отклонение.

В этом случае задача оптимизации по существу сводится к установлению экстремумов целевой функции $f''(x) \rightarrow \max$. На завершающем этапе оптимизации необходимо перейти к комплексному анализу полученной системы распределений эксплуатационных характеристик и определению на базе его результатов уже значений ТХ. Частота вращения n , крутящий момент M на шпинделе, мощность резания N , связанные между собой общепринятым в машиностроении выражением $N = M \cdot n / 9554$, образуют систему случайных величин, описываемых функцией

$$f(\ln n, \ln M) = \sum_{q=1}^{\omega} p_q f_q(\ln n, \ln M), \quad (7)$$

Плотность элементарных логнормальных распределений $f_q(\ln n, \ln M)$ системы взаимозависимых случайных величин выражается формулой

$$f_q(\ln n, \ln M) = \frac{1}{2\pi \sigma_{\ln n q} \sigma_{\ln M q} \sqrt{1 - R_q^2}} e^{-\alpha},$$

при

$$\alpha = \frac{1}{2(1 - R_q^2)} \left[\frac{(\ln n - E_{\ln n q})^2}{\sigma_{\ln n q}^2} - \frac{2R_q (\ln n - E_{\ln n q})(\ln M - E_{\ln M q})}{\sigma_{\ln n q} \cdot \sigma_{\ln M q}} + \frac{(\ln M - E_{\ln M q})^2}{\sigma_{\ln M q}^2} \right], \quad (8)$$

где R_q - коэффициент корреляции случайных величин $\ln n$ и $\ln M$.

Осуществляя последовательное интегрирование функции $f(\ln n, \ln M)$ внутри области F , можно установить вероятности p_{ij} выполнения работ для любых сочетаний значений n_i , M_j и соответствующих им значений N_{ij} . Вероятность попадания в область ΔF описывается интегралом

$$p_{ij}((\ln n, \ln M) \subset \Delta F) = \iint_{(\Delta F)} f(\ln n, \ln M) d(\ln n) d(\ln M)$$

Нахождение объема работ, выполняемых на станке с максимальной производительностью, определяется посредством суммирования этих вероятностей по всей области F . При необходимости осуществляется корректировка положения границ, а, следовательно, и значений ЭХ (изменение положения границ обусловлено также потребностью в увязке значений n с рядом предпочтительных чисел и округлением значений M).

Полученный таким образом окончательный вариант картины распределения эксплуатационных характеристик позволяет одновременно установить оптимальные значения технических характеристик проектируемого станочного оборудования: предельные значения частоты вращения

исполнительного органа (n_{\min} и n_{\max}), номинальный крутящий момент M_H и мощность привода главного движения (электродвигателя) N_D .

Выводы

Предлагаемая методология обоснования технических характеристик технологического оборудования обладает рядом важных положительных качеств. Обладая достаточно широкой универсальностью и малой чувствительностью к ошибкам прогноза исходных факторов, для определения рациональных значений ТХ проектируемого оборудования необходим самый минимальный набор первичной информации, который должен включать в себя: средние и максимальные значения случайной величины; количество вариантов условий обработки ω ; вероятности условий обработки; коэффициент корреляции случайных величин. Развитие данного подхода позволит достичь основной цели – проектирование интегрального станочного оборудования с оптимальным набором технических характеристик.

Библиографический список

1. Иванова Н.С. Разработка организационно-экономических методов обеспечения конкурентоспособности промышленной продукции на основе системы маркетинговых исследований: Дис. ... к-та техн. наук: Спец. 05.02.22 / Н.С. Иванова, Московский. гос. техн. ун-т. им. Н.Э. Баумана – Москва, 2000. – 199 с.

2. Проников А.С., Борисов Е.И., Бушуев В.В. и др. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем. Том 2, часть 2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков. Справочник-учебник. В 3-х томах. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана: Машиностроение, 1995. - 320 с.

3. Скиба В.Ю. Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: Дис. ... к-та техн. наук: Спец. 05.03.01 / В.Ю. Скиба, Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2008. – 240 с.

4. Иванцовский В. В. Методика назначения режимов обработки при совмещении операций абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ / В. В. Иванцовский, В. Ю. Скиба, В. Н. Пушкин // Обработка металлов: Технология. Оборудование. Инструменты. – 2011. – № 4 (53). – С. 19–25.

5. Методология прогнозирования технических характеристик станков / С. В. Птицын, Ю. С. Чёсов // Известия вузов. Машиностроение, 2000. – №1-2. – С. 90-96.

6. Скиба В.Ю. Особенности оценки качества металлообрабатывающих станков и комплексов / В. Ю. Скиба, Е. В. Мережко, С. В. Птицын // Проблемы исследования и проектирования машин : сб. ст. 9 междунар. науч.-техн. конф., Пенза, нояб. 2013 г. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2013. – С. 42-45.

7. Особенности обеспечения качества оборудования машиностроительных предприятий / В. Ю. Скиба, С. В. Птицын, Е. В. Мережко, Д. Э. Коробкин, // Инновации в машиностроении : тр. 4 междунар. науч.-практ. конф., Новосибирск, 2–4 окт. 2013 г. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – С. 364-367.

8. Надежность прогноза качества технологического оборудования / С. В. Птицын, В. Ю. Скиба, Ю. С. Чёсов, Е. В. Мережко // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2013. - № 2. - С. 33-38.

PREDICTING TECHNICAL SPECIFICATIONS OF MACHINE-TOOL COMPLEXED EQUIPMENT

Skeeba V. Yu., Pushnin V.N., Erohin I.A., Kornev D.Yu.

A lot of works are devoted to the problem of predicting technical specifications of metalworking machines. Various approaches, including ones based on analytical calculation methods, are used. However, application of the last ones is not always correct, because they don't take into account a lot of characteristic features inherent to the actual conditions of integrated complexes. The article proposes a universal technique for justification of the technical specifications of machine-tool complexed equipment on the basis of mathematical modeling of its operating conditions. The proposed approach enables the use of computer-aided design at the initial stage of the general concept of new process equipment.

Keywords: prediction, technical specifications, complexation, lognormal distribution, metal-working machinery.

ОБОСНОВАНИЕ ПЛАВАЮЩЕГО ИНДЕКСА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НОРМИРОВАНИИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СВЕРЛЕНИЯ)

Г.И. Смагин¹, к.т.н., доцент, В.С. Карманов¹, к.т.н., доцент,
К.Н. Яковченко², м.н.с.

¹Новосибирский государственный технический университет,

²Конструкторско-технологический институт вычислительной техники
Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск

Предлагается новый подход к методике нормирования режимов резания труднообрабатываемых материалов (на примере операции сверления). Подход основан на применении коэффициента обрабатываемости и других поправочных коэффициентов в ранее разработанной методике по применению характеристических линий и характеристических поверхностей на поле факторного пространства режимов обработки. Применение предложенной методики позволяет повысить точность расчета режимов резания, снизить количество трудоемких стойкостных экспериментов. На основе предлагаемого метода разработан алгоритм планирования эксперимента для оценивания параметров стойкостной модели. Также разработан программный комплекс для расчета оптимальных режимов сверления для широкого диапазона диаметров сверл и других условий.

Ключевые слова: режимы сверления, стойкость режущего инструмента, нормирование режимов резания, характеристические линии, характеристические поверхности, поверхность отклика стойкости, планирование эксперимента, обрабатываемость материалов, поправочные коэффициенты, оптимизация режимов сверления, сверла из быстрорежущей стали, автоматизация определения режимов сверления, программный комплекс.

Введение

В традиционных методиках при нормировании, то есть определении режимов резания, за основу принимается базовая стойкость инструмента. Для конкретного диаметра сверла рассматривается зависимость стойкости от двух факторов – частота вращения n , [об/мин]; подача на оборот S , [мм/об]. В современных стандартах используются степенные зависимости стойкости инструмента от режимов обработки, хотя имеется достаточно много исследований различных авторов, в которых достаточная адекватность степенных моделей ставится под сомнение. В реальных экспериментах на всем поле факторного пространства поверхности отклика стойкости инструмента имеют выпуклый вверх, холмообразный вид, тогда как степенные зависимости дают вогнутые поверхности отклика и расчет оптимального режима резания в этом случае становится неопределенной задачей из-за отсутствия экстремума стойкостной функции. Кроме того, расположение линий равного уровня минутных подач $S_M = S_0 \times n$, [мм/мин] на поле факторного пространства в традиционном нормировании обычно эквидистантно линиям равного уровня

стойкостей, что также приводит к неопределенности при решении поставленной задачи.

Поэтому, за режим обработки на практике принимается режим на технологических ограничениях, что является малоэффективным решением, не связанным со стойкостью инструмента. Соответственно, табличные режимы в существующих стандартах в основном носят частный характер.

Алгоритм формирования банка данных рекомендуемых режимов резания в традиционном нормировании на первом этапе осуществляется обработкой результатов стойкостных экспериментов при определенных фиксированных условиях резания для обрабатываемого материала, который принимается за базис. При сравнении с другими материалами, условиями используется коэффициент обрабатываемости $K_{обр}$, за начальную базу принимаются условия, при которых $K_{обр}$ принимают равным 1. При обработке результатов стойкостных экспериментов определяются параметры модели и показатели степеней для исследуемых факторов. Далее, на втором этапе экспериментов, по этой же методике для конкретных условий обработки определяются параметры стойкостных моделей, но для материалов с обрабатываемостью меньше единицы ($K_{обр}=0.8; 0.6; 0.4; 0.2$). Затем в банк данных вводятся необходимые поправочные коэффициенты для иных условий обработки по сравнению с теми, что фиксировались при формировании начального базового банка данных

По новому предлагаемому авторами работы принципу нормирования режимы резания назначаются не вдоль стойкостных линий равного уровня на поле двухфакторного пространства (определяемых степенными зависимостями), а вдоль характеристических линий и поверхностей, выявляемых при обработке данных трудоемких экспериментов (с учетом применения экспоненциальных моделей стойкости инструментов). При этом устраняется эффект неопределенности при назначении режима резания, характерный для традиционного нормирования. В методике используются стойкостные модели, более адекватные реальным экспериментам, что, в свою очередь, позволяет снизить ошибки нормирования и позволяет шире использовать экстраполяционные возможности применяемых характеристических поверхностей.

Модели процесса резания, характеристические линии и характеристические поверхности

В систему базовых моделей процесса резания включаются: стойкость инструмента L , [мм] – общая длина просверленных отверстий до затупления сверла; осевая сила $P_{ос}$, [Н]; крутящий момент $M_{кр}$, [Н·мм]; температура резания t , [°C]. Так же, как и в традиционных методиках нормирования, основная роль отводится стойкости инструмента, и от выбора модели стойкости во многом зависит качество и точность нормирования режимов резания.

В качестве модели стойкости в работе была выбрана экспоненциальная одноэкстремальная двухфакторная и трехфакторная модели.

При нахождении оптимальных режимов резания использовался критерий оптимальности, критерий минимума затрат:

$$Q_2(n, S) = \frac{C}{L(n, S)} + \frac{D}{S \cdot n} + E, \quad (1)$$

где C, D, E - некоторые экономические параметры. К таким критериям можно отнести критерий минимума затрат, минимума себестоимости (единичного изделия, производственной линии, цеховой, заводской, отраслевой и т.д., что определяется экономическими параметрами C, D, E).

В работе [7] предложен класс моделей стойкости (для которых множество, образованное замкнутыми линиями равного уровня функции отклика в двухфакторном пространстве, является выпуклым), и показано, что оптимальные режимы по критерию (1) лежат на линии, определяемой характеристическим уравнением

$$\frac{\partial L}{\partial n} \cdot n = \frac{\partial L}{\partial S} \cdot S. \quad (2)$$

К моделям такого класса относятся полиномиальные модели второго порядка

$$L(n, S) = a_{11}n^2 + a_{12}nS + a_{22}S^2 + a_1n + a_2S + a_0; \quad (3)$$

модели, сводящиеся к полиномиальным некоторым нелинейным преобразованием (например, обратным или логарифмическим)

$$\frac{1}{L} = a_{11}n^2 + a_{12}nS + a_{22}S^2 + a_1n + a_2S + a_0; \quad (4)$$

$$\ln L = a_{11}n^2 + a_{12}nS + a_{22}S^2 + a_1n + a_2S + a_0. \quad (5)$$

При обработке данных большого количества реальных экспериментов было установлено, что наиболее адекватной реальным данным является модель (5) без взаимодействия факторов. Эта модель была выбрана в качестве базовой, и после приведения к канонической форме имеет вид

$$L = A \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{n - a_n}{b_n} \right)^2 - \left(\frac{S - a_s}{b_s} \right)^2 \right\}, \quad (6)$$

при этом параметры модели имеют простой физический смысл: A - характеризует максимальное значение стойкости на поле факторного пространства; a_s, a_n - характеризуют координаты этого максимума стойкости; b_n, b_s - характеризуют полуоси эллипса стойкости на заданном ее уровне (A/e) в координатах n, S .

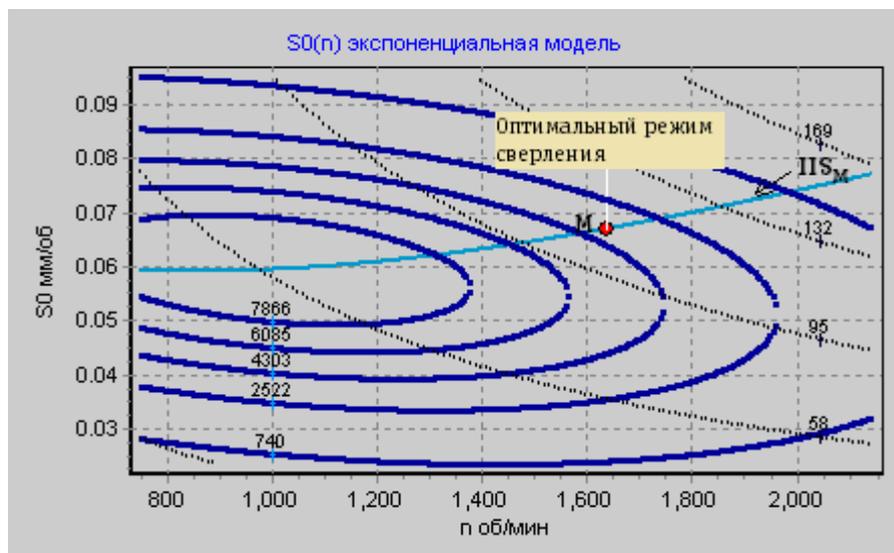
Характеристическая линия, определяемая уравнением (2), называется кривой IIS_M и является линией, на которой расположены режимы максимальных стойкостей для текущих значений минутных подач.

Для модели (6) характеристическая линия IIS_M имеет вид

$$IIS_M : S(n) = \frac{a_s}{2} + \frac{1}{2b_n} \sqrt{b_n^2 \cdot a_s^2 - 4 \cdot a_n \cdot b_s^2 \cdot n + 4 \cdot b_s^2 \cdot n^2}. \quad (7)$$

По предлагаемой новой методике нормирования базовых режимов для широкого спектра труднообрабатываемых материалов предложено

использовать две характеристические линии и две характеристические поверхности, базируясь при этом для конкретного инструмента на новой стойкостной одноэкстремальной модели (6), графически имеющей вид, представленный на рис.1, где также показана первая характеристическая линия IIS_M .



- — линии равного уровня стойкости инструмента L , мм,
- — кривая оптимальных режимов IIS_M ,
- - - — линии равных минутных подач S_M , мм/мин,
- — координата оптимальных режимов сверления (n^*, S^*) .

Рисунок 1 - Картина стойкости экспоненциальной модели и минутных подач

Для различных диаметров сверл строятся регрессионные модели зависимостей параметров моделей (6) от диаметра (методика изложена в источнике [10] и, таким образом, осуществляется переход к трехфакторной модели (8).

$$L(n, S, d) = \alpha_A d^{\beta_A} \exp \left[- \left(\frac{n - \alpha_{an} d^{\beta_{an}}}{\alpha_{bn} d^{\beta_{bn}}} \right)^2 - \left(\frac{S - \alpha_{as} d^{\beta_{as}}}{\alpha_{bs} d^{\beta_{bs}}} \right)^2 \right], \quad (8)$$

где $\alpha_A, \alpha_{an}, \alpha_{as}, \alpha_{bn}, \alpha_{bs}, \beta_A, \beta_{an}, \beta_{as}, \beta_{bn}, \beta_{bs}$ - параметры трехфакторной модели.

Второй характеристической линией является линия максимумов стойкости для различных диаметров сверл для материалов фиксированного коэффициента обрабатываемости, будем обозначать $L1$. Ее уравнение в параметрическом виде выглядит следующим образом

$$L1: \begin{cases} n = a_n = \alpha_{an} d^{\beta_{an}}, \\ S = a_s = \alpha_{as} d^{\beta_{as}}, \end{cases} \quad (9)$$

исключая переменную d , получим уравнение кривой в явном виде

$$L1: S(n) = \alpha_{as} \left(\frac{n}{\alpha_{an}} \right)^{\frac{\beta_{as}}{\beta_{an}}}. \quad (10)$$

При нормировании режимов резания для материалов различной обрабатываемости необходимо строить регрессионные зависимости параметров трехфакторной модели (8) от $k = K_{обp}$. Опыты показывают, что показатели степени β_i изменяются незначимо, а для параметров α_i достаточно применения линейной регрессии $\alpha_i = k \cdot \tilde{\alpha}_i$, где $\tilde{\alpha}_i$ - скорректированный по результатам эксперимента коэффициент. При введении в модель нового фактора k , можно перейти от характеристических линий IIS_M (7) и $L1$ (10) к характеристическим поверхностям IIS_M-IIS_M (11) и $L1-L1$ (12). Особо важное значение имеет поверхность IIS_M-IIS_M , рис.2.

Уравнение поверхности IIS_M-IIS_M имеет вид

$$IIS_M-IIS_M: S(n,d) = \frac{a_{sd}b_{nd} + \sqrt{(a_{sd}b_{nd})^2 - 4b_{sd}^2a_{nd}n + 4b_{sd}^2n^2}}{2b_{nd}}, \quad (11)$$

где $a_{sd} = \alpha_{as}d^{\beta_{as}}$; $a_{nd} = \alpha_{an}d^{\beta_{an}}$; $b_{nd} = \alpha_{bn}d^{\beta_{bn}}$; $b_{sd} = \alpha_{bs}d^{\beta_{bs}}$, а уравнение поверхности $L1-L1$ имеет вид (рис.3)

$$L1-L1: \begin{cases} n = k \cdot \tilde{\alpha}_{an}d^{\beta_{an}}, \\ S = k \cdot \tilde{\alpha}_{as}d^{\beta_{as}}. \end{cases} \quad (12)$$

Применение двух характеристических поверхностей позволяет завершить математическое описание «базы» нормирования режимов резания для широкого спектра материалов по их обрабатываемости.

Нормирование режимов сверления с применением плавающего индекса обрабатываемости материалов при изменении условий обработки

Изменение условий обработки при определении режимов резания можно, (как и в традиционном нормировании), учитывать с помощью существующего банка данных поправочных коэффициентов, хотя на сегодняшний день корректность их определения вызывает много вопросов. Это связано с тем, что эти коэффициенты определяются формально по условию сравнительных значений стойкостей при одинаковых режимах обработки, что как оказалось соответствует малой адекватности результатов расчетных параметров. Следует отметить, что теории поправочных коэффициентов в резании металлов уделялось недостаточное внимание. Как показали стойкостные эксперименты, определение поправочных коэффициентов при обработке разных материалов необходимо делать не при одинаковых режимах резания, а на режимах одинаковых физических воздействий на инструмент. Тогда стойкостные эксперименты необходимо проводить на режимах одинаковых температурных и силовых воздействий или на режимах максимальных стойкостей при

обработке каждого материала, т.е. для разных материалов и одного и того же диаметра сверла будем назначать разные режимы обработки.

Базовые модели используются как для нормирования режимов обработки (для оптимизации режимов). Другой важной функцией базовой модели является применение ее как условного эталона характеристик инструмента для сравнения их при исследованиях возможных улучшений различных параметров инструментов, при сравнительных исследованиях эффективности применения, при обработке с использованием различных СОТС (смазочно-охлаждающих технологических составов) или применения при обработке на станках систем управления со стабилизацией $M_{кр}$, $P_{ос}$ или $t^{\circ}C$ на инструменте и других способах обработки.

После определения коэффициентов моделей стойкости для базовых условий обработки и определения всех ее коэффициентов для сталей с обрабатываемостью от 1 до 0.2, также для базовых условий, все остальные разнообразные условия обработки (режимы резания) обычно корректируются через поправочные коэффициенты. Например, поверхность обрабатываемого материала может быть после прокатки, или с литейной коркой, сверление сквозное или глухое и т.п.

Существующий способ учета всех иных условий обработки связан обычно с коррекцией конкретного базового режима.

Этот прием (применения поправочных коэффициентов, позволяющий подвести режимы обработки к более реальным) уменьшает количество трудоемких стойкостных экспериментов, и в этом его положительное значение.

Недостатком же существующего нормирования является малая адекватность существующих самих степенных моделей стойкости и, соответственно, малая адекватность уже и базовых режимов резания и, как следствие, и режимов, определяемых через поправочные коэффициенты.

В статье излагается новая методика нормирования режимов резания, которой выше представлена иная модель стойкости – экспоненциальная (одно экстремальная). Это модель более адекватная $R^2=0.75$, по сравнению с $R^2=0.3$ для моделей со степенными моделями стойкости, позволяющая благодаря одно экстремальности определять режимы максимальных стойкостей для текущих значений минутных подач (линия IIS_M), что невозможно получать при применении степенных моделей.

Эти линии IIS_M (7) максимальных стойкостей для текущих значений минутных подач (рис. 1) в более обобщенном виде математически представлены поверхностью (IIS_M-IIS_M) -режимов определенной обрабатываемости (11), рис.2.

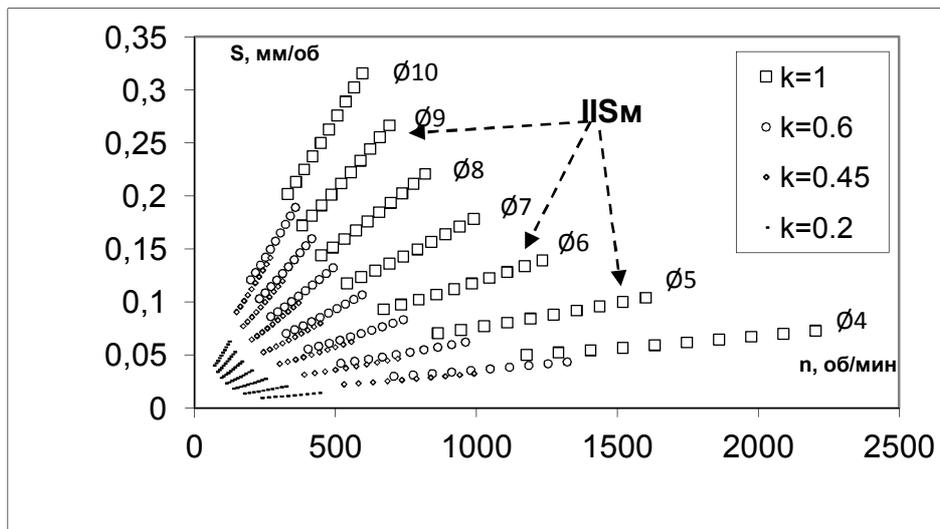


Рисунок 2 - Характеристические поверхности IIS_M - IIS_M режимов обработки для труднообрабатываемых материалов III...IV группы, $K_{обр}=1; 0.6; 0.45; 0.2$, сверла нормального исполнения $d=4..10$ мм, СОТС – НГЛ 205, глубина сверления $2d$, вылет сверла $10d$. Кривая IIS_M - характеристическая линия локальных максимумов стойкостей для текущих значений IIS_M .

Для разных материалов, обрабатываемость которых находится в диапазоне от 1 до 0.2, имеет место уже сумма таких поверхностей. Графически эта сумма поверхностей представляет всю область возможных режимов резания, т.е. область нормирования (рис.2).

Возвращаясь к способу учета всех иных условий обработки для предложенной методологии нормирования, основывающейся как обычно на базовых стойкостных экспериментах и на соответствующих им математических моделях, удобно ввести прием использования своего рода плавающего индекса обрабатываемости.

Любое отклонение условий обработки от базовых характеристик приводит к сдвигу плоскости обрабатываемости (поверхность IIS_M - IIS_M) на поле факторного пространства. Коэффициент сдвига находится из ряда рекомендуемых существующих в настоящее время поправочных коэффициентов. Эти поправочные коэффициенты более корректно можно назвать коэффициентами сдвига поверхностей обрабатываемости (рис. 3).

Отсюда и введение понятия плавающего коэффициента обрабатываемости.

Достоинствами этого приема являются более простые программные вычисления режимов обработки, графическая наглядность метода, отсюда и понимание технологами всех процедур определения оптимальных режимов обработки.

Достаточно полно поправочные коэффициенты представлены в [8, 9].

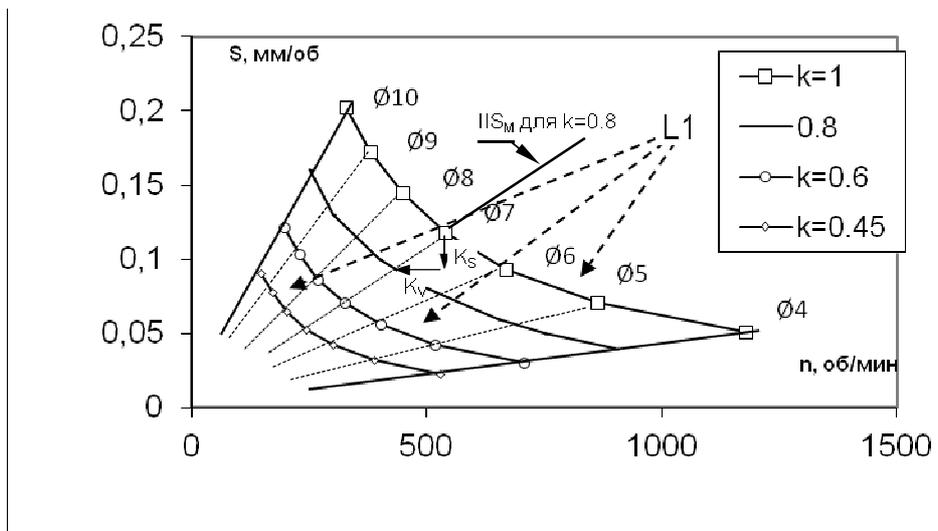


Рисунок 3 - Характеристическая поверхность L1-L1

L1 - характеристическая линия максимальных значений стойкостей для текущих диаметров сверл для сталей различной обрабатываемости.

Определение поверхности обрабатываемости для иных условий обработки нежели базовые, через поправочные коэффициенты (K_s, K_v),

В литературном источнике [9] используются следующие обозначения поправочных коэффициентов: механические свойства обрабатываемого материала – K_{1S_0}, K_{10V} , форма заточки – K_{2V} , наличие охлаждения – K_{3V} , глубина обрабатываемого отверстия – K_{4S_0}, K_{4V} , состояние обрабатываемой поверхности K_{6V} , марка материала инструмента – K_{7V} , состав покрытия – K_{8V} , длина рабочей части сверла – K_{9V} .

Так как по предлагаемой методике нормирования поправочные коэффициенты режимов заменяются коэффициентами сдвига поверхностей обрабатываемости, то формулы для корректирования базовых параметров будут следующими:

$$S_0 = S_{0Б} \cdot K_{1S_0}; V = V_{0Б} \cdot K_{1V} \cdot K_{2V} \cdot K_{3V} \cdot K_{4V} \cdot K_{5V} \cdot K_{6V} \cdot K_{7V} \cdot K_{8V} \cdot K_{9V}.$$

Таким образом, определяется новая характеристическая линия обрабатываемости, для изменяющихся условий обработки (рис. 3).

На рис. 3 для примера определения режима резания для сверла диаметром 7мм показана новая линия обрабатываемости $K = 0.8$. После этого на ближайшей линии HS_M для $\varnothing_{св} = 7 \text{ мм}$ определяется координата оптимального режима сверления.

Поправочный коэффициент на скорость резания в зависимости от материала сверла [8] следующие (табл.1) :

Таблица 1

Марка	P18	P9K5	P6M5	P6M3	P9M4K8
K_{7V}	0.91	1	0.94	0.91	1.1

Для конкретных обрабатываемых материалов один из поправочных коэффициентов приведен в таблице 2:

Таблица 2

Марка материала	Прочность материала $\sigma_b, \text{ кг / мм}^2$	Поправочный коэффициент K_{10V}
40X13, 07X16H6, 14X17H2	100-110	1
12X18H10T (X18H10T) 20X23H18 (7И417)	60	1
X15H5Д2Т (ЭП410, ЭП225)	100	1
12X21H5T (ЭИ811)	70	0.81
X15H9Ю (ЭИ904) X17H5M3 (ЭИ925, СНЗ)	90-110	0,83

Также поправочные коэффициенты приведены в [9].

Выводы

1. Предложенный и практически реализованный принцип нормирования режимов резания на основе характеристических линий и характеристических поверхностей и новой стойкостной модели и разработанные на этой основе методики нормирования режимов резания с использованием плавающего индекса обрабатываемости позволяют:

- повысить точность определения режимов резания, что позволяет снизить затраты на производстве за счет повышения стойкости инструмента в 1.5 - 2 раза по сравнению с традиционным определением режимов резания;
- обоснованно конструировать специальные станки с системами автоматического управления крутящим моментом, осевой силой и другими параметрами (например, двухканальные САУ, для которых характеристическая линия является критерием назначения начального режима обработки);
- разработать ПК ПРР труднообрабатываемых материалов, позволяющим рассчитывать режимы резания, как для отдельных специальных станков, так и нормировать режимы резания в табличном виде.

2. Полученная в работе двухфакторная математическая экспоненциальная модель стойкости инструмента позволяет непосредственно через ее параметры определять координаты максимума стойкости и сам максимум стойкости, определять характеристическую линию, вести расчеты оптимальных режимов резания по критерию минимума затрат для специальных станков.

3. Разработанная трехфакторная математическая экспоненциальная модель позволила эффективно применять ее при нормировании режимов резания труднообрабатываемых материалов, определять параметры характеристических поверхностей, также необходимых для нормирования, определять характеристические поверхности (основные математические выражения для нормирования режимов резания), на которых расположены все частные характеристические линии.

4. Предложенный принцип плавающего индекса обрабатываемости, позволил более информативно применять поправочные коэффициенты, позволил понять проблемы необходимости совершенствования их численных значений.

Библиографический список

1. Смагин Г.И. Оптимизация режимов сверления по критерию минимума затрат: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 68 с.
2. Смагин Г.И. Нормирование режимов обработки с помощью новых стойкостных моделей и критериев (на примере сверления) // Обработка металлов. – 2001. – 2(13). – С. 28 – 33.
3. Смагин Г.И. Нормирование оптимальных режимов резания труднообрабатываемых материалов // Обработка металлов. – 2003. №3(20). – С. 15 – 17.
4. Смагин Г.И. Методика нормирования оптимальных режимов резания труднообрабатываемых материалов по стойкости и производительности // Обработка металлов. – 2004. - №4(25). – С. 34 – 36.
5. Смагин Г.И., Карманов В.С. Характеристики и критерии стойкости инструмента при черновой и чистовой обработке точением // Обработка металлов. – 2005. - №4(29). – С. 24 – 25.
6. Смагин Г.И., Карманов В.С. Коррекция экстраполяционной области характеристической стойкостной модели при нормировании режимов резания труднообрабатываемых материалов (на примере сверления) // Обработка металлов. – 2006. – №2(31). – С. 34 – 35.
7. Карманов В.С. Исследование математических моделей стойкости режущего инструмента // Научный вестник НГТУ, № 2(23), 2006, с. 55-64.
8. Гуревич Я.Л. и др. Режимы резания труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение. 1976. – 176 с.
9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Т1, 2 – М.: Машиностроение. 1991.
10. Смагин Г.И., Карманов В.С. Алгоритм нормирования режимов резания труднообрабатываемых материалов по методу характеристических линий и поверхностей при использовании специальных планов эксперимента // Научный вестник НГТУ. – № 3(44). – 2011. – с.149-158.

GROUND FOR THE FLOATING INDEX MACHINABILITY MATERIALS FOR REGULATIONS OF CUTTING MODES BY THE EXAMPLE OF THE DRILLING

Smagin G.I., Karmanov V.S., Yakovchenko K.N.

Provided a new approach to the method of determining the optimum cutting hard materials (by the example of the drilling operation). Approach is based on the coefficient of workability and other adjustment coefficients in the previously developed method for the application of the characteristic lines and the

characteristic surfaces. Application of the proposed method can improve the accuracy of calculation of the cutting , reduce the amount of labor-intensive durability experiments. Based on the proposed method , there was designed the algorithm of experiments planning for parameter estimation of durability model. Also there was developed a software for the calculation of optimum modes of drilling for a wide range of diameters of drills and other conditions.

Keywords: drilling modes, cutting tool life, cutting rationing , the characteristic lines , characteristic surfaces, resistance response surface, experiment planning , machinability of materials, adjustment coefficients, optimization of drilling modes, speed-drill steel drills, drilling process automation, software.

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНО-РАБОТАЮЩЕГО МЕТАЛЛА ОБЪЕКТОВ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.Н. Смирнов, д.т.н., профессор, **Н.В. Абабков**, к.т.н.
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.
Горбачева, г. Кемерово

Предложены новые подходы к оценке предельного состояния длительно-работающего металла объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) на основе использования в расчетах структурного коэффициента.

Ключевые слова: техническая диагностика, технический контроль, накопленная повреждаемость, структурный коэффициент.

Техническая диагностика (ТД) является высшим уровнем технического контроля (ТК) и дает ответ на главные вопросы: когда должна быть прекращена эксплуатация изделия и что необходимо сделать для ее продления? При проведении ТД в качестве основного средства получения информации о состоянии объекта контроля (ОК) служит ТК, основанный на результатах измерений и испытаний. Разница между ТД и ТК состоит в следующем:

- ТК применяется в основном для измерения параметров материалов, деталей и узлов конструкции; тогда как объектами ТД являются более сложные агрегаты и механизмы, для которых необходимо определять остаточный ресурс и риск эксплуатации;

- при проведении ТК характер и размеры допустимых дефектов регламентированы заранее установленными нормами, а при ТД результаты анализируют с учетом влияния дефектов на работоспособность ОК в соответствии с конкретными методиками, программами и стандартами по расчету остаточного ресурса и риска эксплуатации на основании данных ТК.

Научное направление фундаментальных и прикладных исследований по проблемам определения и повышения прочности, ресурса, живучести и безопасности сложных технологических систем с учетом сложных эффектов нелинейности, наследственности, неоднородности и неопределенности сформировалось в последние годы на базе большого числа научно-исследовательских работ, выполнявшихся ранее в нашей стране и за рубежом на протяжении многих десятилетий [1].

Большое значение для анализа прочности, ресурса и безопасности имеет сложившаяся последовательность формирования фундаментальных научных основ, разработки инженерных методов расчетов и испытаний, создания норм и правил проектирования и изготовления объектов техносферы, обеспечения их функционирования в заданных пределах проектных режимов и параметров. Важнейшими поэтапно повышающимися требованиями к штатному (нормальному) функционированию и проектным параметрам этого функционирования всех объектов техносферы на всех стадиях их жизненного цикла стали: прочность→жесткость→устойчивость→ресурс→надежность→

живучесть→безопасность→риск→защищенность. На основе указанных традиционных требований и параметров можно построить так называемую пирамиду комплексного обеспечения работоспособности объектов техносферы (рис. 1) [1].

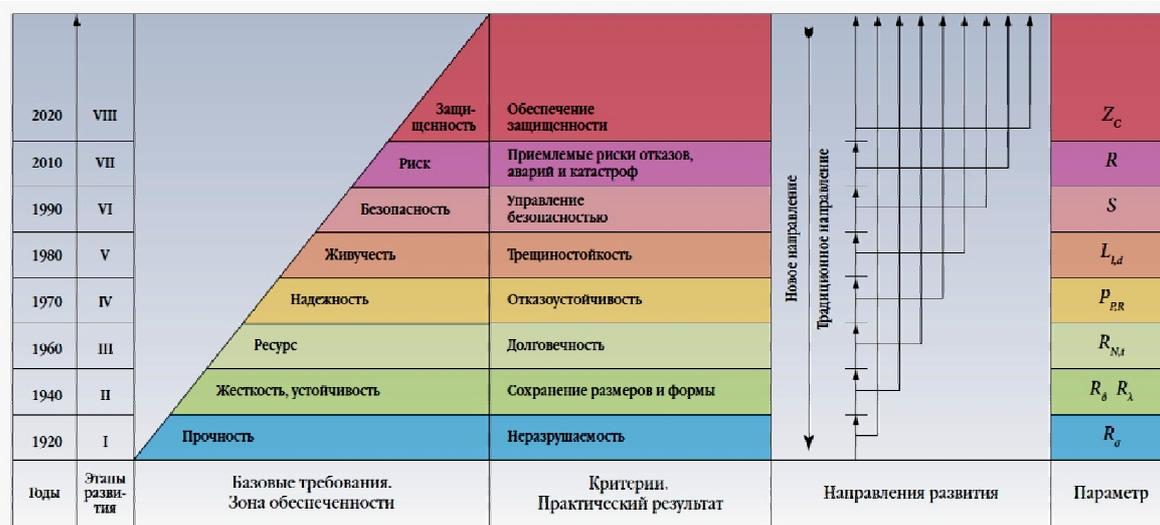


Рисунок 1 - Общая структура обеспечения работоспособности объектов техносферы

На ней (рис. 1) выделены годы и основные этапы развития (I–VIII), базовые требования основные практические результаты и направления взаимодействия. Видно, что каждый выше расположенный элемент пирамиды опирается на нижние элементы как на основу. Это, в конечном счете, означает, что решение вершинных проблем безопасности должно обязательно опираться на решение проблем: живучести→надежности→ресурса→жесткости→устойчивости→прочности – с прохождением через традиционные этапы их взаимодействия: I→VIII. Фундаментальные результаты определения и обеспечения прочности (этап I) были получены в течение длительного времени к началу XX в., а замкнутый анализ жесткости и устойчивости (этап II) завершился к концу 20-х гг. XX в. Прошлый век стал веком формирования теории и практики обеспечения ресурса→надежности→живучести (этапы III, IV, V). На рубеже XX и XXI вв. была поставлена фундаментальная проблема анализа и обеспечения безопасности (этап VI) для всех потенциально опасных объектов гражданского и оборонного назначения с переходом на управление защищенностью (VIII этап) от катастроф по критериям рисков. На этих этапах требование безопасности было сформулировано как определяющее, что потребовало развития нового направления – VII→I – как основного для будущего развития техносферы [1].

Согласно [2] представлена схема (рис. 2), иллюстрирующая влияние на расчетную оценку выработанных и остаточных ресурсов учета фактической модели эксплуатации (ФМЭ) и физического закона накопления повреждений ω (1). По вертикальной оси отложена текущая поврежденность ω соответствующая наработке t (горизонтальная ось). Прямые линии соответствуют линейному

закону накопления повреждений $\omega_{\text{л}} = \square N_i/N_{fi}$, кривая OP – фактическому закону накопления $\omega = V/V_f$, где V – объемная доля дефектов, V_f – критическая объемная доля. Горизонтальная линия AB соответствует критическому значению $\omega_{\text{л}}$ с проектными коэффициентами запаса. Линия BC соответствует проектному назначенному ресурсу $T_{\text{наз}}$ по проектной модели эксплуатации, которой соответствует расчетное линейное накопление повреждений $\omega_{\text{л}}$ по линии OB . Реальная накопленная поврежденность ω соответствует линии OC . Видно, что учет ФМЭ позволяет при более мягкой фактической модели эксплуатации увеличить назначенный ресурс на наработку BD с сохранением проектных коэффициентов запаса. Фактическая поврежденность материала за назначенный ресурс $T_{\text{наз}}$ будет для фактической модели эксплуатации меньше расчетной линейной [2].



Рисунок 2 - Концепция оценки остаточного ресурса оборудования и систем ядерных энергетических установок

$$\omega_j = \sum \frac{\Delta V_{ji}}{V_{jf}}; \quad (1)$$

$$\omega_j = \sum \frac{\Delta a_{ji}}{a_{jf}}$$

В качестве примера приведен расчета ресурса барабанов котлов высокого давления. Согласно [3] ресурс барабанов котлов высокого давления определяется по величине накопленной поврежденности металла (2):

$$A = 2 \frac{n_{\text{по}}}{N_{\text{по}}} + 0,08 \frac{n_{\text{по}}}{N_{\text{ту}}} + \frac{n_{\text{по}}}{N_{\text{ги}}} + \frac{40n_{\text{по}} + \omega\tau}{N_{\text{т}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{по}}$, число пусков-остановов барабана; $N_{\text{по}}$, $N_{\text{ту}}$, $N_{\text{ги}}$, $N_{\text{т}}$ – число циклов для режимов пусков-остановов, тепловых ударов, гидроиспытаний и температурных колебаний соответственно; ω – частота термоциклирования барабана в период работы котла на стационарном режиме; τ – наработка барабана.

Если при расчете по соотношению $A < 1$, то стадия НПМ является докритической и в связи с конкретным значением параметра A имеется возможность продления ресурса барабана при его эксплуатации с прогнозируемой интенсивностью основных циклических режимов следующим образом:

- при $A < 0,8$ – до 50,0 тыс. ч дополнительно;
- при $0,8 < A < 1$ – до 25,0 тыс. ч дополнительно.

Таким образом, с одной стороны имеем то, что с каждым годом увеличивается число технических устройств опасных производственных объектов, которые выработали парковый ресурс. С другой стороны имеется большое число методик, методов определения технического состояния объектов и расчетных алгоритмов для продления ресурса того или иного объекта.

Однако ни одна методика, ни один алгоритм расчета остаточного ресурса не учитывают изменения, которые происходят в структуре металла в процессе длительной эксплуатации технического устройства опасного производственного объекта. Поэтому необходимо разработать комплексный критерий, который будет учитывать изменения в структуре металла в процессе длительной эксплуатации того или иного объекта.

Очевидно, что общее время эксплуатации любого оборудования складывается из времени наработки до текущего состояния $\tau_{\text{тек}}$ и остаточного времени до разрушения $\tau_{\text{ост}}$ (остаточный ресурс) (3):

$$\tau_{\text{н.с}} = \tau_{\text{тек}} + \tau_{\text{ост}} \quad (3)$$

При этом текущее состояние объекта можно описать как функцию, зависящую от проведенных ремонтов $K_{\text{рем}}$, наличия производственных и (или) эксплуатационных дефектов $K_{\text{деф}}$, условий монтажа $K_{\text{монт}}$ (4):

$$\tau_{\text{тек}} \rightarrow f(K_{\text{рем}}, K_{\text{деф}}, K_{\text{монт}}) \rightarrow \tau_{\text{ост}} \quad (4)$$

По текущему состоянию объекта оценивается остаточный ресурс $\tau_{\text{ост}}$ (4). Нами предлагается учитывать при оценке остаточного ресурса процессы, происходящие в структуре металла $K_{\text{стпр}}$, а также характеристики, измеряемые акустическими методами контроля $K_{\text{акуст}}$ (5):

$$\tau_{тек} \rightarrow f(K_{рем}, K_{деф}, K_{монт}, K_{стр}, K_{акуст}) \rightarrow \tau_{ост} \quad (5)$$

Предполагается, что структурный коэффициент будет учитывать такие параметры как: поля внутренних напряжений $\sigma_{вн}$, среднюю ρ и скалярную ρ_{\pm} плотность дислокаций, средний размер зерен $d_{зер}$, параметры кристаллической решетки и др. (6):

$$K_{стр} = f(\sigma_{вн}, \tau, \rho_{\pm}, \rho, d_{зер}, \mu) \quad (6)$$

Выводы:

1. С каждым годом увеличивается число технических устройств опасных производственных объектов, которые выработали парковый ресурс.
2. Имеется большое число методик, методов определения технического состояния объектов и расчетных алгоритмов для продления ресурса того или иного объекта.
3. Ни одна методика, ни один алгоритм расчета остаточного ресурса не учитывают изменения, которые происходят в структуре металла в процессе длительной эксплуатации технического устройства опасного производственного объекта.
4. Необходимо разработать комплексный критерий, который будет учитывать изменения в структуре металла в процессе длительной эксплуатации того или иного объекта

Библиографический список

1. Махутов, Н.А. Техническая диагностика остаточного ресурса и безопасности / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин. – учеб. пособие под общ. ред. В.В. Ключева. – М.: Изд. дом «Спектр», 2011. – 187 с.
2. Митенков, Ф.М. Методы обоснования ресурса ядерных энергетических установок / Ф.М. Митенков, В.Б. Кайдалов, Ю.Г. Коротких и др. – М.: Машиностроение, 2007. – 448 с.
3. Инструкция по порядку продления срока службы барабанов котлов высокого давления СО 153-34.17.442-2003.

4.

THE DEVELOPMENT OF NEW APPROACHES TO ASSESSING LONG-LIMITING CONDITION WORKING METAL OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

A. N. Smirnov, N. V. Ababkov

New approaches to the evaluation of limiting state long-running metal of the fuel and energy complex (FEC) based on use in the calculation of the structural factor are proposed.

Keywords: technical diagnostics, technical control, accumulated defectiveness, structural factor.

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРА-ИССЛЕДОВАТЕЛЯ В ОБЛАСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.В. Смирнов, к.т.н., доцент

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ
им. И.И. Ползунова, г. Бийск

В статье обсуждаются вопросы использования методов математического моделирования в исследованиях и конструкторско-технологической подготовке машиностроительных производств.

Ключевые слова: Математическое образование, математическое моделирование, компьютерный эксперимент

Введение

В современных инженерных исследованиях и проектах в области машиностроения математическое моделирование широко применяется и служит для изучения и оптимизации производственных систем, поддержки научных разработок, обеспечения процедур автоматизированного проектирования, параллельного инжиниринга и др. [1,2]. Поэтому приобретённые студентом ключевые компетенции в области математического моделирования полезны в различных сферах профессиональной деятельности.

Приступая к предмету изучения, прежде всего, студенту необходимо усвоить, что математическая модель, как всякая другая идеальная модель упрощает действительность. Упрощение проявляется в использовании приближений, отбрасывании малозначимых деталей и др. При уточнении модели сложность математического исследования может существенно возрасти. Хотя, зачастую более простая модель позволяет лучше и глубже исследовать реальную систему, чем более сложная.

В зависимости от цели создания выделяют дескриптивные, оптимизационные и управленческие математические модели [2].

Дескриптивные модели служат для установления законов изменения параметров модели, например, в виде уравнения.

Оптимизационные модели предназначены для определения наилучших с точки зрения некоторого критерия (стоимости, надёжности, производительности, жесткости и др.) параметров моделируемого объекта или же для поиска оптимального режима управления некоторым процессом.

Управленческие модели применяются для принятия эффективных управленческих решений на основе их выбора из множества альтернатив.

Методологической основой построения многих математических моделей сложных систем является *системный подход*, а наиболее полные формальные модели систем (структурные модели) обычно можно представить в виде графов. Для построения структурных моделей также используются ключевые положения математической теории множеств и алгебры логики.

В общем случае можно указать три пути возникновения научных моделей:

1) в результате наблюдения и прямого изучения реального процесса (*феноменологические модели*);

2) в результате процесса *дедукции*, когда новая модель является частным случаем некоторой общей модели;

3) в результате процесса *индукции*, когда новая модель становится обобщением некоторых частных моделей.

Ключевые этапы математического моделирования включают [3]:

- содержательную, концептуальную и математическую постановку задачи;

- качественный анализ и проверку корректности модели;

- выбор методов решения задачи;

- поиск решения и/или разработка алгоритма решения и исследование его свойств, реализация алгоритма в виде компьютерной программы.

- проверку адекватности модели.

- практическое использование модели.

К основным требованиям, предъявляемым к математическим моделям, относят требования универсальности, точности, адекватности, и экономичности.

Математические модели

Вид, состав и сложность конкретной математической модели зависит от того, какой объект она описывает и для каких целей разработана. Однако построение математических моделей многих элементов технических систем упрощается благодаря использованию типовых моделей. Например, при описании геометрии объекта можно воспользоваться уравнениями линий и поверхностей; а более сложные геометрические модели создаются комбинированием простых форм, а также каркасным, кинематическим или алгоритмическим способами. В то же время существуют задачи, требующие изучения закономерностей процессов и явлений, выделения существенных факторов, принятия различного рода допущений и их обоснования, математической интерпретации имеющихся сведений и т.п. Построение математической модели в этом случае является творческим процессом и требует специальной подготовки, как в соответствующих предметных областях, так и в вопросах математики.

С точки зрения прикладной математики *математическая модель* – это некоторый оператор A , позволяющий по соответствующим значениям входных параметров X установить значения выходных параметров Y объекта моделирования:

$$A(X \rightarrow Y), X \in \Omega_X, Y \in \Omega_Y,$$

где Ω_X и Ω_Y – соответственно множества допустимых значений входных и выходных параметров, элементами которых могут быть любые математические объекты (числа, матрицы, функции, множества и т.д.).

Входные параметры в общем случае могут быть внутренними и внешними (управляемыми и неуправляемыми).

Часто задачу можно сделать *обратной* к исходной, т.е. поменять местами входные и выходные параметры. Всякая задача инженерного проектирования также может рассматриваться как обратная, т.к. в процессе проектирования приходится находить параметры объекта, обеспечивающие заданные в техническом задании на проектирование выходные характеристики.

По своей природе параметры могут быть как качественными, так и количественными. Для количественной характеристики вводятся *числа*, выражающие отношения между данным параметром и эталоном, и *функциональные зависимости*. Описание качественных параметров, как правило, даётся на естественном языке в виде сравнительных характеристик; их часто удается свести к параметрам количественным, например, *методом экспертных оценок*.

Случается, что построение модели сложного объекта связано с множеством трудно учитываемых факторов. При детерминированном описании каждому отдельному параметру удаётся поставить в соответствие конкретное число либо функцию. При недостатке информации появляются различные варианты описания неопределенности параметров, которые можно разбить на три основные группы: неизвестность, недостоверность, неоднозначность [3]. Математически неопределенность может быть описана стохастически, статистически, с позиции теории нечетких множеств, средствами интервальной математики.

Разделение моделей на *одномерные*, *двухмерные* и *трехмерные* применимо для таких моделей, в число параметров которых входят *координаты пространства*. Как правило, увеличение размерности модели приводит к росту числа используемых математических соотношений и к повышению сложности вычислений.

Как и координаты, к независимым переменным обычно относится *время*. При построении модели важным является сравнение времени существенных изменений внешних воздействий и *времени релаксации*, определяющего установление равновесия между отдельными элементами внутри объекта и общий переход объекта в некоторое равновесное состояние с окружающей средой. Если скорости изменения внешних воздействий на объект моделирования существенно меньше скорости релаксации, то явной зависимостью от времени в модели можно пренебречь. В этом случае говорят о квазистатическом процессе, который допустимо рассматривать в рамках *статической модели*.

Если скорости изменения внешних воздействий и параметров состояния изучаемого объекта достаточно велики (по сравнению со скоростями релаксации), то учет времени необходим. В этом случае объект исследования рассматривают в рамках динамического процесса и соответственно строят *динамическую модель*.

В случае, когда движения отдельных элементов исследуемого объекта (например, элементов потока жидкости) не зависят от времени, процессы и

соответствующие математические модели будут *стационарными*, в противном случае – *нестационарными*.

Значения параметров модели в некоторый момент времени или на данной стадии характеризуют *состоянием объекта*. Оптимизация параметров модели (состояния объекта) чаще всего осуществляется методами математического программирования.

Понятие *оператора* также может трактоваться достаточно широко. Это может быть некоторая функция, схема, алгоритм, система уравнений, совокупность правил и др., т.е. то, что обеспечивает нахождение выходных параметров по заданным исходным значениям входных параметров.

В зависимости от оператора модели различают модели линейные и нелинейные. Линейные математические модели выражают крайние проявления детерминизма и подходят для анализа простых объектов. Для них характерно действие *принципа суперпозиции*.

Для *нелинейных моделей* отклик на изменение какого-либо входного параметра может быть непропорционален изменению этого параметра. Системам и большинству реальных процессов, как правило, присуще нелинейное многовариантное поведение, которое часто обусловлено особенностью реальных условий их существования, например, случайным характером взаимодействия с окружающей средой. Так, обычно невозможно абсолютно достоверно предвидеть все типы внешних нагрузок и их величины, которые могут встретиться в процессе эксплуатации промышленного изделия. Кроме того, источником неопределенности могут быть случайные свойства материалов, погрешности размеров, допущенные при изготовлении конструкций и др.

В зависимости от степени влияния на качественные результаты моделирования все нелинейности разделяют на две группы: существенные и несущественные; последние подлежат линеаризации. Существенные нелинейности описывают разрывными и неоднозначными функциями или функциями, имеющими изломы, а также непрерывными функциями с большой кривизной в исследуемой области изменения аргумента. Среди большого разнообразия исследователю следует обратить внимание на типовые проявления нелинейного поведения систем: мультистационарность, автоколебания, хаос.

Функциональные модели обычно отражают только внешне воспринимаемое поведение (функционирование) системы. В их предельном выражении они являются моделями «чёрного ящика». Исходной информацией при построении функциональных моделей служат данные о назначении и условиях работы исследуемой (проектируемой) системы, что, в свою очередь, характеризуется выбором множества так называемых фазовых переменных. В прикладной механике, например, используют следующие виды фазовых переменных: сила, скорость, деформация, напряжение, температура, тепловой поток и т.п. Классический метод построения функциональных математических моделей *физических процессов* состоит в применении на практике

фундаментальных законов природы (сохранение энергии, материи, импульса). Другой универсальный метод получения функциональных моделей – *применение вариационных принципов*. В его основе лежит достаточно общее утверждение, что из всех возможных вариантов поведения исследуемого объекта выбираются лишь те, которые удовлетворяются определенному условию. Обычно согласно этому условию некоторая связанная с объектом математическая величина (функционал) стремится к экстремальному значению. В качестве примера можно привести вывод основных соотношений метода конечных элементов – распространенного в вычислительной механике средства инженерного анализа объектов [1].

Вместе с тем часто при попытке построить математическую модель какого-либо сложного явления либо невозможно прямо указать фундаментальные законы или вариационные принципы, которым оно подчиняется, либо вообще нет уверенности в существовании нужных формулировок. В этом случае продуктивным может быть *метод использования аналогий*, в основе которого лежит известный в технических и естественных науках факт, что закономерности протекания многих различных по своей природе явлений в математической форме описываются аналогичными по структуре уравнениями [4]. В частности, широко применяется аналогия системных свойств процессов переноса на уровне фазовых переменных типа потока и типа потенциала.

При функциональном моделировании также используются *экспериментальные факторные модели*, которые ещё называют *регрессионными*. Эти модели являются статистическими; описывая объект «в среднем», они являются адекватными лишь в области факторного пространства, в которой реализован эксперимент. При их построении используются методы аппроксимации экспериментальных данных.

Успешные попытки функционального моделирования *информационных процессов* в технологических системах и технических объектах традиционно связаны с достижениями математической теории вероятности, теоретической информатики, теорией массового обслуживания и теорией автоматического управления. Области применения математических моделей информационных процессов: программное управление оборудованием, управление процессами, технологическими системами, производственными участками, цехами, проектирование средств измерения.

Компьютерное моделирование

В зависимости от методов реализации различают аналитические и алгоритмические математические модели. В *аналитических* математических моделях выходные и выходные параметры связаны зависимостями в виде аналитических выражений (точных и приближённых). Знание аналитического выражения для искомых параметров позволяет исследовать фундаментальные свойства объекта, его качественное поведение, строить новые гипотезы о его внутренней структуре. Однако возможности аналитических методов существенно ограничены уровнем развития соответствующих разделов математики, и в большинстве случаев их применение ограничено относительно

несложными моделями в узком диапазоне значений параметров. *Алгоритмические (компьютерные) математические* модели находят большее практическое применение и могут быть численными или имитационными.

При *численном моделировании* совокупность исходных математических соотношений заменяется конечномерным аналогом. Это чаще всего достигается *дискретизацией* исходных соотношений, т.е. переходом от функций непрерывного аргумента к функциям дискретного аргумента. После дискретизации исходной задачи выполняется построение *вычислительного алгоритма*. Найденное решение дискретной задачи принимается за приближенное решение исходной математической задачи. Степень приближения определяемых с помощью численного метода искомым параметрам модели зависит:

- от погрешностей самого метода, связанных с заменой исходной модели ее дискретным аналогом;

- от ошибок округления, возникающих при выполнении компьютерных расчетов и связанных с конечной точностью представления чисел в машинной памяти.

Основным требованием к вычислительному алгоритму является его *сходимость*, т.е. возможность получения решения исходной задачи с заданной точностью за конечное число шагов. Вопросами разработки и использования численных методов, а также построения на их основе вычислительных алгоритмов занимается *вычислительная математика*.

Имитационное моделирование заключается в создании некоторого алгоритма, моделирующего поведение сложной системы с учетом взаимодействия друг с другом составляющих ее элементов. Смысл имитационного моделирования обычно состоит не столько в получении решения какой-либо определенной задачи, сколько в получении инструмента исследования и прогнозирования поведения сложной системы при различных комбинациях управляющих параметров.

Имитационное моделирование применяется в случаях, когда изучаемые процессы имеют явно нелинейный характер и при этом осложнены разного рода вероятностными характеристиками. Моделирование случайных величин, характеризующих такой сложный процесс, производится с помощью алгоритмов, реализованных на компьютере. Поиск характеристик распределения смоделированных случайных величин обычно осуществляется численными методами Монте-Карло. Марковские случайные процессы и системы массового обслуживания относятся к наиболее известным и изученным имитационным моделям. Относительно новые виды имитационных моделей позволяют строить математическая теория игр, теория искусственных нейронных сетей, теория автоматов. Имитационная модель может применяться для поиска оптимальных проектных и производственных решений

Выводы

Применение математических моделей допускает исследования систем произвольной сложности, но часто требует использования вычислительной

техники. Использование математической модели, построенной алгоритмическими методами, аналогично проведению экспериментов с реальным объектом, только вместо реального эксперимента с объектом проводится *компьютерный эксперимент* с его моделью [5].

Выступая в качестве метода познания, математическое моделирование решает проблемы совершенствования качества математической подготовки студентов инженерных вузов, содержательная часть которых отражена в новой концепции развития математического образования в России.

Библиографический список

1. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

2. Смирнов, В.В. Два направления инноваций в области математической подготовки инженеров // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе. Материалы 10-ой Всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск, 28 марта 2012 г. – С. 217-219.

3. Введение в математическое моделирование / под ред. П.В. Трусова. – М.: Логос, 2004. – 440 с.

4. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем / В.П. Тарасик. – Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.

5. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 320 с.

MATHEMATICAL MODELING IN ENGINEERING EDUCATION

V.V. Smirnov

The article discusses the use of mathematical modeling in research and design and technological preparation of engineering industries.

Keywords: Mathematics education, mathematical modeling, computation.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ С СИНТЕЗИРОВАННЫМИ В МАТРИЦЕ КАРБИДНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

А.В. Собачкин, к.т.н., **А.А. Ситников**, д.т.н., профессор, **В.И. Яковлев**, к.т.н., доцент, **А.П. Свиридов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул

В работе изучаются особенности формирования покрытий путем электродуговой наплавки порошковых материалов, полученных по технологии механически активированного самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Ключевые слова: механическая активация, СВС, электродуговая наплавка, износостойкое покрытие.

Введение

Для противостояния износу рабочие поверхности необходимо упрочнять. Один из наиболее эффективных способов упрочнения – электродуговая наплавка. Это недорогой метод продления срока службы металлических изделий нанесением на их поверхность защитного слоя. Износостойкость наплавочных материалов существенным образом зависит от типа и количества карбидной фазы в сплавах. Чаще всего упрочняющая фаза в наплавочных сплавах содержит карбиды: Fe_3C ; Mn_3C ; Cr_7C_3 ; W_2C ; WC ; VC ; TiC ; V_4C , Mo_2C , и др., а также карбобориды, нитриды, железа и легирующих элементов [1].

Однако в подобных покрытиях существует проблема неравномерного распределения твердой фазы по объему наплавки, т.е. имеются участки наплавленного металла с различной структурой и, соответственно, твёрдостью, что приводит к резкому увеличению износа на определенных этапах эксплуатации [2]. Неравномерность химического состава наплавленного металла также несколько усиливает избирательность процесса изнашивания особенно при взаимодействии с незакреплёнными абразивами [3]. Поэтому разработка и исследование износостойкого материала, структура которого содержит мелкодисперсные частицы упрочнителя, равномерно распределенные по объему покрытия, является весьма актуальной задачей.

Методика экспериментального исследования

В работе используются перспективный метод получения порошковых компонентов, содержащих карбидную фазу – проведение реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в инертных матрицах [4]. Преимущества синтеза в матрицах состоят в высокой дисперсности и равномерности распределения частиц образующихся фаз в матрице, в общем случае недостижимые при использовании простого смешивания ранее синтезированных соединений [5]. При этом, равномерность распределения карбидных соединений в объеме металлической матрицы может сохраняться в процессе наплавки. Кроме того, структура наплавленного

металла при введении таких соединений карбидов может обеспечить более высокую износостойкость и твердость сплава по сравнению с отдельным способом легирования карбидами [6-8]. Из всех широко применяемых для легирования тугоплавких карбидов металлов карбид титана обладает наиболее высокой температурой плавления, а также твердостью.

Целью работы является изучение тонкой структуры и фазового состава покрытий, полученных дуговой наплавкой из порошков механоактивированных СВС-композитов состава $TiC + X \% ПР-N70X17C4P4-3$.

Для экспериментальных исследований дуговая наплавка осуществлялась на подложку из стали 45 трубчатым порошковым электродом, содержащим смесь СВС-механокомпозитов состава $TiC + ПР-N70X17C4P4-3$ ($X \% \text{ масс.}$). Степень разбавления металлом матрицы составляла от 90 % до 70 % с шагом 10 %. Предварительно порошковые компоненты подвергались механоактивационной обработке в планетарной шаровой мельнице. СВС-реакция осуществлялась в режиме фронтального горения.

При проведении исследований использовались следующие методы:

- метод металлографического анализа, реализованный с помощью оптического микроскопа Carl Zeiss AxioObserver Z1m,
- метод электронно-оптического и спектрального анализа фазового состава, реализованный с применением растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50 XVP с микроанализатором EDS X-Act «OXFORD».

Результаты и обсуждение

Проведение металлографических исследований на образцах с матрицей типа $TiC + ПР-N70X17C4P4-3$ (80 % масс.) показало, что в наплавленном металле выделяются карбидные частицы различной формы. Вместе со стручками карбидов и их единичными включениями кубической формы, в структуре покрытия присутствуют карбиды более крупных (по сравнению с единичными) размеров неправильной формы, не имеющие ориентировки (рис. 1).

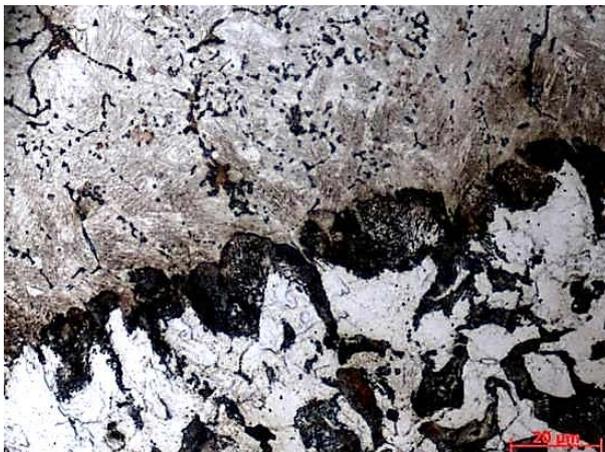


Рисунок 1 – Микроструктура наплавленного металла из порошков СВС-механокомпозитов состава $TiC+80 \% TiC+ПР-N70X17C4P4-3$

Установлено, что по мере уменьшения степени разбавления СВС-механокомпозита состава TiC + X % ПР-Н70Х17С4Р4-3 металлом матрицы значительно возрастает количество крупных карбидных частиц различной формы, выделяющихся внутри зерна.

Для детального рассмотрения морфологии титаносодержащих включений были проведены электронно-оптический и спектральный анализы фазового состава, подтвердившие наличие нескольких видов карбида титана в наплавленном металле (одиночные крупные карбиды кубической и неправильной формы, а также мелкие карбиды и их цепочки). На рис. 2 отчетливо видна общая доля карбидных частиц титана, она окрашена в зеленый цвет. Это одиночные крупные карбиды кубической и неправильной формы, а также мелкие карбиды и их цепочки.

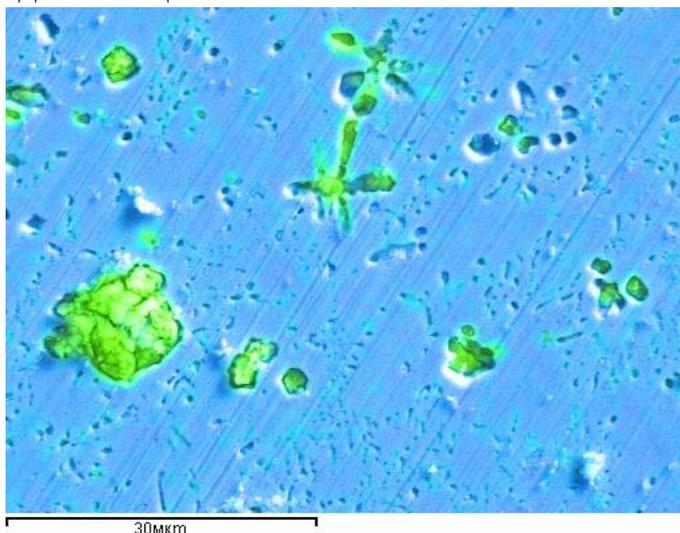


Рисунок 2 – Распределение карбида титана в наплавленном металле

Результаты растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом в микроточке представлены на рис. 3 и в таблице. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в наплавленном металле зерно карбида титана претерпевает существенные изменения и представляет собой нестехиометрический карбид TiC, с кубической и ромбической симметрией.

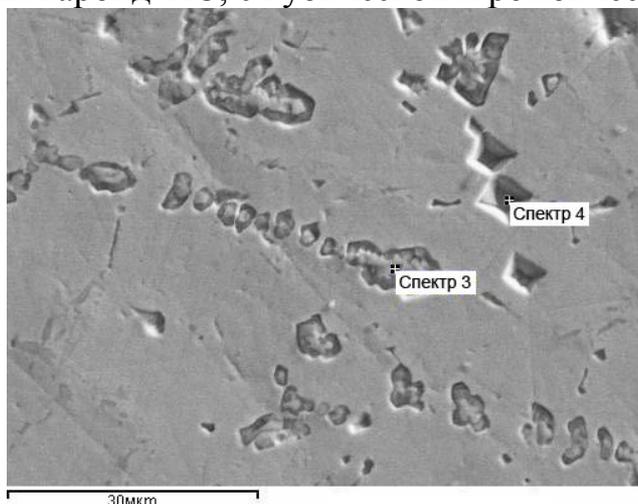


Рисунок 3 – Микроструктура и морфология частиц механокомпозитов в покрытиях состава TiC + 80 % ПР-Н70Х17С4Р4-3

Таблица - Весовое распределение химических элементов в частицах механокомпозитов покрытий TiC + 80 % ПР-Н70Х17С4Р4-3

Химический элемент	Весовой %	
	спектр 3	спектр 4
C	18,17	22,06
Ti	72,17	54,34
Fe	7,83	20,12

Выводы

Таким образом, по итогам работы можно сделать вывод, что в результате механоактивационной обработки компонентов порошковой смеси TiC + X % ПР-Н70Х17С4Р4-3, проведения реакции СВС и дуговой наплавки в структуре покрытия формируются карбидные частицы различной стехиометрии TiC в объеме металлической матрицы (ПР-Н70Х17С4Р4-3). При этом наблюдается достаточно равномерное распределение синтезированных в матрице карбидных соединений по объему наплавленного металла.

Использование для дуговой наплавки порошков СВС-мехакомпозитов дает возможность получать в структуре металла покрытия, наряду с мелкими карбидами титана, крупные кубической и неправильной формы. Кроме того, наличие дополнительных центров кристаллизации в виде карбидов титана значительно измельчает структуру наплавленного слоя в целом. Следовательно, полученная структура наплавленного металла может обеспечивать высокую твердость, а также износостойкость покрытия и, соответственно, приводить к увеличению срока эксплуатации деталей, узлов и агрегатов машин различного назначения.

Библиографический список

1. С.Н. Кульков, С.Ф. Гнюсов Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. Томск : Изд-во НТЛ, 2006. - 240 с.
2. А. В. Собачкин, А. А. Попова, И. В. Назаров Структура и свойства газодетонационных покрытий различного функционального назначения на основе порошков слоистых механокомпозитов с металлической и интерметаллидной матрицей // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2013. - № 6 (102). - С. 16–22.
3. Г.И. Смагин, В.Н. Филимоненко, Н.Д. Яковлев, М.А. Корчагин, В.Ю. Скиба Шлифовальный инструмент на основе силикокарбида титана // Обработка металлов. 2011. № 1. С. 27-30.
4. В.В. Евстигнеев, Б.М. Вольпе, И.В. Милюкова, Г.В. Сайгутин Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. - М. : Высшая школа, 1996. - 284 с.
5. А. А. Попова, А. В. Собачкин, И. В. Назаров, В. И. Яковлев, М. В. Логинова, А. А. Ситников, М. Р. Шарафутдинов, Н. З. Ляхов Динамическая дифрактометрия фазовых превращений при высокотемпературном синтезе в

порошковых механоактивированных системах в условиях объемного воспламенения // Известия РАН. Серия физическая. - 2013. - Т. 77. № 2. - С. 140–143.

6. О.С. Каковкин, Ю.Д. Дарахвелидзе, Г.Г. Старченко Особенности легирования наплавленного металла карбидом титана при дуговой износостойкой наплавке // Сварочное производство. - 1989. - № 5. - С. 41-42.

7. А. В. Собачкин, И. В. Назаров, В. И. Яковлев, А. А. Ситников, П. С. Ярцев Морфология покрытий из многокомпонентных, предварительно механоактивированных порошков СВС-композитов // Обработка металлов. - 2012. - № 3 (56). - С. 141–144.

8. А. В. Собачкин, В. И. Яковлев, А. А. Ситников Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 9. С. 17–22.

STRUCTURE FORMATION OF WEAR-RESISTANT COATINGS WITH CARBIDE COMPOUNDS, SYNTHESIZED IN THE MATRIX DURING ELECTRIC ARC WELDING

A. V. Sobachkin, A. A. Sitnikov, V. I. Yakovlev, A. P. Svirodov

This paper investigates the features of formation of coatings by arc welding powder material, obtained by the technology mechanically activated self-propagating high-temperature synthesis (SHS).

Keywords: mechanical activation, SHS, arc welding, wear-resistant coating.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИГЛОФРЕЗЕРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Е.Ю. Татаркин, д.т.н., профессор, **Ю.А. Кряжев**, к.т.н., доцент,
Е.С. Огневенко, к.т.н., **А.Ю. Кряжев**, аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

Получены зависимости шероховатости от параметров акустической эмиссии при иглофрезеровании, позволяющие контролировать качество поверхностного слоя, производить замену инструмента и корректировку режимов резания в реальном времени. Получены зависимости твердости обрабатываемой поверхности от диаметра и длины режущих элементов (проволоки) иглофрезерного инструмента, позволяющие контролировать степень наклепа в реальном времени. Разработана принципиальная схема измерительного комплекса для диагностирования шероховатости и твёрдости поверхностного слоя при металлообработке в режиме реального времени. Применение комплекса позволит повысить качество обрабатываемой поверхности, применять процесс иглофрезерования на чистовых операциях механической обработки.

Ключевые слова: иглофрезерование, акустическая эмиссия, шероховатость, режимы резания.

Введение

Процессы механической обработки резанием по точности, качеству обработанных деталей, а также производительности и экономичности, являются более конкурентоспособными по сравнению с другими методами формообразования. Известно, что выходные параметры обработки резанием (точность, качество обработанной поверхности и т.д.) в течение всего процесса резания недоступны для прямого измерения. Поэтому алгоритмы управления технологическими системами в настоящее время, как правило, строят на базе экспериментальных зависимостей выходных параметров от режимов обработки [1, 2, 3].

Обеспечение требуемого качества изделий неразрывно связано с решением задач формирования заданных параметров микропрофиля и наклепа обработанной поверхности. Сложность решения данных задач обуславливается многообразием динамически изменяющихся физических факторов, сопровождающих технологический процесс механической обработки материалов резанием и оказывающих влияние на показатели качества поверхностного слоя деталей. В процессе резания пластическая деформация происходит не только в срезаемом слое, но и в поверхностном слое основной массы металла [4, 5].

Иглофрезерование является одним из наиболее перспективных видов отделочно-зачистной обработки. Основным преимуществом данного метода является низкая себестоимость обработки благодаря незначительным затратам на изготовление и эксплуатацию режущего инструмента [6]. Однако, до сих пор

не рассматривался вопрос о применении иглофрезерования на этапах чистовой обработки для получения поверхностей высокого качества. При этом основными проблемами являются отсутствие рекомендаций по выбору режимов резания и конструктивно-геометрическим параметров (длины проволоки, диаметра проволоки) иглофрезерного инструмента [7], а также значительная степень наклепа (до 40%) обрабатываемой поверхности [8]. Поэтому актуальными задачами являются:

- исследования процесса иглофрезерования с целью определения оптимальных режимов резания и конструктивно-геометрическим параметров инструмента по критерию качества обрабатываемой поверхности;

- разработка измерительного комплекса, позволяющего контролировать параметры качества и степени наклепа обрабатываемой поверхности в режиме реального времени.

Экспериментальные исследования

В рамках задачи по определению оптимальных режимов резания и конструктивно-геометрических параметров инструмента были проведены экспериментальные исследования [9]. Получена зависимость параметра шероховатости поверхности Ra от длины вылета режущих элементов l , диаметра режущих элементов d и подачи S :

$$Ra = 4,867 \cdot l^{-0,102} \cdot d^{-0,09} \cdot S^{0,1138}, \text{ мкм(1)}$$

где l – длина режущих элементов (проволоки), мм;

d – диаметр режущих элементов (проволоки), мм;

S – подача, мм/об.

В данной работе для диагностирования параметров шероховатости обработанной поверхности применялся анализ акустической эмиссии (АЭ). Проводилась обработка иглофрезерованием поверхностного слоя образцов, изготовленных из стали 45. Поверхности одной половины от общего числа заготовок предварительно подвергались черновой обработке, второй – чистовой обработке. В первом случае среднеарифметическое отклонение профиля варьировалось в диапазоне $Ra=7...8$ мкм, во втором - $Ra=20...22$ мкм. Таким образом, проводилось два факторных эксперимента с использованием образцов с разными начальными показателями шероховатости Ra обрабатываемой поверхности.

Эксперимент проводился на вертикально-фрезерном станке марки 6Р13. Одновременно с процессом резания проводилась запись сигнала АЭ. Запись осуществлялась с помощью аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) L-cardL-780М с частотой дискретизации до 400 кГц. В качестве преобразователя АЭ использовался пьезоэлектрический датчик на основе цирконат-титаната свинца (ЦТС). По окончании эксперимента проводилось измерение шероховатости обработанной поверхности каждого из образцов на профилографе-профилометре «НОММЕЛ TESTER W55».

Для проведения исследования твердости наклепанного слоя поверхности использовался прибор ПМТ-3, определяющий микротвёрдость материала по

отпечатку, оставленному на выбранном участке после вдавливания в него индентора. Исходная твёрдость поверхностного слоя заготовки из стали 45 до обработки иглофрезерованием, измеренная с помощью измерителя переменного магнитного поля имела значение $HRC=20\dots21$.

Для проведения исследований степени наклепа в реальном времени может быть использован измеритель, разработанный на кафедре экспериментальной физики Алтайского государственного университета [10]. Аппаратная часть измерителя состоит из датчика вихревых трансформаторов (ВТНТ) и звукового устройства ЭВМ, в котором поступающий сигнал от датчика ВТНТ представляется при помощи компьютерных программ в абсолютные значения твёрдости поверхностного слоя металла. Датчик ВТНТ обеспечивает высокую поверхностную локальность сканирования обработанной поверхности за счёт своего сверхминиатюрного размера.

Результаты

Анализ сигнала АЭ позволил установить зависимости параметра шероховатости Ra от средней амплитуды A и интенсивности N сигнала АЭ. При начальной шероховатости обрабатываемой поверхности $7\dots8$ мкм:

$$Ra=0,00000015\cdot N^3 - 0,00014189\cdot N^2 + 0,033913944\cdot N + 3,73, \text{ мкм} \quad (2)$$

$$Ra= -0,00120428\cdot A^3 + 0,09924583\cdot A^2 - 2,58\cdot A + 26,41, \text{ мкм} \quad (3)$$

При начальной шероховатости обрабатываемой поверхности $20\dots22$ мкм:

$$Ra= -0,00000155\cdot N^3 + 0,00080351\cdot N^2 - 0,11147927\cdot N + 18,71, \text{ мкм} \quad (4)$$

$$Ra= -0,000685292\cdot A^4 + 0,071510017\cdot A^3 - 2,69\cdot A^2 + 43,06\cdot A - 230,41, \text{ мкм} \quad (5)$$

где A – средняя амплитуда сигнала АЭ (дБ);

N – интенсивность сигнала АЭ (c^{-1}).

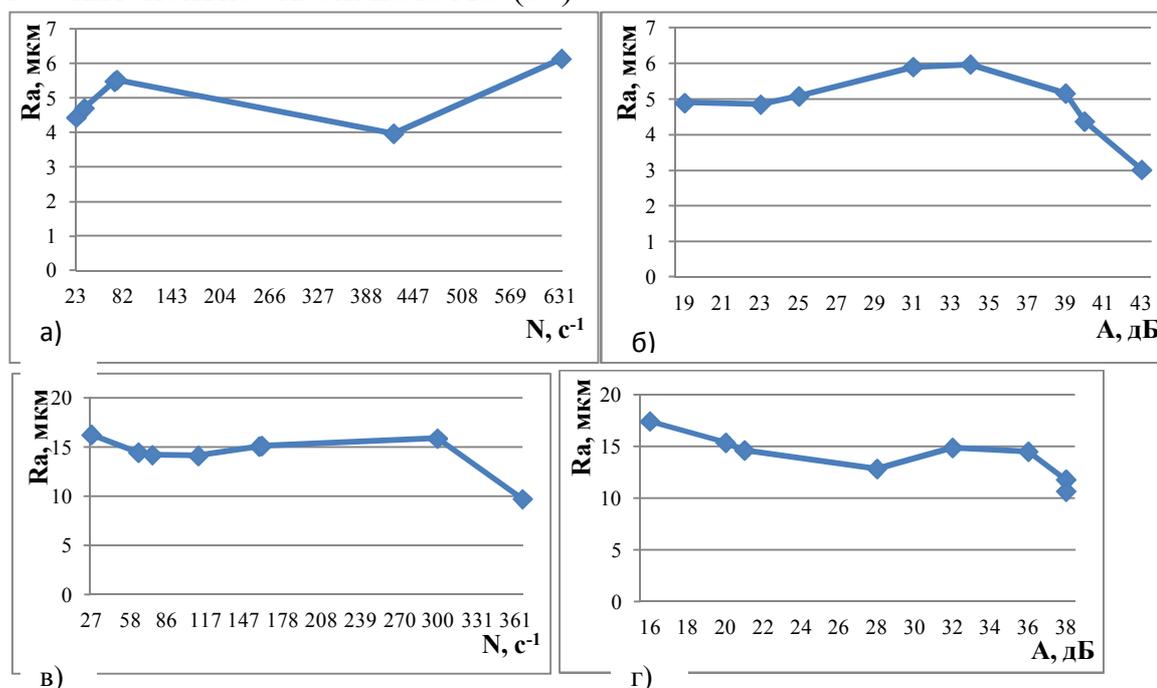


Рисунок 1 – Зависимости параметра шероховатости Ra от средней амплитуды A и интенсивности N сигнала АЭ, а) – зависимость (2), б) – зависимость (3), в) – зависимость (4), г) – зависимость (5).

Полученные зависимости показывают, что при минимальной шероховатости средняя амплитуда A сигнала АЭ имеет минимальное значение.

Проведение измерений твердости наклепанного слоя поверхности, обработанной торцовой иглофрезой, позволило установить зависимости твердости HRC от различных конструктивных параметров иглофрезы и технологических параметров процесса иглофрезерования. На рисунке 2 представлены зависимости твердости HRC от диаметра ворса (проволоки) и его длины.

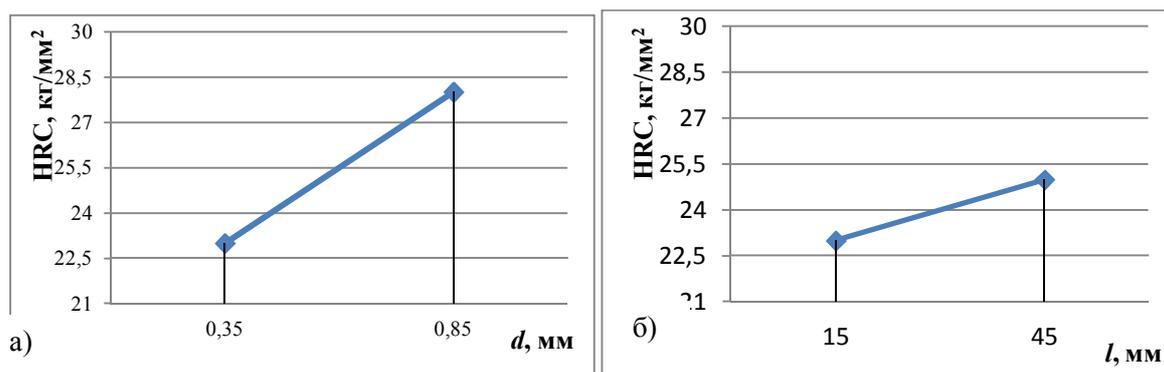


Рисунок 2– Зависимости твердости HRC обработанной поверхности от
а) – диаметра d режущих элементов (проволоки) ($l=45$ мм, $V=175,83$ м/мин, $S_m=100$ мм/мин); б)– длины l режущих элементов (проволоки) ($d=0,85$ мм, $V=175,83$ м/мин, $S_m=100$ мм/мин)

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что диаметр режущих элементов (проволоки) оказывает большее влияние на твердость наклепанного слоя обработанной иглофрезерованием поверхности, чем их длина. Для достижения минимальной степени наклепа обработанной поверхности необходимо выбирать режущие элементы (проволоку) с минимально возможными длиной и диаметром.

Таким образом, использование прибора, работающего на основе метода МВТ, позволяет определить твердость поверхностного слоя (наклёпа) обрабатываемой поверхности, оптимальные конструктивные параметры режущего инструмента и управлять технологическими параметрами процесса резания для достижения требуемых параметров качества обрабатываемой поверхности.

Результаты проведённых экспериментов были использованы для разработки измерительного комплекса диагностирования шероховатости и твердости обработанной поверхности в процессе металлообработки. Для реализации поставленных задач была разработана принципиальная схема (рисунок 3) измерительного комплекса диагностирования шероховатости Ra обрабатываемой поверхности от средней амплитуды A и интенсивности N сигнала АЭ в режиме реального времени. Полученные зависимости (1), (2), (3),

(4), (5) могут быть использованы в алгоритме и реализованы в модульной программе, которая устанавливается на микроконтроллере. Центральным элементом автоматизированного измерительного комплекса является микроконтроллер, функцией которого является цифровая обработка информации, поступающей с пьезодатчика и блока управления, который, в свою очередь, осуществляет управление элементами индикации и передает сигнал на замену режущего инструмента или корректировку режимов резания в системе ЧПУ станка. Микроконтроллер по программе обрабатывает сигнал АЭ, и, в случае отклонения параметра шероховатости Ra от заданного чертежом детали, выдаёт сигнал на индикатор.

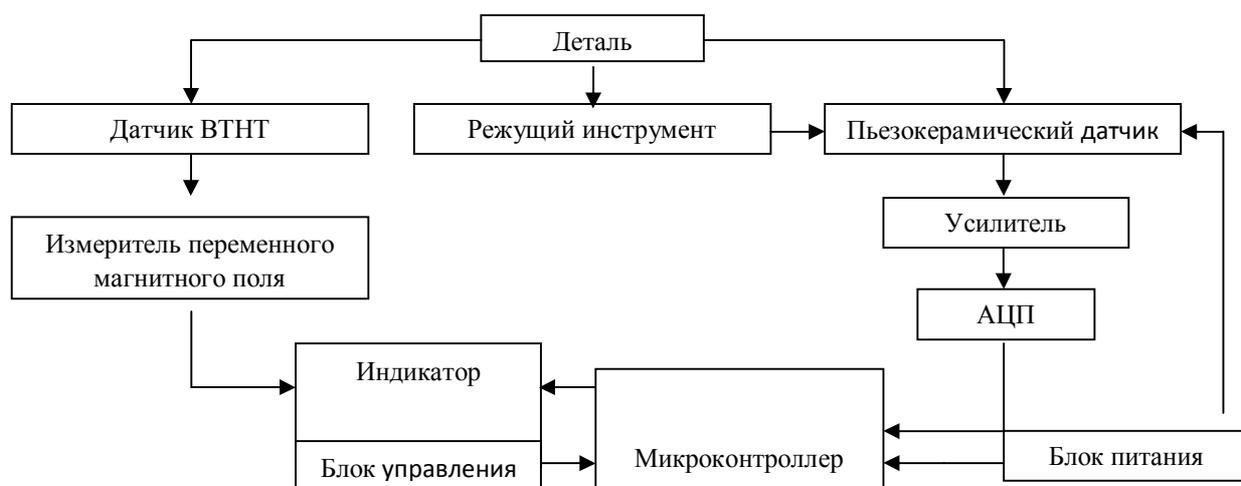


Рисунок 3—Принципиальная схема автоматизированного измерительного комплекса

Выводы

1. Получены зависимости параметра шероховатости Ra от параметров АЭ при иглофрезеровании, позволяющие контролировать качество поверхностного слоя, производить замену инструмента и корректировку режимов резания в реальном времени.

2. Получены зависимости твердости HRC обрабатываемой поверхности от диаметра и длины режущих элементов (проволоки) иглофрезерного инструмента, позволяющие контролировать степень наклепа в реальном времени.

3. Разработана принципиальная схема автоматизированного измерительного комплекса для диагностирования шероховатости и твёрдости поверхностного слоя при металлообработке в режиме реального времени. Применение комплекса позволит повысить качество обрабатываемой поверхности, применять процесс иглофрезерования на чистовых операциях механической обработки.

Библиографический список

1. **Базров, Б. М.** Основы технологии машиностроения : учебник для вузов [Текст] / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2005. – 736 с. : ил.
2. **Marck's Standard Handbook for Mechanical Engineers** : Tenth edition [Text] / Eugene A. Avallone, Theodor Baumeister III. – New York : McGraw-Hill, 1996. – 1770 p.
3. **Обработка** металлов резанием : Справочник технолога [Текст] / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; Под общ.ред. А. А. Панова. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2004. – 784 с. : ил.
4. **Вульф, А. М.** Резание металлов [Текст] / А. М. Вульф. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1973. – 496 с.
5. **Филоненко, С. Н.** Резание металлов [Текст] / С. Н. Филоненко. – Киев : Техника, 1975. – 232 с.
6. **Ковшов, А. Н.** Нетрадиционные методы обработки материалов [Текст] / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров, В.М. Ярославцев. – М : МГОУ, 2007. – 211 с.
7. **Справочник** технолога-машиностроителя : В 2 т. Т. 2 [Текст] / Ю. А. Абрамов, В. Н. Андреев, Б. И. Горбунов и др.; Под общ.ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мешерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с. : ил.
8. **Перепичка, Е. В.** Очистно-упрочняющая обработка изделий щетками [Текст] / Е. В. Перепичка. – М.: Машиностроение, 1989. – 136 с.
9. **Татаркин, Е.Ю.** Прогнозирование шероховатости при иглофрезеровании методом акустической эмиссии [Текст] / Е.Ю. Татаркин, Ю.А. Кряжев, Е.С. Огневенко // Вестник Алтайской науки. – 2013. – №2-1 – С. 30-33.
10. **Дмитриев, С.Ф.** Виртуализированные приборы, использующие метод вихревых токов, для контроля параметров различных объектов и окружающей среды [Текст] / С.Ф. Дмитриев, А.В. Ишков // Ползуновский альманах. – 2008. – № 2. – С.15-19.

DEVELOPMENT FOR MEASURING COMPLEX DIAGNOSIS AS A TREATED SURFACE IN THE METAL CUTTING

Tatarkin E.Y., Kryazhev Y.A., Ognevenko E.S., Kryazhev A.Y.

The dependences of the roughness parameters of acoustic emission during milling, to monitor the quality of the surface layer, replacement and adjustment of

tool cutting in real time. Depending obtained show that the average roughness at the minimum amplitude of the acoustic signal is minimized. The dependences of the surface hardness of work on the diameter and length of the cutting elements (wire) milling tool to monitor the degree of hardening in real time. The dependences obtained allow us to conclude that the diameter of the cutting elements (wire) has a greater impact on the work-hardened layer hardness of the treated surface than their length. To achieve a minimum degree of work hardening of the treated surface is necessary to choose the cutting elements (wire) with a minimal length and diameter. A principal scheme of measuring complex for diagnosing roughness and surface hardness in the metal in real time. Using the complex will improve surface quality, apply process milling in finishing machining operations.

Keywords: milling, acoustic emission, roughness , cutting conditions.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ МАГНИТНО- АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Е.Ю. Татаркин, д.т.н., профессор, **А.М. Иконников**, к.т.н., доцент,
В.С. Силивакин, аспирант, **Р.В. Гребеньков**, студент,
Т.А. Шрайнер, студент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул

В статье рассматривается проектирование индукторов для магнитно-абразивной обработки с помощью поиска решений на И-ИЛИ графе.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, повышение стойкости, режущий инструмент, полирование.

Поддержание конкурентоспособности продукции машиностроения непрерывно требует решения задач, связанных с проектированием и внедрением инновационных технологий, сокращением временных и материальных затрат на всех этапах жизненного цикла изделия. Оперативное решение технологических задач в настоящее время в значительной мере сдерживается из-за несовершенства методик проектирования новшеств. Существующие методики проектирования технологических систем (оборудования, оснастки, инструментов и т.д.) базируются, как правило, на прошлом опыте (базы данных известных решений). Не учитываются законы развития технических систем различных классов, не используется прогнозная информация и методы инженерного творчества. Широко распространенным при поиске технологических новшеств остается метод «проб и ошибок». Все это, безусловно сдерживает создание инновационных высокоэффективных технологий изготовления продукции с конкурентоспособными технико-экономическими показателями.

Выбор метода проектирования для совершенствования технологических систем определяют следующие факторы: требуемая характеристика системы; время, отведенное на поиск и реализацию решения; наличие банков и информационных систем с описаниями известных решений; квалификация проектировщиков; допустимые затраты и ряд других технико-экономических показателей. К числу наиболее эффективных методов следует отнести комбинаторные («Метод матриц открытия А. Моля», «Морфологический анализ и синтез решений», «Поиск решений на И-ИЛИ-графе», а также модификации этих методов) [1 – 4]. Их достоинствами являются: использование категорий и процедур системного подхода (анализ, структурирование, синтез, законы развития систем и т.д.); возможность синтеза большого числа потенциально перспективных решений; простота реализации в условиях автоматизированного проектирования.

Эффективным методом поиска новых решений является синтез с использованием И-ИЛИ-графов. Дерево, полученное в результате совмещения общих элементов и признаков известных решений, называется деревом прошлого опыта. Оно обладает незначительной информативной мощностью по новизне технологических решений. В связи с этим общее И-ИЛИ-дерево необходимо расширить путем использования методов активизации творчества (мозговой штурм, метод эвристических приемов, контрольные перечни и т.д.). Для синтеза перспективных инструментов и способов обработки И-ИЛИ-граф целесообразно дополнить признаками, полученными на основе анализа законов строения и закономерностей развития технологического обеспечения операций магнитно-абразивной обработки. Структура общего И-ИЛИ-дерева конструкций инструментов и способов обработки, полученного расширением дерева прошлого опыта, не является закрытой. Дополнение проводится также и на основе изучения новых патентов, выданных на способы и инструменты для операций магнитно-абразивной обработки и на функционально близкие технические объекты. Возможно комбинирование ветвей дерева и элементов между собой. Такой подход позволяет проектировать новые решения, отвечающие требованиям патентной чистоты и расширяющие технологические возможности магнитно-абразивной обработки.

Алгоритмы поиска решений с использованием метода «Синтез решений на И-ИЛИ-графе» формализован в виде рабочей программы для персональных компьютеров. На рисунках 1, 2 приведены экранные формы программы формирования И-деревьев.

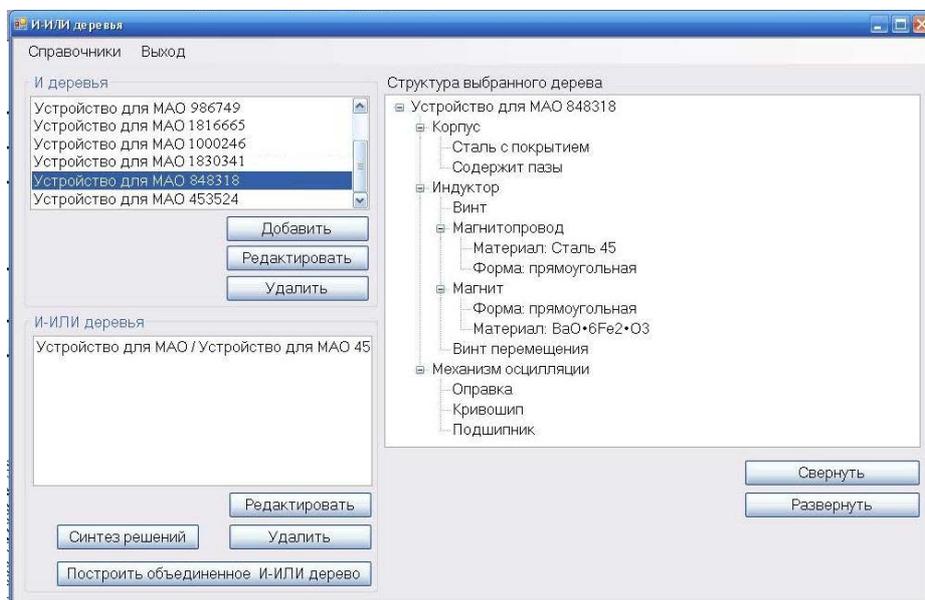


Рисунок 1 – И-дерево на устройство для магнитно-абразивной обработки патент 848318

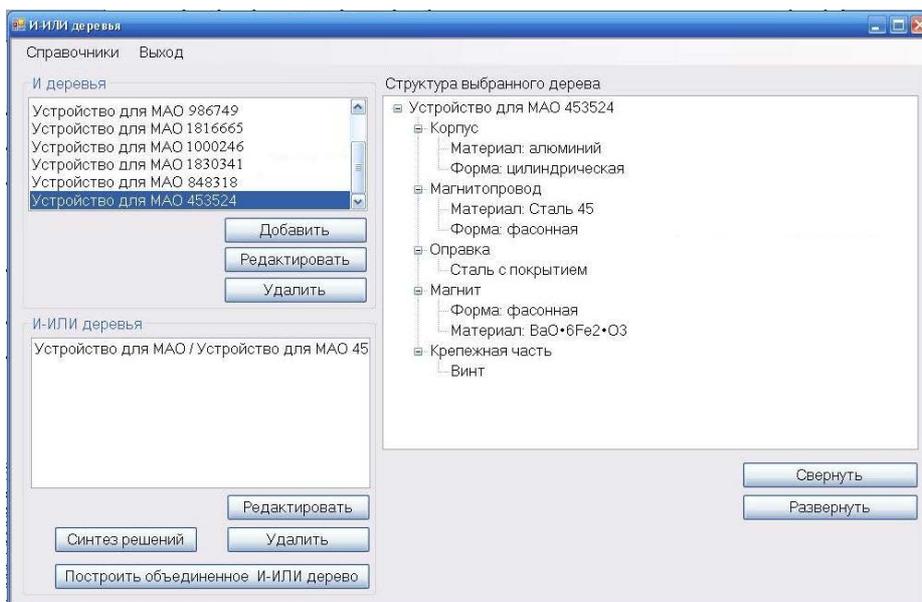


Рисунок 2 – И-дерево на устройство для магнитно-абразивной обработки патент 453524

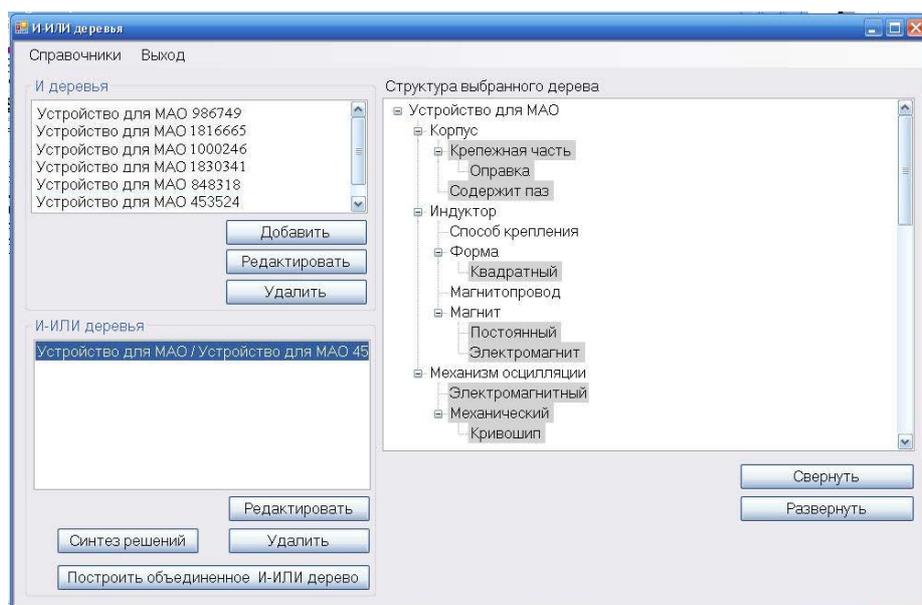


Рисунок 3 – И-ИЛИ-дерево устройств для магнитно-абразивной обработки

Предложенная методика, как показала практика, может быть эффективно использована в условиях автоматизированных производств при разработке и модернизации оборудования, оснастки, инструментов и создании новых способов управления точностью изготовления деталей. Представленный подход в достаточной степени универсален, дает возможность повысить уровень проектных решений и позволяет создавать патентоспособные новшества.

Библиографический список

1. Половинкин А.И., Бобков Н.К., Буш Г.Я. и др. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании). – М.: Радио и связь, 1987 – 344 с.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: учеб. пособие. 3-е изд., стер.– СПб.: Издательство «Лань», 2007. – 368 с.: с ил.
3. Татаркин Е.Ю., Татаркина Ю.Н. Поиск новых решений при проектировании технологических систем: учебное пособие. Барнаул: изд-во Алт.гос.техн.ун-та им. И.И.Ползунова. 1999. – 168 с.
4. Проектирование технологических систем: учебное пособие / Т.А. Аскалонова, А.В. Балашов, А.М. Марков [и др.]; под ред. проф., д-ра техн. наук Татаркина Е.Ю. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 412 с.

DESIGN OF TECHNOLOGICAL AND TOOLING FOR THE OPERATION OF THE MAGNETIC ABRASIVE MACHINING

**E.J. Tatarkin, A.M. Ikonnikov, V.S. Silivakin, R.V. Grebenkov,
T.A. Schreiner**

The article deals with the design of inductors for magnetic abrasive treatment with finding solutions to AND-OR graph.

Keywords: magnetic-abrasive machining, increase resistance, cutting tools, polishing.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ

Е.Ю.Татаркин¹, д.т.н., профессор, **А.М.Фирсов²**, к.т.н., доцент

¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г.Барнаул, ²Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск

Рассмотрены вопросы проектирования группового технологического процесса с анализом и предотвращением потенциально возможных параметрических отказов.

Ключевые слова: групповой технологический процесс, типовые решения, отказы технологического процесса, анализ видов и последствий отказов, методика проектирования.

В настоящее время большинство изделий машиностроения производится в условиях единичного и мелко-серийного производства. Для этих условий наиболее целесообразно применять групповые технологические процессы (ГТП), которые позволяют повысить производительность и добиться результатов, характерных для крупносерийного производства. Однако, несмотря на то, что метод групповой технологии, разработанный проф. С.П. Митрофановым еще в пятидесятых годах прошлого столетия, широкого применения до настоящего времени он не находит. Это связано с тем, что типовые технологические решения, которые применяются в массовом производстве, перенести в условия групповой обработки не всегда представляется возможным, так как в группу объединяются детали с разными конструктивными признаками, что вносит особенности в обработку деталей и приводит к появлению параметрических отказов технологического процесса. Поэтому при многономенклатурном производстве разрабатываются единичные технологические процессы, характерные только для этого предприятия. Тем самым увеличивается длительность технологической подготовки и выпуска продукции и снижается конкурентоспособность предприятия. Для успешного применения методов групповой обработки необходимо разработать технологические решения, позволяющие предотвратить появления отказов при обработке всех деталей, входящих в группу. Это становится возможным, при условии выявления потенциально возможным отказов уже на этапе технологической подготовки производства.

Согласно требований ЕСТПП проектирование ГТП включает ряд этапов, которые в общем случае можно объединить в три основных: 1–анализ исходных данных, группирование деталей и создание комплексной детали; 2–проектирование ТП и оценка его результатов; 3–обеспечение условий выполнения ТП и оформление документации [1]. Все этапы важны и необходимы при проектировании, но особенно важны первых два, так как они определяют результат проектирования по обеспечению требуемых выходных

параметров, однако нельзя забывать о требованиях техники безопасности, охране труда и окружающей среды.

Существуют различные способы группирования деталей: 1– группирование деталей по конструкторско-технологическому сходству, что позволяет создавать группы деталей, обрабатываемых по типовому технологическому процессу; 2– группирование деталей по их элементарным поверхностям, в этом случае определяются варианты обработки этих поверхностей, а из комбинации элементарных процессов возможно получить технологический процесс обработки любой детали; 3– группирование деталей по преобладающим видам обработки (типам оборудования), единству технологического оснащения и общности наладки станка. Во всех случаях необходимо учитывать назначение детали, её конструкцию, требование к качеству обработки, общность решения основных технологических задач, сходство технологического маршрута обработки, объем выпуска и др. [2].

После объединения деталей в группу проектируется групповая технологическая операция, которая предусматривает разработку плана переходов при обработке конкретной поверхности детали из номенклатуры деталей группы и определение последовательности обработки поверхностей. Проектирование плана переходов основывается на нескольких методах: на основе деталей «аналогов» единичных ТП, на основе унифицированных ТП (типовых или групповых) или на основе синтеза технологических решений. Основываясь на принципе преемственности, при проектировании ГТП необходимо применить синтез типовых технологических решений используемых для единичных, унифицированных ТП, а также вновь разработанных технологических решений. Такой подход позволяет значительно сократить время и средства на проектирования ТП и повысить достоверность прогнозируемых выходных параметров. Однако при объединении в группу деталей с разными конструктивными признаками возможно, что при обработке некоторых поверхностей известные типовые технологические решения не обеспечат требуемые выходные параметры ТП. В этом случае требуется выявить причину отказов и предотвратить их проявление.

Выявление потенциально возможных параметрических отказов ГТП возможно на основе подходов реализуемых в методе «Анализ видов и последствий отказов (дефектов) процесса» (PFMEA - Potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (Process FMEA)), который является одним из перспективных, и эффективных инструментов совершенствования технических объектов и ТП изготовления деталей [3, 4].

На этапе проектирования группового ТП, перед его запуском или при его улучшении методом PFMEA решаются следующие задачи [3, 4]:

- обнаружение «слабых» мест ТП и принятие мер по их устранению при планировании производственных процессов;
- принятие решений о пригодности предложенных и альтернативных процессов и оборудования при разработке ТП;
- доработка ТП до наиболее приемлемого по надежности, обнаружению потенциально дефектных технологических операций и т. д.;

- подготовка производства, реализуемая на основе методов групповой обработки.

Проектирование ТП изготовления деталей, где потенциально возможно появление отказов, должен включать выполнение следующих основных этапов:

1. Формирование PFMEA-команды, которая представляет собой временный коллектив, в количестве от 4 до 8 человек, из разных специалистов, созданный специально для цели анализа процесса изготовления данного технического объекта. При необходимости в состав команды могут приглашаться опытные специалисты из других организаций. В команде должен быть определен ведущий, которым может быть любой из членов команды, признаваемый остальными как лидер в рассматриваемых вопросах.

2. Ознакомление с предложенными вариантами технологического процесса.

3. Определение всех возможных отказов на основе имеющейся информации и предшествующего опыта для всех этапов жизненного цикла (получение заготовки, обработка поверхностей, контроль, эксплуатация, ремонт, восстановление и т.д.) и отдельных операций технологического процесса. Например, таких как неравномерная шероховатость при обработке заготовок с переменными механическими свойствами, нестабильная точность размеров и формы базовых отверстий, низкая производительность при обработке глухих базовых отверстий или отверстий с прерывистыми поверхностями, скол износостойкого покрытия при обработке и эксплуатации, и т.д. Описание каждого вида отказа заносят в протокол анализа видов, причин и последствий потенциальных отказов.

4. Выявление для всех описанных видов потенциальных отказов их последствий на основе опыта и знаний PFMEA-команды. Для каждого вида отказа может быть несколько потенциальных последствий. Например, переменные физико-механические свойства заготовки могут привести к неравномерной шероховатости поверхности базового отверстия, отклонению его формы поперечном и продольном сечениях, что в свою очередь может привести к неравномерной толщине износостойкого покрытия плохому его сцеплению с подложкой, появлению брака при обработке покрытия и снижению эксплуатационных характеристик и т.д.

5. Определение экспертами для каждого последствия отказа балла значимости S (он изменяется от 1 для наименее значимых по ущербу дефектов до 10 - для наиболее значимых). Последствия отказов следует описывать признаками, которые может заметить и ощутить потребитель, причем имеется в виду, что потребитель может быть как внутренним (на последующих операциях создания объекта), так и внешним.

6. Составление для каждого отказа перечня потенциальных причин. Примеры причин отказов: использован некачественный материал для получения заготовки или нарушена технология получения заготовки, конструктивно-геометрические параметры режущего инструмента или режимы обработки не соответствуют условиям обработки, отсутствие смазки,

нарушение инструкции по обслуживанию, низкая квалификация оператора и др.

7. Определение для каждой потенциальной причины отказа балла возникновения O (оценивается частота данной причины, приводящей к рассматриваемому отказу). Балл возникновения изменяется от 1 для самых редко возникающих отказов до 10 - для отказов, возникающих почти всегда.

8. Определение для данного отказа и каждой отдельной причины балла обнаружения D в процессе изготовления. Он изменяется от 10 для практически не обнаруживаемых отказов (причин) до 1 - для практически достоверно обнаруживаемых.

9. Вычисление приоритетного числа риска (ПЧР) на основе оценок S , O , D по формуле:

$$\text{ПЧР} = S \times O \times D.$$

Для дефектов, имеющих несколько причин, определяют соответственно несколько ПЧР. Каждое ПЧР может иметь значения от 1 до 1000. Его критическая граница ($\text{ПЧР}_{\text{Гр}}$) рекомендована в пределах от 100 до 125. Значение $\text{ПЧР}_{\text{Гр}}$ может быть установлено и менее 100. Снижение $\text{ПЧР}_{\text{Гр}}$ соответствует созданию более высококачественных и процессов.

10. Составление перечня отказов/причин, для которых значение ПЧР превышает $\text{ПЧР}_{\text{Гр}}$ (для них и следует далее вести доработку технологического процесса).

11. Определение корректирующих действий по доработке ранее предложенного варианта технологического процесса.

12. Расчет ПЧР для нового технологического процесса с учетом разработанных корректирующих мероприятий.

В конце работы PFMEA-команды должен быть составлен и подписан протокол.

Алгоритм применения метода PFMEA при проектировании ГТП можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 1. Где на основе чертежей деталей с техническими требованиями (ТТ), а также требований по производительности (П) и себестоимости (С) и др. производится группирование деталей и выделяются элементарные поверхности. После чего, на основе известных типовых технологических решений, проектируется групповая операция и выявляются потенциально возможные отказы и при помощи метода PFMEA проводится анализ видов отказов, определяется ПЧР и его оценка. Если отказ возможен и ПЧР превышает критическую границу, то определяются задачи и формулируется техническое задание (ТЗ) на проектирование технологического решения (ТР). После проектирования ТР производится его оценка по выбранным критериям (функциональным, технологическим, экономическим). Разработанное ТР используется для реализации в ГТП и вносится в базу данных (БД) для дальнейшего применения.

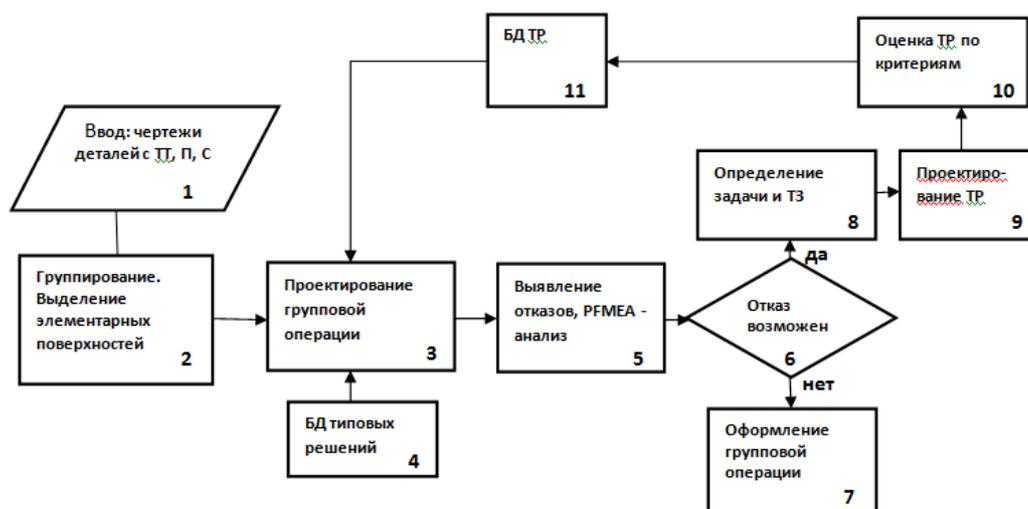


Рисунок 1 – Алгоритм проектирования группового технологического процесса с учетом параметрических отказов

Использование метода PFMEA для изготовления деталей по групповой технологии позволит: идентифицировать виды потенциальных отказов; снизить вероятность их появления; составлять ранжированный список потенциальных отказов процесса, устанавливая этим систему приоритетов для корректирующих действий; разрабатывать технологические решения, позволяющие устранить отказы ТП или снизить их появление до допустимо возможных; документировать результаты процесса изготовления.

Для совершенствования метода и его эффективной адаптации следует формировать информационную базу (БД) по отказам и причинам. Необходимо обобщать и систематизировать знания о процессах изготовления и эксплуатации на всех этапах жизненного цикла. В соответствии с правилом «10-кратных затрат» («Затраты на корректировку продукта при переходе от одного этапа его жизненного цикла к последующему увеличиваются на порядок») такой подход позволит получить положительные результаты.

Библиографический список

1. Р50-54-93-88 ЕСТПП Классификация, разработка и применение технологических процессов: [текст] Методические указания. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.
2. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. [текст] В 2 т. Т.1 Организация группового производства. – Л.: Машиностроение, 1983. – 407 с.
3. ГОСТ 27.310 – 95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 20с.
4. ГОСТ Р 51814.2 – 2001. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 19 с.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS WITH ALLOWANCE FOR PARAMETRIC FAILURES

E. Tatarkin, A. Firsov

Abstract: the problems of design group of the technological process with analysis and prevention of potential parametric failures.

Keywords: group process, standard solutions, process failures, analysis of the types and effects of failures, design methodology.

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ СТенок НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ БАЗОВЫХ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

И.В. Трапеев, студент, **А.М. Фирсов**, к.т.н., доцент, **В.А. Калистру**, аспирант,
В.М. Дробышев, студент
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова,
г. Бийск

В данной работе рассматривается проблема влияния упругих деформаций на точность размеров при обработке базовых отверстий тонкостенных деталей с переменной толщиной стенок на примере корпуса цилиндра двухтактного двигателя. Исследования проведены путем компьютерного моделирования процесса тепловых деформаций в среде комплекса AnsysWorkbench и на натурных образцах.

Ключевые слова: упругая деформация, базовые отверстия, точность обработки.

Современное машиностроение предусматривает использование прогрессивной технологии, в которой органически сочетается гибкость в сочетании с наивысшей производительностью и наименьшей себестоимостью, обеспечивается стабильное качество обрабатываемых деталей и изделий, рациональная загрузка оборудования, надежность систем программного управления и удобство сервисного обслуживания и эксплуатации производства.

Одним из важных мероприятий, направленных на повышение эффективности обработки нежестких корпусных деталей с переменной толщиной сечения является – управление точностью процесса обработки заготовок по входным данным.

В качестве объекта исследования в данной работе использована корпусная деталь – цилиндр двухтактного двигателя.

На первом этапе определяются упругие деформации заготовки под действием сил резания, по формулам, используемым в сопротивлении материалов. Затем определялись упругие деформации заготовки путем нагружения ее внешней силой, имитирующей силу резания по схеме, приведенной на рисунке 1. Где показано, что корпус жестко закреплен за ребра (предварительно проточенные на токарном станке) в трехкулачковый патрон. Через рычаг воздействуем на заготовку путем подвешивания грузов соответствующим силам резания. С помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм определяем деформацию заготовки.

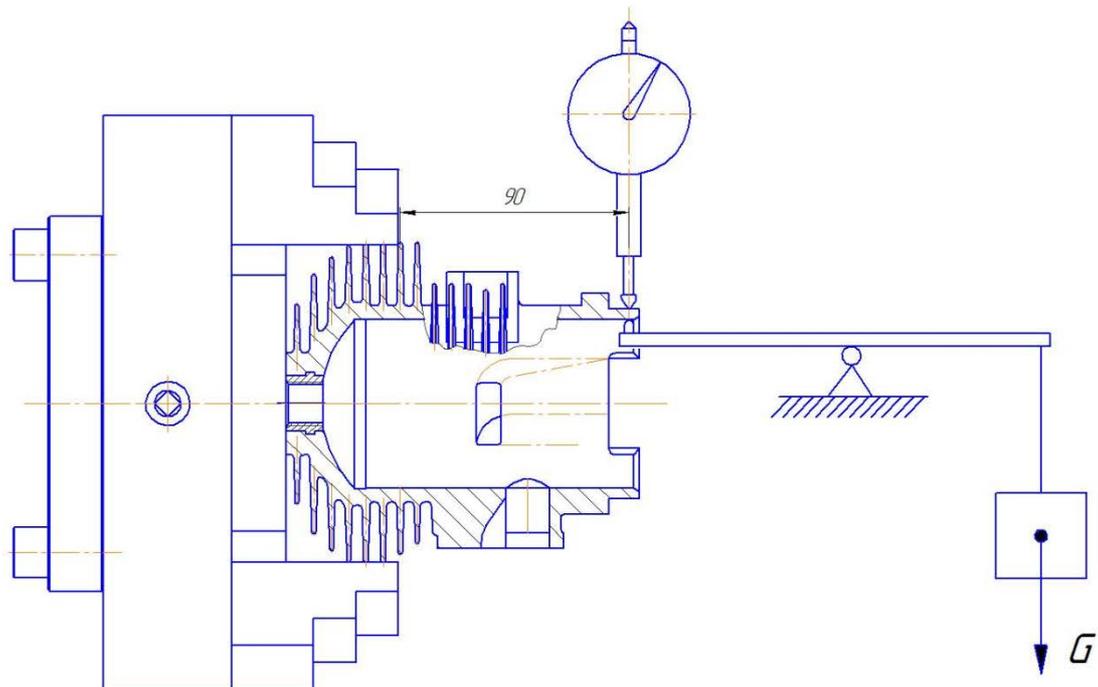


Рисунок 1 - Схема опытной деформации цилиндра

Поворачиваем цилиндр на 90 градусов, закрепляем и снова повторяем опыт, но теперь также учитываем деформацию наиболее тонкой стенки цилиндра, являющейся еще и перегородкой перепускного канала, для этого устанавливаем в перепускной канал рычажно-зубчатый индикатор (рисунок 2) и фиксируем показания обоих индикаторов.

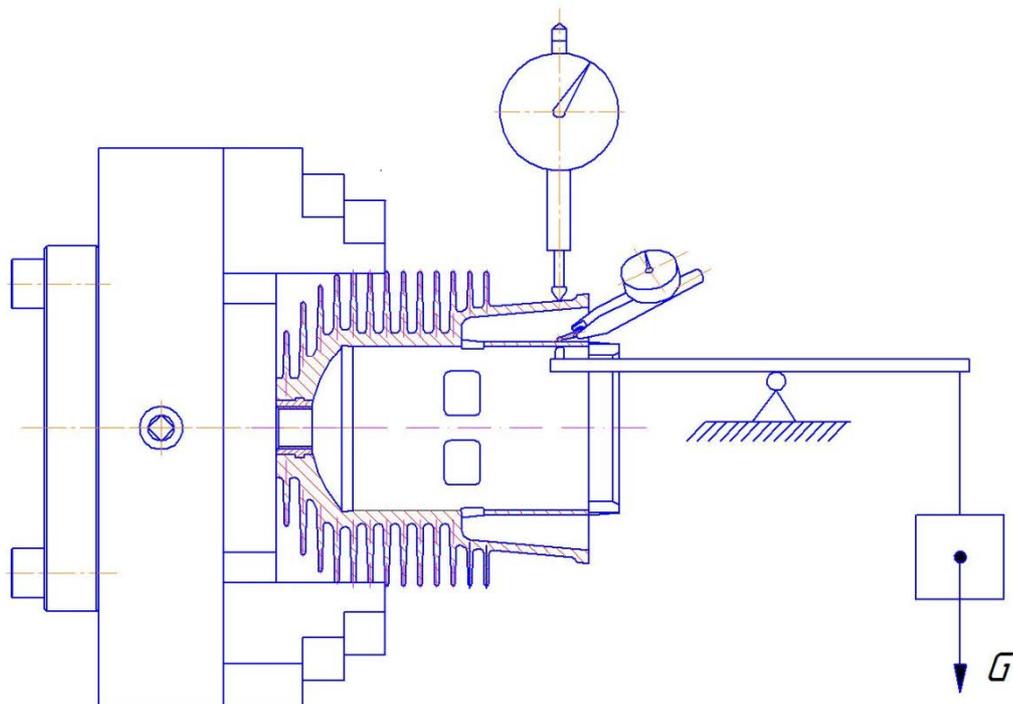


Рисунок 2 – Схема опытной деформации цилиндра

По полученным и опытным и теоретическим значениям упругой деформации строим графики, представленные на рисунке 3.

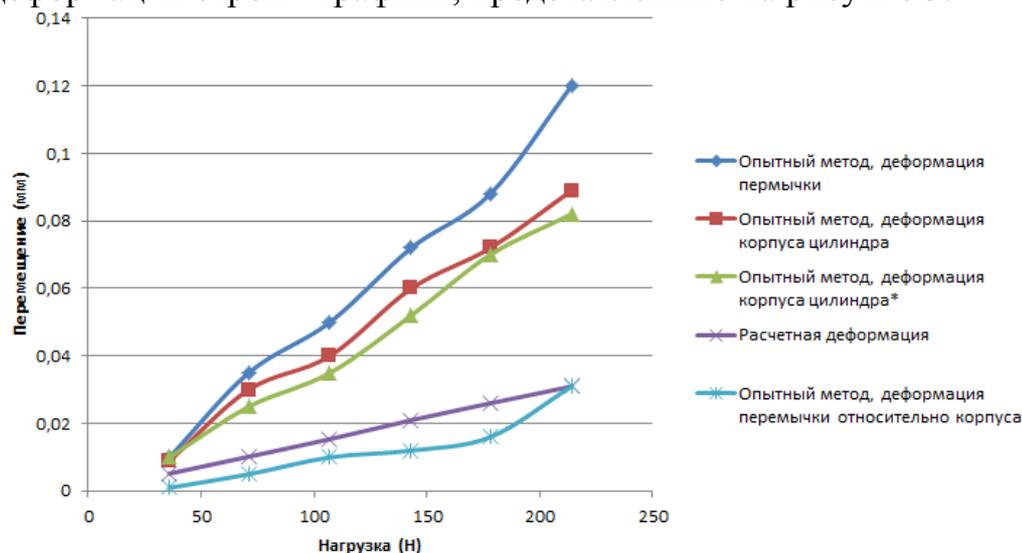
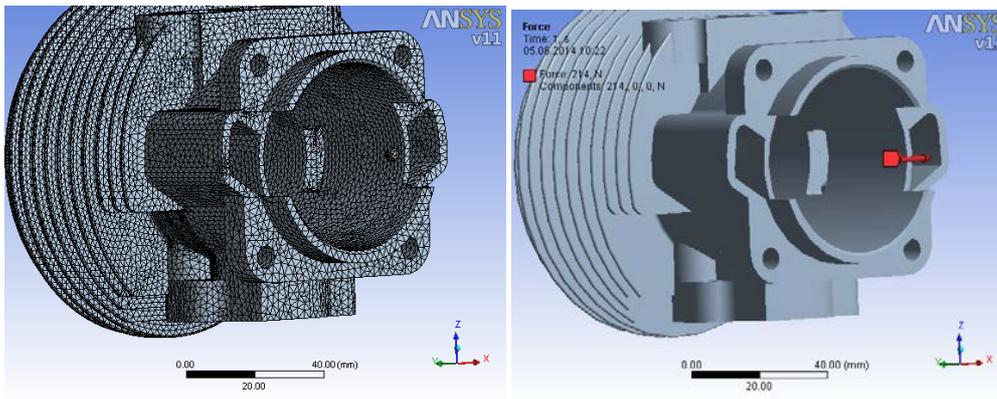


Рисунок 3 - Графики упругих деформаций поверхности базового отверстия корпуса цилиндра

Как видно результаты теоретических расчетов деформации корпуса цилиндра и опытных значительно отличаются друг от друга. Так же теоретические расчеты не позволяют определить упругую деформацию наиболее тонкой стенки цилиндра, являющейся перегородкой перепускного канала. Это подтверждает, что теоретический метод не позволяет прогнозировать ожидаемую упругую деформацию сложных корпусных деталей, имеющих не симметричный профиль сечения и различную толщину стенок.

Поэтому были проведены исследования упругих деформаций поверхности базового отверстия корпуса цилиндра двухтактного двигателя, вызванные силами резания, при помощи системы Ansys Workbench.

Создается геометрическая 3D модель цилиндра, например, в программе «Компас 3D», запускаем Ansys Workbench, транслируем геометрическую модель, выбираем тип задачи - staticstructural далее задаем закрепления по ребрам охлаждения согласно схеме по рисунку 4, прикладываем нагрузки (рисунок 4, б), равные силам резания на поверхности отверстия цилиндра. Далее задаем материал - Aluminium alloy, генерируем КЭ сетку (рисунок 4, а) с минимальным размером элемента равным 2,5 мм (минимальный размер элемента должен быть в несколько раз меньше наименьшего размера в детали) и решаем задачу.



а)

б)

Рисунок 4- Деталь в программе AnsysWorkbench
 а) разбиение на КЭ элементы; б) схема приложения нагрузки

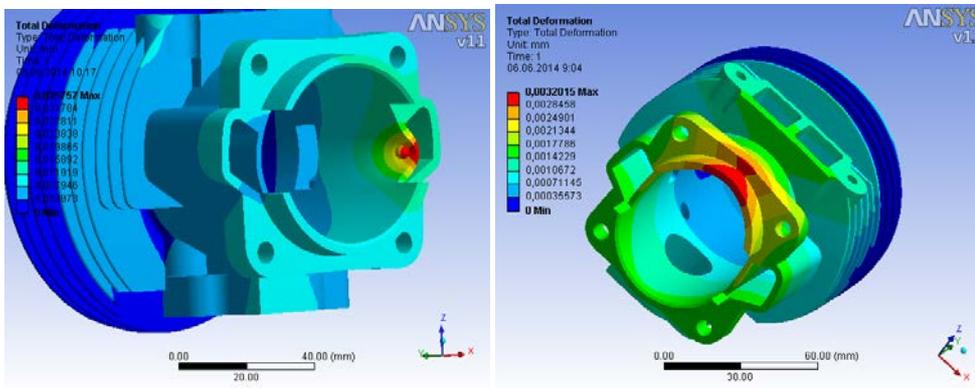


Рисунок 5 Деформации в программе AnsysWorkbench

По полученным значения строим графики:

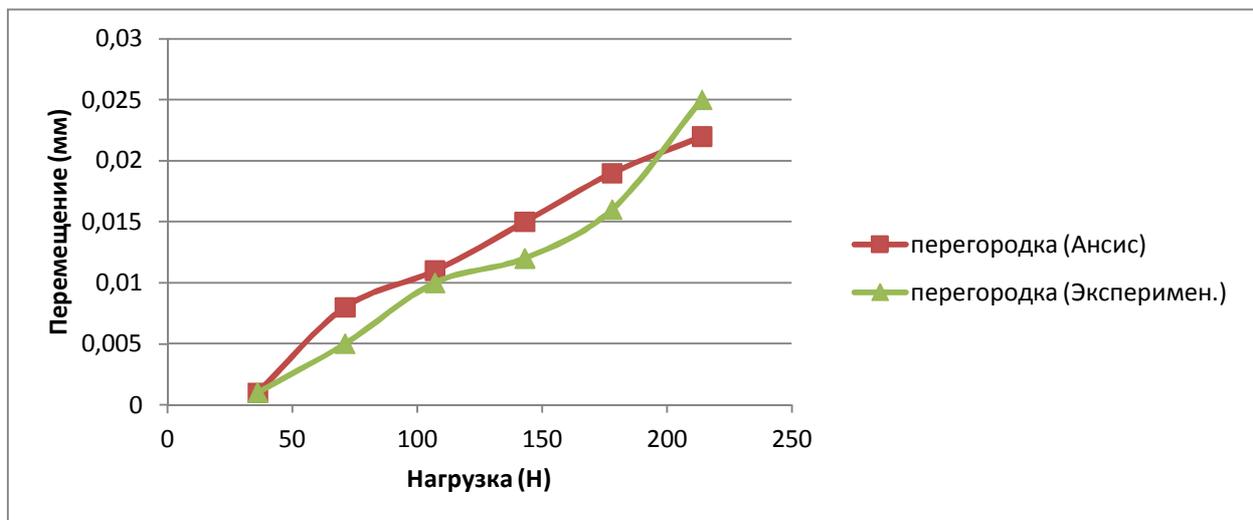


Рисунок 6 – Графики деформаций

Результаты моделирования и натурных испытаний упругой деформации представлены на рисунке 6 где, видно, что под действием нагрузок более значительно деформируется, «прогибается» поверхность цилиндра в месте перепускного канала, где толщина стенки цилиндра наиболее тонкая. Величина такой упругой деформации достигает значения более 0,02 мм на радиус (соответствует примерно 7-му качеству при диаметре 55 мм) при максимальной глубине резания 3 мм, что после обработке вызовет погрешность формы - отклонение от круглости. С учетом допуска на данное отверстие по 6 качеству, данная упругая деформация может являться причиной брака и ее необходимо учитывать.

Так же наблюдается значительный отжим корпуса цилиндра на величину - 0.015 мм на радиус (соответствует примерно 6-му качеству при диаметре 55 мм), что после обработки вызовет погрешность продольного сечения – конусность.

Отклонения экспериментальных исследований с результатами моделирования в среде Ansys составляют не более 0,005, следовательно, можно сделать вывод, что САЕсистему AnsysWorkbench, для исследования влияний переменной толщины стенок на точность обработки базовых отверстий корпусных деталей, можно применять.

Библиографический список

1. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов [текст] /Алямовский А.А. – М.: ДМК Пресс, 2004. – С. 432

INFLUENCE OF VARIABLE WALL THICKNESS ON THE ACCURACY OF PROCESSING BASE HOLES HOUSING PARTS

I.V. Trapeev, A.M. Firsov, V.A. Kalistru, V.M. Drobyshev

In this paper we consider the problem of the influence of elastic on the dimensional accuracy of the deformation when processing thin-walled cylindrical holes nonrigid parts with variable wall thickness for example, two-stroke engine cylinder body. Investigations were carried out by computer simulation of elastic deformation in the environment of the complex Ansys Workbench

Keywords: elastic deformation, basic hole, precision Machining.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ВЫСОКОТВЁРДОГО ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА НА СИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА

А.В. Трубицын¹, инженер-технолог, **В.И. Свирщёв²**, д.т.н., профессор
¹ЗАО «Новомет-Пермь», ²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

Рассмотрена методика учёта влияния структурного строения высокотвёрдого порошкового материала в задаче расчёта силы резания при наружном бесцентровом шлифовании. Получено аналитическое выражение для расчёта силы, дан пример расчёта, проанализировано влияние параметров режима шлифования на силу резания.

Ключевые слова: высокотвёрдый порошковый материал, «Релит», бесцентровое шлифование, сила резания.

Современные тенденции развития машиностроения направленные на постоянное улучшение качества, снижение себестоимости продукции, увеличение сроков службы изделий и др., приводят к появлению новых методов производства, к примеру – порошковая металлургия. Как правило, детали полученные данным методом, имеют обрабатываемость значительно ниже, чем детали, полученные традиционным способом. Если же в качестве порошкового материала используется твёрдый сплав или порошки высокотвёрдых карбидов, то обработать такой материал лезвийным инструментом становится практически невозможно. Одним из основных методов обработки деталей из твёрдого сплава, либо порошковых деталей на основе, к примеру, карбидов вольфрама, является шлифование.

Рассматриваемый в данной статье материал «Релит», представляет собой равномерно распределённые зёрна карбидов вольфрама микротвёрдостью порядка $HV = 2000 \dots 3000$ в медной связке твёрдостью $HV = 200 \dots 250$. Данный материал обладают износостойкостью на уровне твёрдого сплава ВК8, при этом имеет значительно лучшие пластические характеристики и абсолютно нечувствителен к ударным нагрузкам и вибрации.

Недостаток сведений по физико-механическим свойствам данного композиционного материала делает невозможным подбор абразивного инструмента на основе рекомендаций справочной литературы.

Важнейшей задачей, для обеспечения выходных параметров качества обработки, является стабилизация динамических параметров процесса шлифования, нахождение зависимостей между управляемыми кинематическими параметрами процесса и динамически изменяющимися контактными явлениями.

Одной из основных функциональных характеристик при шлифовании, как и при любом другом виде механической обработки, является сила резания P .

Расчет тангенциальной составляющей P_Z сил резания для бесцентрового наружного шлифования двухкомпонентного порошкового материала, осуществляется по формуле [1, 2]:

$$P_Z = \frac{0,185 \cdot R \cdot H_{V1} \cdot H_{V2} \cdot t^{1,5+n}}{H_{V1} \cdot R - 2(H_{V1} - H_{V2}) \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot t - t^2}} \cdot \frac{K_a}{K_\delta} \cdot \frac{S \cdot d_a^{-(0,5+n)} \cdot V_D}{\sqrt{(V_K + V_D)^2 + (V_D \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}} \times \frac{6 \cos(\eta + \gamma) \cdot (1 + \sin \gamma)}{\cos \gamma \cdot [3 \cos(\eta + \gamma) - 2 \sin \eta]}$$

где R – среднее статистическое расстояние между центрами зёрен карбидов вольфрама; r – средний статистический радиус зерна карбида вольфрама; H_{V1} , H_{V2} – твёрдость компонентов обрабатываемого материала по Викерсу; t – глубина шлифования; S – ширина детали d_a – характерный размер абразивного зерна инструмента; $n = 1,0 \dots 2,5$ (для электрокорундовых кругов на керамической связке $n = 1,5$, для эльборовых и карбидокремниевых на керамической связке $n = 1$); K_v – коэффициент формы вершины зерна; K_δ – параметр, зависящий от объёмного строения стандартного абразивного инструмента и условий правки его рабочей поверхности; V_K – скорость абразивного резания; V_D – скорость детали, α – угол наклона оси ведущего круга, η – угол трения скольжения, γ – передний угол единичного резца.

Приведённая формула описывает зависимость силы резания от глубины шлифования, размеров зёрен и их взаимного расположения 2-х компонентного композиционного материала.

Влияние параметров режима шлифования на силу резания будет описывать функция:

$$P_Z = f \left(\frac{t^{1,5+n} \cdot H_{V1} \cdot H_{V2} \cdot R}{H_{V1} \cdot R - 2 \cdot (H_{V1} - H_{V2}) \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot t - t^2}} \cdot \frac{V_D}{\sqrt{(V_K + V_D)^2 + (V_D \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2}} \right)$$

Особый интерес представляет зависимость тангенциальной составляющей силы резания от глубины шлифования, так как с её увеличением возрастает и приведённая твёрдость обрабатываемого материала (рис. 1).

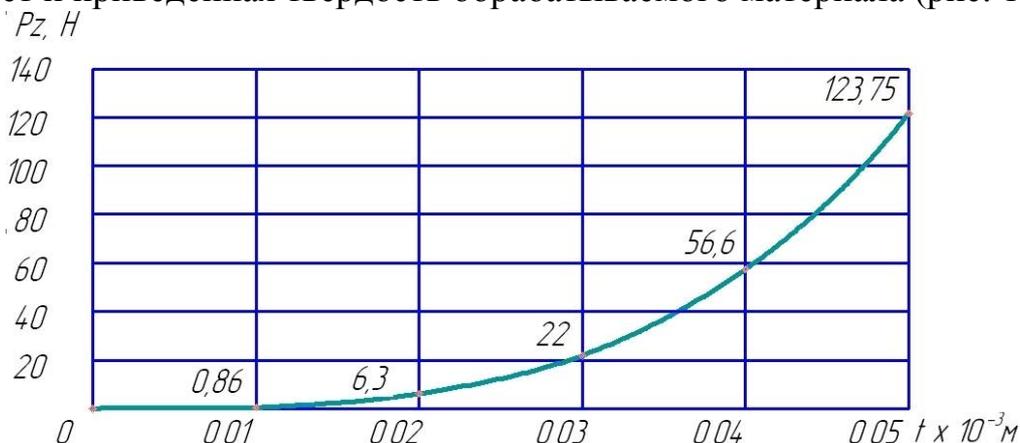


Рисунок 1 - Зависимость силы P_Z от глубины шлифования

Шлифовальный круг: 1 500x150x305 54С Р40N7 V35А.

$H_{V1} = 5,7 \cdot 10^9$ Н/м², $H_{V2} = 30 \cdot 10^6$ Н/м², $r = 0,116 \cdot 10^{-3}$ м, $R = 0,251 \cdot 10^{-3}$ м, $V_K = 35$ м/с, $V_D = 2$ м/с.

Сила резания практически прямопропорционально зависит от скорости вращения детали, так как $V_K \gg V_D$ (рис. 2):

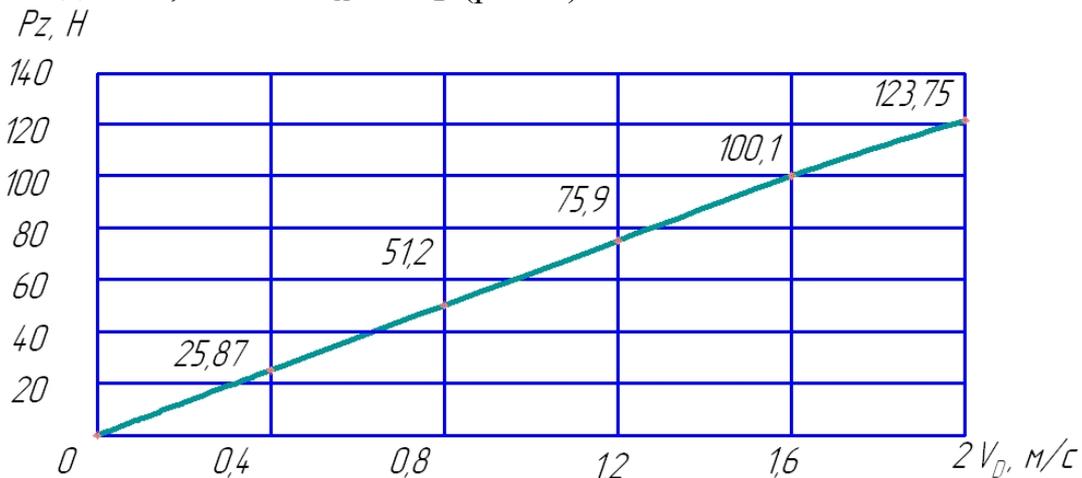


Рисунок 2 - Зависимость силы P_z от скорости вращения детали

Шлифовальный круг: 1 500x150x305 54С Р40N7 V35А.

$H_{V1} = 5,7 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, $H_{V2} = 30 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$, $r = 0,116 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $R = 0,251 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

Режимы шлифования: $t = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $V_K = 35 \text{ м/с}$, $\alpha = 4^\circ$.

По данным расчёта составляющей силы резания для следующих условий бесцентрового шлифования:

Круг – 1 500x150x305 54С Р40N7 V35А: $D = 0,5 \text{ м}$, $d_a = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\gamma = 55^\circ$,

$|\gamma| = 0,96 \text{ рад.}$, $n = 1$, $K_e = 2$, $K_\delta = 0,0141$, $\text{tg}\eta = 0,2$, $\eta = 11,33^\circ$;

Деталь: $d = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $S = 35 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $H_{V1} = 5,7 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$, $H_{V2} = 30 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$,

$r = 0,116 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $R = 0,251 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, и различных сочетаниях глубины шлифования и скорости детали, построена гистограмма зависимости силы резания P_z от сочетания параметров режима шлифования (рис. 3).

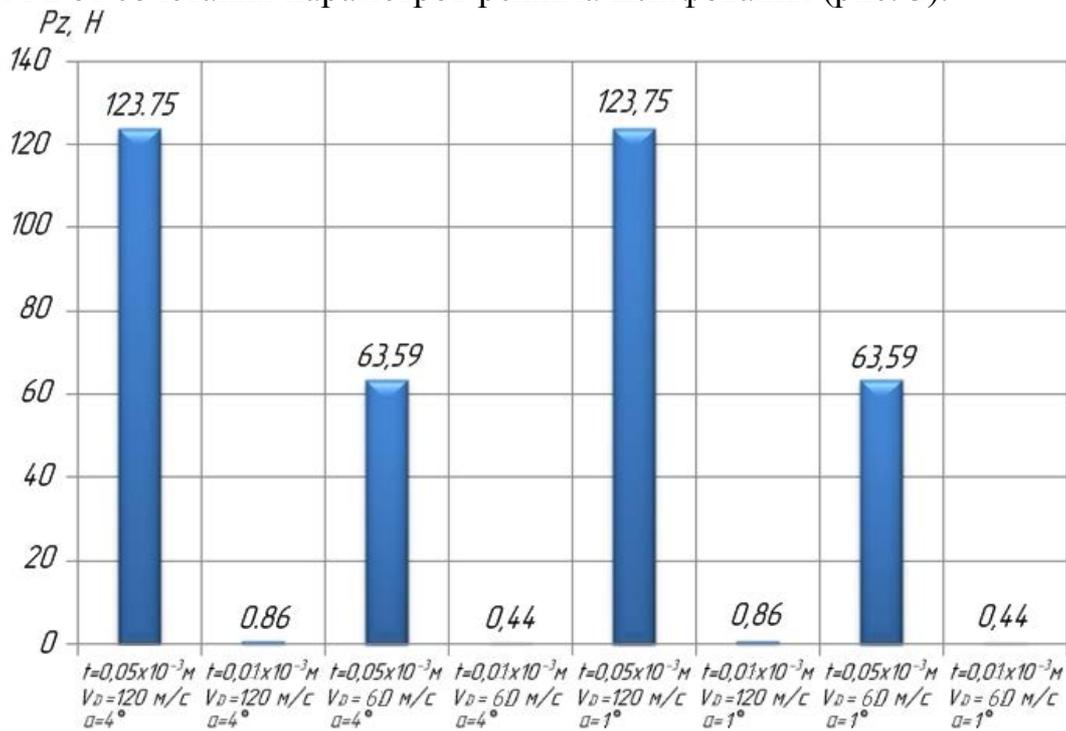


Рисунок 3 - Зависимость силы резания P_z от сочетания параметров режима шлифования

Анализ проведённого аналитического расчёта силы резания P_z при различных сочетаниях параметров режима шлифования позволяет сделать вывод, что при максимальных глубине и скорости детали сила P_z достигает максимального значения, и практически не зависит от скорости продольной подачи. При прочих равных условиях снижения скорости детали или глубины шлифования приводит к уменьшению P_z .

Библиографический список

1. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. - Изд-во Саратов. ун-та, 1978. - 128 с.
2. Свирищев В.И., Флегентов В.К., Подборнов И.В. Аналитическое описание и расчет сил резания при бесцентровом наружном шлифовании. // Вестник ПГТУ «Механика и технология материалов и конструкций». - № 5. - Пермь, 2002. - с. 180-187.

THE ANALYSES OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS CENTERLESS EXTERNAL GRINDING OF VERY HARD POWDER MATERIAL ON THE POWER CHARACTERISTICS OF THE PROCESS

Trubitsyn A.V., Svirshev V.I.

The method of accounting influence structural framework of very hard powder material to the problem of calculating the cutting forces in external centerless grinding. The analytical expression for calculation of the forces, is an example calculation, analyzed the influence of the parameters of the grinding on the cutting force.

Keywords: of very hard powder material, "relit", centerless grinding, cutting force.

КЛАСТЕР НОМЕНКЛАТУРЫ ЛИСТОШТАМПОВОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАСКРОЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА

Е.В. Федорина, аспирант, **И.Ф. Дьяков**, д.т.н., профессор, **О.В. Мищенко**, к.т.н.,
доцент, **В.Н. Кокорин**, д.т.н., профессор
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Проанализированы холодноштамповочные детали, выявлены отличительные признаки, представлен классификатор деталей для создания справочника для моделирования раскроя.

Ключевые слова: раскрой, классификация деталей.

В настоящее время применяется большое количество программ по раскрою различного листового и рулонного материала, стандартной и произвольной формы из металла, стекла, древесины, ткани, меха и т.д.

Программные продукты качественные и разнообразные, но объединяет их один момент. Программы хорошо себя зарекомендовали при резке на современном специальном оборудовании с помощью управляющих программ в условиях единичного и мелкосерийного производства, когда необходимо оптимально раскроить на листе разноимённые детали (групповой раскрой). Для крупносерийного и массового производства при индивидуальном раскросе и наличии других важных показателей раскроя, эти программы имеют ограниченное применение.

Для реализации задачи автоматизированного раскроя в условиях крупносерийного и массового производства необходимо создание новой системы или расширение использования применяемых систем. Для принципиально нового подхода к проектированию раскроя необходимо создание трёх основных справочников: по деталям, оборудованию и металлопрокату. Ввиду отсутствия работ по классификации деталей с точки зрения раскроя разделение деталей является наиболее сложным этапом.

Была рассмотрена и проанализирована номенклатура деталей одного из штамповочных цехов ульяновского автомобильного завода. Детали были разбиты на группы по различным классификационным признакам. По результатам анализа предлагается классификатор деталей, который в дальнейшем станет основой справочника деталей.

В зависимости от эксплуатационного назначения и формы установки в автомобиль холодноштампуемые детали разделяются на детали кузовной, рамной и арматурной штамповки. Детали кузовной штамповки

устанавливаются в чёрный - неокрашенный кузов. Детали рамной и арматурной штамповки - в окрашенный кузов. Такое разделение позволит закрепить изготовление деталей за специализированными цехами, совместить резку металла и штамповку в одном цехе и сократить транспортные расходы и расходы на погрузочно-разгрузочные работы.

По габаритам детали ХШП бывают крупные, средние, мелкие. Для листоштамповочных цехов с разной специализацией подобное деление зависит от размеров заготовок (деталей) и приведено в таблице №1.

Таблица 1

Цех	Детали по габаритам заготовок		
	Крупные	Средние	Мелкие
Кузовной штамповки	св.900-2500 мм	св.400-900 мм	до 400 мм
Рамной штамповки	св.700-2000 мм	св.300-700 мм	до 300 мм
Арматурной штамповки	св.300-500 мм	св.100-300 мм	до 100 мм

По толщине штампуемые детали разделим на тонколистовые 0,5-2,0мм, средней толщины >2,0 до 4,0мм, толстые детали >4,0 до 8,0мм. Крупные кузовные детали (панели боковин, крылья, панели дверей, крыша и др.) изготавливают, как правило, из тонколистового металла 0,7-1,0мм. Средние детали (усилители, соединители) из проката толщиной 1,0-1,5мм; мелкие (кронштейны) из 1,5-2,0мм проката. Для производства деталей рамной и арматурной штамповки (трёх указанных групп) применяется металл различной толщины от 0,5 до 8мм.

При разработке технологии раскроя нередко приходится ограничивать заготовки по весу. Зададим четыре группы заготовок по весовой характеристике: 1 группа - до 3кг, 2 группа – до 5кг, 3 группа – до 8кг, 2 группа – до 12кг.

Форма заготовки и её размеры определяются конструкцией детали, конфигурацией развёртки детали, технологическими процессами штамповки и резки. Заготовка представляет собой фигуру, полностью охватывающую развёрнутую деталь. По форме заготовки бывают простые и сложные. К простым формам отнесём заготовки, охватывающие развёртку фигурами круг/ овал и квадрат/ прямоугольник. Сложные заготовки облегают развёрнутую деталь фигурами ромб/ параллелограмм, трапеция. Сложные пространственные

геометрии цельноштампованных деталей (каркасы боковин) обуславливают применение более сложных, фасонных заготовок. Контур таких заготовок получают за счёт отделения заготовки по замкнутому или незамкнутому контуру с помощью штампов фасонной вырубке и отрезных ножей в виде пакета штампов.

В зависимости от исходного материала классифицируем раскраиваемые изделия на заготовки из основного материала (лист, полоса, рулон, лента) и заготовки из вторичного материала (отхода). В зависимости от стадии образования отход может быть плоским (при раскрое/ штамповке) или пространственным (при штамповке). Когда деловой отход применяется поэтапно несколько раз (отход от отхода), то вводим деление на отходы I-рода и отходы II-рода.

Градацию заготовок по качеству поверхности проведём с учётом требований, предъявляемых к поверхностям кузовных деталей. В зависимости от назначения кузовные автодетали делятся на две основные группы: лицевые и нелицевые.

К лицевым относятся детали трёх категорий:

I-категория – видимые поверхности всех панелей, образующих внешнюю форму кузова, незакрытых в процессе сборки декоративными деталями (поверхности водосточного жёлоба, пороги кузова).

II-категория – видимые лицевые поверхности и внутренних частей кузова. Определяются возможностью их обзора с мест водителя и пассажира при закрытых дверях кузова.

III-категория – поверхности кузова, видимые кратковременно при открывании дверей, капота (поверхность проёма задней двери).

На лицевой стороне заготовок для этих деталей не допускаются дефекты за исключением отдельных незначительных рисок и царапин длиной менее 20мм.

К нелицевым относятся остальные детали и требования к поверхности заготовок для них не такие жёсткие.

В зависимости от функционального назначения и возможности получения качественных деталей в процессе холодного листового деформирования расположение контура детали относительно волокон металлопроката может быть трех видов: полоса располагается вдоль линии проката (волокна) (рис 1а), поперёк линии проката (рис. 1б) и произвольно по направлению к волокну (рис. 1в). Во избежание излома металла стремятся расположить линию изгиба под углом, приближённым к 90° к направлению проката.

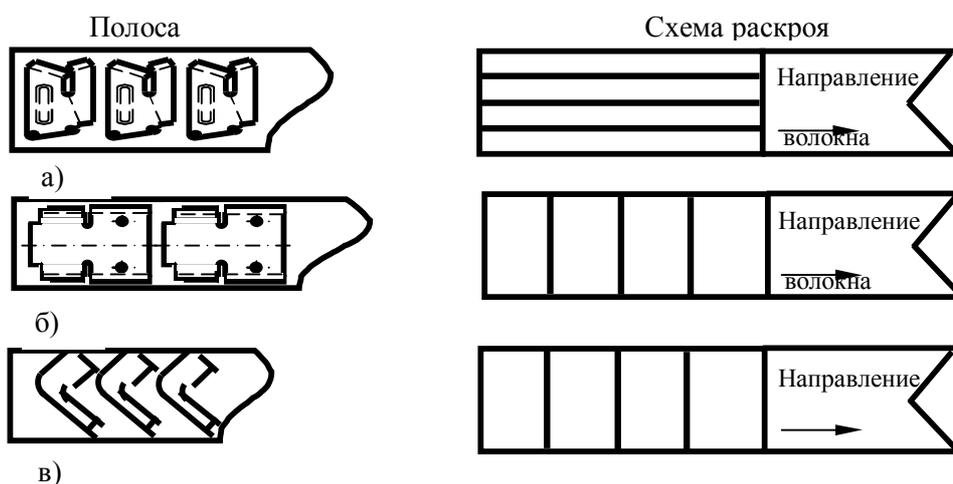


Рисунок 1 - Положение заготовки и волокна

Необходимая точность резки обуславливается технологиями штамповки и раскроя, отклонениями поступающего на раскрой сортамента, техническими возможностями режущего оборудования и экономным использованием металлопроката. Разобьём заготовки по точности резки:

- повышенной точности. Номинальный размер заготовки задаётся с отрицательным отклонением. При выполнении раскроя требуется дополнительная настройка оборудования и повышенное внимание оператора.
- нормальной точности. Номинальный размер заготовки задаётся симметричными отклонениями ± 1.00 для размеров до 200 мм включительно; ± 2.00 для размеров свыше 200 мм.
- максимальные размеры заготовки не ограничены. Возможно применение остатков раскроя (деловых отходов) без дополнительной подрезки.

Таким образом, отличительные особенности деталей применительно к раскрою можно представить в виде ассортимента признаков (табл. №2).

Таблица 2

Номер п/п	Наименование классификационного признака	Обозначение признака
1	Назначение деталей	Н
2	По габаритам	Г
3	Толщина	Т
4	Вес заготовки	З
5	Форма заготовки	Ф
6	Вид исходного материала	М
7	Качество поверхности	К
8	Направление волокна	В
9	Точность резки (допуск)	Д

Представленная классификация определяет структуру базы данных по деталям для создания новой САПР.

Библиографический список

1. Амбос Э. Экономия сырья и материалов / Э. Амбос. А Нойбауер, Ю.И. Освальд и др. – М.: Металлургия, 1989.
2. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / В. Л. Марченко и др. под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988.

NOMENCLATURAL CLUSTER OF SHEET STAMPING PARTS IN MODELING OF METAL CUTTING

E.V. Fedorina, I.F. Dyakov, O.V. Mishcenko, V.N. Kokorin

Abstract: The article analyzes the cold-stamping parts, identified features, and presented the classifier of details to create a guide for cutting simulation.

Keywords: cutting, classification details.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ НА БАЗЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ³

Ю.С. Чёсов, к.т.н., доцент, Е.А. Зверев, к.т.н., доцент,

Н.В. Вахрушев, магистрант, А.С. Ваганов, инженер

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Рассмотрен один из вариантов повышения качества плазменных износостойких покрытий за счет применения многокомпонентных порошковых материалов на основе механических смесей. Приведены результаты сравнительной оценки на износ в условиях трения скольжения покрытий их одно- и двухкомпонентных порошков. Результаты испытаний показали, что плазменные покрытия из механических смесей обладают более высоким уровнем качества, так как наследуют достоинства каждого из исходных порошков.

Ключевые слова: плазменное напыление, покрытие, механические смеси, износостойкость, сравнительные испытания.

Введение

В настоящее время в технологии машиностроения для обеспечения требуемого уровня износостойкости деталей машин широко используются плазменные покрытия, нанесенные из стандартных порошковых материалов. Однако с целью повышения качества весьма перспективными направлениями являются применение так называемых комбинированных технологий (суть которых заключается в повторном высокоэнергетическом воздействии на структуру плазменных покрытий) [1] и формирование покрытий из многокомпонентных порошковых материалов. Одним из существенных достоинств использования последнего направления является возможность управления структурой (а, следовательно, и уровнем физико-механических свойств) в широких пределах путем применения порошковых композиций с различным химическим составом [2].

Среди многообразия композиционных материалов: механические смеси различных металлов, плакированные, конгломерированные и другие порошковые материалы следует отдать предпочтение порошкам первой группы. Это объясняется тем, что применение порошков в виде механических смесей является процессом технологически гораздо менее трудоемким, более дешевым и производительным. Разумеется, что некоторые научно-

³ 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").

исследовательские институты и промышленные предприятия выполняли работы по нанесению покрытий различного функционального назначения из порошковых смесей. Однако какие-либо сведения о методике нанесения покрытий и полученных результатах в технической литературе практически отсутствует. На данный момент в литературе приведены лишь рекомендуемые варианты возможных комбинаций исходных марок порошков, из которых образуются многокомпонентные механические смеси [2, 3].

Целью настоящих исследований являются проведение сравнительных испытаний на износостойкость механических смесей из стандартных порошковых материалов для выбора наиболее рационального соотношения различных компонентов.

Методика проведения экспериментов

При реализации поставленной задачи был проведен широкий круг исследований. В качестве базовых были приняты стандартные порошки, марки и химический состав которых приведены в таблице.

Таблица

Марка порошка	Химический состав, %								
	C	Cr	Ni	Si	Fe	B	W	Al	Co
ПГ-10Н-01	0,6-1	14-20	основа	4-4,5	3-7	2,8-4,2		0,8-1,2	
ПГ-10Н-04			основа	2,3-2,8	до 2	1,2-1,8			
ПГ-12Н-01	0,3-0,6	8-14	основа	1,2-3,2	2-5	1,7-2,8		0,8	
ПГН-ВЗК	1-1,3	28-32	0,5-2	2-2,7	2		4-5		основа
ПС-12НВК-01	65% ПГ-10Н-01 + 35% WC								
M28	Al ₂ O ₃								

Нанесение плазменных покрытий на образцы производили на установке "Киев-7" плазмотроном ПУН-8 мощностью 40 кВт.

В качестве образцов применялись втулки, изготовленные из стали 20 с наружным и внутренним диаметрами соответственно 25 мм и 15 мм, длиной 12 мм. Процесс напыления осуществляли за счет поступательного перемещения плазмотрона и вращения оправки с образцами. Заготовки предварительно подвергались процессу струйно-абразивной очистки частицами из электрокорунда. Образцы обрабатывались при одинаковых условиях, что позволило получить поверхности заготовок с шероховатостью в пределах Rz = 60...80 мкм. Режимы напыления были приняты следующими: величина тока

дуги плазмотрона – 120...180 А; напряжение – 150...160 В; расход плазмообразующего газа (воздуха) – 0,9...1,2 л/мин; дистанция напыления – 110 мм; скорость перемещения плазмотрона – 250 мм/мин; частота вращения оправки – 150...200 об/мин. Толщина слоя покрытия выдерживалась в пределах 600...630 мкм. Для каждого варианта покрытия использовались три образца, а результаты опытов определялись как среднее арифметическое значение. Для испытания стойкости покрытия на износ в условиях трения скольжения использована схема "врезающегося индентора" [4].

Результаты исследований

Кинетика изнашивания покрытий из стандартных марок порошков отображена на рисунке в виде сплошных линий.

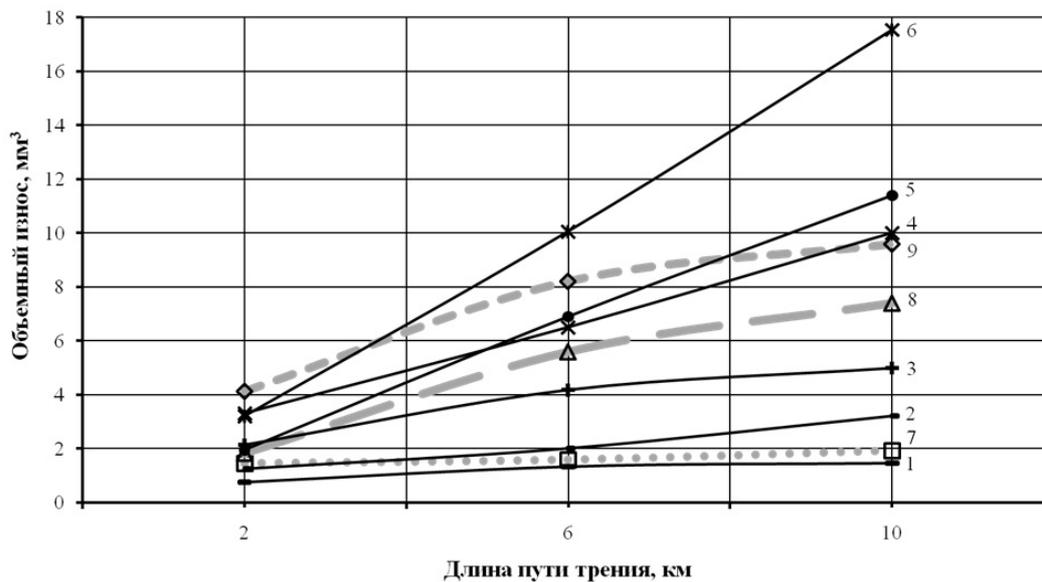


Рисунок - Кинетика изнашивания образцов с покрытиями:

— 1. M28(Al2O3) — 2. ПГН-ВЗК — 3. ПС-12НВК-01

Результаты исследований показали, что наибольшей износостойкостью обладают образцы с покрытиями из керамики марки М28 (кривая 1). Вполне приемлемую износостойкость демонстрируют покрытия из порошка ПГН-ВЗК (кривая 2). Уровень износостойкости этих порошковых материалов даже выше, чем у карбидосодержащих покрытий марки ПС-12НВК-01 (кривая 3). Среди никелевосодержащих самофлюсующихся порошков выделяются покрытия марки ПГ-12Н-01 (кривая 4). К недостаткам керамических покрытий следует отнести высокую хрупкость слоя (что, естественно, отражается на надежности деталей), а также потребность в нанесении никель-алюминиевого подслоя.

На наш взгляд, наиболее рациональным решением проблемы износостойкости плазменных покрытий является создание композиций, состоящих из твердой керамики и пластичного материала (никель, кобальт), реализуемых на базе механических смесей.

В наших экспериментах механические смеси представляли собой композиции керамики марки М28 с кобальтовым порошком марки ПГН-ВЗК и той же керамики с никелевым порошком марки ПГ-12Н-01.

Приготовление механических смесей из порошков разных металлов является одной из важнейших операций технологического процесса нанесения плазменных износостойких покрытий. Ее назначение – обеспечение однородности смеси. На практике данная операция реализуется путем механического перемешивания в специальных мельницах.

Полученные результаты изображены на рисунке в виде пунктирных линий. Эксперименты показали, что наибольший уровень износостойкости среди механических смесей присущ композиции ПГН-ВЗК(20 %) + М28(80 %) – кривая 7. При том, что ее износостойкость несколько ниже, чем у исходных керамических покрытий, данная механическая смесь обладает более оптимальным сочетанием физико-механических свойств. Увеличение процентного содержания никеля в смеси (до 50 %) приводит к заметному снижению уровня износостойкости – кривая 9.

Выводы

В заключение отметим, что использование многокомпонентных порошковых материалов является весьма перспективным направлением с целью получения покрытий с более высоким уровнем качества слоя, поскольку они наследуют достоинства каждого из исходных порошков. Однако их промышленное использование потребует проведения целого комплекса технологических, металлографических и иных исследований.

Библиографический список

1. Технология упрочнения плазменных покрытий токами высокой частоты / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, П.В. Трегубчак, Н.В. Вахрушев, Д.Э. Коробкин // Инновации в машиностроении: Труды 4-й международной научно-практической конференции (4-8 октября 2013 г.). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – С. 69-72.

2. Пузряков А. Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 357 с.

3. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов, С. Л. Сидоренко, Е. Н. Аруатовская. – Киев : Наукова думка, 1987. – 544 с.

4. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А. Исследование износостойкости покрытий, нанесенных методом плазменного напыления // Научный вестник НГТУ. – 2008. – № 3(32). – С. 175–181.

COMPARATIVE TESTING WEAR RESISTANT PLASMA COATINGS CREATED ON THE BASIS OF MECHANICAL MIXTURES OF DIFFERENT POWDER MATERIALS

Yu.S. Chesov, E.A. Zverev, N.V. Vahrushev, A.S. Vaganov

Considered one of the options to improve the quality of plasma wear-resistant coatings by applying multicomponent powder materials based on mechanical mixtures. The results of a comparative assessment on wear in the conditions of a sliding friction of their coatings one - and two-component powders are given. Test results showed that the plasma coating of mechanical mixtures have a higher level of quality, as each inherit advantages of initial powders.

Keywords: plasma spraying, coating, mechanical mixtures, wear resistance, comparative assessment.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА СТРУКТУРУ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ⁴

Ю.С. Чёсов, к.т.н., доцент, **Е.А. Зверев**, к.т.н., доцент, **Н.В. Плотникова** к.т.н.,
доцент, **П.В. Трегубчак**, ассистент, **И.А. Ерохин**, аспирант
Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Приведены результаты металлографических исследований микроструктуры износостойких плазменных покрытий из высокохромистого чугуна после высокоэнергетического воздействия токами высокой частоты. Они показали, что в структуре покрытий практически исчезли поры, нерасплавленные частицы и несплошности на переходной границе.

Ключевые слова: влияние, токи высокой частоты, структура, плазменные покрытия.

Введение

Одним из основных направлений развития современных технологий машиностроения с целью продления ресурса работы деталей машин в процессе эксплуатации является обеспечение требуемого уровня износостойкости, который достигается, как известно, различными методами поверхностного упрочнения, в том числе и методом плазменного напыления износостойких покрытий. Как известно, процесс обладает целым рядом достоинств. Однако ему присущи и недостатки: наличие пористости в структуре покрытия и относительно невысокая адгезионная прочность (прочность сцепления покрытия с металлом основы). Такой уровень адгезионной прочности при высоких контактных давлениях может являться причиной нарушения сплошности поверхности покрытий в виде отслоений и сколов частиц покрытия в процессе эксплуатации оборудования, что, естественно, ограничивает его технический ресурс.

Поскольку общепринятые технологии нанесения покрытий практически полностью исчерпали свои потенциальные возможности, то в последнее время с целью повышения качества покрытий все более широкое применение получают так называемые комбинированные технологии [1]. Сущность комбинированных технологий 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.

⁴ 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").

В качестве процесса дополнительного термического воздействия на плазменные покрытия нами принят высокоэнергетический нагрев токами высокой частоты (ВЭН ТВЧ).

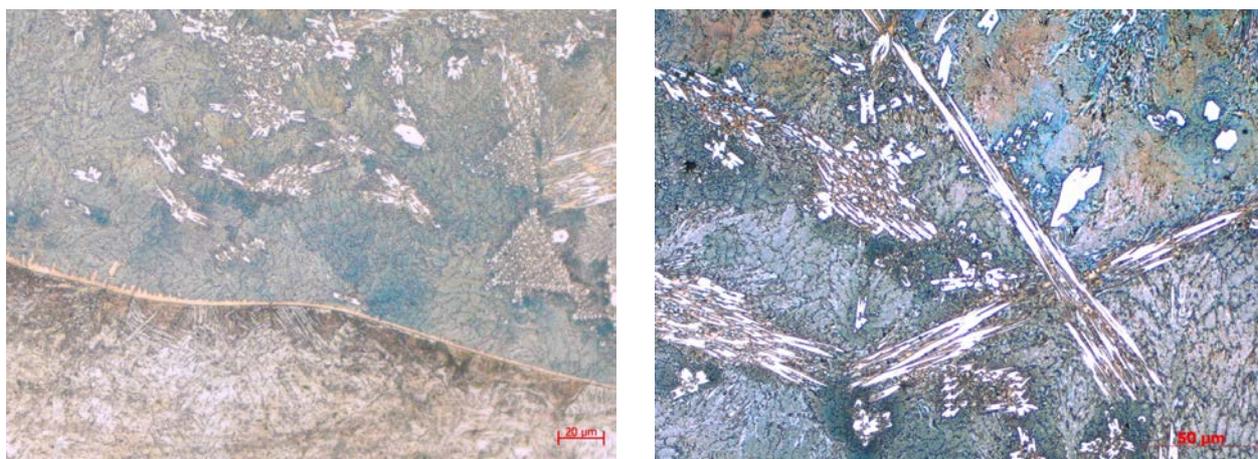
Целью настоящей работы является исследование влияния токов высокой частоты на структуру напыленного слоя на микроуровне.

Методика проведения экспериментов

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*.

Результаты исследований

На рисунке показан типовой вариант микроструктуры покрытий после дополнительного воздействия ВЭН ТВЧ, полученный при удельной мощности нагрева $3,0 \cdot 10^8$ Вт/м² и линейной скорости перемещения образца 0,1 м/с.



а

б

Рисунок - Микроструктура плазменного покрытия после воздействия ВЭН ТВЧ

При оплавлении порошка из высокохромистого чугуна на стальной основе методом ВЭН ТВЧ образуется достаточно плотное, равномерное покрытие, не содержащее пор и имеющее четкую границу раздела. В стальной основе наблюдается зона термического влияния порядка 50 мкм с характерной структурой феррита видманштеттова типа. Кроме того, на границе раздела в сторону покрытия прорастают дендритные кристаллы, образование которых свидетельствует о наличии жидкой фазы на поверхности стальной основы.

Структура покрытия представляет собой структуру заэвтектического чугуна, состоящую из мелкодисперсной эвтектики ледебурита и первичных

кристаллов карбида. Из литературных данных известно, что увеличение в чугунах содержания хрома выше 10 % приводит к образованию в их структуре первичного карбида тригонального типа $(Cr, Fe)_7C_3$ [2].

Как правило, при кристаллизации хромистокарбидной эвтектики карбиды типа M_7C_3 не образуют непрерывную фазу, а располагаются в виде изолированных тригональных карбидов. Кроме того, в работе [3] показана особенность формирования первичных сложных карбидов в зависимости от условий охлаждения при кристаллизации. Увеличение скорости охлаждения приводит к образованию крупных, сильноразветвленных кристаллов карбида. При обработке ВЭН ТВЧ реализуется режим ускоренного охлаждения за счет быстрого теплоотвода вглубь стальной основы, что приводит к расщеплению кристаллов карбида и их разрастанию в виде «веера». В поперечных сечениях карбиды выглядят в виде гексагональных или тригональных призм, а разрез "веера" представляет собой комбинацию сечений нескольких тригональных призм.

Выводы

Таким образом, более углубленные исследования состояния плазменного покрытия после воздействия ВЭН ТВЧ на уровне микроструктуры подтвердили ранее полученные результаты [1]: при повторном высокоэнергетическом воздействии в структуре покрытия практически ликвидируются поры и нерасплавленные частицы порошка, отсутствуют участки с несплошностью на переходной границе. При этом в структуре покрытия из высокохромистого чугуна сохраняется карбидная составляющая, что свидетельствует о правильно выбранных режимах нагрева.

Библиографический список

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В., Вахрушев Н.В. Комбинированная технология формирования плазменных износостойких покрытий // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации): Материалы III Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (25-27 апреля 2013 г.). – Иркутск: Изд-во НИ ИрГТУ, 2013. – С. 81-84.
2. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны. – М.: Машиностроение, 2010. – 281 с.
3. Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н.. Основы металлографии чугуна. – М.: Металлургия, 1069. – 420 с.

RESEARCH OF INFLUENCE OF HIGH FREQUENCY CURRENTS ON THE STRUCTURE OF PLASMA COATINGS

Yu.S. Chesov, E.A. Zverev, N.V. Plotnikova, P.V. Tregubchak, I.A. Erohin

Results of metallographic researches of structure of wear-resistant plasma coatings from high-chromium 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.

Keywords: influence, high frequency currents, structure, plasma coating.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАНОВ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТАБЛИЦ ТОЧНОСТИ

Ю.Л. Чигиринский, к.т.н., доцент

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

Обоснована возможность решения задачи построения элементарных технологических маршрутов обработки поверхностей заданного качества в условиях индивидуального технологического проектирования. В качестве информационного обеспечения автоматизированного маршрутного проектирования предлагается использовать вероятностные таблицы точности обработки.

Ключевые слова: план обработки, элементарный технологический маршрут, качество обработанной поверхности, вероятностная таблица точности, матрица смежности, ориентированный граф, дискретно-событийная модель.

Данное исследование посвящено вопросам формализации построения планов механической обработки элементарных поверхностей. Говоря об элементарных поверхностях, мы имеем в виду поверхности простой формы, в совокупности образующие геометрическую модель изделия. В решении поставленной проблемы мы исходим из общепринятого [1, 2, 3] положения о необходимости обеспечения требуемых величин параметров точности и качества изделия в целом.

Качество и точность обработанной поверхности оценивается комплексом показателей, которые можно рассматривать как параметры технологического метода, с помощью которого получено определенное состояние поверхности изделия – результатами процесса обработки. При таком подходе следует определить взаимосвязь получаемых результатов с технологическими факторами рассматриваемого процесса – условиями осуществления конкретного метода обработки. В общем комплексе можно выделить группу детерминированных факторов, влияние которых на качество и точность обработки можно прогнозировать: характеристики обрабатываемого материала, инструмента и оборудования. Помимо детерминированных факторов, существуют и случайные воздействия – те факторы, которыми, и с помощью которых, мы не можем управлять. Необходимость выделения группы случайных воздействий определяется существованием вариативности физико-механических свойств конструкционного и инструментального материалов, определенными отклонениями геометрических параметров инструмента, оснастки и оборудования от идеальной конструкции. Совокупность случайных воздействий мы рассматриваем как комплексный фактор – метод обработки, поскольку эта вариативность свойственна именно технологическому методу обработки в целом, с учетом применяемого инструмента, оборудования и оснастки.

Каждый метод обработки определяется диапазоном достижимых

показателей качества и точности. Сводные массивы величин показателей качества, достижимых в результате обработки, называемые таблицами точности [1, 2], являются информационной основой технологического проектирования. В большинстве случаев в справочной литературе рассматриваются только два критерия: высота микронеровностей, как показатель качества обработанной поверхности и номер качества (допуск размера) – показатель точности обработки. Следует отметить, что, для ответственных изделий, такой комплекс показателей качества обработки является недостаточным. Рассматривая возможность формализованного проектирования планов обработки именно на таком, усеченном, примере, покажем, что предлагаемый подход является универсальным и не зависит от количества нормируемых параметров качества.

Анализируя применяемые в настоящее время концепции маршрутного технологического проектирования – индивидуальное, типовое [3], групповое [4], модульное [5] проектирование, концепцию гибких технологических процессов [6], заметим [7], что индивидуальное технологическое проектирование, лежащее в основе всех названных концепций, является единственно возможным инструментом подготовки производства в условиях отсутствия базы типовых технологических решений. Кроме того, учитывая определенную неоднозначность [8] и несовершенство [9] нормативно-справочных данных, применяемых в качестве информационной основы технологического проектирования, следует признать, что эффективная технологическая подготовка, с учетом технологических возможностей реального производства, возможна только при использовании концепции индивидуального технологического проектирования.

Рассмотрение механической обработки или, иначе говоря, процесса формирования комплекса показателей качества обработанной поверхности, как процесса виртуального «перемещения» поверхности из области «методы заготовительного производства» в область «готовое изделие» в условной системе координат «точность-качество» (рис. 2), позволяет применить для формализации маршрутного проектирования, методы, характерные для т. наз. «транспортных» задач линейного программирования. Соответственно, для схематизации процесса обработки можно использовать понятие графа. Для формального описания графа используют т. наз. матрицу смежности, которая устанавливает, для простых или ориентированных графов, логические взаимосвязи между вершинами (1 – вершины смежны, 0 – несмежны). Для транспортной сети (рис. 1) обычно используют «взвешенную» матрицу смежности, в которой наличие связи отмечается условной длиной дуги.

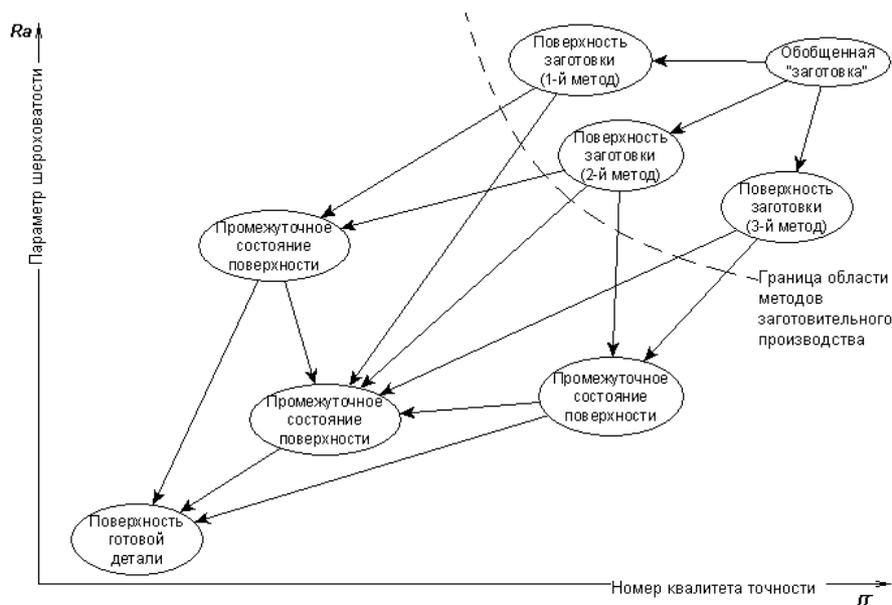


Рисунок 1 - Представление технологического процесса в виде «транспортной» сети

На первом этапе проектирования в качестве длины дуги следует использовать количественные оценки изменения величин нормируемых показателей качества. Для проектирования маршрутов, гарантирующих значимое повышение качества обработанной поверхности на каждом технологическом переходе, в матрице смежности необходимо, также, учитывать количественную оценку значимости изменения показателей качества. Однако, следует заметить, что в современной нормативно-справочной литературе такие характеристики методов обработки не приводятся.

Предыдущий переход	Допуск		Повышение качества (отношение)						
			Следующий переход						
	<i>min</i>	<i>max</i>	1	2	3	4	5	6	
1 зенкер. черновое	10	20			1,15	1,29	2,22	4,43	
2 сверление	10	20			1,15	1,29	2,22		
3 зенкер. полуст.	4	16	0,91	0,81		1,12			
4 зенкер. чистовое	4	10	1	1	0,68				
5 разверт. полуст.	1,25	6,30	1	1	1				
6 шлиф. полуст.	1,25	3,20	1	1					
7 разверт. чистовое	1,00	3,20	1	1					
8 шлиф. чистовое	0,40	1,25							
9 разверт. тонкое	0,32	1,25							
10 шлиф. тонкое	0,16	0,4							

границы технологического допуска
 номер и название предыдущего перехода в технологической цепочке

Рисунок 2 - Элементы слоя вероятностной таблицы точности

В качестве алгебраической структуры, описывающей план обработки поверхности мы предлагаем [7, 10] использовать вероятностные таблицы точности, представляющие собой «многослойную» таблицу (рис. 3), каждый слой которой определяет технологические допуски, оценки значимости и собственно величины изменения каждого нормируемого показателя качества обработки.

Изменение параметра качества определяется [7, 8] отношением (для непрерывных случайных величин) или разностью (для дискретных) значений

параметра до и после выполнения технологического перехода. Логически каждый слой (рис. 2) вероятностной таблицы представляет собой «совмещение» собственно таблицы точности обработки, из которой взяты колонки «Метод обработки» и «Границы технологического допуска» для нормируемого показателя качества и взвешенной матрицы смежности транспортной сети, отображающей (рис. 1) план обработки.

Матрица смежности для графа обработки, определяемого одним показателем качества, формируется на основе вероятностной таблицы точности по контролируемому параметру. Для значимых величин изменения показателя точности в матрице смежности графа обработки отмечается наличие логической связи между соответствующими вершинами графа (значение равно 1). Элемент матрицы смежности, соответствующий несущественному или недостоверному изменению показателя, равен нулю (табл. 1..2).

Таблица 1 - Изменение показателя качества поверхности Ra и матрица смежности технологических методов

Предыдущий этап обработки		Изменение (отношение)					Матрица смежности				
		Следующий этап обработки									
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	сверление		1,00	1,15	1,29	2,22		0	0	1	1
2	зенкерование черновое	0,10		1,15	1,29	2,22			0	1	1
3	зенкерование получистовое	0,91	0,81		1,12	1,93				0	1
4	зенкерование чистовое	1,00	1,00	0,68		1,72					1
5	развертывание получистовое	1,00	1,00	1,00	1,00						

При контроле нескольких показателей точности / качества вероятностные таблицы нормируемых показателей являются основой для построения совокупной матрицы смежности графа обработки.

Таблица 2 - Изменение показателя точности IT и матрица смежности технологических методов

Предыдущий технологический переход		Изменение (разность)					Матрица смежности				
		Следующий технологический переход									
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	сверление		0,5	1,25	2,75	4		0	1	1	1
2	зенкерование черновое	0,59		0,75	2,25	3,5			0	1	1
3	зенкерование получистовое	1,00	0,96		1,5	2,75				1	1
4	зенкерование чистовое	1,00	1,00	1,00		1,25					1
5	развертывание получистовое	1,00	1,00	1,00	1,00						

Совокупная (результатирующая) матрица смежности формируется как результат (табл. 3) логического умножения слоев «Достоверность изменения» из вероятностных таблиц каждого нормируемого технологического показателя.

Таблица 3 - Результирующая матрица смежности графа обработки

Предыдущий переход	технологический	Технологический допуск				Матрица смежности				
		<i>Ra</i> , мкм		<i>IT</i>		Следующий переход				
		<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	1	2	3	4	5
1	сверление	10	20	12	13		0	0	1	1
2	зенкерование черновое	10	20	12	13			0	1	1
3	зенкерование получистовое	4	16	11	12				0	1
4	зенкерование чистовое	4	10	9	11					1
5	развертывание получистовое	1,25	6,3	9	10					

Результирующая матрица смежности (табл. 3) представленная в логической форме (значения элементов равны нулю либо единице) описывает ориентированный граф с невзвешенными дугами и является основой для реализации алгоритма [10] генерации оптимальных планов обработки.

Для осуществления автоматизированного поиска планов обработки, образующих множество допустимых решений, оргграф должен быть преобразован в транспортную сеть, т. е. взвешенный оргграф с выделенными особыми вершинами – «исток» и «сток». Для этого результирующая матрица смежности преобразуется в «весовую» форму, для чего каждый логический элемент домножается на весовую характеристику соответствующей дуги графа, а группа вершин (рис. 2), соответствующих исходному состоянию «заготовка», соединяется фиктивными связями нулевого веса с «исток», в качестве которого рассматривается «обобщенная заготовка». В качестве весовой характеристики дуги мы используем значение соответственно экономической, технологической либо вероятностной [7, 10] целевой функции.

Библиографический список

1. Кован, В. М. Основы технологии машиностроения / В. М. Кован, В. С. Корсаков, А. Г. Косилова. – М. : Машиностроение, 1965. – 549 с.
2. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 511 с.
3. Соколовский, А. П. Научные основы технологии машиностроения / А. П. Соколовский. – М. ; Л. : Машгиз, 1955. – 516 с.
4. Митрофанов, С. П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. – Л. : Машиностроение, 1983. – 407+376 с.
5. Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2001. – 368 с.
6. Бочкарев, П. Ю. Основные принципы разработки операций в системе планирования технологических процессов механической обработки / П. Ю. Бочкарев, В. А. Назарьева // СТИН. – 2006, № 10. – С. 2-6.
7. Чигиринский, Ю. Л. Формализованное проектирование планов механической обработки / Чигиринский Ю. Л., Полянчиков Ю. Н. // Изв. ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 20 (123). – С. 76-79.

8. Чигиринский, Ю. Л. Статистическая оценка надежности справочных данных в технологическом проектировании / Ю. Л. Чигиринский // СТИН. – 2010, № 5 – С. 28-30.

9. Чигиринский, Ю. Л. Подход к формализации индивидуального маршрутного проектирования / Ю. Л. Чигиринский, С. А. Соловьева, Р. Е. Бехтер // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010 – Т. 12, № 1. – С. 581-584.

10. Чигиринский, Ю. Л. Информационный комплекс проектирования планов механической обработки / Ю. Л. Чигиринский, И. В. Фирсов, Н. В. Чигиринская // СТИН. – 2013, № 6. – С 18-21.

PROBABILISTIC TABLE AS THE BASIS OF FORMALIZED DESIGNING TECHNOLOGICAL ROUTES

Julius L. Tchigirinsky

Abstract: Proven the possibility of solving the problem of construction of elementary technological routes treatment surface given quality in environments of individual technological designing. Are used the probabilistic table machining accuracy as information to provide the automatic design of technological routes.

Keywords: route of treatment, elementary technological route, the quality of the machining surface, probabilistic table of accuracy, adjacency matrix, oriented graph, discrete-event (DES) model.

ОЦЕНКА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

А.В. Шашок¹, к.т.н., доцент, **А.В. Кутышкин**² д.т.н., профессор

¹Рубцовский индустриальный институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Рубцовск, ²Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

Рассматривается применение методов прикладной теории пластичности для определения сил резания при высокоскоростной механической обработке конструкционных сталей. Механические свойства материала обрабатываемой заготовки описываются моделью Джонсона – Кука. Расчетные значения сил резания сопоставляются с экспериментальными данными и данными, полученными с использованием пакетов LS-DYNA, ABAQUS и SiMPLe и опубликованными в открытой печати.

Ключевые слова: высокоскоростная механическая обработка сталей, ортогональное точение, силы резания, модель Джонсона – Кука, теория пластичности.

Перспективным направлением в разработке расчетно-аналитических моделей процесса резания является применение методов прикладной теории пластичности – методов верхней оценки или UBET (Upper Bound Element Technique), которые были использованы в работах Воронцова А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиева А.Ю. [1-5]. Достоинством предложенного в этих работах подхода является возможность получения в явном виде замкнутых зависимостей для оценки усилий резания, а также ключевых характеристик этого процесса таких, как распределение температур и напряжений в обрабатываемой заготовке и на границах ее контакта с режущим инструментом, толщину образующейся стружки и т. д. Сравнительный анализ расчетных значений перечисленных выше характеристик процесса резания, полученных с использованием разработанных расчетно-аналитических моделей, и экспериментальных данных для операций резания с традиционными режимами обработки дал весьма обнадеживающие результаты [4].

Расчетная схема процесса резания приведена на рисунке 1. Схема векторов напряжений σ_x , σ_y и τ_{xy} , которые действуют в процессе резания на переднюю поверхность режущего инструмента, представлена на рисунке 2. На рисунках 1, 2 φ , γ , α – главный угол в плане, передний и задний углы режущего элемента (пластины) инструмента соответственно.

Выражения для σ_x , σ_y и τ_{xy} имеют следующий вид [1]:

Коэффициент u характеризует расположение границы контакта области пластической деформации обрабатываемой заготовки на участке ее контакта с передней поверхностью режущего элемента инструмента [2]:

$$u = \begin{cases} 1, & \text{если } \gamma \geq 0, \\ 1 - \sin \gamma, & \text{если } \gamma < 0. \end{cases}$$

Составляющая силы резания P_y определяется следующим выражением:

$$P_y = P_{1,y} + P_{2,y} + P_{3,y} + P_{4,y} + P_{5,y}. \quad (1)$$

Здесь $P_{1,y}$ – сила необходимая для преодоления нормального напряжения σ_y , действующего на передней поверхности режущего инструмента (рис. 2):

$$P_{1,y} = \int_0^{x_C} |\sigma_y| dx, \quad (2)$$

где σ_y определяется зависимостью (2); x_C - координата точки C (рис. 1): $x_C = uh_1$; σ_s - сопротивление деформированию материала заготовки в зоне резания (1).

$P_{2,y}$ – сила, необходимая для сдвига пластической области $AOBC$ по нижней границе AO относительно расположенной ниже этой границы жесткой зоны [2]:

$$P_{2,y} = 1,155\sigma_s \frac{h_2}{4 \cos \alpha}. \quad (3)$$

$P_{3,y}$ – сила, необходимая для преодоления трения обрабатываемого материала по передней поверхности режущего инструмента на участке OD :

$$P_{3,y} = \int_0^{x_D} \tau_{xy} \Big|_{y=0} \sin \alpha dx, x_D = \frac{h_1}{\cos \gamma} + h_2(1 - \operatorname{tg} \gamma). \quad (4)$$

$P_{4,y}$ – сила, необходимая для преодоления трения обрабатываемого материала по задней поверхности режущего инструмента на участке l_3 [3]:

$$P_{4,y} = 1,155\mu_2\sigma_s l_3. \quad (5)$$

$P_{5,y}$ – сила, необходимая для сдвига очага деформации относительно остающегося выступа поверхности заготовки при несвободном резании [4]:

$$P_{5,y} = 1,155\sigma_s \frac{k_c h_1^2}{4 \cos \gamma}, \quad (6)$$

где величина k_c характеризует утолщение стружки без учета скоростного и деформационного упрочнения и рассчитывается по формуле [2]:

$$k_c = \frac{h_2}{h_1} = u \cos^2 \gamma \left\{ 2\mu_1 (1 - \tan \gamma) + \sqrt{\left[2\mu_1 (1 - \tan \gamma) \right]^2 + \left[\frac{4\mu}{u \cos \gamma} + 1 - 2\mu \right] \frac{1}{\cos^2 \gamma}} \right\}.$$

Подставив выражения (2-6) в (1) и выполнив преобразования, получаем зависимость для величины P_y :

$$P_y = 1,155 \sigma_s u S_{06} t_r \left\{ \left[1 + \mu_1 (1 - tg \gamma) + \frac{(0,5 + \mu)u}{2k_c} \right] \sin \gamma + \frac{k_c}{4u} tg \alpha + \left(\frac{1}{\cos \gamma} + k_c (1 - tg \gamma) \right) \mu \cos \gamma + \mu_2 \frac{l_3 tg \alpha}{u S_{06} \sin \varphi} + \frac{k_c S_{06} \sin^2 \varphi}{4u t_r} \right\}. \quad (7)$$

Здесь S_{06} - подача на оборот детали, мм/об; t_r - глубина резания, мм.

В зависимости для составляющей силы резания P_z [4] предлагается учесть действие силы трения на участке CD (рис. 1). Это приводит к следующему выражению:

$$P_z = 1,155 \sigma_s u S_{06} t_r \left\{ \left[1 + \mu_1 (1 - tg \gamma) + \frac{(0,5 + \mu)u}{2k_c} \right] \cos \gamma + \frac{k_c}{4u \cos \gamma} + \left(\frac{1}{\cos \gamma} + k_c (1 - tg \gamma) \right) \mu \sin \gamma + \mu_2 \frac{l_3}{u S_{06} \sin \varphi} + \frac{k_c S_{06} \sin^2 \varphi tg \gamma}{4u t_r} \right\}. \quad (8)$$

Для апробации использования зависимостей (7,8) были использованы данные работ [5, 6] по обработке стали 45 (AISI 1045) режущим инструментом из BK8 и BK10 соответственно.

В таблице 1 приведены следующие данные: экспериментально полученные значения составляющей силы резания P_z , результаты расчетов этой величины по зависимости (7) и с использованием пакета прикладных программ LS-DYNA для трех моделей описания σ_s - Оксли (Oxley P.L.B.), Джонсона – Кука (Johnson G.R. - Cook W.H.) и Зерилли - Армстронга (Zerilli F.J. - Armstrong R.W.) [5]. Степень соответствия экспериментальных и расчетных данных оценивалась с помощью относительной ошибки e : $e = \frac{y_{экс} - y_{расч}}{y_{экс}} \cdot 100\%$.

В таблице 2 приведены следующие данные: экспериментально полученные значения компонент силы резания P_z и P_y , результаты расчетов этих величин по зависимости (7, 8) и с использованием пакетов прикладных программ ABAQUS и SiMPLe [6]. Для описания σ_s использовалась модель Джонсона – Кука.

Анализ значений величины e показывает, что оценка составляющих силы резания P_z и P_y по зависимостям (1,2) дает лучшее приближение к соответствующим экспериментальным данным по сравнению с результатами

расчетов с использованием ряда популярных пакетов прикладных программ реализующих метод МКЭ.

Таблица 1

Экспериментальные значения P_z , Н.	Расчетные данные							
	Расчетные данные, полученные по зависимости (8), Н.		Расчетные данные, полученные с LS-DYNA, Н.					
	Джонсона – Кука	e	Оксли	e	Джонсона – Кука	e	Зерилли – Армстронга	e
745	806	-8	855	-14,5	918	23	1224	-64

Таблица 2

Компоненты силы резания	Экспериментальные значения, Н.	Расчетные данные, полученные по зависимостям (7) и (8)		Расчетные значения с использованием МКЭ, Н.			
		Н.	e	ABAQUS	e	SiMPLe	e
P_z	1450	1565	-8	1050	27,6	850	41,4
P_y	755	788	-4,3	200	73	200	73

Библиографический список

1. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Определение кинематического, напряженного и деформированного состояния заготовки // Вестник машиностроения. - 2008. - №5. - с. 61-69.
2. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Определение основных параметров процесса резания // Вестник машиностроения. - 2008. - № 6. - с. 64-70.

3. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. 7. Математическое описание образования стружки разных видов, пульсации силы резания и параметров контакта обработанной поверхности заготовки с задней поверхностью резца// Вестник машиностроения. - 2008. - № 7. - с. 56-71.

4. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. 9. Практические расчеты параметров резания при точении// Вестник машиностроения, 2008, № 9, с. 67 - 76.

5. Cenk Kilicalan. Modelling and simulation of metal cutting by finite element method// Thesis master of science, Izmir Institute of Technology, 2009. http://www.academia.edu/1245845/Modelling_and_simulation_of_metal_cutting_by_finite_element_method.

6. Kalhori V. Modelling and simulation of mechanical cutting, Doctoral thesis, Lulea University of Technology, 2001. <http://pure.ltu.se/portal/files/155221/LTU-DT-0128-SE.pdf>, с. 61 – 81.

THEORETICAL EVALUATION OF CUTTING FORCES IN HIGH-SPEED MACHINING STRUCTURAL STEELS

A.V. Shashok, A.V. Kutyshkin

The article considers the application of the theory of plasticity applied for determining the cutting forces in high-speed machining of structural steels. For describe mechanical properties of the workpiece material are using Johnson – Cook model. Calculated values of the cutting forces are compared with experimental data and those obtained by using packets LS-DYNA, ABAQUS and SiMPLe and published in the press.

Keywords: high-speed machining of steels, turning, cutting forces, Johnson - Cook model, theory of plasticity.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПОД ПОСЛЕДУЮЩУЮ МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

И.В. Шмидт, к.т.н., доцент, **А.А. Дьяконов**, д.т.н., профессор
Южно-Уральский государственный университет (Национальный
исследовательский университет), г. Челябинск

Приведена систематика покрытий по способу их создания, типу и применяемому материалу. Показано, что большинство покрытий подвергаются последующей механической обработке, а его выбор зависит от эксплуатационных требований к поверхности детали, толщины самого покрытия, метода нанесения и материалов подложки и покрытия.

Ключевые слова: напыление, наплавка, металлизация, покрытия.

Служебное назначение деталей в машиностроении является основой для формирования требования по точности и качеству ее поверхностей. К каждой поверхности детали могут предъявляться свои требования, зачастую разные. Например, для поверхностей деталей, работающих в условиях высоких контактных нагрузок, требуется создание высокой твердости поверхности, при этом сердцевина должна оставаться достаточной вязкой. В парах трения-скольжения поверхности сопряжения должны иметь низкий коэффициент трения и т.д.

Одним из наиболее эффективных технологических путей для улучшения эксплуатационных свойств рабочих поверхностей деталей машин является нанесение на них различных металлических и неметаллических покрытий.

При выборе типа покрытия одним из основных показателей является его функциональное назначение, т.е. условия при котором оно работать. Существующие на сегодняшний день покрытия по функциональному назначению можно разделить на 7 групп (табл. 1).

Покрытие представляет собой поверхностный слой детали целенаправленно создаваемый на поверхности основного материала детали. Покрытие характеризуется конечной толщиной, химическим составом и структурно-фазовым состоянием материала, которые качественно отличаются от аналогичных характеристик материала самой детали.

Таблица 1 - Классификация покрытий по функциональному назначению

№ группы	Тип покрытия	Примеры применения или разновидности группы
1	Защитное	Антикоррозионное, жаростойкое и др.
2	Износостойкое	Керамические, молибденовые и др.
3	Декоративное	Лакокрасочные,
4	Антифрикционные	Пары трения-скольжения
5	Фрикционные	Для защиты от скольжения и проскальзывания трапов
6	Функциональные	Диэлектрические, электропроводные, нанопокртия и др.
7	Покрытия при восстановлении	Для восстановления геометрии изношенных поверхностей деталей

Большой выбор материалов, используемых для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности для любых деталей современного машиностроения. Обычные конструкционные материалы не всегда способны удовлетворить требованиям, предъявляемым к деталям машин и механизмов, работающих в экстремальных условиях эксплуатации. Конструкционные материалы повышенного качества, если и отвечают таким требованиям, то могут оказаться слишком дорогими для их использования в условиях современного производстве.

Систематика применяемых для создания покрытий материалов приведена в табл. 2 [1–13].

Таблица 2 - Классификация материалов, используемых для покрытий

№ группы	Группа материала	Подгруппа	Примеры
1а	Металлы и сплавы	Интерметаллиды	Ni-Al, Ti-Al и др.
1б		Монометаллы	Zn, Sn, Cr, Ni, W, Mo, Al, Pb и др.
1в		Стали и сплавы	Cr-Ni, Pb-Zn, Zn-Al и др. сплавы; 08X22H6T, 08X21H6M2T, 08X18Г8H2T и др. нержавеющие стали
2а	Композитные материалы	Композитные материалы на полимерной матрице	Порошковые полимерные краски, полимерно-композитные материалы с различными наполнителями
2б		Композитные материалы на металлической матрице	Композитные дисперсно-упрочненные порошковые материалы
2в		Керамические композитные материалы	Оксиды алюминия, хрома, титана, циркония и др. металлов
2г		Металлокерамические композитные материалы	Композитные материалы на основе карбидов вольфрама и хрома, расположенных в металлической матрице
3а	Наноматериалы	Наноструктурированные материалы	Наноструктурированные материалы TiAlN+Si, TiMoN+Si, TiCrN, суспензии, золь-гели и др.
3б		Наномодифицированные материалы	Композитные материалы модифицированные углеродными нанотрубками, наночастицами оксида циркония и др.

Немаловажную роль играет способ нанесения покрытия. Зачастую при создании покрытий сопряжено с нагреванием материала основной детали и материала покрытия до высоких температур, например, при получении

покрытий из твердых тугоплавких соединений. Или же формирование покрытий происходит без нагрева, как например, при физическом методе, когда пастообразный полимерно-композитный материал наносят на подложку, после чего происходит его полимеризация в естественных условиях.

Кроме того, применение того или иного метода требует наличия специального технологического оборудования, зачастую весьма сложного и дорогостоящего, что существенно сказывается на выборе способа создания покрытий.

Не менее важным показателем является толщина создаваемого покрытия. Так методы металлизации позволяют формировать покрытия от 0,01 мкм до 0,7 мм, при наплавке толщина покрытия может достигать 50 мм. В табл. 3 приведена систематика покрытий по методу их получения [1–3, 7–13].

Таблица 3 - Классификация методов нанесения покрытий

№ группы	Группа метода нанесения покрытия	Подгруппа метода нанесения покрытия	Толщина покрытия, мм
1а	Металлизация	электролитическая	0,15–0,7
1б		электрофизическая	0,01–0,5
1в		химическая	0,0005–0,02
1г		плакирование	0,1–8
1д		осаждение	0,3–0,6
1е		вакуумная	0,00001–0,0001
1ж		взрывом	0,006–0,02
2а	Напыление	плазменное	0,3–1
2б		лазерное	0,1–1
2в		газопламенное	0,5–3
2г		электродуговое	0,6–1,5
2е		сверхзвуковое газовоздушное	0,1–1
2ж		детонационное	0,04–0,4
3а	Наплавка	лазерная	1,2–5
3б		плазменная	1,5–5
3в		электроконтактная	1–3
3г		электродуговая	0,5–2
3д		вибродуговая	0,3–3
3е		индукционная	1,5–4
4а	Прочие методы нанесения покрытий из композитных и наноматериалов	программируемая роботизированная выкладка	0,5–5
4б		плакирование	0,1–2
4в		силовая намотка	0,5–5
4д		физический	1–4

Наиболее быстро развивающимися технологиями создания функциональных покрытий в машиностроении являются газотермическое напыление, плазменная и лазерная наплавка. Каждая из этих технологий имеет свои преимущества и недостатки, свои предпочитаемые области применения.

Общим свойством всех видов газотермического напыления (см. табл. 3) является создание на подложке слоя из материала, не перемешанного с основным материалом детали, а связанного с ним лишь адгезионной связью. При этом современные технологии напыления позволяют управлять пористостью, уровнем шероховатости, внутренними напряжениями покрытий, создавать слоистые покрытия и покрытия из смесей материалов.

Наплавка производится при более высокой температуре (кроме лазерной наплавки) и в отличие от газотермического напыления сопровождается перемешиванием наплавляемого металла с материалом самой детали. Лазерная наплавка позволяет создавать на поверхности детали плакирующий слой из порошкового материала с проплавлением его посредством лазерного луча.

Важным аспектом является возможность применения покрытий при восстановлении поверхностей деталей [10, 12, 13]. В настоящее время вопросы реновации деталей, узлов и агрегатов в машиностроении остаются весьма актуальными, поскольку технологии формирования покрытий при восстановлении позволяют обрабатывать детали за короткое время, с большой экономией средств и получать на выходе продукцию высокого качества, что увеличивает долговечность детали.

Восстановление деталей наплавкой и напылением заменяет методы металлизации и при этом имеет ряд неоспоримых преимуществ. Газотермическое напыление и лазерная наплавка позволяет вернуть деталям их первоначальные характеристики, а порой и значительно увеличить их работоспособность.

Необходимо отметить, что большинство покрытий в дальнейшем подвергаются механической обработке, что актуально не только при восстановлении поверхностей деталей, но и для обеспечения точности и качества поверхностного слоя при обеспечении служебного назначения той или иной поверхности детали.

Таким образом, нанесение покрытий на отдельные поверхности деталей не просто улучшают их свойства, а приводят к образованию слоя из нового материала с присущим ему комплектом свойств, который необходимо учитывать при разработке конструкций машин и механизмов. Наличие различных методов и материалов для формирования покрытий, возможность последующей механической обработки позволяют обеспечить выполнение требований, предъявляемых к каждой отдельной поверхности детали. Еще больше расширяет возможности покрытий их применении в технологиях восстановления.

Проведенная классификация существующих покрытий по виду, методу их создания, используемым материалам показывает, что выбор покрытия зависит от требований к поверхности детали, метода нанесения и толщины покрытия, а также от материалов подложки и самого покрытия.

Библиографический список

1. Справочник по конструкционным материалам: Справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов [и др.]; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 640 с.
2. Киреев, Р.М. Синтез покрытий из нитридов и карбидов интерметаллида систем Ti–Al конденсацией плазменных потоков, генерируемых вакуумной дугой / Р.М. Киреев // Вестник УГАТУ. Машиностроение, материаловедение и термическая обработка металлов. – 2008. – Т. 10. – №1 (26). – С. 96–99.
3. Долговечный, А.В. Технологии наплавки легированной стали на основу из углеродистой стали / А.В. Долговечный, Л.А. Демидова, Е.А. Морозов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – №1(2). – С. 550–553.
4. Федотов, А.А. Получение наноструктурных электрокаталитических материалов на углеродных носителях методом ионно-плазменного распыления платиновых металлов / А.А. Федотов, С.А. Григорьев, В.Н. Фатеев // Наукоемкие технологии. – 2013. – Т. 14. – № 10. – С. 63–70.
5. Форенталь, Г.А. Оценка упругих и прочностных свойств эпоксидного композита, наполненного наночастицами оксида кремния / Г.А. Форенталь, С.Б. Сапожников // Композиты и наноструктуры. – 2011. – №2. – С. 21–27.
6. Абдрахимов, Р.Р. Исследование реологии суспензий для эффективного диспергирования многостенных углеродных нанотрубок в эпоксидной смоле / Р.Р. Абдрахимов, С.Б. Сапожников, В.В. Синицын // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. – 2012. – № 34. – С. 68–74.
7. Musil, J. Hard and superhard nanocomposite coatings / J. Musil // Surf. and Coat. Tech. – 2000. – Vol. 125. – P. 322–330.
8. Weng, F. Research status of laser cladding on titanium and its alloys: A review / F. Weng, C. Chen, H. Yu // Materials & Design. – 2014. – Vol. 58. – P. 412–425.
9. Chen, J. Microstructure and tribological properties of laser cladding Fe-based coating on pure Ti substrate / J. Chen, C. Guo, J. Zhou // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2012. – Vol. 22. – Is. 9. – P. 2171–2178.
10. Кошин, А.А. Систематика ремонтных полимерно-композитных материалов / А.А. Кошин, И.В. Шмидт // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010. – № 5. – С. 39–44.
11. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

12. Абакумов, Ю.Ф. Реновация в машиностроении / Ю.Ф. Абакумов, А.В. Козлов, С.С. Зуйков, Р.Ф. Юсипов // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 113. – С. 249–257.

13. Коробов, Ю.С. Рациональный подход к восстановлению деталей оборудования газотермическим напылением / Ю.С. Коробов, В.И. Шумяков, А.С. Прядко // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – № 3. – С. 17–21.

CLASSIFICATION OF TECHNOLOGIES OF APPLICATION OF COATING FOR THE SUBSEQUENT MACHINING

I.V. Shmidt, A.A. Dyakonov

Abstract. Systematization of coatings on a way of their creation, type and an applied material is given. It is shown that the majority of coatings are exposed to the subsequent machining, and its choice depends on operational requirements to a surface of a detail, thickness of the coating and the materials of coating and substrate.

Keywords: hardening, cladding, metallization, coating.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЧИСТОВОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ УМЕНЬШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

А.С. Ямников¹, д.т.н., профессор, **А.О. Чуприков²**, к.т.н., начальник отдела,
А.И. Харьков¹, магистрант

¹Тульский государственный университет, ²ОАО «Тульский оружейный завод»,
г. Тула

Рассмотрены вопросы, обеспечения точности чистовой токарной обработки на тонкостенных высокопрочных заготовках на основе учета упругих деформаций.

Ключевые слова: высокопрочная заготовка, разжимная цанга, производительность, станки с ЧПУ, упругие деформации.

В современном машиностроении, начавшийся подъем промышленного производства, требует возрастающего выпуска прецизионных машин и механизмов. Производство таких изделий неразрывно связано с ростом объема изготовления деталей высокой точности, которые широко используются в станкостроительной, ракетостроительной и др. отраслях промышленности. При этом основные технологические затруднения возникают при обработке деталей нежесткой конструкции, в том числе и тонкостенных. Особенно это проявляется при обработке узлов в сборе, в которых к тонкостенному корпусу приварены дополнительные элементы, служащие для базирования в изделии.

В большинстве случаев, сварные корпуса подвергаются термообработке и обладают повышенной поверхностной твердостью, что затрудняет их обрабатываемость. При обработке нежестких сварных корпусов применение финишных операций с использованием абразивных инструментов может вызвать температурную деформацию и увеличить погрешность обработки. Лезвийная обработка твердым сплавом позволяет избежать указанных явлений и дает возможность снизить температуру в зоне резания.

Повышение точности обработки, возможно и за счет проектирования новой оснастки, применение которой минимизирует долю брака. В основном, на станках с ЧПУ применяются простая по конструкции технологическая оснастка, заимствованная с универсальных станков [1 - 3].

При этом производительность станков с ЧПУ чрезвычайно низка, а заложенные в них возможности используются в неполной мере. Это объясняется низкой стойкостью резбовых резцов, из-за которой приходится делать остановки в цикле работы станка для промежуточных промеров и подналадки. С целью повышения размерной стойкости инструментальной наладки нами предложены способ нарезания резьбы и резьбовой резец [4, 5].

В связи с этим нами был проведен анализ по установлению наиболее оптимальной конструкции технологической оснастки, позволяющего использовать его в условиях малоотходной и безлюдной технологии.

При нарезании внутренней резьбы и растачивании заготовку сварного корпуса обычно закрепляют в центрирующих патронах. Сила зажима при этом

должна превышать окружную силу резания более, чем в 10 раз. Это обстоятельство приводит к появлению значительных упругих деформаций, которые после снятия усилия зажима превращаются в систематические погрешности формы поперечного сечения.

Для снижения величины упругих деформаций в зоне сжатия формируют встречное усилие, снабдив полость сварного корпуса разжимной цангой. При этом цангу активируют перед закреплением сварного корпуса в зажимном патроне.

Были проанализированы конструкции разжимных оправок и цанг. В них были отмечены основные конструкционные особенности. Такая система отличается простотой базирования заготовок. На разжимные оправки или разжимные цанги надевают сварной корпус и фиксируют для дальнейшей обработки. Для реализации предложенного способа нарезания резьбы [4], нужна разжимная цанга, которая будет помещена в полость сварного корпуса и поддерживать её стенки от сжатия со стороны кулачков патрона.

В результате разработано техническое решение, сущность которого поясняется на рис. 1, где изображено расположение разжимной цанги в полости изделия и направление усилия в зоне сжатия. Этот вариант способа нарезания резьбы в сварном корпусе, позволяет минимизировать величину погрешности форм поперечного сечения после обработки и раскрепления. Разжимная цанга выполнена в виде разрезной чаши, лепестки которой отогнуты вовне, образуя с обратной стороны лепестка конический участок поверхности.

В полость чаши помещен конус, поверхность которого сопряжена с коническими участками лепестков чаши. В центре конуса выполнено сквозное отверстие, в котором размещен винт, ввинчивающийся в выполненное в ножке чаши, глухое резьбовое отверстие, а основание ножки снабжено кольцевым скосом, сопрягающимся с дном изделия [6 - 8].

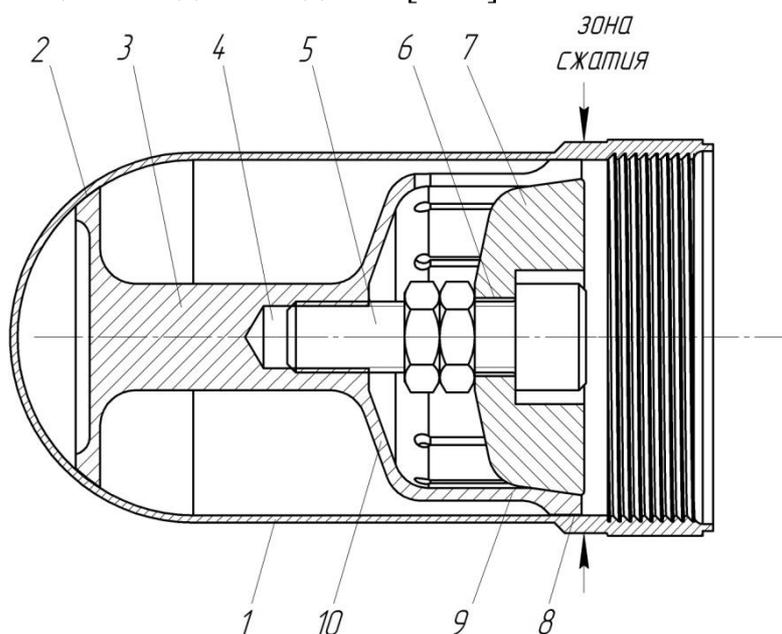


Рисунок 1 - Схема установки разжимной цанги в полости сварного корпуса

Разжимная цанга состоит из разрезной чаши 10, с лепестками 9 (и т.д.), снабженными контактными площадками 8. В полость чаши помещен конус 7, в центре конуса выполнено сквозное отверстие 6, в котором размещен винт 5, ввинчивающийся в резьбовое отверстие 4, выполненное в ножке 3, а основание чаши снабжено коническим скосом 2, сопряженным с обрабатываемым сварным корпусом 1 (см. рис. 1).

Разжимную цангу устанавливают до упора в корпус 1. Разрезная чаша 10 находится в свободном состоянии и центрируется в корпусе коническим скосом 2, при этом лепестки 9 (и т.д.) своими контактными площадками 8 оказываются в зоне наибольшей деформации, т.е. в месте технологической базы, по которой производят закрепление в патроне токарного станка. Затем, с помощью съёмного ключа, вращением по часовой стрелке закручивают в резьбовое отверстие 4 в ножке 3 чаши 10 винт 5, который двигает конус 7. В результате чего конус 7, скользя по коническим поверхностям лепестков 9, разжимает их, и они своими контактными площадками 8 создают равномерное усилие в зоне технологической базы. После этого и корпус вместе с разжимной цангой закрепляется в патроне токарного станка для выполнения механических операций, при этом воздействие сжатия на корпус кулачками патрона уравнивается воздействием встречного усилия разжимной цанги, тем самым минимизируя деформации поперечного сечения изделия в зоне нарезания резьбы. После обработки корпус изымается из патрона токарного станка, за тем с помощью съёмного ключа, вращением против часовой стрелки выкручивают винт 5, выдвигая конус 7 в обратном направлении, лепестки 9 и т.д. сжимаются и цанга свободно извлекается из полости корпуса и переставляется в следующий. После чего процесс повторяется.

Для реализации предложенного технического решения в технологии обработки сварного корпуса была изготовлена разжимная цанга, внешний вид которой представлен на рис. 2.



Рисунок 2 - Внешний вид разжимной цанги

Предложенное техническое решение позволяет минимизировать величину погрешности форм поперечного сечения при нарезании внутренней резьбы в тонкостенном полем обрабатываемом сварном корпусе, позволяющий снизить процент брака в 4 раза.

Библиографический список

1. Данилевский В.В. Технология машиностроения: Учебник для техникумов. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1984. – 416 с.
2. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: учебник для вузов. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
3. Ямников А.С. Основы технологии машиностроения: учебник / А.С. Ямников [и др.]; под ред. Ямникова А.С. / Тула: Изд-во ТулГУ. 2006. - 269 с.
4. Пат. 2468897 РФ, МПК В23G1/04, МПК В23G5/02. Способ нарезания резьбы и резьбовой резец. / Чуприков А.О., Иванов В.В.; заявитель и патентообладатель ОАО «Тульский оружейный завод». №2011122857; заявл. 06.06.2011; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 1. 5 с.
5. Патент РФ на полезную модель RU 106160U1, МПК В23В 29/00. / Резец с поворотной державкой / Ямников А.С., Кузнецов Е.Ю., Маликов А.А., Сидоркин А.В. Опубликовано 10.07.2011. Бюл. № 19.Ч.2. - 3 с.
6. Ямников А.С., Иванов В.В., Чуприков А.О. «Снижение систематических погрешностей при токарной обработке тонкостенных сварных корпусов» / Справочник. Инженерный журнал. - № 9.- 2013. - С. 31-36.
7. Чуприков А.О., Иванов В.В. Повышение точности токарной обработки тонкостенных деталей // Вестник машиностроения. - №6. - 2012. - С. 60 – 61.
8. Чуприков А.О. Обеспечение точности при токарной обработке нежестких деталей // Известия ТулГУ. Технические науки. - Вып.10. - 2012. - С. 79–83.

ENSURE THE ACCURACY OF FINISH TURNING BY REDUCING DEFORMATION OF ERRORS

Yamnikov A.S., Chuprikov A.O., Kharkov A.I.

The questions, ensure the accuracy of finish turning on the high-walled workpieces based on consideration of elastic deformations.

Keywords: high-strength preparations, expanding collet, productivity, machines about ChPU, elastic deformations.

КОМБИНИРОВАННОЕ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЕ ШЛИФОВАНИЕ ПРИ ЗАТАЧИВАНИИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А.С. Янюшкин, д.т.н., профессор, **Д.В. Лобанов**, к.т.н., доцент
Братский государственный университет, г. Братск

В статье представлены результаты исследований возможности использования комбинированных методов электроалмазной обработки для эффективного и качественного формообразования (затачивания) режущего инструмента для обработки композиционных неметаллических материалов, оснащенного инструментальными материалами с повышенными эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: композиционные неметаллические материалы, режущий инструмент, инструментальные материалы, комбинированная электроалмазная обработка.

В настоящее время одним из основных способов получения материалов с заданными свойствами является создание композиций на основе известных широко используемых в практике веществ и различных ингредиентов природного и синтетического происхождения. Необходимым требованием комбинирования различных компонентов является создание нового материала более сложной структуры и с новым комплексом свойств при сохранении индивидуальности каждого компонента.

Создание композиционных материалов преследует две цели - во-первых, удешевление материалов, получаемых на основе тех или иных веществ и, во-вторых, придание этим материалам желаемого комплекса свойств, в частности, повышенной прочности, жесткости, теплостойкости и т. п.

На сегодняшний день следует отметить постоянное совершенствование таких материалов. Они постепенно входят во все отрасли промышленности. За счет совершенствования технологии обработки изделий из композиционных материалов имеется возможность расширить область их применения, сократить использование общепринятых материалов, что отвечает приоритетным направлениям рационального природопользования [1...4].

В процессе обработки композиционных материалов лезвийным инструментом происходит одновременное резание фаз матрицы и наполнителя. Величины параметров процесса резания определяются степенью закрепления наполнителя в матрице, сопротивлением имплантированного материала срезанию, определяемой преимущественно прочностными характеристиками материала, уровнем срезания частицы и угловыми характеристиками используемых инструментов. Для удовлетворения необходимым требованиям

нужно использовать соответствующим образом выбранные режущие инструменты, характеризующиеся высокой стабильностью свойств инструментального материала и геометрических параметров инструмента в течение всего продолжительного срока эксплуатации [1, 3, 7].

При обработке композиционных материалов необходимо задавать малые углы заострения режущего клина, что интенсифицирует процесс износа инструмента и приводит к выкрашиванию его режущих кромок. А указанные дефекты режущих кромок наряду с фактором их затупления во многих случаях не позволяют достичь в процессе обработки функциональных поверхностей изделий из композиционных материалов нужного уровня их качества [3].

Перспективы увеличения работоспособности инструмента для обработки современных композиционных материалов видятся в расширении гаммы инструментальных материалов для изготовления режущей части инструмента. К таким материалам можно отнести такие высокопрочные материалы как вольфрамсодержащие и безвольфрамовые твердые сплавы, минералокерамические и сверхтвердые материалы. Однако их применение на сегодняшний день ограничено из-за отсутствия эффективных технологий получения качественных режущих поверхностей и кромок, отвечающих специфическим требованиям, предъявляемым к такого рода инструментам [7].

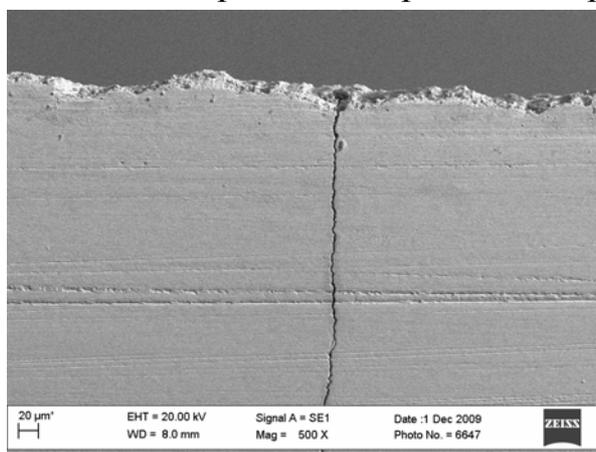
Большое значение в процессе подготовки инструмента имеет правильно проведенное формообразование его режущих элементов, как правило, изготавливаемых из инструментальных материалов, имеющих повышенную твердость. Вследствие этого возникают проблемы при выборе последовательности затачивания, режимов обработки и характеристик абразивного инструмента [6, 8].

Режим затачивания должен обеспечить требуемые остроту лезвия, шероховатость затачиваемых поверхностей и неизменность структуры инструментального материала.

Используемые в настоящее время технологии обработки изделий из твердого сплава в производственных условиях, подразумевает применение в качестве инструмента на операциях чернового шлифования круги из карбида кремния чёрного или зелёного, а на доводочных операциях – алмазные круги на органических связках. Однако, применение такой технологии для получения деталей с качественно подготовленными поверхностями является нецелесообразным, т.к. круги, рекомендуемые для обработки твердого сплава, значительно увеличивают силы резания и температуру обрабатываемой поверхности, наносят серьёзные дефекты материалу в виде напряжений, макро- и микротрещин.

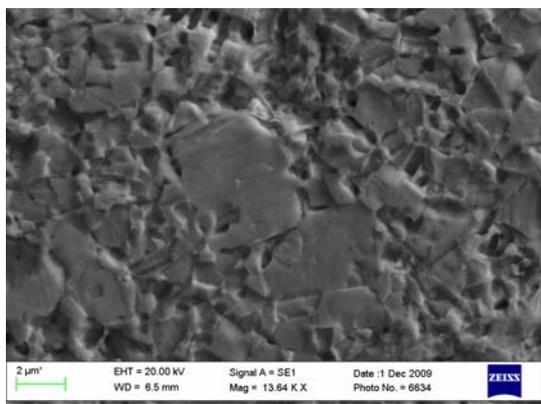
Дефекты на поверхностях твердого сплава слабо видны, однако, при более детальном изучении они четко прослеживаются и имеют размерность до 2...3 мкм (рис. 1, рис. 2, б).

Что касается трещинообразования, то большинство авторов, исследовавших процесс обработки твердых сплавов, считают, что оно имеет термическое происхождение. Высокие температуры образуются в зоне контакта круга с твердым сплавом, локализация их в верхних слоях последнего вызывает возникновение напряжений. Коэффициенты линейного расширения карбидов и цементирующей фазы различны между собой. Значительный градиент температуры по глубине твердого сплава и различное расширение карбидов и цементирующей фазы определяют объемные изменения в шлифуемом твердом сплаве и свидетельствуют также о процессах вторичной рекристаллизации карбидов (рис. 2, а). Объемные изменения вызывают возникновение напряжений, которые становятся причиной образования трещин (рис. 2, б).



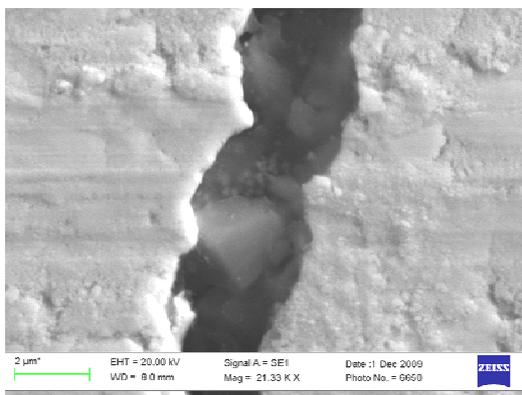
×500

Рисунок 1 - Состояние поверхности твердого сплава поле алмазной обработки



×13640

а)



×21330

б)

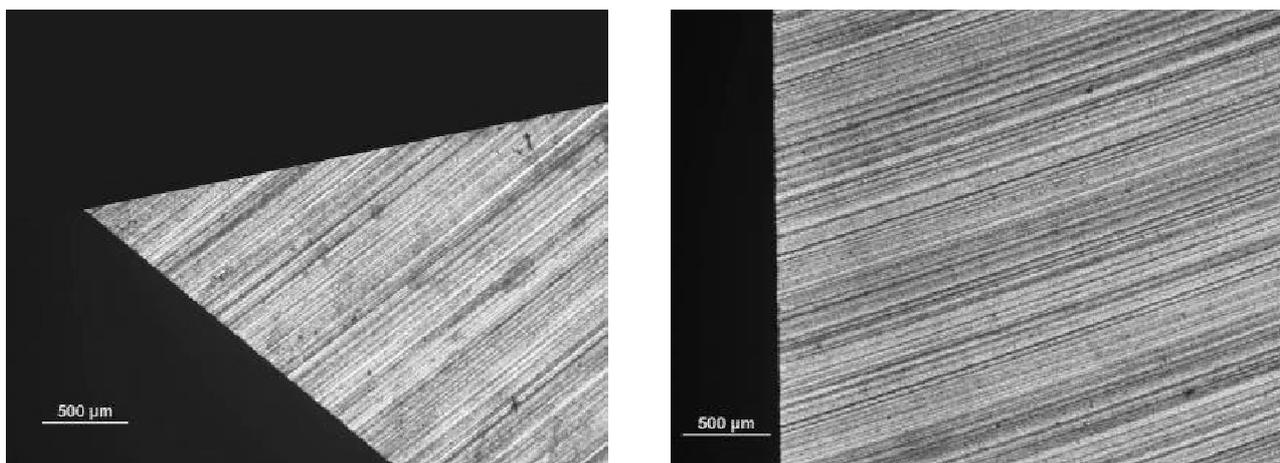
Рисунок 2 - Увеличение зерен карбидов (а) и трещина (б) в твердом сплаве после традиционного алмазного шлифования

Наличие таких дефектов на шлифованных поверхностях может в дальнейшем привести к разрушению твердого сплава, появлению сколов, а, следовательно, к выходу из строя изделия.

Для достижения рациональных качественных характеристик твердосплавных инструментов для обработки композиционных материалов наиболее перспективны методы электрофизического и электрохимического алмазного шлифования, позволяющие достаточно эффективно обработать труднообрабатываемые материалы и обеспечить необходимые параметры качества.

К таким методам относятся электрохимическое алмазное шлифование, когда обрабатываемое изделие подключается к положительному полюсу источника постоянного тока, круг – к отрицательному. Электрическая цепь замыкается через электролит, подаваемый в зазор, образуемый между алмазными зернами и обрабатываемой поверхностью (работа с током прямой полярности). Другой метод – алмазное шлифование с электрохимической правкой круга (работа с током обратной полярности). При этом круг подключается к положительному полюсу источника постоянного тока, специальный катод – к отрицательному, а обрабатываемое изделие является электронейтральным. При подаче электролита в область контакта шлифовального круга с катодом и включении источника постоянного тока образуется замкнутая электрическая цепь, способствующая электрохимическому травлению продуктов засаливания и отчасти связки круга, что обеспечивает освобождение затупившихся алмазных зерен и сохранение чистоты алмазоносного слоя, его высоких и притом постоянных во времени режущих свойств. Хотя при данном методе условия резания неизмеримо благоприятнее, чем при шлифовании другими методами, все же обработанные изделия имеют макродефекты.

Нами предлагается комбинированный метод электроалмазной обработки [3, 5]. При этом методе, кроме непосредственной механической обработки алмазным кругом на металлической связке, дополнительно осуществляется анодное растворение поверхности обрабатываемого изделия с параллельной непрерывной электрохимической правкой круга. Данный метод обеспечивает высокую производительность, низкие силы и температуры резания. В результате этого отсутствуют сколы, микро- и макро- трещины, прижоги, обеспечивается высокое качество обработанных поверхностей и режущая способность шлифовального круга.



a)

б)

Рисунок 3 - Состояние режущего клина (*a*) и передней поверхности (*б*) инструмента для обработки композиционных материалов, оснащенного твердым сплавом марки ВКЗМ после комбинированного электроалмазного затачивания

После шлифования твердосплавных изделий комбинированным методом электроалмазного шлифования с одновременной непрерывной правкой поверхности круга дефекты обработанных поверхностей после обработки таким методом имеют значительно меньшие размеры, чем у твердосплавных изделий, обработанных другими методами.

При подготовке твердосплавного инструмента для обработки композиционных материалов с использованием представленной технологии комбинированного электроалмазного шлифования возможно формирование режущих элементов, имеющих относительно небольшой угол при вершине, с высоким качеством режущего лезвия и рабочих поверхностей (рис. 3).

Инструмент, подготовленный с учетом представленных рекомендаций, обладает повышенной работоспособностью, улучшает процесс резания, снижая силы и температуру при резании, повышает производительность и качество изготовления изделий из труднообрабатываемых композиционных неметаллических материалов, что позволяет значительно расширить область применения таких материалов в различных отраслях промышленности [3].

Таким образом, установлено, что комбинированный метод электроалмазной обработки в сочетании с рациональными режимами имеет значительные преимущества в сравнении с другими прогрессивными методами, применяемыми при изготовлении (затачивании) инструмента для обработки композиционных материалов, оснащенного прогрессивными инструментальными материалами [3].

Библиографический список

1. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Подготовка режущего инструмента для обработки композиционных материалов: моногр. - Братск: Братский ун-т, 2011. - 192 с.
2. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Petrov N.P. Optimal organization of tools for machining composites//Russian Engineering Research. 2011. Т. 31, № 2. P. 156-157.
3. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Технология инструментального обеспечения производства изделий из композиционных неметаллических материалов: Монография. - Старый Оскол: ТНТ, 2012. - 295 с.
4. Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Петров Н.П. Организация инструментального хозяйства при обработке композиционных материалов // СТИН. - 2010. - № 11. - С. 2-4.
5. Янюшкин А.С. Технология электроалмазного затачивания режущих инструментов и методы ее реализации: моногр. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 336 с.
6. Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Influence of Sharpening on the Quality of Hard-Alloy Tools for the Cutting of Composites/. Russian Engineering Research, 2011. -Vol. 31, No. 3. -P. 236-239.
7. Скрипняк В.В., Лобанов Д.В., Скрипняк В.А., Янюшкин А.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния в пластине из композиционного материала (WC-Co) при алмазном затачивании // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. - 2013. - № 4 (24). - С. 99-110.
8. Лобанов Д. В., Янюшкин А. С. Влияние методов затачивания на качество твердосплавного инструмента для обработки композиционных материалов // Вестник машиностроения. - 2011. - № 3. - С. 50-53.

THE COMBINED ELECTRODIAMOND GRINDING WHILE SHARPENING THE TOOL FOR COMPOSITE NONMETALLIC MATERIALS PROCESSING

Yanyushkin A. S., Lobanov D. V.

The aim of the article is to present the research results possibility of the combined methods electrodiamond processing application for an effective and qualitative shaping (grinding) of the cutting tool intended for cutting of the composite nonmetallic materials, and equipped with tool materials possessing the higher operational properties.

Keywords: the composite nonmetallic materials, the cutting tool, the tool materials, the combined electrodiamond processing.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ T-Q ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

А.Н. Савлов¹, инженер-технолог, **В.И. Свирцев²**, к.т.н., профессор
¹ЗАО Новомет-пермь, ²Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, г.Пермь

Рассмотрена методика и дан пример определения постоянных T-Q характеристик процесса фрезерования современным режущим инструментом.

Ключевые слова: T-Q характеристика, фрезерование, стойкость инструмента.

Технико-экономическое обоснование эффективности применения современного режущего инструмента, выпускаемых различными фирмами производителями, при обработке элементарных поверхностей детали предусматривает знание T-Q характеристик процесса резания для конкретного инструмента[1]. T-Q характеристика определяет зависимость стойкости T режущего инструмента от скорости съёма материала Q в виде следующего функционального выражения

$$T = C_T / Q^n, \quad (1)$$

где C_T -коэффициент, зависящий от условий обработки; n -показатель степени, характеризующий интенсивность уменьшения стойкости инструмента от сочетания параметров режима резания.

T-Q характеристика позволяет прогнозировать стойкость режущего инструмента во всем диапазоне сочетания параметров режима резания для каждой стадии обработки (обдирочная, черновая, чистовая, тонкая), которые определяют значение скорости съёма материала Q, и может служить показателем обрабатываемости различных материалов резанием. Критериям обрабатываемости могут являться численные значения постоянных C_T и nT-Q характеристики, которые до настоящего времени не установлены для большой номенклатуры режущего инструмента различных фирм производителей рекомендованных для обработки одних и тех же элементарных поверхностей на многооперационных станках с ЧПУ. Методике определения постоянных C_T и n T-Qхарактеристики процесса фрезерования посвящено содержания данной статьи.

Скорость съёма материала Q, входящая в формулу (1), зависит от сочетания управляемых параметров режима резания при обработке элементарной поверхности. Рекомендуемые официальными отечественными изданиями[2] параметры режима резания при обработке элементарных поверхностей рассчитаны на применение режущих инструментов с

оптимальными значениями геометрических параметров режущей части. При назначении параметров режима учитывается характер обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал и состояние заготовки, тип и состояние оборудования. Параметры режима резания обычно устанавливаются в следующей последовательности:

- глубина резания t : при черновой (предварительной) обработке назначают по возможности максимальную глубину, равную снимаемому припуску или большей его части; при чистовой (окончательной) обработке – в зависимости от требований точности размеров и шероховатости обрабатываемых элементарных поверхностей;

- подача S : при черновой обработке выбирают максимально возможную подачу, исходя из жесткости и прочности элементов системы СПИЗ, мощности привода главного движения или привода подачи, прочности режущего инструмента и других ограничивающих факторов; при чистовой обработке в зависимости от требуемой степени точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей;

- скорость резания V рассчитывается по эмпирическим (стойкостным) зависимостям, установленным для обработки каждой элементарной поверхности, которые для операции фрезерования имеют вид

$$V = \frac{C_v * D^q}{T^m * t^x * S_z^y * B^u * Z^p} * K_v. \quad (2)$$

Значения коэффициента C_v и показателей степени (m, x, y, u, q, p) в этих выражениях приводятся в таблицах справочника для каждой элементарной поверхности. Коэффициент K_v характеризует особенности обработки элементарной поверхности по действительному состоянию компонентов технологической системы СПИЗ и материала объекта обработки, и рассчитывается из следующего выражения

$$K_v = K_{m_v} \times K_{п_v} \times K_{и_v}$$

где K_{m_v} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала, $K_{п_v}$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовки, $K_{и_v}$ – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента и особенности его геометрии. Расчетные выражения для определения составляющих K_v или их числовые значения при обработке элементарных поверхностей приводятся в таблицах справочной литературы. Из выражения (2) при $K_v=1$ рассчитывается базовое (стартовое) значение скорости резания.

Руководства по металлообработке фирм производителей современного режущего инструмента устанавливают аналогичную последовательность

назначения параметров режима резания. Различие состояний лишь в том, что базовое (стартовое) значение скорости резания не рассчитывается, а выбирается из таблиц руководств по металлообработке с учётом материала и формы монолитного режущего инструмента, подачи и глубины резания. Табличные значения стартовой скорости резания V_{15} соответствует стойкости монолитного инструмента 15 минут при работе без охлаждения (для операций нарезания резьбы, отрезки, обработки канавок стартовая скорость V_{15} соответствует работе с охлаждением). Затем рассчитывается рабочая скорость резания из выражения

$$V = V_{15} \times K_{v_x} \times K_{v_T} \times K_{v_{HB}},$$

где $K_{v_x}, K_{v_T}, K_{v_{HB}}$ - поправочные коэффициенты соответственно на состояние станка и поверхности заготовки, необходимую стойкость монолитного инструмента, обрабатываемый материал и его твёрдость.

Для определения постоянных C_t и n T-Q характеристик процесса фрезерования современным режущим инструментом необходимо иметь функциональную зависимость для расчёта стартовой скорости резания, аналогичной по структуре формуле (2), но с пересчитанным коэффициентом C_v^1 для рекомендуемых фирмой производителем инструмента параметрах режима резания (t, S, V_{15}) при его стойкости 15 минут. Распространяя общность положений теории резания материалов при обработке различных элементарных поверхностей как отечественным так и импортным режущим инструментом функциональная зависимость для расчета коэффициента C_v^1 , с учётом выражения (2), будут иметь вид

$$C_v = \frac{V_{15} \cdot T^m \cdot S_z^y \cdot t^x \cdot B^u \cdot Z^p}{D^q \cdot K_v},$$

а функциональная зависимость для расчёта стартовой скорости резания, при неизменных t, S , для произвольной стойкости T инструмента принят вид

$$V_T = V_{15} \times (15/T)^m. \quad (3)$$

Следующим этапом в определении постоянных C_t и n является формирование достаточного массива исходных данных на базе рекомендуемых стартовых параметров режима резания для соответствующей стадии обработки при стойкости инструмента $T = 15$ мин., включающего расчёт стартовой скорости при других значениях стойкости инструмента по формуле (3) и соответствующие ей скорости съёма материала Q . Под достаточностью массива понимается количество неизвестных в выражении (1) T-Q характеристики. Таких неизвестных в выражении (1) два, которыми являются C_t и n . Для получения функциональной зависимости (1) для более широкого диапазона

изменения стойкости инструмента ($T = 15-45$ мин.) целесообразно задать массив содержащий исходные данные для трёх значений стойкости инструмента $T = 15, 30, 45$ мин. с соответствующими им значениями скорости съёма материала Q_{15}, Q_{30}, Q_{45} мм³/мин., приведённый в таблице 1.

Таблица 1 - Массив исходных данных для определения St и n процесса фрезерования

Стойкость инструмента T , мин.	Рекомендуемые параметры режима резания						Скорость съёма материала Q , мм ³ /мин
	Глубина резания, мм	Подача, мм/об.	Число зубьев	Ширина фрезерования, мм	Диаметр фрезы, мм	Скорость резания V_T , м/мин	
15	t	S_z	Z	B	D	V_{15}	Q_{15}
30						V_{30}	Q_{30}
45						V_{45}	Q_{45}

Примечание: Параметры режима резания и соответствующая им стойкость, обозначенные в таблице жирным шрифтом, являются стартовыми согласно рекомендациям руководств по металлообработке.

Следующим этапом определения постоянных T - Q характеристики является их расчёт на базе массива исходных данных (табл.1). Расчёт выполняется в следующей последовательности:

- составляются 3 системы из двух уравнений, из решения которых определяют 3 пары параметров: $St_1, n_1; St_2, n_2; St_3, n_3$

$$\begin{cases} 15 = St_1 / Q_{15}^{n_1} \\ 30 = St_1 / Q_{30}^{n_1} \end{cases} \rightarrow St_1, n_1; \begin{cases} 30 = St_2 / Q_{30}^{n_2} \\ 45 = St_2 / Q_{45}^{n_2} \end{cases} \rightarrow St_2, n_2; \begin{cases} 15 = St_3 / Q_{15}^{n_3} \\ 45 = St_3 / Q_{45}^{n_3} \end{cases} \rightarrow St_3, n_3;$$

- рассчитывается среднее арифметическое значение параметров St и n

$$St = (St_1 + St_2 + St_3) / 3; n = (n_1 + n_2 + n_3) / 3.$$

Таким образом методика определения постоянных T - Q характеристики процесса фрезерования включает 3 этапа:

1. Выбор стартовых параметров режима резания на основании руководств по металлообработке фирм производителей инструмента, соответствующих стойкости $T=15$ мин.

2. Формирование массива исходных данных по скорости съема материала, соответствующих фиксированным значениям стойкости инструмента $T=15, 30, 45$ мин.

3. Расчёт постоянных $С_T$ и $T-Q$ характеристики процесса резания.

Рассмотрим пример определения постоянных $С_T$ и $T-Q$ характеристики при фрезеровании поверхности заготовки ($B=2$ мм) из стали 40Х (HRC 22...34) фрезой R215.04-05000F-AC03G 1620 ($D=10$ мм, $z=4$) фирмы производителя Sandvik.

1. На основании руководств по металлообработке фирмы Sandvik стартовые параметры режима резания для стойкости фрезы 15 мин. – $t=2,5$ мм, $S=0,03$ мм/об. , $V_{15} = 210$ м/мин.

2. Массив исходных данных для определения постоянных $С_T$ и $T-Q$ характеристики сформирован в таблице 2.

Таблица 2 - Массив исходных данных для определения постоянных $С_T$ и $T-Q$ характеристики при фрезеровании фрезой R215.04-05000F-AC03G 1620

Стой- кость фрезы T , мин.	Рекомендуемые параметры режима резания						Скорость съема материала Q , мм ³ /мин
	Глубина резания, мм	Подача, мм/об.	Число зубьев	Ширина фрезерова ния, мм	Диаметр фрезы, мм	Скорость резания V_T , м/мин	
15	2,5	0,03	4	2	10	210	$4,01 \cdot 10^6$
30						182	$3,49 \cdot 10^6$
45						168	$3,21 \cdot 10^6$

Расчет скорости съема материала Q , соответствующих стойкости инструмента $T=15, 30, 45$ мин, приведенных в табл. 2, выполняется при фрезеровании по формулам:

$$Q_{(15,30,45)} = \frac{B \cdot t \cdot V_{(15,30,45)} \cdot S_z \cdot z \cdot 10^6}{\pi \cdot D} \text{ мм}^3/\text{мин};$$

3. Расчёт постоянных $С_T$ и $T-Q$ характеристики

$$\begin{cases} 15 = C_{T1} / (4,01 \times 10^6)^{n_1} \\ 30 = C_{T1} / (3,49 \times 10^6)^{n_1} \end{cases} \rightarrow C_{T1} = 1,28 \times 10^4, n_1 = 5$$

$$\begin{cases} 30 = C_{T2} / (3,49 \times 10^6)^{n_2} \\ 45 = C_{T2} / (3,21 \times 10^6)^{n_2} \end{cases} \rightarrow C_{T2} = 1,4 \times 10^4, n_2 = 5$$

$$\begin{cases} 15 = C_{T_3}/(4,01 \times 10^6)^{n_3} \\ 45 = C_{T_3}/(3,21 \times 10^6)^{n_3} \end{cases} \rightarrow C_{T_3} = 2 \times 10^4, n_3 = 5$$

$$C_T = \frac{(1,28+1,4+2) \times 10^4}{3} = 1,56 \times 10^4, n = \frac{5+5+5}{3} = 5.$$

Найденные значения постоянных позволяют получить функциональную зависимость T- Q характеристики процесса фрезерования поверхности фрезой R215.04-05000F-AC03G 1620

$$T = 1,56 \times 10^4 / Q^5.$$

Полученные функциональные зависимости для T – Q характеристик процесса фрезерования при обработке различных элементарных поверхностей позволяют рассчитать оптимальную скорость съёма материала по критерию минимальной себестоимости обработки, а соответственно повысить эффективность процессов обработки при использовании современных режущих инструментов на многооперационных станках с ЧПУ.

Библиографический список

1. Свирщёв В.И., Флегентов В.К., Подборнов И.В., Савлов А.Н. Техничко-экономическое обоснование выбора режущей пластины сборного режущего инструмента при обработке элементарных поверхностей детали // СТИН. - №12. - 2013. - с. 14-17.
2. Справочник технолога - машиностроителя / под ред. Дальского А.М. Т 2. - М.: Машиностроение, 2003. - 943 с.

THE METHOD OF DETERMINING THE CONSTANT T-Q CHARACTERISTICS OF THE MILLING PROCESS BY MODERN CUTTING TOOL

Savlov A.V., Svirshev V.I.

The method is considered and an example of defining the constant T-Q characteristics of the milling process by modern cutting tool is given.

Keywords: T-Q characteristics, milling, tool life.

**Инновации в машиностроении –
основа технологического развития России**

Материалы VI международной научно-технической конференции
23 – 26 сентября 2014 года

Часть 2

Издано в авторской редакции

Подписано в печать 26.09.2014. Формат 60x84 1/16.

Печать – цифровая. Усл. п. л. 14,77.

Тираж 500 экз. Заказ 2014 -

Издательство Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,
<http://izdat.secna.ru>

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 020822 от 21.09.98 г.

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,
тел.: (8-3852) 29-09-48

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД № 28-35 от 15.07.97 г.