

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Администрация Кемеровской области
Кузбасский Государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева
Алтайский Государственный технический университет
им. И.И. Ползунова
Новосибирский Государственный технический университет
Бийский технологический институт
Ассоциация машиностроителей Кузбасса**

ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ТРУДЫ

*2-ой МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ*

**6-8 октября 2011 года
Россия, Кемерово**

УДК 330:621.0(05)

ИННОВАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ: сборник трудов 2-ой Международной научно-практической конференции / под ред. В.Ю. Блюменштейна. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 535 с.

ISBN 978-5-89070-804-5

В сборнике представлены труды 2-ой Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении», отражающие проблемы и перспективы развития инновационных технологий в машиностроении, методов диагностики, ремонта и восстановления ответственных деталей изделий на основе применения современных физических методов и средств, методов упрочнения материалов, нанесения многофункциональных покрытий и нанотехнологий в машиностроении, а также организации и менеджмента машиностроительных производств и механизмов взаимодействия промышленных предприятий и высшей школы.

Тезисы докладов приводятся в авторской редакции. За содержание представленной информации ответственность несут авторы.

Конференция проведена при финансовой поддержке ООО «МИП Техмаш».

Сборник издан при поддержке гранта «Формирование и трансформация наноструктурного состояния поверхностного слоя при комбинированной упрочняющей обработке и эксплуатации ответственных деталей машин» выполняемого в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по мероприятию 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук», гос. контракт № П342 от 28.07.2009 г. и ООО «МИП Техмаш».

Организационный комитет конференции:

Ещин Е.К. – председатель, ректор КузГТУ, д.т.н., профессор, г. Кемерово.

Кузнецов С.Н. – сопредседатель, зам. Губернатора Кемеровской области по промышленности, транспорту и предпринимательству, г. Кемерово.

Блюменштейн В.Ю. – сопредседатель, проректор по научно-инновационной работе КузГТУ, д.т.н., профессор, г. Кемерово.

Муравьев С.А. – генеральный директор ОАО «Кузбасский технопарк», к.т.н., г. Кемерово.

Альков С.Г. – председатель Ассоциации машиностроителей Кузбасса, генеральный директор ОАО «Анжеромаш», г. Анжеро-Судженск.

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

Хмелев В.Н. - профессор, д.т.н., проректор по научной работе БТИ АлтГТУ, г. Бийск.

Рахимьянов Х.М. – зав. каф. «Технология машиностроения» НГТУ, д.т.н., профессор, г. Новосибирск.

Кречетов А.А. – доцент, к.т.н., декан ММФ КузГТУ.

Батаев В.А. - профессор, д.т.н., зав. каф. «Материаловедение в машиностроении» НГТУ, г. Новосибирск.

Марков А.М. - профессор, д.т.н., декан ФИТМ, зав. каф. «Менеджмент технологий», АлтГТУ, г. Барнаул.

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

Овчаренко А.Г. - профессор, д.т.н., декан механического факультета, зав. кафедрой «Производственная безопасность и управление качеством», БТИ АлтГТУ, г. Бийск.

Коротков А.Н. - профессор, д.т.н., зав. каф. «Металлорежущие станки и инструменты» КузГТУ, г. Кемерово.

© Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2011
ISBN 978-5-89070-804-5 © Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2011
© Новосибирский государственный технический университет, 2011
© Бийский технологический институт ГОУ ВПО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2011



Уважаемые участники конференции!

Рад приветствовать Вас на 2-ой Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении»!

Машиностроение Кузбасса имеет большие потенциальные возможности по выпуску современной импортозамещающей, конкурентоспособной техники, необходимой для нужд ведущих отраслей Кузбасса.

Целесообразно расширение производства на наших заводах продукции для оснащения предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых, химического, металлургического, энергетического производства, сельского и коммунального хозяйства, строительства и др.

За последние пять лет именно в машиностроении региона произошли существенные положительные тенденции. Стремительно стало развиваться транспортное машиностроение. Целых три полноценных новых предприятия с современными производствами возникли в Кузбассе по данному направлению. Кроме производства вагонов и автобу-

сов создано два ремонтных предприятия – в Новокузнецке и Прокопьевске, которые отвечают всем требованиям технологической безопасности и проводят все виды ремонтов. Налажено производство компонентов и запчастей для белорусских углевозов – БЕЛазов. Продолжается производство спец. техники для дорожных и коммунальных служб по содержанию дорог в зимний период. Все это позволяет сказать не только о перспективном, но и долгосрочном направлении в развитии транспортного машиностроения в регионе.

Значительный рывок в вопросах качества и технического уровня сделали также ведущие предприятия угольного машиностроения – это производители горно-шахтного и электротехнического оборудования. На этих предприятиях одновременно идет и техническое перевооружение производства, и опережающая подготовка кадров для работы на современном оборудовании.

И здесь нужно отметить о перспективах все более тесного сотрудничества наших машиностроителей с ведущими ВУЗами Сибирского федерального округа и Кузбасса. Востребованность в новых инновационных изделиях и технологиях очень высокая и польза от данного сотрудничества обоюдная.

Вместе с тем, для реализации этих задач в отрасли существует ряд сдерживающих факторов системного характера.

Главным препятствием в продвижении отечественной продукции является отставание уровня её качества от мировых аналогов. Только несколько ведущих предприятий машиностроения разработали и сертифицировали системы менеджмента качества продукции по ИСО 9001.

Значительная доля используемого оборудования морально устарела, средний возраст превышает 30 лет.

Другим важнейшим фактором, сдерживающим развитие отрасли, является слабое научно-техническое обеспечение. Низок удельный вес инновационной продукции в общем объеме производства машиностроительных предприятий. Освоение выпуска новых видов продукции тормозит дефицит конструкторской документации, а если смотреть глубже, отсутствие отраслевого научно-технического обеспечения.

Необходимо более тесное сотрудничество наших ведущих кузбасских ВУЗов с машиностроительными предприятиями в области подготовки кадров. Здесь речь должна идти о целевом, адресном заказе в вопросах подготовки кадров со стороны наших ведущих заводов. Это залог бедующего как машиностроительной отрасли, так и высшей технической школы региона.

Дорогие друзья! Целью конференции является развитие инновационных технологий в машиностроении, а также поиск инструментов и

механизмов взаимодействия промышленных предприятий и высшей школы.

Желаю участникам конференции здоровья, успехов в научной, производственной и педагогической деятельности на благо России!

Заместитель Губернатора
Кемеровской области по
промышленности, транспорту
и предпринимательству



С.Н. Кузнецов



Уважаемые участники конференции!

Я рад приветствовать инженеров, исследователей, ведущих неустанный поиск путей повышения эффективности функционирования машиностроительной отрасли промышленности.

Проводимая по инициативе сибирских ученых-машиностроителей, совместно Новосибирским, Алтайским, Кузбасским государственными техническими университетами и Бийским технологическим институтом, международная научно-практическая конференция подтверждает наше горячее стремление к инновационному развитию машиностроения и экономики страны.

Первостепенное значение развития машиностроения для технического перевооружения всех отраслей экономики неоспоримо. Именно поэтому в машиностроении, в первую очередь, должна выстраиваться инновационная экономика.

Одним из условий инновационного развития является подготовка специалистов для инновационной деятельности. Убежден, что конференция будет способствовать рождению новых интересных идей, нова-

торских решений по внедрению современных технологий в образовательный процесс, интеграции образовательных программ, что позволит повысить качество профессионального образования.

Обсуждения, в рамках конференции, идей и проводимых научных исследований, надеюсь, найдут практическую реализацию в производстве, приближая нас к инновационным и технологическим прорывам в сфере отечественного машиностроения.

Консолидация усилий ВУЗов Сибири, безусловно, должна достичь требуемых результатов.

От всей души желаю Вам, дорогие друзья, здоровья, благополучия, новых открытий, успехов на нелегкой стезе научных исследований во имя социального и экономического развития Кузбасса!

Генеральный директор
ОАО «Кузбасский технопарк»,
к.т.н.



С.А. Муравьев



Уважаемые коллеги!

Приветствую участников 2-ой Международной научно-практической конференции «Инновации в машиностроении».

Успехи в любом виде деятельности обеспечивают кадры. Главной целью научной деятельности любого ВУЗа является обеспечение подготовки специалистов, научных и научно-педагогических кадров на уровне мировых квалификационных требований для развития экономики и решения социальных задач страны.

В настоящее время отечественное машиностроительное производство требует особого внимания, поскольку его проблемы значительно обострились. Выходом из сложившейся ситуации является выпуск рентабельной продукции, основанный на применении инновационных наукоемких технологий, высокоэффективного оборудования и труде квалифицированных специалистов. Поэтому первоочередной задачей каждого технического ВУЗа является стремление помочь экономике страны, машиностроению путем подготовки квалифицированных кадров, разработки инновационных технологий, станков, грамотных управленческих методик для непосредственного внедрения на производстве.

Конференция «Инновации в машиностроении» непосредственно

направлена на решение данных важнейших задач. Проводимая совместно ВУЗами Сибири она направлена на решение проблем не только конкретного региона, а всего Сибирского федерального округа, страны в целом.

Желаю участникам конференции плодотворной работы, научных и практических успехов.

Проректор по
научно-инновационной
работе КузГТУ, д.т.н.,
проф.



Блюменштейн В.Ю.

СОДЕРЖАНИЕ

Инновационные технологии в машиностроении	19
ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗГРУЗОЧНОМ УДАРЕ	20
<i>С.К. Амбросимов, А.Н. Большаков</i>	
СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	28
<i>С.К. Амбросимов, М.А. Косенков</i>	
МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ	35
<i>А.И. Азарова, В.В. Остроух</i>	
ИННОВАЦИОННЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ	39
<i>А.Я. Алифанов</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМЫ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ	43
<i>М.В. Андреев, А.М. Фирсов, И.В. Боткин</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ НЕПОДВИЖНОГО ЭЛЕМЕНТА В КОНСТРУКЦИИ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА ОСНОВЕ ШАРОВОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ	49
<i>А.А.Баськов, А.Н. Ромашев</i>	
ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЬНОЙ ОСНАСТКИ	50
<i>В.В. Беломыцев, А.Н. Ромашев</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СБОРКИ СПРИНКЛЕРНОГО ОРОСИТЕЛЯ	53
<i>А. А. Демин</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОДНОРОДНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ АБРАЗИВНЫХ ЗЁРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ	58
<i>Г.М. Дубов</i>	
МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА	62
<i>А.М. Иконников</i>	
ПРОДОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ	67
<i>Ю.М. Кайгородов</i>	
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛЕЧИН ПЕРЕДНИХ УГЛОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ЗЁРЕН	69
<i>В.А. Коротков, Е.М. Минкин</i>	

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПЛАСТИН ИЗ КРЕМНИЯ	71
<i>Б.А. Красильников, В.В. Янпольский, О.К. Нураев</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПУТЕМ НАПРАВЛЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ	75
<i>А.А. Кречетов</i>	
ИМИТАЦИОННОЕ СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ	83
<i>С.Л. Леонов, Т.А. Аскалонова</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЕЙ КРУГА	88
<i>С.Л. Леонов, М.К. Витвинов</i>	
СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОСНОВЫ ПОД НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ	91
<i>С.Л. Леонов, Е.Ю. Татаркин</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ХРУПКИХ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	97
<i>Ю.В. Макара</i>	
РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ С АФЗ В ОПОРНЫХ УЗЛАХ ГОРНЫХ МАШИН	102
<i>Л.Е. Маметьев, О.В. Любимов, В.П. Котурга</i>	
ПОВЫШЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ РАДИАЛЬНЫХ КОРОНОК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ	107
<i>Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.Ю. Борисов</i>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	112
<i>М.В. Доц, А.М. Марков</i>	
СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКОВ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ МАШИН	115
<i>О.А. Медведев, В.Ф. Григорьев</i>	
ВЫБОР СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА	120
<i>А.Г. Овчаренко, А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин</i>	
СТАЛЬНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА	124
<i>Г.А. Околович, Е.А. Сизова, А. Г. Околович</i>	
ВЫБОР НАГРУЗОЧНО-СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВС В ХОДЕ ПРИЕМОСДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ	130
<i>К.Н. Осипов</i>	

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА «ПРОГРАММА НАГРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН»	135
<i>К. П. Петренко</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ВАЛОВ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ	140
<i>М.Е. Попов, Д.В. Буторин</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ ИНСТРУ- МЕНТОМ	146
<i>М.Е. Попов</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗ- ВОДСТВА	151
<i>А.М. Пынькин, В.И. Бородавко, А.Х. Насыбулин, Л.М. Акулович, В.К. Шелег</i>	
АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ	157
<i>Х.М. Рахмянов, Н.П. Гаар</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ	161
<i>Х.М. Рахмянов, А.Х. Рахмянов, С.В. Лунин</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА И СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТУРЫ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧ- НОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ	165
<i>А.М. Романенко</i>	
РАЗРАБОТКА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	169
<i>В.Ю. Садовец, В.Ю. Бегляков</i>	
ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ГЕОХОДОВ	176
<i>В.Ю. Садовец, Е.В. Резанова</i>	
МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ПОРОШКАМИ С ПОКРЫТИЕМ	183
<i>Е.Ю. Татаркин, А.А. Дианов</i>	
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ МАСС ЗАГРУЗКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАСТВОРОВ И БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ	186
<i>В.Д. Таратута, Г.В. Серга</i>	
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ МАСС ЗАГРУЗКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ	196
<i>В.Д. Таратута, Г.В. Серга</i>	

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ РАЗНООБРАЗНЫХ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В МЕЛЬНИЦАХ НА БАЗЕ ВИНТОВЫХ БАРАБАНОВ	202
<i>В.Д. Таратута, Г.В. Серга</i>	
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИХ НА ФРАКЦИИ ВИНТОВЫМИ РЕШЕТКАМИ	208
<i>В.Д. Таратута, Г.В. Серга</i>	
КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ПЛАЗМЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВО-ЖЕЛЕЗИСТОЙ БРОНЗЫ	215
<i>В.А. Федоров</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА	219
<i>А. М. Фирсов, А.В. Вдовин, К.И. Заболотников</i>	
ВОЗМОЖНОСТЬ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ	225
<i>А. М. Фирсов, А.В. Вдовин, А.А. Кретов</i>	
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ	231
<i>А. М. Фирсов, А.В. Вдовин, В.О. Червинский</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ	237
<i>А.О. Черданцев, В.А. Хоменко</i>	
ДИАГНОСТИКА, РЕМОНТ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ	241
МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАР ТРЕНИЯ	242
<i>А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич, Ю.А. Баранова</i>	
СПОСОБЫ СТЕСНЕННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ	247
<i>А.С. Бубнов</i>	
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ	252
<i>В.В. Голикова, Е.Л. Первухина</i>	

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАШИН И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЗАДАЧ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ	256
<i>С.А. Добрынин, В.Н. Суслов, Г.И. Фирсов</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ НАРУЖНОМ БЕСЦЕНТРОВОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С НЕИЗМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ	262
<i>С.А. Добрынин, В.Н. Суслов, Г.И. Фирсов</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ДЕФОРМИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	267
<i>М.С. Махалов, А.А. Зенков</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ И КОНТРОЛЬ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ НА СТАДИЯХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ	271
<i>И.В. Мирошин, О.А. Останин</i>	
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ЛОКАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛА БАРАБАНА КОТЛА ПК-10 ДО И ПОСЛЕ РЕМОНТА	282
<i>А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков</i>	
КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ СТАЛИ КАК ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЯ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ	286
<i>А.Н. Смирнов, А.С. Глинка</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ ПОТОКИ ЭНЕРГИИ	290
<i>М.Л.Хейфец, В.С.Крутько, В.А.Гайко, Н.М.Позылова, Е.З.Зевелева</i>	
УПРОЧНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ И НАНОТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	295
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА МИНИМИЗАЦИЮ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ ТОНКИХ ПЛАСТИН	296
<i>Хейдарид Монфаред Афшин, А.Ф. Пантелеенко</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ДЕТАЛИ-КАТОДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ	302
<i>В.Н. Беляев, А.В. Лобунец</i>	

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБКАТЫВАНИЯ С ГИДРОПРИВОДОМ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ	305
<i>В.Н. Беляев, А.В. Лобунец</i>	
ОЧАГ ДЕФОРМАЦИИ КАК ОСНОВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМИРОВАНИИ ПО- ВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ	308
<i>В.Ю. Блюменштейн</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РАСТВОРОВ-ЭЛЕКТРОЛИТОВ С КЕРАМИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ	314
<i>Д.И. Боровик, В.Ю. Красавин, Ф.И. Пантелеенко</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКА	318
<i>Д. А. Бородин</i>	
МНОГОКОМПОНЕНТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЕЙ БОРОМ СОВМЕСТНО С ТИТАНОМ, ХРОМОМ И ВОЛЬФРАМОМ	323
<i>В.В. Зобнев, А.М. Гурьев, А.М. Марков</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ППД	330
<i>А.А. Зуров, А.М. Фирсов</i>	
ТВЕРДОСМАЗОЧНОЕ ПОКРЫТИЕ ПОЛУЧЕННОЕ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ	336
<i>В.В. Иванов</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ПРИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОМ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ	342
<i>В.С. Ивашко, В.А. Лойко, В.В. Саранцев</i>	
ОБОБЩАЮЩИЙ КРИТЕРИЙ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ППД СВОБОДНОДВИЖУЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ИН- ДЕНТОРОВ	349
<i>В.А. Лебедев</i>	
КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ КУТТЕРОВ	353
<i>А.Н. Шаталов, Л.И. Маркус</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАВНОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ИНСТРУМЕНТОВ МЯСОРЕЗАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	359
<i>Л.И. Маркус, А.Н. Шаталов</i>	
МОДЕЛЬ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ	363
<i>М.С. Махалов</i>	

МЕТОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЫШЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ	369
<i>Е.О. Ольховик</i>	
ОБ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ДАВЛЕНИЕМ В СОСТОЯНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ	374
<i>В.А. Панамарев</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДРОБИ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ТВЧ	378
<i>Е.Ф. Пантелеенко</i>	
СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА	383
<i>Ф.И. Пантелеенко, В.С. Ивашко, В.Р. Калиновский, В.В. Саранцев, Е.Л. Азаренко</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ	389
<i>М.В. Пимонов</i>	
СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ	395
<i>М.Е. Попов, М. Абухарб, А.И. Гончарова, В.С. Мирошникова</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	400
<i>М.В. Радченко, К.В. Князьков</i>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АНОДНОГО НАГРЕВА	406
<i>Х.М. Рахмянов, А.С. Еремина</i>	
ОСОБЕННОСТИ АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА ВК25 ПРИ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ	411
<i>Х.М. Рахмянов, Б.А. Красильников, В.В. Янпольский, М.И. Никитенко</i>	
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРОМОК ПРИ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКЕ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА	416
<i>Х.М. Рахмянов, А.А. Локтионов</i>	
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ	419
<i>Х.М. Рахмянов, Ю.С. Семенова</i>	

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu НА КОНТАКТАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ НА КОММУТАЦИОННУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ	424
<i>Д.А. Романов, Е.А. Будовских, В.Е. Громов</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШУНГИТОВОЙ ПОРОДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ СВС-МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Al-SiO₂-C	429
<i>В.В. Саранцев, Е.С. Какошко</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ В ГИБКИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ РАБОЧИХ СРЕДАХ	434
<i>М.А. Тамаркин, Э.Э. Тищенко</i>	
ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТОЧНОСТЬ ЛИТЬЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НАПОЛНЕННОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА	438
<i>Т.Н. Теряева, О.В. Касьянова</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ППД	444
<i>А.М. Фирсов, С.С. Хамрителев</i>	
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ	449
<i>В.Н. Хмелев, С.Н. Цыганок, С.С. Хмелев, А.А. Ромашкин</i>	
УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СВЕРХЗВУКОВЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ	454
<i>В.Н. Хромов, Е.М. Свиридов</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА	457
<i>Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, П.В. Трегубчак, В.С. Внуков</i>	
ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕНЕДЖМЕНТ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	463
РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	464
<i>А.П. Бакайкина, Е.В. Устинова</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	469
<i>Н.И. Мозговой, Я.Г. Мозговая</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	473
<i>О.Л. Никитина</i>	

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	477
<i>Е.В. Останина</i>	
УСПЕШНОЕ ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ	480
<i>Е.В. Устинова, Е.В. Останина</i>	
ИНСТРУМЕНТЫ И МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ	487
О РАЗВИТИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КУЗГТУ	488
<i>В.Ю. Блюментштейн</i>	
ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ НА ПРЕСТИЖ ИНЖЕНЕРА	498
<i>Н.А. Жернова, Е.Е. Жернов</i>	
ЭЛЕКТРОННЫЙ ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ С 3D ИЛЛЮСТРАЦИЯМИ	503
<i>А. Г. Казанцев, С.А. Лебедев</i>	
ТЕРМИНЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВАМ ЖЕСТОВОГО ЯЗЫ- КА	507
<i>А. Г. Казанцев</i>	
ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ ПРИ ВУЗАХ	511
<i>В.А. Крахмалев, И.Н. Дубина, Е.А. Киселева</i>	
МАЛЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ: РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ	519
<i>О.А. Останин, Е.В. Останина</i>	
НОВЫЙ ЗАКОНОПРОЕКТ «О ФЕДЕРАЛЬНОЙ КОНТРАКТНОЙ СИСТЕМЕ», КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ С ЗАКУПКАМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	523
<i>О.А. Останин, Е.В. Останина</i>	
УСТАНОВЛЕНИЕ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В ВУЗАХ, СПОСОБСТВУЮЩИХ РАЗВИТИЮ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОРГАНИЗАЦИЯМИ РАБО- ТАДАТЕЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ	528
<i>О.Б. Сухорукова</i>	



СЕКЦИЯ

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**



УДК 621.914

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗГРУЗОЧНОМ УДАРЕ

С.К. Амбросимов д.т.н., проф., А.Н. Большаков, аспирант
Липецкий государственный технический университет
Липецк, тел. +7 (4742) 74-39-36, +7 951-305-36-62.
E-mail: avadro@mail.ru, atbasarets@mail.ru

В статье представлена методика определения напряжений, действующих на режущей кромке при её выходе из зоны обработки.

In this article is presented the definition model of the strengths operating on cutting edge at its exit from a zone of processing.

В настоящее время одной из актуальных задач в области обработки материалов резанием является повышение стойкости режущего инструмента. Стойкость инструмента можно повысить различными способами: изменением геометрии его режущей части, нанесением различных покрытий на режущую часть, применением СОЖ при обработке заготовки и другими. Но вне зависимости от способа повышения стойкости инструмента в том или ином случае достаточно интенсивный износ инструмента наблюдается при выходе режущего клина из зоны обработки и чем чаще это происходит, тем ниже стойкость инструмента при прочих равных условиях. В момент выхода режущего клина из зоны обработки наблюдается разгрузочный удар, т.е. увеличение действующего напряжения на режущий клин, что и приводит к более интенсивному износу инструмента по сравнению с процессом установившегося резания. На сегодняшний день возрастание напряжений при выходе режущего клина из зоны обработки мало изучено, а также нет единой теоретической модели этого процесса. Результатом исследований процесса разгрузочного удара должны стать рекомендации по предотвращению его отрицательного воздействия на инструмент, и создание ряда новых технологических процессов обработки материалов резанием, позволяющих минимизировать негативное воздействие разгрузочного удара на режущий инструмент.

При детальном изучении процесса выхода режущего клина из зоны обработки, а также сопровождающих его процессов было сделано несколько предположений и допущений, на основании которых была разработана теоретическая модель расчёта напряжений, действующих на режущий клин при его выходе из зоны обработки.

Для исследования процесса резания при выходе режущего клина из зоны обработки в качестве исходной была взята схема [1] силового взаимодействия режущего клина с обрабатываемым материалом в процессе ортогонального свободного резания с условной плоскостью сдвига см. рис. 1, а. При достижении режущим клином некоторого положения см. рис. 1, б, находящимся на расстоянии OB от торца заготовки начнёт проявляться разгрузочный удар. Расстояние OB рассчитывается по выражению:

$$OA = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \hat{O}},$$

где h_1 – толщина срезаемого слоя, Φ – угол наклона условной плоскости сдвига.

При последующем перемещении режущего клина будет наблюдаться уменьшение длины условной плоскости сдвига OA см. рис. 1, в.

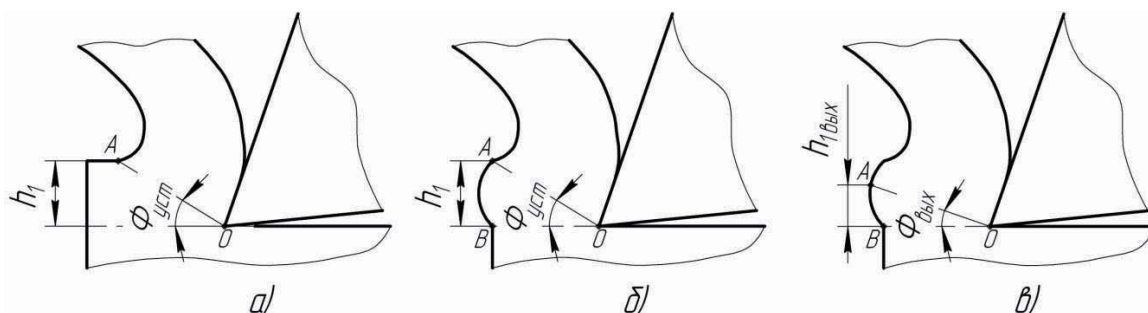


Рис. 1. Схемы силового взаимодействия режущего клина с обрабатываемым материалом: а – процессе установившегося резания; б – переход режущего клина от зоны с установившимся резанием к зоне выхода; в – процесс резания при выходе режущего клина из зоны обработки, $\Phi_{\text{вых}} > \Phi_{\text{уст}}$ и $h_{1\text{вых}} \ll h_1$

При выходе режущего клина из зоны обработки возрастает скорость деформации, более подробно этот процесс будет рассмотрен ниже. При увеличении скорости деформации, пластичность металла снижается см. рис. 2, б. Более низкой пластичности металла соответствует более низкая температура см. рис. 2, а [2].

Уменьшение длины условной плоскости сдвига ведёт к уменьшению объёма деформируемого металла. Как известно, температура контактных слоёв есть результат превращения механической энергии деформирования в тепловую [3]. Это даёт основание для выдвижения предположения о том, что при выходе режущего клина из зоны обработки происходит уменьшение температуры резания.

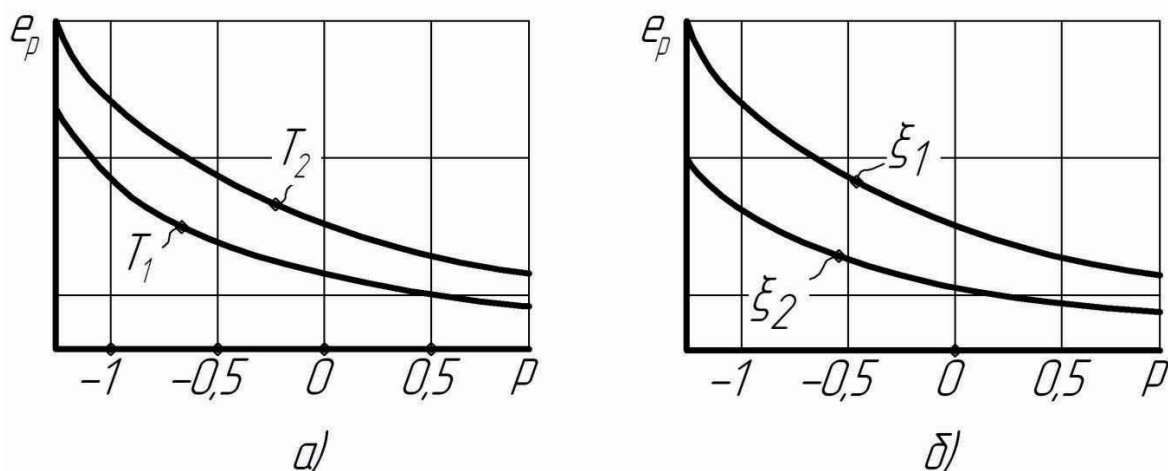


Рис. 2. Диаграммы пластичности материала: а - при температурах $T_2 > T_1$; б - при скоростях деформации $\xi_2 > \xi_1$

В условиях прерывистого резания, кратковременного и периодического резания, величины тепловых потоков и температура резания изменяются во времени, т.е. имеет место неустановившийся теплообмен. В результате этого температура резания зависит не только от режимов резания и физико-механических свойств обрабатываемого материала, но и от условий охлаждения во время холостого пробега. На рисунках 3а и 3б представлены кривые изменения температуры резания при симметричном торцовом фрезеровании сталей 18Х2Н4ВА и Ст5 для различных скоростей резания в зависимости от мгновенного положения зуба фрезы по дуге контакта.

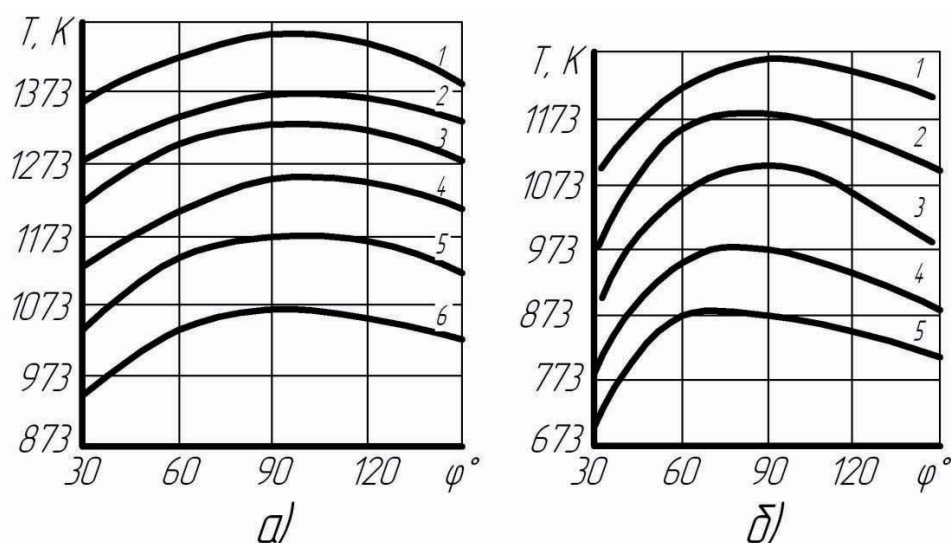


Рис. 3. Зависимость температуры резания от мгновенного положения зуба фрезы по углу контакта φ инструмента с деталью: а – Т15К6 – сталь

18X2H4BA; б – T15K6 – Ст5. 1 – $v = 7,72$ м/с; 2 – $v = 5,58$ м/с; 3 – $v = 4,18$ м/с; 4 – $v = 2,75$ м/с; 5 – $v = 2,03$ м/с; 6 – $v = 1,32$ м/с.

Приведённые кривые показывают, что температура резания постепенно повышается по мере увеличения толщины срезаемого слоя, достигая максимума при максимальной толщине срезаемого слоя. Затем, по мере уменьшения толщины среза температура резания снижается, но в меньшей степени по сравнению с первоначальным её повышением. [3].

На основании выше указанных данных можно считать сделанное предположение о понижении температуры резания при выходе режущего клина из зоны обработки верным.

Понижение температуры ведёт к снижению пластичности обрабатываемого материала, т.е. обрабатываемый материал становится более хрупким. На рис. 2, а приведены в общем виде кривые пластичности материала при различных температурах.

Автор работы [4] отмечает, что чем пластичнее металл (меньше твёрдость и больше вязкость), тем больше коэффициент усадки стружки. Для углеродистых сталей средние значения коэффициента усадки равны 2-3, а для чугуна 1,2 – 1,5.

На основании этого можно сделать следующее предположение о том, что угол наклона Φ условной плоскости сдвига при выходе режущего клина из зоны обработки несколько увеличивается.

Выше перечисленные закономерности и сделанные предположения позволяют перейти к непосредственному рассмотрению процессов происходящих в зоне резания при выходе режущего клина из зоны обработки.

После измерения величины коэффициента усадки стружки K_c по формуле 1 определяется значение угла наклона условной плоскости сдвига $\hat{\Phi}$:

$$\hat{\Phi} = \arctg \left(\frac{\cos \gamma}{K_c - \sin \gamma} \right), \quad (1)$$

где γ – передний угол режущего клина.

Угол наклона $\hat{\Phi}$ условной плоскости сдвига при выходе режущего клина из зоны резания увеличивается. Величину $\Delta\hat{\Phi}$ на которую происходит увеличение можно рассчитать по формуле:

$$\Delta\hat{\Phi} = 90^\circ - \chi + \gamma - \hat{\Phi} - \psi$$

где χ – угол между касательной к прирезцовой стороне стружки и направлением текстуры, соответствующей процессу выхода режущего клина, $\hat{\Phi}$ – угол наклона условной плоскости сдвига, соответствующий процессу установившегося резания, ψ – угол текстуры участка стружки, соответствующего процессу выхода режущего клина.

Угол текстуры стружки определяется по формуле:

$$\psi = \operatorname{arcctg}(\operatorname{tg}(\hat{O} - \gamma) + 1 + \operatorname{ctg}(\hat{O}))$$

С увеличением угла наклона Φ условной плоскости сдвига, коэффициент усадки стружки уменьшается. Его величину для выхода режущего клина из зоны обработки можно рассчитать по общеизвестной формуле приведённой в работе [1]:

$$K_c = \frac{\cos(\hat{O} - \gamma)}{\sin \hat{O}} \quad (2)$$

Фактическая толщина срезаемого слоя также уменьшается, это видно из рис. 1, б и 1, в. Минимальная толщина срезаемого слоя, по данным компании Sandvic Coromant [5] должна быть не менее 2/3 от величины радиуса при вершине режущей кромки. По данным, приведённым в работе [6] минимальная толщина срезаемого слоя должна быть не меньше величины радиуса при вершине режущей кромки (режущего клина) $h_1 \geq \rho$ (мм),

где ρ – радиус скругления лезвия, $\rho = 0,35 \dots 0,55(\alpha + \gamma)$, (мкм); α – задний угол режущего клина в градусах.

По формуле приведённой в работе [7] рассчитывается средняя накопленная деформация для двух значений угла Φ – для процесса установившегося резания и для процесса выхода режущего клина из зоны обработки:

$$e_i = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-S \cdot \cos \gamma}{h_2}} \right) \cdot \left(2 + \sqrt{1 + \frac{1}{\frac{1}{3 \cdot \mu^2} - 1}} \right) \cdot \frac{S \cdot \cos \gamma}{h_2}, \quad (3)$$

где e – основание натурального логарифма, S – перемещение режущего клина относительно заготовки, h_2 – толщина стружки, μ – коэффициент трения по напряжению текучести (предельная величина μ равна 0,5).

Величина S для различных металлов и сплавов различна. Коэффициент трения $\mu = 0,5$ для сталей при резании без применения СОЖ.

Величина h_2 вычисляется по формуле:

$$h_2 = K_c \cdot h_1. \quad (4)$$

Величина накопленной деформации соответствующая установившемуся процессу резания e_{iycm} имеет большее значение, чем величина накопленной деформации соответствующая моменту выхода режущего клина из зоны обработки $e_{iвых}$, что полностью соответствует снижению пластичности срезаемого слоя металла в зоне выхода режущего клина.

Температура резания определяется по выражению, приведённому в работе [3]:

$$T = \frac{\tau_{\delta} \cdot \varepsilon}{C_p \cdot \left(1 + 0,975 \cdot \sqrt{\frac{\sin \hat{O} \cdot \omega_0}{v \cdot h_1}} \right)}, \quad (5)$$

где τ_{δ} – напряжение сдвига; ε – относительный сдвиг; C_p – объёмная теплоёмкость, МДж/м³К; ω_0 – температуропроводность обрабатываемого материала, м²/с; v – скорость резания, м/с.

Напряжение сдвига определяется по выражению, приведённому в работе [3]:

$$\tau_{\delta} = 0,74 \cdot \sigma_A \cdot \delta_5^{0,6}, \quad (6)$$

где σ_B – временное сопротивление материала при растяжении; δ_5 – относительное удлинение при растяжении.

Относительный сдвиг (относительную линейную деформацию) можно определить по формуле:

$$\varepsilon = 1 - e^{-e_i}, \quad (7)$$

где e – основание натурального логарифма.

На рис. 4 изображены в общем виде две кривые упрочнения, одна из которых, соответствует температуре установившегося резания $T_{уст}$, а другая соответствует температуре резания при выходе режущего клина из зоны обработки $T_{вых}$.

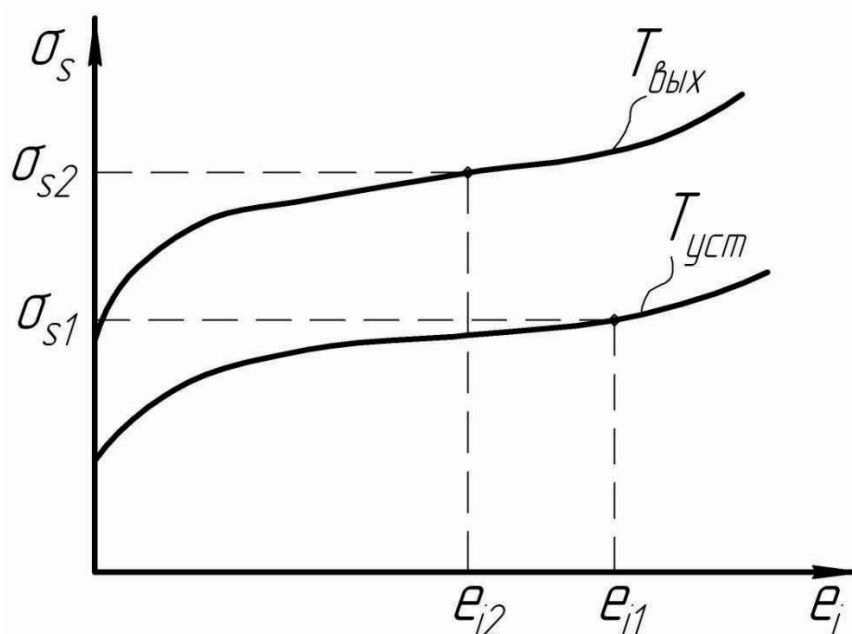


Рис. 4. Общий вид кривых упрочнения материала при различных температурах

Из графика, изображённого на рисунке 4, следует, что при выходе режущего клина из зоны резания наблюдается процесс деформационного разупрочнения, связанный с уменьшением накопленной деформации в стружке, а также наблюдается процесс деформационного упрочнения вследствие понижения температуры. При этом процесс упрочнения преобладает над процессом разупрочнения. В результате величина напряжения текучести $\sigma_{\text{свых}}$, соответствующая процессу выхода режущего клина, возрастает по сравнению с напряжением текучести $\sigma_{\text{суст}}$, соответствующем установившемуся резанию.

Металлы и сплавы также склонны к скоростному упрочнению, которое зависит от скорости деформации.

Среднюю скорость деформации при резании можно определить по формуле приведённой в работе [8]:

$$\xi_{\text{инд}} = \frac{v}{\sqrt{3} \cdot h_2} \cdot \cos \gamma \cdot \left(2 + \sqrt{1 + \frac{1}{\frac{1}{3 \cdot \mu^2} - 1}} \right). \quad (8)$$

Удобным вариантом расчёта напряжения текучести является её представление как функции от накопленной деформации, скорости деформации и температуры резания $\sigma_s = f(\varepsilon, \xi, T)$. Такая функция представлена в работе [9]:

$$\sigma_s = Y \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon}{b_1} \right)^{m_1} \cdot (b_2 + \xi)^{m_2} \cdot e^{-m_3 \cdot T} \cdot e^{-m_4 \cdot \varepsilon}, \quad (9)$$

где $Y = kA_1A_2A_3$; безразмерные коэффициенты $k, A_1, A_2, A_3, m_1, m_2, m_3, m_4$, выбираются из таблиц в приложениях 1, 2 и 3 приведённых в работе [9] в соответствии с маркой материала и условиями предварительной обработки; $b_1 = 0,01$; $b_2 = 0,002-0,003$.

Для расчёта гидростатического (нормального) давления, действующего на режущий клин, используется формула, приведённая в работе [8]:

$$\sigma = \beta \cdot \sigma_s \cdot \left[0,5 + \mu \cdot \frac{l}{h_2} + (0,5 + \mu) + \left(\frac{u \cdot h_1}{h_2} - \frac{x}{h_2} \right) \right] \quad (10)$$

где β – коэффициент Лоде, равный 1,155 при плоском деформированном состоянии; u – безразмерный коэффициент, равный $u = 1$ при $\gamma \geq 0$ и $u = 1 - \sin \gamma$ при $\gamma < 0$; l – длина контакта стружки с режущим клином.

В приведённое выражение входит длина l участка контакта стружки с режущим клином в плоскости нормальной к плоскости резания см. рис. 5.

Величина длины l рассчитывается по формуле приведённой в работе [7]:

$$l = h_2 \cdot (1 - \operatorname{tg} \gamma) + u \cdot h_1 \cdot \left(\frac{1}{u \cdot \cos \gamma} - 1 \right). \quad (11)$$

Подставляя в формулу 10 $\beta = 1,155$ и равенство 11, следует, что гидростатическое давление на острие режущего клина будет максимальным (при $x = 0$) и определяется выражением:

$$\sigma = 1,155 \cdot \sigma_s \cdot \left[0,5 + \mu \cdot (1 - \operatorname{tg} \gamma) + \frac{u}{K_c} \cdot \left(\frac{\mu}{u \cdot \cos \gamma} + 0,5 \right) \right] \quad (12)$$

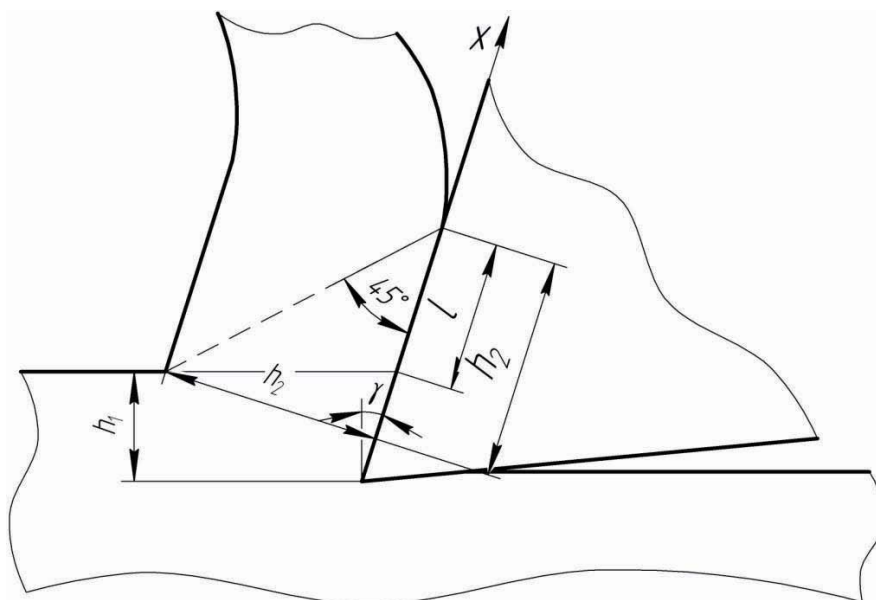


Рис. 5. К определению длины контакта стружки с передней поверхностью резца

Выводы

Представленная выше модель расчёта напряжений, действующих на режущий клин при его выходе из зоны обработки и созданная на её основе методика расчёта величины этого напряжения, показала хорошую сходимость вычисленных напряжений с напряжениями, измеренными, при свободном ортогональном резании стали 20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д.В., Резание материалов: Учебник для студентов высших учебных заведений [Текст] / под общей редакцией С.В. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 2007. 304 с.; ил.

2. Воронцов А.Л., Разработка новой теории резания. 4. Обоснование и общие положения нового метода теоретического исследования процессов резания [Текст] / А.Л. Воронцов, Н.М. Султан-Заде, Ю.А. Алгабачиев // Вестник машиностроения – 2008, №4. С.69 – 74.
3. Лоладзе Т.Н., Прочность и износостойкость режущего инструмента [Текст] / Т.Н. Лоладзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.; ил.
4. Рубенштейн С.А., Основы учения о резании металлов и режущий инструмент [Текст] / С.А. Рубенштейн, Г.В. Левант, Н.М. Орнис, Ю.С. Тарасевич. М.: Машиностроение, 1968. – 392 стр.
5. Руководство по металлообработке. АВ Sandvik Coromant 2008.09
6. Сахаров Г.Н., Металлорежущие инструменты: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» [Текст] / Г.Н. Сахаров, О.Б. Арбузов, Ю.Л. Боровой, В.А. Гречишников, А.С. Кисилёв. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.: ил.
7. Воронцов А.Л., Разработка новой теории резания. 6. Определение основных параметров процесса резания [Текст] / А.Л. Воронцов, Н.М. Султан-Заде, Ю.А. Алгабачиев // Вестник машиностроения – 2008, №6. С.64 – 70.
8. Воронцов А.Л., Разработка новой теории резания. 5. Определение кинематического, напряжённого и деформированного состояния обрабатываемой заготовки [Текст] / А.Л. Воронцов, Н.М. Султан-Заде, Ю.А. Алгабачиев // Вестник машиностроения – 2008, №5. С.61 – 69.
9. Сибич В.Н., Расчёт и проектирование процессов объёмной и листовой штамповки: Учебное пособие [Текст] / В.Н. Сибич, Н.А. Шестаков, В.А. Демин, А.В. Власов. – М.: МГИУ, 2007. – 414 с.

УДК 621.9.04

СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ДЛЯ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

С.К. Амбросимов, д.т.н., проф., М.А. Косенков, аспирант
Липецкий государственный технический университет
Липецк, тел. +7 (4742) 74-39-36, (920) 245-66-49.
E-mail: chkma@yandex.ru

В статье рассмотрены возможные методы обработки винтовых поверхностей на основе кинематики процесса формообразования.

In this article are considered possible methods of handling of helical surfaces on the basis of process kinematics shape formation.

Обработанная поверхность детали, кинематическая схема формообразования и производящая поверхность инструмента однозначно функционально взаимосвязаны друг с другом. Поэтому новые методы обработки поверхностей предусматривают либо наличие

принципиально новой производящей поверхности (ПП) и соответственно новой кинематической схемы формообразования (КСФ), либо известной ПП и новой КСФ. Новая КСФ, в последнем случае, предполагает отличную от известных ориентацию КСФ относительно номинальной поверхности детали. Элементами поверхности детали, относительно которых происходит ориентация формообразующих движений инструмента, могут быть: линии, расположенные на данной поверхности; линии, образованные пересечением поверхности и секущими плоскостями и т.д.

Существуют различные подходы при разработке новых методов обработки, например, для сложных фасонных поверхностей основная задача моделирования сводится к установлению траектории движения инструмента, а для поверхностей тел вращения и других, допускающих движение образующей линии по траектории заданной направляющей, сводится к установлению производящей инструментальной поверхности.

Однако и в том, и в другом случае, существуют определённые принципы, при которых обеспечивается обработка заданной поверхности. Главный принцип основан на теории существования огибающей семейства кривых и поверхностей [1-2], которые создаются при перемещении профиля или номинальной поверхности детали при её движении по заданной кинематической схеме, и называется условием существования ПП. Второй принцип называется условием касания без взаимного внедрения подрезания ПП и номинальной поверхности детали. Автор [3] доказывает, что при внешнем касании подрезания не происходит. Третий принцип - условие отсутствия переходных поверхностей на деталях можно сформулировать как недорезание. Причина этого - отсутствие касания инструментальной поверхности и номинальной поверхности детали на участках разрывов характеристик.

Анализ известных способов формообразования [4] позволил сделать предложение, что наиболее сильные методы обработки, обладающие признаками существенного отличия, образуются за счет ориентации отдельных элементарных движений относительно осей и плоскостей симметрии номинальной поверхности, т.е. движений, лежащих в направлениях перпендикулярных плоскостям и осям симметрии или лежащих в плоскостях проходящих через оси симметрии.

Основными признаками, определяющими кинематическую схему (рис. 1), являются:

- количество формообразующих движений;
- виды движений (вращательные, поступательные);

- качественный состав движений (главное движение, движение подачи);
- ориентация отдельных движений относительно системы координат детали;
- количество и вид согласованных между собой движений;
- вид согласования между отдельными формообразующими движениями (линейным, нелинейным).

При создании классификации кинематических схем формообразования винтовых поверхностей важной целью исследования является не только поиск закономерностей изменения кинематических схем формообразования, но и создание новых высокоэффективных кинематических схем.

Особый интерес представляют две схемы: с винтовым возвратно-вращательным движением фрезерования (рисунок 1, м) с нелинейным обкатом по профилю номинальной поверхности фрезой с тороидальной ПП (рис. 1, л).

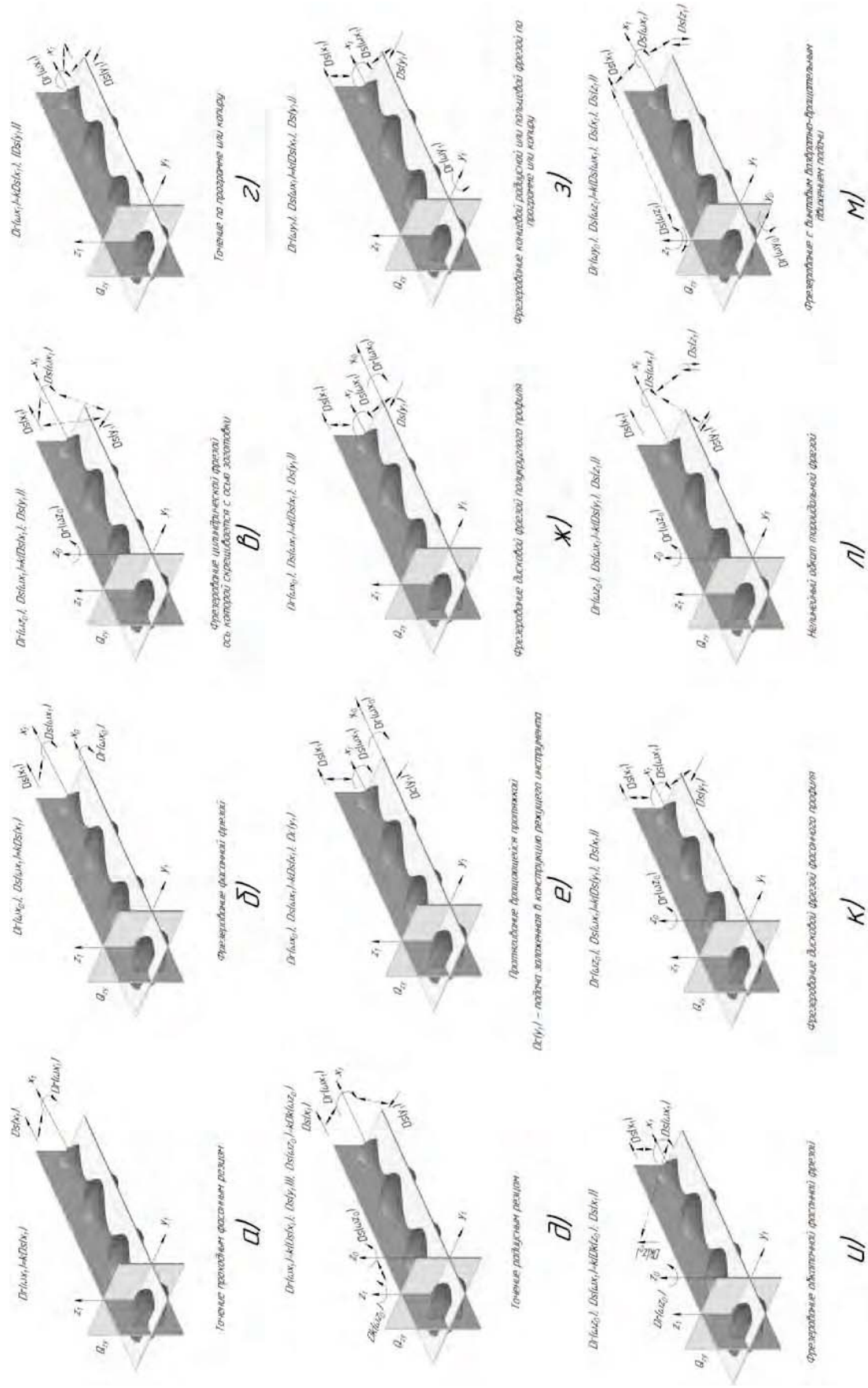


Рис. 1. Классификация кинематических схем формообразования винтовых поверхностей

Необходимо отметить, что кинематическая схема обработки методом нелинейного обката фрезой с тороидальной ПП (рис. 1, л и 2) более универсальная, поскольку позволяет обрабатывать сложные профили, пересекающиеся под любым углом.

Обработка каждого сопрягаемого участка профиля детали осуществляется его радиусной тороидальной поверхностью. Обработку осуществляют с тремя одновременными нелинейно согласованными формообразующими движениями, лежащими в одной плоскости профилирования.

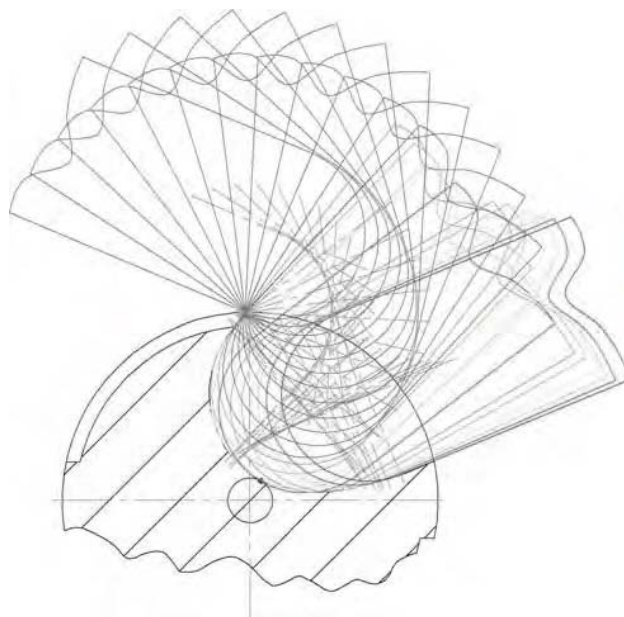


Рис. 2. Образование профиля винтовой стружечной канавки методом нелинейного обката тороидальной фрезой

Одно из них, вращательное $Ds(\omega_{x1})$ (рис. 3) осуществляется таким образом, чтобы дугообразная образующая инструмента была последовательно касательной к каждой точке обрабатываемого профиля, а два других $Ds(z_1)$ и $Ds(y_1)$ согласуются с вращательным $Ds(\omega_{x1})$, таким образом, чтобы при обработке профилирующая поверхность инструмента перекатывалась по обрабатываемой поверхности. Разработанный метод обработки винтовых поверхностей позволяет повысить точность за счет обката профиля детали, кроме того, он универсален и высокопроизводителен.

Метод обработки с винтовым возвратно-вращательным движением фрезерования осуществляется инструментом в виде тела вращения с тороидальной производящей поверхностью (рис. 4). В процессе обработки кроме главного вращательного $Dr(\omega_{y0})$ инструменту задают возвратно-вращательное движение подачи $Ds(\omega_{z1})$ и два поступательных $Ds(z_1)$, $Ds(x_1)$ которые совершаются одновременно и лежат в плоскости, перпендикулярной плоскости возвратно-вращательного движения,

заготовке задают вращательное движение подачи $Ds(\omega_{x1})$. Поступательные движения совершаются параллельно $Ds(x_1)$ и параллельно $Ds(z_1)$ к базисной плоскости и нелинейно согласуются с возвратно-вращательным движением $Ds(\omega_{z1})$ и вращательным $Ds(\omega_{x1})$. Возвратно-вращательное движение подачи осуществляется до периодического и одновременного касания инструментом обработанной поверхности в двух точках на противоположных сторонах профиля. В моменты касания возвратно-вращательное движение подачи реверсируют. Метод винтового возвратно-вращательного фрезерования позволяет повысить стойкость инструмента за счет постоянного смещения вершины режущей кромки относительно поверхности резания, а так же производительность и плавность работы за счет увеличения числа одновременно работающих зубьев.

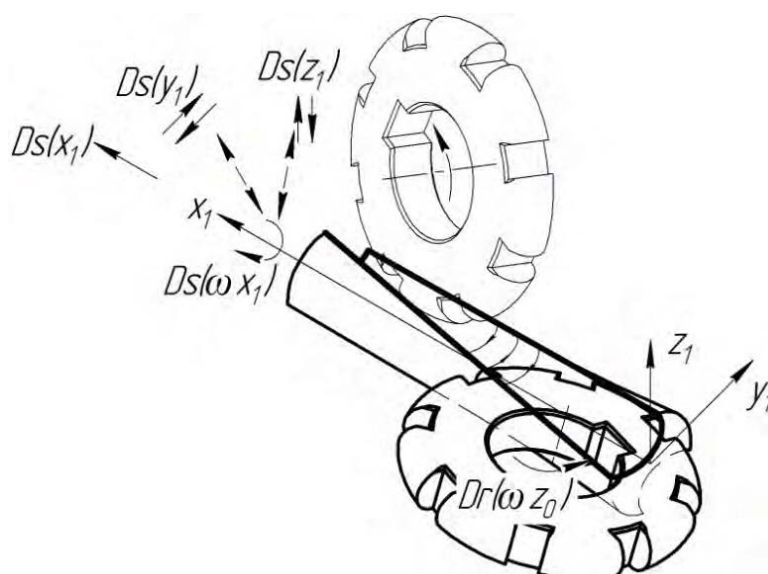


Рис. 3. Кинематическая схема обработки винтовой канавки методом нелинейного обката фрезой с тороидальной производящей поверхностью

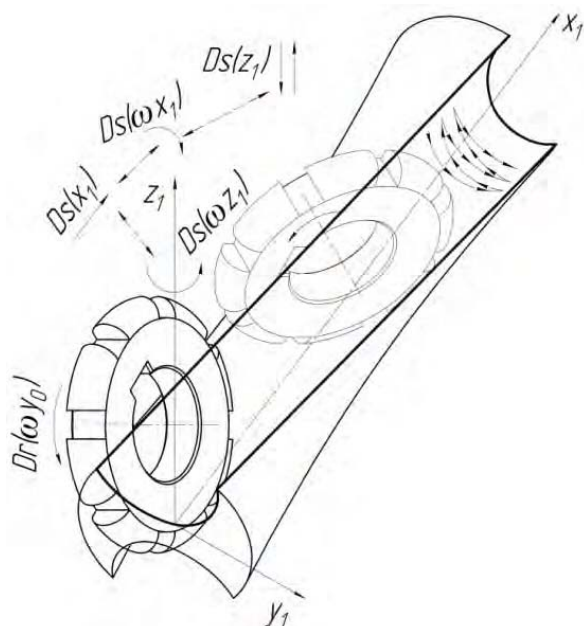


Рис. 4. Кинематическая схема обработки сложнопрофильной винтовой канавки инструментом с тороидальной производящей поверхностью: обработка с винтовым возвратно-вращательным движением подачи

ВЫВОДЫ

Разработана классификация кинематических схем для обработки винтовых поверхностей. На основе данной классификации разработаны и представлены два новых метода обработки сложнопрофильных винтовых канавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин. – Киев.: Вища школа, 1977. – 192 с.
2. Лашнев С.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ / С.И. Лашнев, М.И. Юликов. – М.: Машиностроение, 1975. – 392 с.
3. Радзевич С. П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории / С.П. Радзевич. – Киев.: Растан, 2001. – 592 с.
4. Амбросимов С.К. Синтез новых методов обработки на основе ориентации формообразующих движений относительно обработанной поверхности. [Текст] СТИН, 2006, №4 с. 2 – 7.

УДК 621.9.048.6.06

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ

Азарова А.И. к.т.н., Остроух В.В.

Донской государственный технический университет
Ростов-на-Дону, тел. +7(8632) 73-87-07. E-mail: azarovaai@mai.ru

В статье рассмотрена проблема оптимизации параметров обработки деталей свободными абразивами. Данная проблема является актуальной для автоматизации проектирования указанных процессов.

In this paper the problem of optimization of the parameters of the free abrasives processing is considered. This problem is actual for automation of development process.

Изменение шероховатости поверхности при обработке свободными абразивами носит экспоненциальный характер. Скорость образования нового рельефа снижается от максимального значения в начальный период, до значений малоотличающихся от нуля к моменту образования установившейся шероховатости, что свидетельствует о формировании непрерывно воспроизводимого рельефа поверхности. Каждой комбинации технологических параметров соответствует такая удельная плотность взаимодействий и такой уровень энергии абразивных частиц, которые однозначно определяют как продолжительность периода $t_{Ra_{уст}}$ так и высотные параметры установившегося рельефа, причем последние не зависят от исходной шероховатости. Вышеуказанным условиям удовлетворяет выражение:

$$R_a(t) = (R_a^{исх} - R_{a_{уст}})e^{k_{и}t} + R_{a_{уст}}$$

где $R_a^{исх}$ - среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости поверхности;

$R_{a_{уст}}$ - среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости;

$k_{и}$ - коэффициент интенсивности;

t - время обработки.

Определив $k_{и}$ и $R_{a_{уст}}$ для конкретных условий обработки и подставив в выражение вместо R_a заданное значение этого параметра $R_a^{зад}$ при условии $R_a^{зад} > R_{a_{уст}}$ получим требуемую продолжительность обработки для изменения шероховатости от исходной до заданной.

Расчет значений коэффициента интенсивности для конкретных условий обработки позволяет определить время обработки от исходной до заданной шероховатости поверхности по зависимости:

$$t = -\frac{1}{K_{и}} \ln \left(\frac{R_{а}^{зад} - R_{ауст}}{R_{а}^{исх} - R_{ауст}} \right)$$

Для однозначного определения величины $k_{и}$, учитывая свойства натуральных логарифмов, сделаны следующие допущения: величина $k_{и}$ определяется при $R_{а}^{зад} = 1,2R_{ауст}$; величина $k_{и}$ определяется при $R_{а}^{исх} = R_{а}^{исх ус}$, где $R_{а}^{исх ус}$ - среднее арифметическое отклонение профиля условной исходной шероховатости поверхности; при этом время достижения $R_{а}^{зад}$ близко к времени достижения $R_{ауст}$.

На основании предварительных исследований установлено, что величина $R_{а}^{исх ус}$ должна быть значительно больше, чем $R_{а}^{исх}$. Это позволяет учитывать начальный участок экспоненты и более точно отражает технологические возможности обработки свободными абразивами. При проведении дальнейших расчетов принято $R_{а}^{исх ус} = (8 \div 12)R_{ауст}$ в зависимости от условий обработки.

Время необходимое для достижения установившейся шероховатости, определяется зависимостью:

$$t_{R_{ауст}} = \frac{4 k_{пр}^0 R_{а}^{исх} R^2}{P_1 P_2 f_v V}$$

где P_1 - геометрическая вероятность события, заключающегося в том, что любая точка квадрата упаковки покроеется пятном контакта за один цикл воздействия массы абразивных частиц;

P_2 - вероятность события, заключающегося в том, что взаимодействие абразивной частицы с поверхностью детали приведет к микрорезанию;

$k_{пр}^0$ - объемный коэффициент профиля;

f_v - частота циклов воздействия массы абразивных частиц на поверхность детали;

V - объем металла, удаленного за один удар абразивной частицы;

R - радиус абразивной частицы.

Зависимость для определения $k_{и}$ будет иметь вид:

$$k_{и} = \frac{P_1 P_2 f_v V}{4 k_{пр}^0 R_{а}^{исх ус} R^2} \ln \left(\frac{R_{а}^{зад} - R_{ауст}}{R_{а}^{исх} - R_{ауст}} \right)$$

Учитывая принятые допущения

$$k_{и} = \frac{P_1 P_2 f_v V}{4 k_{пр}^0 R_{а}^{исх ус} R^2} \ln \left(\frac{0,2R_{ауст}}{R_{а}^{исх} - R_{ауст}} \right)$$

Таким образом, рассчитать коэффициент интенсивности однозначно определяемый режимами обработки, зернистостью абразива и материалом детали.

Полученные зависимости позволяют проектировать многоступенчатые технологические процессы обработки свободными абразивами и определять оптимальное время обработки на каждой ступени.

На основании результатов теоретических расчетов сформирован банк данных k_n по методам обработки свободными абразивами (ВиО, ТАО, ЦРО, САО), который используется в САПР ТП многоступенчатой обработки. В рассматриваемой системе САПР ТП наиболее важным ключевым блоком является блок выбора параметров. Именно в этом блоке определяются основные технологические параметры обработки: режимы обработки и время, необходимое для достижения заданных показателей качества. Алгоритм оптимизации расчета количества ступеней и режимов обработки одноступенчатых и многоступенчатых технологических процессов обработки деталей свободными абразивами представлен на рисунке 1. В качестве исходных данных, необходимых для начала расчета вводятся значения исходной и заданной шероховатости поверхности, предел текучести материала и предполагаемые методы обработки.

Затем, согласно условию $R_{a \text{ дет}} \leq R_{a \text{ зад}}^{(IBD)}$ подбираются технологические параметры, обеспечивающие выполнение данного условия обработки, где $R_{a \text{ зад}}^{(IBD)}$ условно заданное среднее арифметическое отклонение заданной шероховатости поверхности.

Подбор производится из исходной базы данных (IBD), где хранится информация о возможных сочетаниях параметров обработки (амплитуда A и частота ω колебаний рабочей камеры, зернистость абразивной среды N_z), а также соответствующие им значения установившейся шероховатости, которые определяют $R_{a \text{ зад}}^{(IBD)}$.

При выборке из исходной базы данных программа формирует рабочую базу данных (RBD), куда вносятся сочетания технологических параметров, удовлетворяющих условию обработки.

В дальнейшем программа работает именно с этой базой данных. Если условию $R_{a \text{ дет}} \leq R_{a \text{ зад}}^{(IBD)}$, не соответствует ни одно сочетание параметров, то обработка невозможна, и программа выдает соответствующее сообщение.

Далее из всех выбранных сочетаний параметров, программой выбираются только те варианты, при которых выполняется условие $R_{a \text{ исх}} \leq R_{a \text{ исх ус}}$, т.е. необходимо чтобы исходная шероховатость поверхности детали была меньше условной исходной шероховатости, определяемой технологическими возможностями конкретного сочетания метода, режимов обработки и зернистости абразивной среды. Для выбранных вариантов рассчитывается время обработки. Рассчитанное время является временем одноступенчатой обработки.

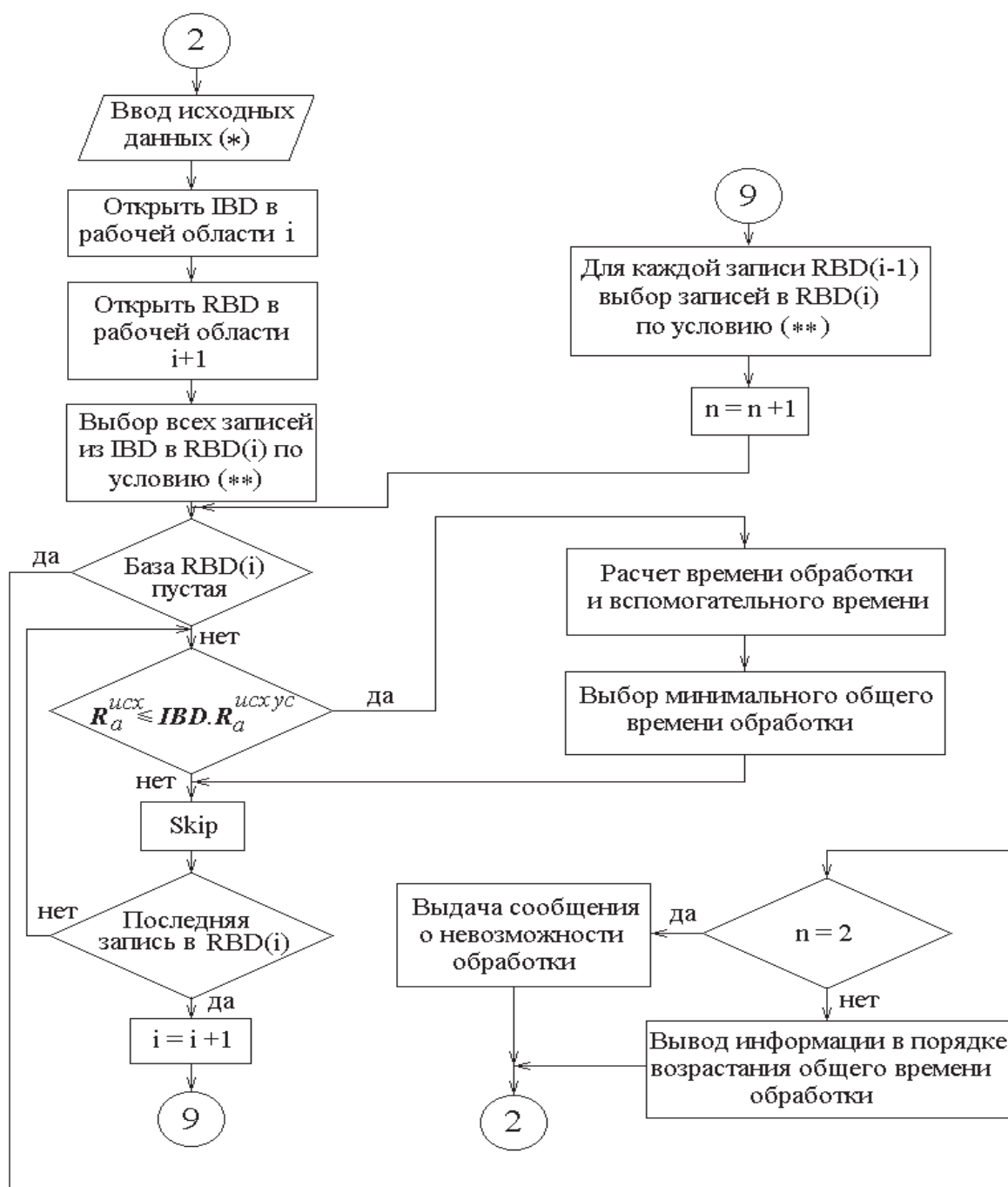


Рис. 1. Алгоритм оптимизации расчета количества ступеней и режимов обработки одноступенчатых и многоступенчатых технологических процессов

Когда условию $R_a^{\text{исх}} \leq R_a^{\text{исх ус}}$ не соответствует ни одно сочетание параметров, т.е. ни одна ТС не может выполнить обработку за одну ступень, необходимость многоступенчатой обработки очевидна. Однако расчет многоступенчатого варианта технологического процесс ведется для всех записей рабочей базы данных, т.к. возможность осуществления

одноступенчатого процесса не отражает оптимальность выбора. Из исходной базы данных по $k_i^N < k_i^{N-1}$, $R_{a \text{ уст}}^{N-1} \nabla R_{a \text{ исх ус}}^N$, $R_{a \text{ уст}}^{N-1} > R_{a \text{ ус}}^N$ выбираются сочетания технологических параметров для N-1 ступени. Вновь выбранные сочетания A, ∇ , N_з, проверяются по условию $R_{a \text{ исх}} \nabla R_{a \text{ исх ус}}^N$. Если условие выполняется, то для выбранных вариантов значений рассчитывается время обработки, с учетом вспомогательного времени. В этом случае обработка будет выполняться за две ступени. Если же условие $R_{a \text{ исх}} \nabla R_{a \text{ исх ус}}^N$ не выполняется, то цикл подбора сочетаний будет продолжаться до его выполнения. Отсутствие выбора параметров обработки предыдущей ступени для всех записей рабочей базы, по выше приведенным условиям является окончанием работы блока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. - Саратов: Изд-во Саратовского университета. 1989. - 320 с.
2. Тамаркин М.А. Оптимизация технологических параметров процесса вибрационной обработки // Совершенствование процессов отделочно-упрочняющей обработки деталей: Межвуз.сб. - Ростов н/Д, 1986. - С.24-28.

УДК 621.9

ИННОВАЦИОННЫЕ КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Алифанов А.Я., к.т.н.

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
им. П.А. Соловьева, тел. (4855) 55-24-67. E-mail: root@rgata.ru

Для производительной механической обработки деталей машин разрабатываются новые комбинированные методы с вводом технологического тока в зону обработки, а также новые инструменты и технологии.

For increase of productivity of details machining the centre «the Combined processing» offers the new combined methods with input of a technological current in a zone of processing, the development of installations new kinds of tools and new technologies are made.

Одним из основных направлений современной технологии машиностроения является совершенствование как традиционных технологических процессов, так и создание новых высокоэффективных, которые осуществляет Российская Академия Наук. Одним из основных направлений для увеличения производительности обработки являются интенсивные комбинированные технологии [1].

Современное развитие машиностроения связано все с большим применением труднообрабатываемых материалов, большая часть из которых имеет низкую производительность при механической обработке. Одним из перспективных направлений новых технологий, позволяющих значительно увеличить производительность обработки, а также стойкость инструментов являются электромеханические методы обработки, сущностью которых является создание искусственного источника тепла в зоне стружкообразования от ввода технологического тока, что, в свою очередь, ведет к снижению контактных нагрузок на переднюю и заднюю поверхности инструмента, увеличению стойкости и производительности обработки в несколько раз [1].

В зависимости от вида обработки и производственных условий выбирается одна из схем подвода технологического тока «один электрод-зона стружкообразования», «два электрода-зона стружкообразования. «два электрода-зона стружкообразования-деталь». Для обработки труднообрабатываемых материалов применяется установка УТМ-I, состоящая из системы управления, силовой электрической цепи, электроконтактного приспособления. На такой установке возможно производить точение, фрезерование и другие виды работ. Большое внимание было уделено разработке новых конструкций инструментов для обработки труднообрабатываемых материалов.

Для ЭМО (электромеханическая обработка) на кафедре «Технология авиационных двигателей и общего машиностроения» РГАТА создана установка, инструменты, оснастка и технология обработки различных деталей. Такая установка работает в комплексе с любым токарным станком и обычно обладает мощностью равной

$$N_y = \left(\frac{1}{2} \cdots \frac{1}{3} \right) N_{cm}, \text{ где } N_y - \text{ мощность установки; } N_{cm} - \text{ мощность}$$

главного привода станка.

Одним из основных элементов установок в электромеханической обработке (ЭМО) являются источники питания, от которых зависит мощность нагрева, габаритные и другие важные характеристики [2].

К источникам питания предъявляются высокие технико-экономические показатели. С другой стороны, источники питания должны обеспечивать конкретные режимы работы – технологические требования, которые определяются технологическими, динамическими свойствами источника питания. Статические свойства источника отражены в его внешней статической характеристике и ее соответствие вольт-амперной характеристики, а динамические свойства источника зависят от изменения технологического тока при изменениях нагрузки во вторичной цепи. К технико-экономическим показателям относятся коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, габаритные

размеры, масса, показатели надежности, технологические и экономические показатели конструкции источников, соответствие правилам безопасности. Электротехническая установка рассчитывается на определенную нагрузку, при которой она работает, не перегреваясь выше установленной нормы. При работе установок при электромеханической обработке (ЭМО) в зависимости от особенности обработки детали различаются три режима работы: продолжительный, переменный, и повторно-кратковременный. Из-за специфики работы на различных станках анализ показывает, что работа установок в основном проходит при переменном режиме работы, который записывается следующим отношением

$$\ddot{I} \% = \frac{t_y}{t_{\text{об}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где t_y и $t_{\text{ум}}$ - соответственно время работы установки и штучное время.

При длительной работе источника происходит нагрев его обмоток, ферромагнитных сердечников и других деталей установки. При работе, например, силового трансформатора нагреваются его обмотки, а магнитопровод трансформатора греется при перемагничивании вследствие гистерезиса и от действия вихревых токов, поэтому при проектировании источников питания необходимо учитывать эти факторы.

Источники питания для ЭМО классифицируются:

по роду тока – на источники постоянного и переменного тока, однофазный и трехфазный ток;

по виду внешних характеристик – на имеющие падающие, пологопадающие жесткие и пологовозрастающие характеристики; по количеству обслуживаемых станков – на одностаночные и многостаночные;

по системам регулирования тока – на регулирование в первичной и вторичной электрических цепях.

Важной особенностью установок является их электрическая характеристика, которая состоит из определения мощности установок электрического тока и напряжения нагрузке, коэффициента мощности установки, мощность, потребляемую из сети определяют из условия равенства тепловой энергии, которая складывается из тепловой энергии необходимой на нагрев металла в зоне стружкообразования до необходимой температуры и тепловых, электромагнитных потерь в установке. Ориентировочно, полная мощность, потребляемая из сети установкой определяется

$$W = \frac{cG_2(\theta_2 - \theta_1)}{\eta_0 \tau \cos \varphi}, \quad (2)$$

где c - теплоемкость нагревательного металла; G_2 – масса металла в зоне стружкообразования; θ_1 и θ_2 – начальная и конечная температура нагрева зоны стружкообразования без тока и с током; η_0 – общий КПД установки;

τ – время нагрева металла; $\cos \varphi$ – коэффициент мощности установки.

Большое внимание уделялось разработке систем управления ЭМО. В результате работы удалось создать несколько систем управления, которые опережают зарубежные системы и запатентованы автором. К установке ЭМО разработаны новые подсистемы инструментов на все виды токарных работ, имеющие высокие экономические показатели.

Для карусельных станков типа 1A5212МФЗ, 1A516МФЗ и спроектированы электроконтактные приспособления и система подвода технологического тока к инструментальным блокам, в которых закреплялся комбинированный инструмент. При этом учитывались минимальные затраты на модернизацию существующего оборудования, удобство подвода тока. Аналогичное оборудование было разработано для различных токарных работ на большой группе токарных станков учитывая простоту конструкции, удобство подвода тока и работу комбинированного инструмента.

При проектировании оборудования для ЭМО определяются; электрические параметры процесса: напряжения и сила тока, плотность технологического тока, которая влияет на размеры токопроводов, выбор их материалов, учитывая наименьшее удельное и контактное сопротивления.

Современный анализ конструкций зарубежных инструментов приводили к выводу, что ни одной из зарубежных машиностроительных фирм в настоящее время еще не разработаны эффективные комбинированные инструменты для ЭМО.

Исключая этот пробел автором была разработана новая классификация резцов для ЭМО, подсистемы инструментов для станков с ЧПУ и обычных - станков. В основу конструкций инструментов был положен модульный принцип, который заключался применительно для токарных резцов в разработке рабочей головки и державки. В рабочей головке закреплялись режущие пластинки и электроды. Рабочая поверхность электродов армируется материалом типа *ВКБМ*, имеющие высокую твердость при нагреве и хорошие электрические характеристики. Такие конструкции позволяют подводить ток большой силы и малого напряжения, что, в свою очередь, дают высокие температуры нагрева.

Совершенствование методов ЭМО происходит при создании эффективного, производительного инструмента для всех видов обработки, как с креплением однокромочных пластин, так и

неперетачиваемых, учитывая при разработке конструкций такие основные качества, как простота конструкции, ее надежность, невысокая стоимость, ремонтпригодность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алифанов А.Я. Электромеханические методы обработки труднообрабатываемых материалов. Первый Всесоюзный съезд технологов-машиностроителей. Тезисы докладов. Бюро Совета Министров СССР по машиностроению, Государственная комиссия Совета министров СССР, Академия наук СССР. – Москва, 1989, 205 с.

2. Романов Д.И. Электроконтактный нагрев металлов. – М.: Машиностроение, 1981 – 168 с.

УДК 621.923.5 (045)

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМЫ ПРИ ХОНИНГОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

М.В. Андреев, к.т.н., А.М. Фирсов, к.т.н., И.В. Боткин, к.т.н.
Бийский технологический институт
Бийск, тел. +7(3854)435302,

Представлен новый способ хонингования и структура системы автоматического управления.

Introduced a new method of honing and structure of the automatic control system.

На сегодняшний день работают сотни и тысячи технических центров, цехов и мастерских по ремонту двигателей по всей России. К сожалению, используемое сегодня повсеместно отечественное оборудование нередко не отвечает тем требованиям к качеству и точности обработки, которым должны удовлетворять станки для ремонта современных двигателей.

В последнее время этот пробел охотно заполняют некоторые фирмы, которые экспортируют в Россию зарубежное станочное оборудование для ремонта моторных деталей в частности хонинговальное оборудование английской компании DELAPENA HONING EQUIPMENT LTD и датской компании AMC-SCHOU. Поэтому уже не первый год остро стоит задача создания отечественного станочного оборудования, отвечающего современным требованиям или превосходящего зарубежные аналоги.

При ремонте деталей двигателя и, в частности, блока цилиндров нет неотвеченных операций, однако финишная обработка особенно важна. Хонингование является именно такой финишной операцией, от

качества и точности которой во многом зависит ресурс работы двигателя. При ремонте блока цилиндров необходимо выдержать целый ряд допусков формы и расположения поверхностей. Расположение и прямолинейность осей цилиндров осуществляется с помощью расточки, а круглость, цилиндричность, формирование микрорельефа и обеспечение определенной структуры металла на поверхности достигается только хонингованием.

Хонингование – отделочная обработка в основном внутренних цилиндрических поверхностей деталей абразивным инструментом в виде брусков, смонтированных на хонинговальной головке.

Абразивные бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности, а сама хонинговальная головка, закрепленная на шпинделе хонинговального станка, совершает вращательное и возвратно-поступательное движения. Принципиально контроль таких параметров, как усилие прижатия брусков к стенкам цилиндра и угол формируемой сетки рисков, реализован на большинстве хонинговальных станков. Если выбор угла сетки – задача относительно простая, сводящаяся к согласованию частоты вращения хонинговальной головки и количества ходов шпинделя в единицу времени, то контроль усилия прижатия брусков значительно сложнее и целиком зависит от опыта оператора.

Весьма ответственной процедурой является контроль геометрии цилиндра во время обработки. При работе на отечественном хонинговальном оборудовании для получения приемлемого результата оператор должен периодически останавливать процесс хонингования для проведения необходимых измерений, что, безусловно, увеличивает время обработки цилиндра, а также обязан постоянно находиться рядом со станком, отслеживая нагрузку прижатия брусков. Другими словами, влияние человеческого фактора на результат работы оказывается весьма серьезным.

Современные хонинговальные станки зарубежных производителей реализуют несколько другой подход. Оператор задает основные параметры, такие как частота вращения хонинговальной головки, количество двойных ходов, усилие прижатия брусков и выставляет ограничения на вертикальное перемещение шпинделя. Затем, задав желаемый съем металла с поверхности цилиндра, оператор должен запустить станок и ждать, когда закончится цикл обработки. Все эти данные сохраняются, и при обработке такого же блока процесс подготовки станка к работе сводится только к установке и фиксации детали, а также к корректировке длины хода хонинговальной головки. Электронный блок управления сам, без участия оператора, проследит за процессом хонингования цилиндра.

Для осуществления автоматического активного контроля предусмотрены два режима, которые при необходимости можно задействовать на любой стадии процесса хонингования – и в начале работы, и на этапе финишной обработки. Суть этих режимов заключается в следующем. Когда контролирующее устройство определяет, что в нижней четверти цилиндра сопротивление хонингованию возрастает более чем на 10% относительно нагрузки в остальной части цилиндра, машина автоматически переключается в режим «короткого хода» или «автоматической задержки». При выборе первого режима хонинговальная головка, не прекращая вращения, совершает десять коротких возвратно-поступательных движений в нижней части цилиндра, затем четыре полных хода, после чего контролирующее устройство еще раз оценивает нагрузки на брусках на всей длине цилиндра и в случае необходимости повторяет этот цикл. При выборе второго режима, при увеличении нагрузки в нижней части цилиндра более чем на 10%, блок управления останавливает поступательное движение хонинговальной головки в нижней части цилиндра на некоторое время, после чего опять же оценивает нагрузку на всей длине и, если требуется, включает режим короткого хода. После того как нагрузка станет приблизительно одинаковой, процесс хонингования возобновится в обычном режиме. И в этом случае оператор не предпринимает никаких действий – автоматика сама контролирует даже чрезвычайные ситуации. Оператор может наблюдать на дисплее панели управления, каков реальный профиль стенки цилиндра в процессе обработки, и при необходимости вносить некоторые коррективы в процесс хонингования.

Однако такая схема осуществления процесса хонингования все же не лишена недостатков.

Во-первых, при хонинговании путь резания проходимый хонинговальными брусками распределен неравномерно по длине отверстия (рис. 1). Если при хонинговании сквозных отверстий это частично компенсируется за счет перебега хонинговальных брусков, то при хонинговании глухих отверстий это приводит к образованию конусности и бочкообразности.

Во-вторых, сегодня во многих ремонтных мастерских экономически не целесообразно применение алмазных брусков, отличающихся повышенной стойкостью и значительной стоимостью. Это объясняется тем, что одни и те же комплекты алмазных брусков не могут использоваться для хонингования отверстий существенно разного диаметра, поскольку алмаз не прирабатывается к поверхности, как обычные керамические бруски. Поэтому для большой номенклатуры двигателей приходится держать большое количество алмазного

инструмента, что окупается только при большой загрузке производства. Поэтому предпочтение отдается абразивным брускам.

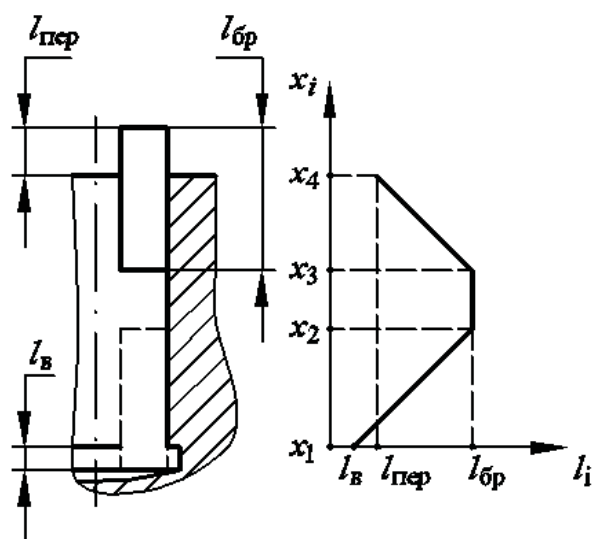


Рис.1. Распределение пути резания по длине отверстия
 $l_{в}$ – длина выточки у дна отверстия; $l_{бр}$ – длина бруска;
 $l_{пер}$ – длина перебега брусков

При хонинговании абразивными брусками погрешность обрабатываемого отверстия приводит к неравномерному износу хонинговальных брусков по длине. Это приводит к низкой интенсивности исправления погрешностей и необходимости периодической правки хонинговальных брусков, что снижает производительность обработки.

Для устранения перечисленных недостатков нами был разработан новый способ хонингования (патент на изобретение RU № 2233216), позволяющий осуществлять независимое перемещение в радиальном направлении верхних и нижних участков хонинговальных брусков. В процессе обработки это позволит сильнее прижимать хонинговальные бруски к обрабатываемой поверхности именно на тех участках отверстия, где необходим более интенсивный съем металла, а также в определенной степени компенсировать неравномерный износ по длине хонинговальных брусков.

Хонинговальная головка (рис. 2), реализующая разработанный способ хонингования состоит из корпуса 1, в осевых пазах которого размещены конусные планки 2 и колодки 3 с абразивными брусками 4. В осевом отверстии корпуса 1 размещен разжимной конус 5 для перемещения верхних участков хонинговальных брусков. В осевом отверстии разжимного конуса 5 размещен разжимной конус 6 для перемещения нижних участков хонинговальных брусков. При обработке

данные конусы получают осевые перемещения от независимых толкателей.

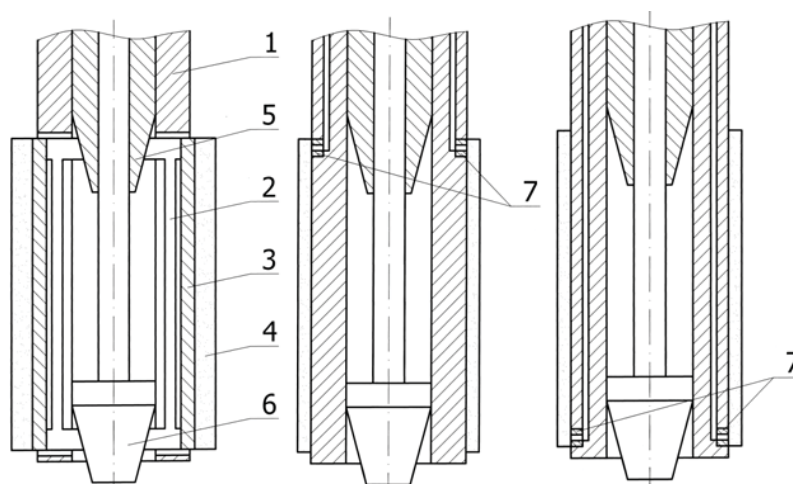


Рис. 2. Хонинговальная головка, реализующая новый способ хонингования

В корпус 1 хонинговальной головки между пазами для колодок с брусками в районе верхнего и нижнего участков хонинговальных брусков, встроены по два измерительных сопла 7, образующих два пневмокалибра. В процессе работы показания измерительных устройств должны использоваться для подачи управляющих сигналов на привод разжима хонинговальных брусков.

Следующим этапом планируется разработка системы автоматического управления точностью формы при хонинговании отверстий (рис. 3), которая сможет обеспечивать управление процессом хонингования на основе прямого контроля, осуществляемого с помощью пневмокалибров.

Использование разработанного способа хонингования и системы автоматического управления точностью формы при создании отечественных хонинговальных станков позволит получить конкурентное преимущество на рынке хонинговального оборудования.

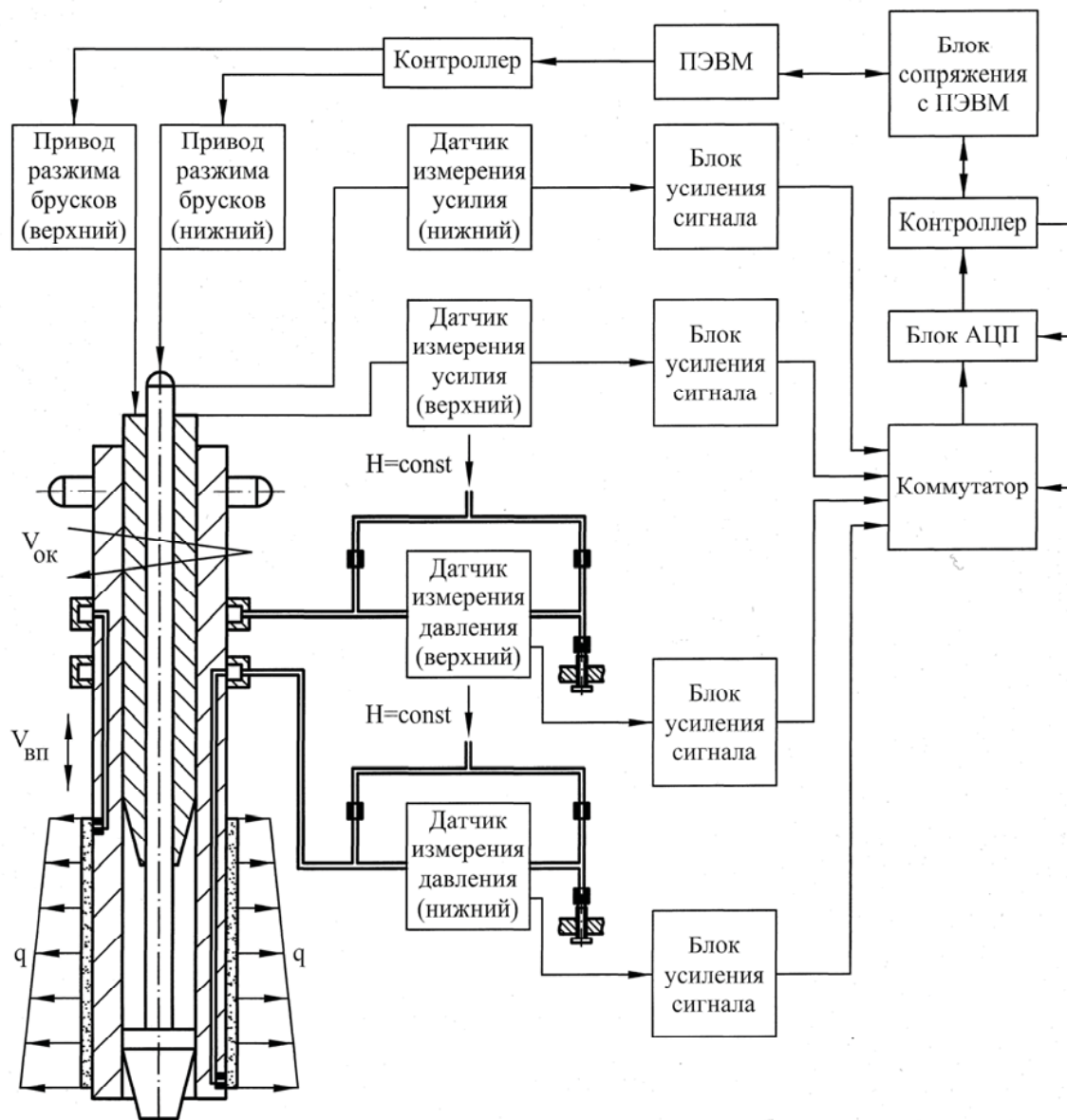


Рис. 3. Структура системы автоматического управления точностью формы при хонинговании отверстий

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на изобретение RU № 2233216. Способ хонингования / Фирсов А.М., Андреев М.В. – Оpub. в Б.И., 2004, № 21.

УДК 621.83.06

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ НЕПОДВИЖНОГО ЭЛЕМЕНТА В КОНСТРУКЦИИ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА ОСНОВЕ ШАРОВОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПЕРЕДАЧИ

А.А. Баськов, аспирант, А.Н. Ромашев, к.т.н., доц..
Бийский технологический институт АлтГТУ
Бийск, тел. +7(3854)435302, факс 435302. E-mail: mrsi@bti.secna.ru

В статье представлен вывод формулы, описывающей траекторию движения центров шариков в передающем узле шаровой планетарной передачи.

In article the conclusion of the formula describing a trajectory of movement of the centers of balls in the transferring knot of spherical planetary transfer is presented.

Современные отечественные машиностроительные предприятия оснащены морально устаревшими и физически изношенным станочным парком, обновление которого ограничивается финансовыми ресурсами. Такое оборудование не обеспечивает режимов обработки, необходимых для применения современного твердосплавного инструмента, рассчитанного на высокие скорости резания, и в первую очередь, влияющего на качество обработки. Отсутствие достаточного количества управляемых координат вынуждает использовать различные приспособления для закрепления заготовки под углом, что приводит к потере времени и точности обработки; малоэффективное охлаждение, или его полное отсутствие снижает стойкость инструмента и производительность обработки. Поэтому рациональное обновление станочного парка в условиях недостаточных финансовых возможностей является на сегодня важной задачей для многих предприятий.

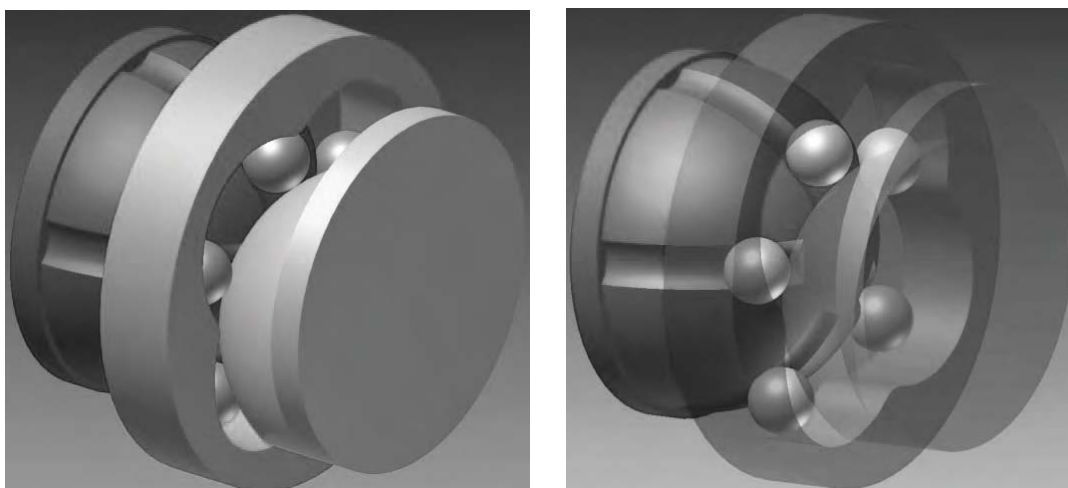


Рис. 1. Трехмерная модель передающего узла шаровой планетарной передачи

В последнее время активно исследуются и развиваются механизмы преобразования движения, в которых используется новый тип механических передач с помощью периодических дорожек качения и промежуточных свободных тел

качения: шариков или роликов. Именно на основе такой передачи [1] предлагается разработка ускорительной головки.

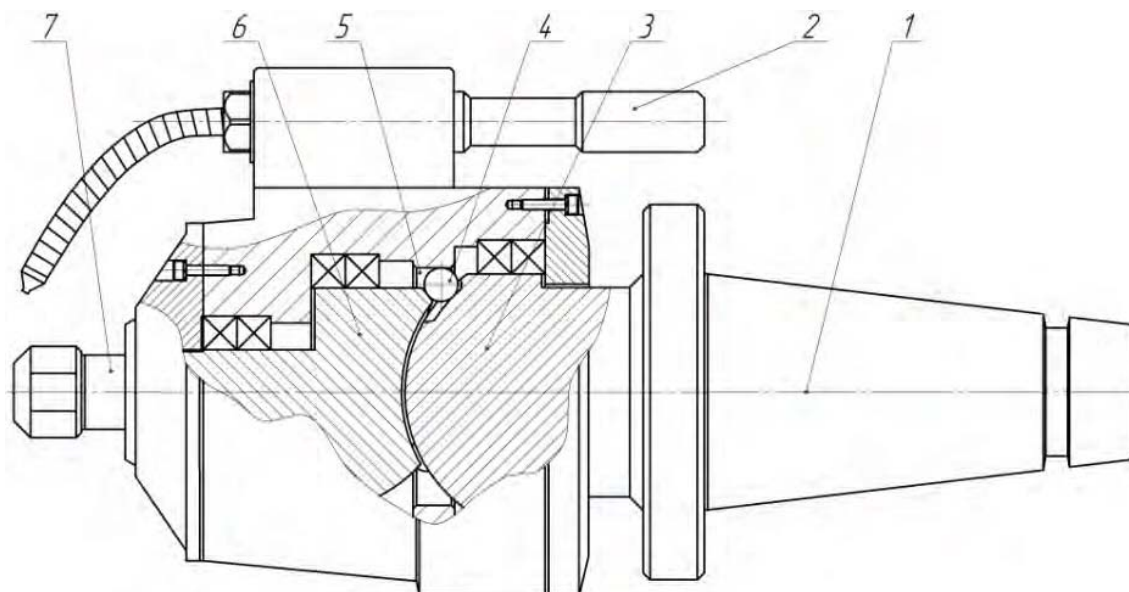


Рис. 2. Ускорительная головка со встроенным передающим узлом шаровой планетарной передачи

Ускорительная головка (рис. 2) на основе данной передачи работает следующим образом: крутящий момент от шпинделя станка подается на входной вал 1 головки, причем фиксатор 2 жестко закреплен с корпусом станка, что обеспечивает неподвижность корпуса головки. Входной вал 1 соединен с полусферой 3, на поверхности которой выполнены торообразные канавки, в которых расположены шарики 4. Шарики в свою очередь упираются в кулачок 5, смонтированный в корпус головки, и эксцентрик 6, представляющий собой полусферу, центр которой смещен относительно оси головки, и соединенный с выходным валом головки 7. За счет особой формы кулачка 5, шарики, обкатываясь по торообразным канавкам полусферы 3 и поверхности неподвижного кулачка 5, заставляют эксцентрик 6 вращаться с большей частотой вращения.

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

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

$$\begin{cases} x = (R + r) \sin \varphi \\ y = (R + r) \cos \theta \cos \varphi \\ z = (R + r) \sin \theta \cos \varphi \end{cases} \quad (1)$$

В треугольнике OO_1B (рис.3): $a^2 = (x + x_1)^2 + e^2$, откуда $x_1 = \sqrt{a^2 + e^2} - x$. Для частного случая, где угол между OA и AB равен 90° , $a = \frac{2}{\sqrt{2}}(R + r)$. Следовательно $x_1 = \sqrt{2(R + r)^2 - e^2} - x$

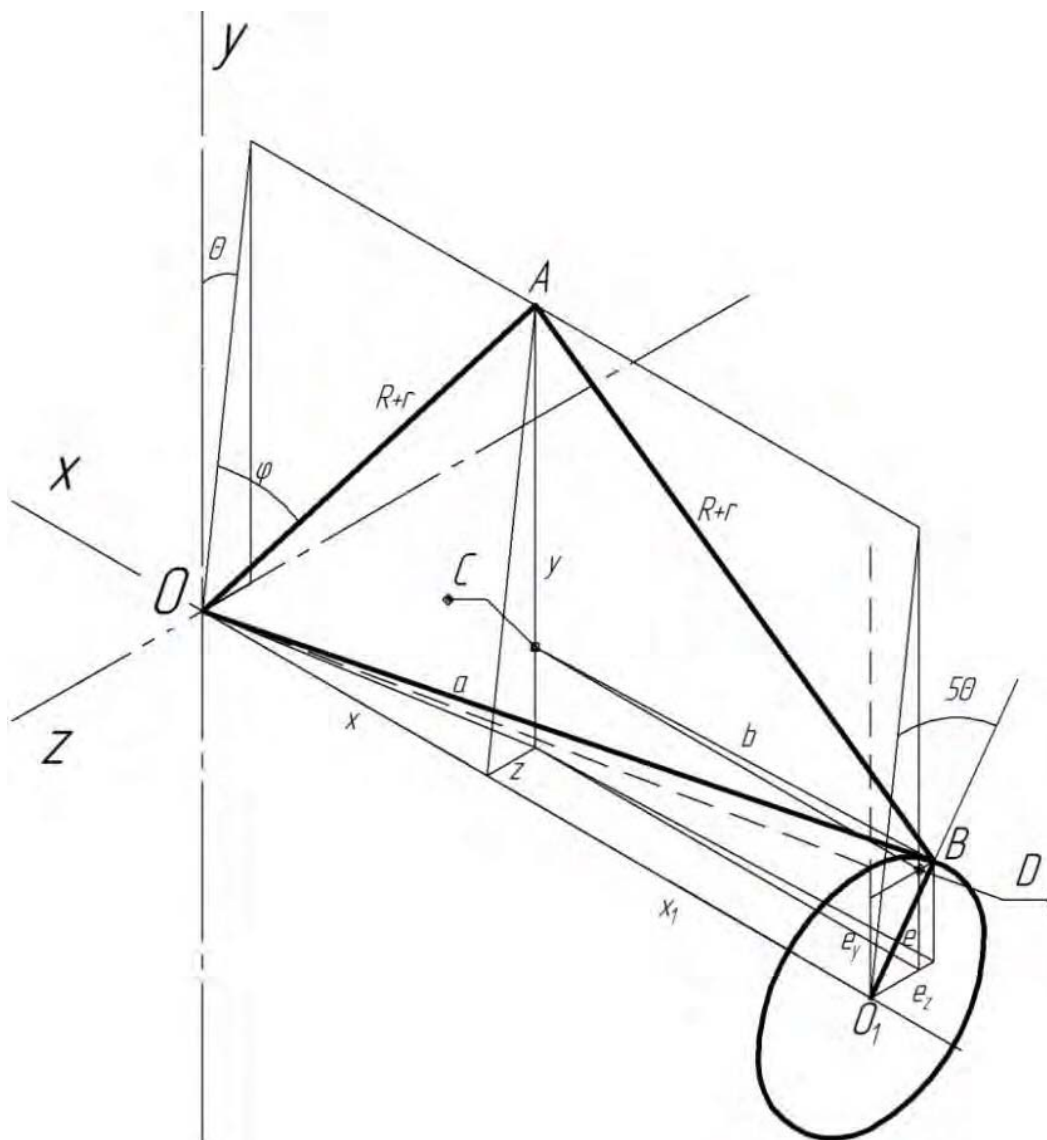


Рис. 3. Схема положения центра шарика

Из прямоугольного треугольника BDC: $b^2 = x_1^2 + (e_z - z)^2$, где $e_z = e \sin 5\theta$, т.е.

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

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

$$b^2 = (R+r)^2 - (y - e \cos 5\theta)^2 \quad (3)$$

Приравняв правые части уравнений (2) (3) и подставляя вместо x, y, z зависимости из системы (1) получаем уравнение:

$$\begin{aligned} (R+r)^2 - \left((R+r) \cos \theta \cos \varphi - e \cos 5\theta \right)^2 = \\ = \left(\sqrt{2(R+r)^2 - e^2} - (R+r) \sin \varphi \right)^2 \\ + (e \sin 5\theta - (R+r) \sin \theta \cos \varphi)^2 \end{aligned}$$

Преобразовав данное выражение, получаем:

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

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

и решая, как квадратное уравнение относительно $\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}$ получаем:

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

Подставляя данное выражение в выражение (1), получаем систему уравнений описывающих траекторию движения центров шариков (рис. 4).

Таким образом, полученная зависимость позволяет определять форму неподвижного элемента, подбирая размеры шариков, полусфер и передаточное отношение.

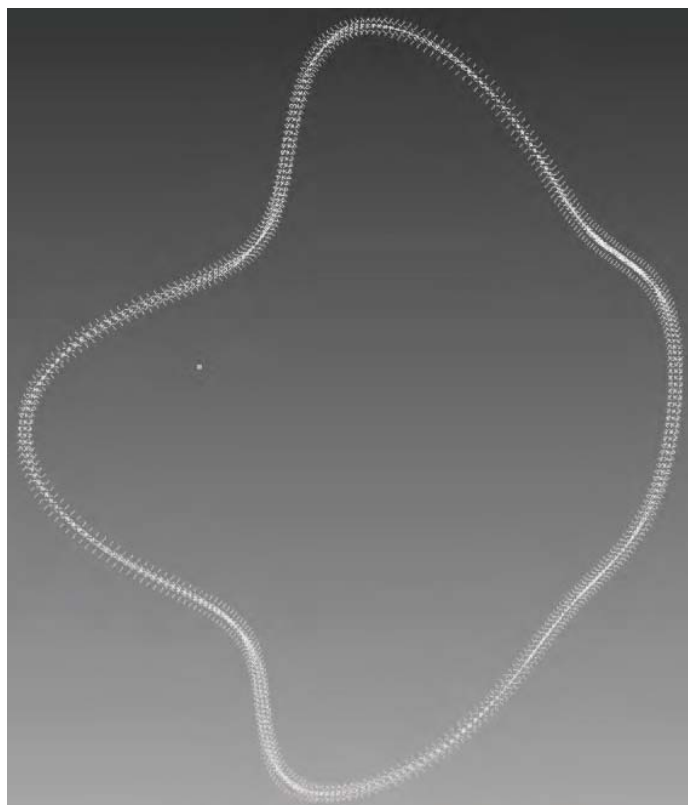


Рис. 4. Траектория движения центров шариков

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU № 105963, 2011 г.

УДК 621.9.02 (045)

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДУЛЬНОЙ ОСНАСТКИ

В.В. Беломыцев, аспирант, А.Н. Ромашев, к.т.н., доцент
Бийский технологический институт АлтГТУ
Бийск, тел./факс +7(3854)435302. E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Предложена методика расчета значений составляющих силы резания для определенного состояния режущих лезвий модульной оснастки, характеризуемого величиной фаски износа по задней поверхности.

The design procedure of values of components of force of cutting for a certain condition of cutting edges of the modular equipment, characterized in the size of a facet of deterioration on a back surface is offered.

В настоящее время наиболее перспективным направлением в использовании режущего инструмента (РИ) считается применение модульной инструментальной оснастки. Характерная особенность систем модульной инструментальной оснастки заключается в том, что сменный режущий элемент представляет собой как бы только рабочую часть обычного резца, а хвостовая (крепежная) часть условно может быть отнесена к вспомогательному инструменту. Такие сменные режущие элементы меньше обычных резцов, но больше сменных многогранных пластин, что позволяет создавать на сменных режущих элементах базовые поверхности, обеспечивающие стабильное и надёжное их закрепление. [1]

Это по сравнению со стандартным РИ позволяет: повысить эффективность работы оборудования, повысить производительность труда, снизить себестоимость механической обработки.

Предлагаемая конструкция [2] включает ряд элементов: корпус, предназначенный для размещения в гнездо револьверной головки и для базирования в нем других конструктивных элементов оснастки; центрирующую втулку, предназначенную для центрирования сменного модуля относительно корпуса; инструментальный модуль, установленный в коническом отверстии центрирующей втулки; тягу, имеющую наклонные прорези для закрепления инструментального модуля.

Для создания усилия закрепления инструментального модуля в данной конструкции использовано устройство на основе механической передачи со свободными телами качения. Зажим сменного блока осуществляется шариками, находящимися в прорезях тяги. Тяга, за счет

наклона прорезей, при перемещении в осевом направлении заставляет шарики перекатываться по канавке на хвостовике инструментального модуля. Форма канавки позволяет шарикам, перекатываясь по прорезям в тяге, из впадин паза в корпусе попадать во впадины паза на хвостовике инструментального модуля. При этом происходит силовое замыкание инструментального модуля с режущим элементом через шарики. После чего сменный инструментальный модуль надежно закреплен.

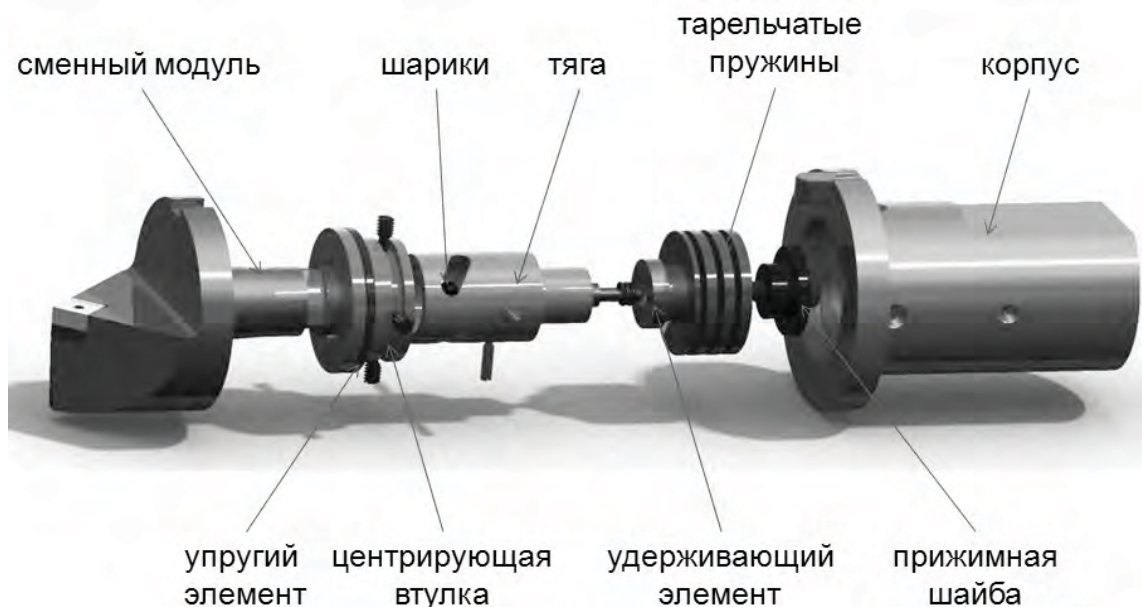


Рис. 1. Конструкция модульной инструментальной оснастки

Широкому применению сменной модульной оснастки препятствует недостаточное изучение развития силовых процессов при ее работе в эксплуатационных условиях. Поэтому актуальной является разработка измерительно-информационных систем, встроенных в ее конструкцию, позволяющих получать измерительную информацию, как для поиска оптимальных конструкций измерительных систем, так и оптимизации режимов резания. Измерительную информацию целесообразно применять также при разработке методик проектирования этапов технологической подготовки производства, обоснованного выбора модульной инструментальной оснастки, математических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь между режимами обработки, конструкцией узла крепления и точностью получаемого размера после обработки.

Системы модульного инструмента открывают большие возможности для внедрения систем автоматического контроля состояния РИ, причем встраивание измерительных устройств в базовую деталь узла соединения модулей позволяет получать оперативную информацию для диагностирования режущих элементов, которая

поступает из непосредственной близости к зоне резания. Такое расположение измерительных преобразователей является оптимальным с позиций обеспечения основных требований для выбора места встраивания датчиков в технологическую систему.

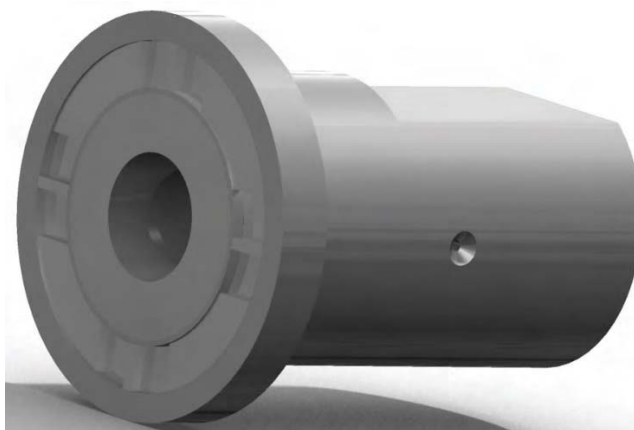


Рис. 2. Место расположения измерительного модуля

Для выбора базовой конструкции встроенного измерительного модуля проводилось моделирование силовых процессов в модульной инструментальной оснастке. Методика проведения моделирования включала анализ полей деформации во внутреннем объеме инструментальной оснастки с учетом усилия прижатия инструментальной оснастки к корпусу, а также различных значений силы резания и направлений ее действия в пространстве [3]. Результаты моделирования позволили обосновать конструкцию упругого элемента, зоны размещения тензорезисторов, их геометрические параметры с учетом ограничений на предельные перемещения модульной оснастки при ее работе [4-5].

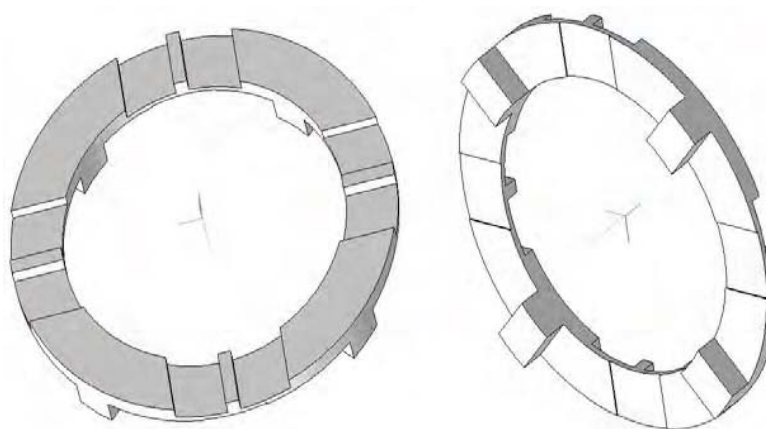


Рис. 3. Внешний вид измерительного модуля



Рис. 4. Расположение тензорезисторов на измерительном модуле

Нами предложена методика расчета значений составляющих силы резания для определенного (детерминированного) состояния лезвия резца, характеризуемого величиной фаски износа по задней поверхности. Эта методика разработана на основе учета изменения фактической геометрии режущей части инструмента при его износе по задней поверхности [6] и сейчас реализована с помощью современных программных и аппаратных средств.

Определение значений силовых параметров для детерминированного состояния лезвия резца выполняется на основе теоретического моделирования процесса обработки, при использовании вместо изношенного по задней поверхности резца острого, при обеспечении одинакового положения передних поверхностей острого и изношенного резца. Другими словами, необходимым условием теоретического моделирования является равенство кинематических передних углов инструментов в процессе резания, т.е. $\gamma_{ки} = \gamma_{ко}$.

Изменение всех составляющих силы резания происходит из-за изменения сил, действующих на рабочие поверхности инструмента вследствие его износа, поэтому в качестве критерия, характеризующего состояние лезвия инструмента, примем соотношение нормальных сил, действующих на заднюю и переднюю поверхности лезвия.

Значения нормальных сил определяются через составляющие силы резания P_z и P_y из следующих выражений [7]:

$$N_s = \frac{P_y \cdot (\sin(\delta) + \mu \cdot \cos(\delta)) - P_z \cdot \mu \cdot \sin(\delta) + P_z \cdot \cos(\delta)}{\sin(\delta) - \mu^2 \cdot \sin(\delta) + 2 \cdot \mu \cdot \cos(\delta)}; \quad N_n = \frac{(P_z - \mu \cdot N_s)}{\sin(\delta) + \mu \cdot \cos(\delta)},$$

$$\text{где } \sin(\delta) = \sqrt{1 - \frac{\sin^2(\gamma_k)}{\cos^2(\eta) \cdot \cos^2(\varepsilon)}}$$

Выражения для определения значений нормальных сил позволяют рассчитывать значения этих сил в зависимости от величины составляющих силы резания и условий обработки. Под последними,

имеются ввиду режимы резания, определяющие кинематику процесса, а именно, значение кинематического переднего угла γ_k , и условия трения инструментального и обрабатываемого материалов. По выше приведенным выражениям значения нормальных сил рассчитываются для определенного состояния РИ, так как для каждого состояния свойственно свое значение кинематических геометрических параметров, и поэтому соотношение W нормальных сил, действующих на заднюю и переднюю поверхности, будет характеризовать данное состояние РИ.

Величину критерия W_i для каждого состояния РИ определим следующим образом:

$$W_i = \frac{N_{zi}}{N_{ni}},$$

где N_{zi} и N_{ni} – значения нормальных сил.

Для вычисления значений силовых параметров процесса резания при заданных условиях обработки разработан алгоритм, реализующий математическую модель расчета значений силовых параметров для детерминированного состояния лезвия резца. Этот алгоритм позволяет определять значения составляющих силы резания, значения нормальных сил, действующих на переднюю и заднюю поверхности лезвия и значения критерия W_i в зависимости от конкретных величин износа по задней поверхности используемого инструмента в пределах заданной нормы износа, допустимой по нормативам. Кроме того, на основе рассчитанных значений возможно осуществление выбора величины оптимального износа для заданных условий обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Н. Григорьев, М.В. Кохомский, А.Р. Маслов. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник/ Под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2006 – 544 с.: ил.
2. Патент RU № 97662, 2010 г.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Под ред. Подебри. – М.: Мир, 1975. – 541 с. .
4. Базжин Ю.М. Исследование и разработка электротензометрических силоизмерительных датчиков высокой точности для промышленного контроля: Дис. канд. техн. наук. – М., 1964. – 181 с.
5. Абанин В.А., Ромашкин Р.Н, Игнатьев Ю.А. и др. Тензорезисторные датчики силы повышенной точности // Приборы и системы управления. – 1999. – №12. – С.25–28.
6. Ромашев А.Н. Резцы со встроенными измерительными устройствами для диагностирования их лезвий в процессе резания: Дис. канд. техн. наук. – М., 1987. – 186 с.
7. Вульф А.М. Резание металлов. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1973. – 496 с.

УДК 614.844.2(043.2)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА СБОРКИ СПРИНКЛЕРНОГО ОРОСИТЕЛЯ

А. А. Демин

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И. И.
Ползунова

Бийск, тел. +7(3854)435304. E-mail: presskov@mail.ru

Приводятся результаты численных и экспериментальных исследований процесса сборки спринклерного оросителя с использованием пластически деформируемых элементов, позволяющие повысить качество и производительность сборочного процесса.

The results of numerical and experimental studies of the assembly process with the use of sprinklers plastically deformable elements that improve quality and productivity of the assembly process.

В конструкции спринклерного оросителя, предназначенного для систем автоматического пожаротушения, используется резьбовой упор (винт) 1, который необходим для фиксации термоколбы 2. Винт при сборке должен сжать тарельчатую пружину 3 с усилием, необходимым для обеспечения герметичности оросителя. При этом усилие не должно превысить усилия разрушения термоколбы 2. Таким образом, сборка оросителя может производиться только с помощью инструмента, позволяющего контролировать момент затяжки резьбового соединения, что в условиях серийного производства снижает производительность.

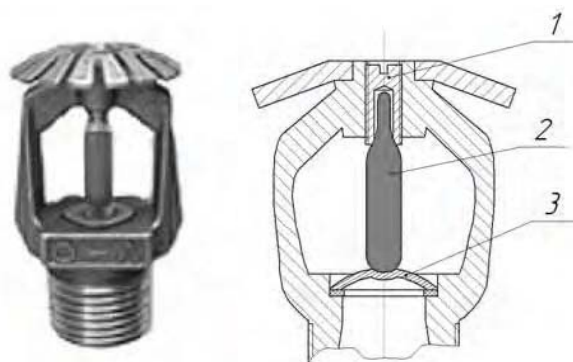


Рис. 1. Спринклерный ороситель

С целью автоматизации процесса сборки и повышения производительности ЗАО «Спецавтоматика» (г. Бийск) было

предложено [1] использовать вместо резьбового соединения, прессовое соединение элементов оросителя пластически деформируемым колпачком. Проведенные испытания показали низкое качество сборки, заключающееся в том, что после запрессовки колпачка колба под воздействием тарельчатой пружины смещала колпачок в осевом направлении на 0,2-0,5мм и это приводило в 10% случаев к разгерметизации спринклера.

С целью повышения качества сборки (надежности крепления колпачка в корпусе оросителя) проведены численные и экспериментальные исследования по определению оптимальных геометрических параметров, выбору материала и термообработки колпачка, а также усилия запрессовки колпачка, обеспечивающего 100% целостность термоколбы.

Численные исследования процесса запрессовки колпачка в корпус оросителя проводились с использованием конечно-элементной программы LS-DYNA. Данная задача является контактной, упругопластической, нелинейной, требующей учета больших перемещений и деформаций. Модель включала в себя более 5000 конечных элементов. Для повышения точности искомых параметров колпачка применялась полная адаптивная перестройка его конечно-элементной сетки. Поскольку деформациями корпуса и колбы можно было пренебречь, они считались недеформируемыми и для них использовался абсолютно жесткий тип материала. Для описания поведения материала колпачка использовалась изотропная кинематически упрочняющаяся упругопластическая билинейная модель материала. Оптимальные механические характеристики материала колпачка определялись методом перебора в диапазоне, который указан в таблице 1.

Таблица 1

Механические характеристики материала колпачка

σ_T , МПа	50...550
ρ , кг/м ³	2700...8500
E, МПа	1,05...2,1×10 ⁵
E*, МПа	100...1000
μ	0,28...0,36

В исследованиях использовались три конструктивных формы колпачка (рис. 2) – с постоянной толщиной стенки (а), которая уже известная из патента [1] и предлагаемые варианты конструктивного исполнения колпачка. Предлагаемые варианты были выбраны исходя из анализа недостатков уже существующей формы колпачка, поэтому

колпачки были выполнены со ступенчатым изменением внешнего и внутреннего диаметра при сохранении постоянной толщины стенки (б) и с переменной толщиной стенки (в).

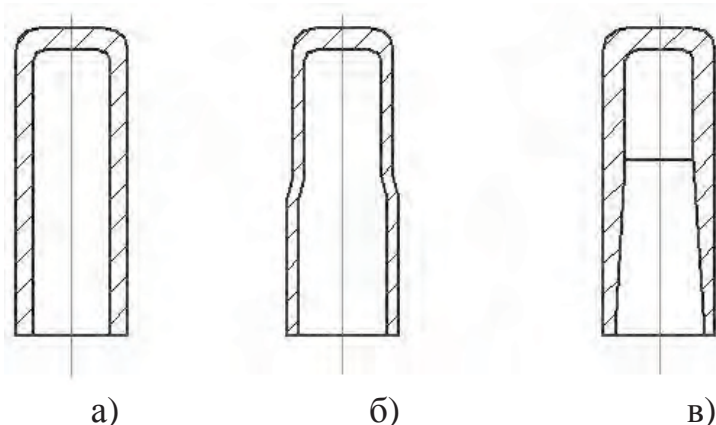


Рис. 2. Колпачки

В результате моделирования сборочной операции, при использовании колпачка имеющего цилиндрический профиль (рис. 2а), была получена не удовлетворительная надежность соединения элементов головки спринклерного оросителя (рис. 3).

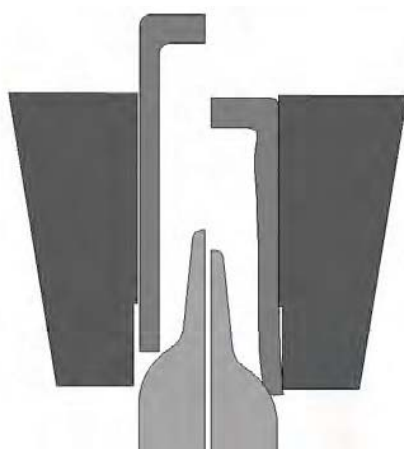


Рис. 3. Запрессовка колпачка с постоянной толщиной стенки

Это проявлялось в том, что после снятия усилия действующего на колпачок со стороны пуансона, колба под воздействием тарельчатой пружины смещала колпачок вверх на 0,2-0,5мм и это приводило в 10% случаях к разгерметизации спринклера. Достоверность компьютерной модели проверялась путем ее сопоставления с физически проведенным экспериментом.

При моделировании сборки элементов спринклера (рис. 4) с использованием колпачка имеющего ступенчатое изменение внешнего и внутреннего диаметра при сохранении постоянной толщины стенки

(рис. 3б), а затем его экспериментальной проверке в 100% случаях не зависимо от механических свойств материала колпачка, надежного соединения элементов головки спринклерного оросителя – получить не удалось. Причиной брака, в этом случае, послужило значительное колебание продольного размера термоколбы (согласно документации, погрешность высоты при изготовлении колбы составляет до 1 мм). В процессе такой сборочной операции «плечо» колпачка не совпадало с выступом в корпусе, что приводило к возвратному смещению колпачка после прекращения силового воздействия на него со стороны пуансона.

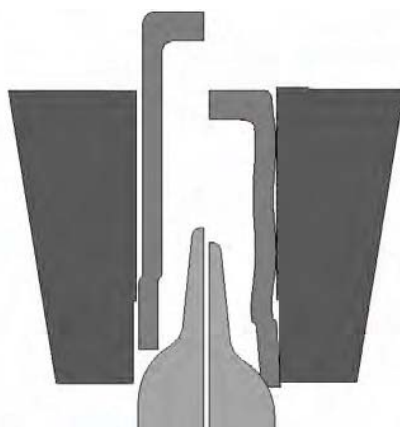


Рис. 4. Запрессовка колпачка со ступенчатым изменением внутреннего и наружного диаметров

Проверка надежности соединения (рис. 5) элементов головки спринклерного оросителя с использованием колпачка, имеющего внутренний конический профиль (рис. 3в), привела к положительному результату. Так как отход колпачка после снятия усилия не превышал 0,07мм, а усилия действующие на термоколбу в течение всей сборочной операции не превышало 2кН. Это позволило сохранить целостность колбы и в то же время достигнуть герметичности соединения. При этом механические характеристики материала колпачка, подобранные в результате моделирования, соответствовали отожженной латуни Л68.

Таким образом, в результате использования численного моделирования удалось получить надежное соединение элементов спринклерного оросителя, избежав при этом изготовления большей части штамповой оснастки. При этом замена резьбового соединения на соединение элементов головки спринклерного оросителя пластически деформируемым колпачком значительно упростила конструкцию спринклера и сократила время механосборочных операций.

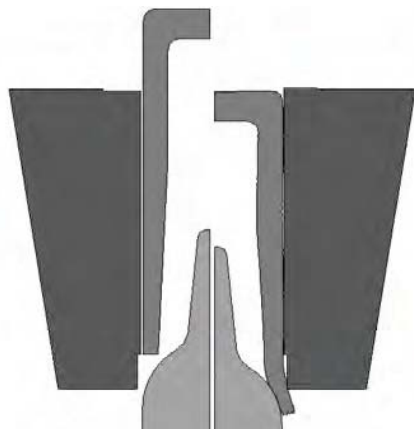


Рис. 5. Запрессовка колпачка с переменной толщиной стенки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент на полезную модель 2007118168/22 «Спринклерный ороситель»

УДК 621.922.025

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОДНОРОДНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ АБРАЗИВНЫХ ЗЁРЕН НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОТРЕЗНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

Г.М. Дубов, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-51. E-mail: nikokem@mail.ru

Исследован путь повышения эффективности отрезного шлифования на основе установления влияния формы шлифовальных зёрен на эксплуатационные показатели работоспособности отрезных шлифовальных кругов. В частности, установлены и изучены зависимости интенсивности съёма металла, объёмного износа, эффективной мощности, затрачиваемой на шлифование, теплонапряжённости процесса отрезки и коэффициента шлифования от формы шлифовальных зёрен в отрезных кругах. Разработаны математические модели, адекватно отражающие установленные зависимости. Приведены рекомендации по улучшению эксплуатационных показателей отрезных шлифовальных кругов и повышению эффективности отрезного шлифования.

The influence of grinding grains' form on operating characteristics of efficiency of detachable grinding wheel was examined. In particular, the following phenomena were determined and studied: the dependences of metal-removing action intensity, solid wear, effective power spent on grinding, heat intensity of cutoff process and grinding index from grinding grains' form in detachable grinding wheels. Mathematic models that sufficiently reflect the determined dependences were developed. The guidelines for improving the operating characteristics of detachable grinding wheels were given.

Анализ показывает, что при работе отрезного круга лишь часть микрорежущих элементов – абразивных зёрен, находящихся в его структуре и имеющих благоприятную геометрию, активно участвует в процессе резания, изнашиваясь по площадке или микроскалываясь. Остальные же зёрна практически не работают, выкрашиваясь и вылетая из связки, не срезая металл. Это, наряду с другими факторами, предопределяется тем, что зёрна нормального электрокорунда, используемые при изготовлении отрезных кругов на бакелитовой связке, несмотря на одинаковый номер зернистости, имеют произвольную конфигурацию, и, как следствие, неоднородную форму [1]. В связи с этим, представляется, что одним из перспективных путей повышения эффективности отрезного шлифования может стать подбор оптимальной и однородной формы, и, как следствие, геометрии шлифовальных зёрен, используемых при изготовлении отрезных кругов.

Для проверки этой гипотезы, в лаборатории «Резание металлов» КузГТУ, был произведён рассев исходной массы шлифовальных зёрен нормального электрокорунда 13А63, по признаку формы на модернизированном вибрационном сепараторе [2]. Оценка формы рассеянных на вибрационном сепараторе шлифовальных зёрен осуществлялась с помощью программы "Zerno" [3], которая позволяет количественно оценить форму и геометрические параметры шлифовальных зёрен различных марок и зернистостей. А именно, изображения (рис. 1), предварительно отсканированных на планшетном сканере шлифовальных зёрен, в количестве не менее 100 штук из каждой ячейки вибрационного сепаратора, заносились в программу "Zerno", которая в автоматическом режиме определяла коэффициент формы (K_ϕ) шлифовальных зёрен, в виде отношения диаметров описанных (D_{on}) и вписанных окружностей (D_{en}) в проекции контура рассматриваемых зёрен.

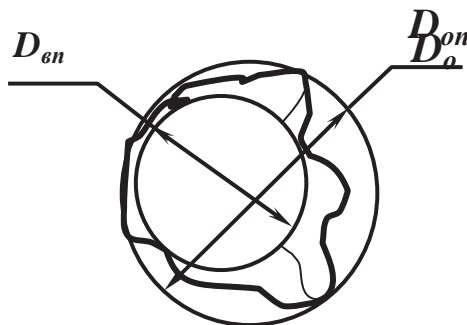


Рис. 1. Коэффициент формы шлифовального зерна

На основе отсортированных и идентифицированных по форме шлифовальных зёрен изготовлена партия экспериментальных отрезных

кругов 230x3x22 13A63H [K_ф] СТЗ БУ, содержащих в своей структуре зёрна следующих разновидностей форм: изометрической – со средним значением коэффициента формы $K_{\phi} \approx 1,2$; промежуточной – со средним значением $K_{\phi} \approx 1,6$; игольчатой (пластинчатой) – со средним значением

$K_{\phi} \approx 2,2$. Для обеспечения сопоставимости проводимых испытаний, на том же оборудовании и в тех же условиях, изготовлена также контрольная партия отрезных кругов из зёрен, не подвергавшихся предварительному рассеву по форме со средним значением коэффициента формы $K_{\phi} \approx 1,75$.

Изготовленные экспериментальные отрезные круги прошли стандартные испытания для готовой абразивной продукции, в результате которых было установлено, что они полностью соответствуют требованиям, предъявляемым ГОСТ 21963 – 82 к данному типу инструмента.

Для оценки работоспособности экспериментальных отрезных кругов разработана специальная методика [4] а также спроектирован и создан испытательный комплекс, базой для которого послужил универсально – заточной станок 3А64Д.

Работоспособность экспериментальных отрезных кругов оценивалась на основе следующих показателей:

1. Производительность (Q_m) – интенсивность съёма металла, представляющая собой отношение произведения объёма снятого материала заготовки (V_m) на её плотность (ρ_m) ко времени обработки (τ):

$$Q_m = \frac{V_m \rho_m}{\tau}; \quad (\text{г/мин}) \quad (1)$$

2. Коэффициент шлифования ($K_{ш}$), выражающийся отношением массы снятого материала заготовки ($M_з$) к израсходованной за то же время массе отрезного круга ($M_к$):

$$K_{ш} = M_з / M_к; \quad (2)$$

3. Износ отрезного круга (ΔU), определяемый как масса израсходованного материала круга ($M_к$) за определённое время работы (t), или определённое количество проходов (n) выполненных одним кругом:

$$\Delta U = M_к / t(n); \quad (\text{г}) \quad (3)$$

4. Эффективная мощность (W_e) затрачиваемая на шлифование, вычисляемая как произведение напряжения (V) на разность токов рабочего ($I_{р.х.}$) и холостого хода ($I_{х.х.}$):

$$W_e = V \times (I_{p.x.} - I_{x.x.}); (Bm) \quad (4)$$

5. Температура в зоне резания ($T^{\circ}C$).

Для испытаний использовался круглый прокат в состоянии поставки из следующих марок сталей: 12X18H10T; ШХ 15; Сталь 10. Диаметр обрабатываемых заготовок составлял 20 мм, длина 300 мм. Испытания проводились на скоростях 60 – 80 м/с с постоянным усилием прижатия инструмента к детали.

В результате проведённых экспериментов установлено, что при изменении формы шлифовальных зёрен, находящихся в структуре инструмента, от изометрической до игольчатой разновидности, интенсивность съёма металла (Q_m) в единицу времени возрастает в среднем на 20 % при обработке всех марок сталей. Увеличение твёрдости обрабатываемой заготовки с HB 107 до HB 229, приводит к снижению на 30 % интенсивности съёма металла (Q_m), в зависимости от формы шлифовальных зёрен, находящихся в структуре отрезного круга. Анализ полученных данных свидетельствует также о том, что при повышении скорости резания (V_p) с 60 до 80 м/с интенсивность съёма металла (Q_m) возрастает в среднем на 50 %, в зависимости от формы зёрен в опытных образцах отрезных кругов.

Зависимость $Q_m = f(K_\phi, V_p)$ достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$Q_m = 1,3211 + 5,72 \cdot 10^{-1} V_p - 1,6674 \cdot 10 \frac{1}{K_\phi}; \quad (5)$$

При оценке коэффициента шлифования ($K_{ш}$), установлено, что он возрастает в 1,75 – 2 раза, при переходе от кругов с игольчатой формой зерна к кругам с изометрической разновидностью шлифовальных зёрен, а по отношению к стандартному кругу ($K_\phi \approx 1,75$) этот показатель возрастает в 1,7 раза. Причём, при обработке более твёрдой стали наблюдается снижение значения ($K_{ш}$) в 1,3 раза при работе всеми видами опытных образцов отрезных кругов. С повышением скорости резания (V_p) коэффициент шлифования ($K_{ш}$) возрастает в среднем на 15 %, для всех разновидностей зёрен в экспериментальных кругах.

Зависимость $K_{ш} = f(K_\phi, V_p)$ достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$K_{ш} = -2,8059 + 2,4 \cdot 10^{-2} V_p + 8,0077 \frac{1}{K_\phi}; \quad (6)$$

Износ (ΔU) отрезных кругов связан с коэффициентом шлифования ($K_{ш}$), поэтому при переходе от изометрической формы зерна ($K_\phi \approx 1,2$) к игольчатой разновидности ($K_\phi \approx 2,2$) объёмный износ (ΔU) возрастает в 1,75 – 2 раза. Увеличение твёрдости обрабатываемой заготовки

приводит к пропорциональному повышению износа инструмента. При повышении скорости резания (V_p) с 60 до 80 м/с, интенсивность износа (ΔU) отрезных кругов снижается на 15 %.

Зависимость $\Delta U = f(K_\phi, V_p)$ достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$\Delta U = 1,6647 \cdot 10^2 - 4,5725 \cdot 10^{-1} V_p - 1,2027 \cdot 10^2 \frac{1}{K_\phi}; \quad (7)$$

При установлении взаимосвязи между эффективной мощностью (W_e), затрачиваемой на шлифование и коэффициентом формы шлифовального зерна (K_ϕ), выявлено, что переход от работы кругами с изометрической формой зерен к кругам с игольчатой разновидностью зёрен, как показали результаты исследований, сопровождается ростом на 15% эффективной мощности (W_e), затрачиваемой на шлифование. При увеличении твёрдости обрабатываемой заготовки эффективная мощность (W_e) снижается на 11%, в зависимости от типа используемого инструмента. С увеличением скорости резания с 60 до 80 м/с эффективная мощность (W_e), затрачиваемая на шлифование, возрастает в среднем на 35 – 40% .

Зависимость $W_e = f(K_\phi, V_p)$ достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$W_e = 1,0661 \cdot 10^2 + 1,553 \cdot 10 V_p - 3,4499 \cdot 10^2 \frac{1}{K_\phi}; \quad (8)$$

Как показали проведённые исследования, при увеличении твёрдости обрабатываемой заготовки, а также при переходе от зёрен игольчатой формы ($K_\phi \approx 2,2$) к зернам изометрической разновидности ($K_\phi \approx 1,2$) температура обрабатываемой заготовки в зоне резания в процессе отрезки, возрастает в среднем на 15 – 20 %.

Зависимость $T^{\circ}C = f(K_\phi)$ достаточно адекватно описывается выражением вида:

$$T^{\circ}C = 181,4795 + 0,6681 HB + 1,7561 \cdot 10^2 \frac{1}{K_\phi}; \quad (9)$$

Таким образом, проведённые исследования показали, что довольно существенно повысить эффективность отрезного шлифования можно путём повышения однородности формы зернового состава. Причём, если критерием эффективности отрезной операции является повышенная производительность и качество отрезки заготовок, то достичь желаемого эффекта можно путём изготовления кругов из зёрен с большими значениями коэффициентов формы (игольчато-пластинчатых). Если же более важным при отрезке является показатель расхода (износа) инструментов, то при их изготовлении целесообразно применять зёрна с малыми значениями коэффициентов формы (изометрические).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков А.Н., Дубов Г.М. Повышение работоспособности отрезных шлифовальных кругов // Монография / ГУ КузГТУ, Кемерово, 2005. – 155 с.
2. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Баштанов В.Г. Вибрационный сепаратор. Патент РФ № 2248851. Опубл. 27.03.2005. Бюл. № 09
3. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Шатько Д.Б. Оценка формы шлифовальных зёрен.//II Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы повышения эффективности металлообработки на современном этапе»; Обработка металлов - №2 (23). - Новосибирск, 2004. – С. 43 – 44
4. Коротков А.Н., Дубов Г.М., Баштанов В.Г. Универсальная методика оценки эксплуатационных показателей отрезных шлифовальных кругов // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении. Труды региональной научно - практической конференции. Филиала ТПУ. Юрга, 2002. – С. 85 – 86.

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Иконников А.М., к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет
им И.И. Ползунова
Барнаул, тел. +7(3852) 66-62-39. E-mail: iamagtu@mail.ru

В статье рассмотрена возможность применения магнитно-абразивной обработки на финишных операциях при изготовлении формообразующего инструмента.

In article possibility of application of magnitno-abrasive processing on finishing operations at manufacturing of the form-building tool is considered.

Вопросы повышения качества поверхностей деталей машин и приборов актуальны в настоящее время, так как качество поверхности играет существенную роль в долговечности изделий, надежности их работы, конкурентно способности.

Возрастающие и расширяющиеся требования к поверхностям вызывают потребность совершенствовать и создавать новые способы, расширяющие возможности отделочных и упрочняющих технологий. Разрабатываются новые способы нанесения покрытий (плазменного и ионно-плазменного напыления, ионной имплантации, методы поверхностного легирования), высокоэнергетические методы (электромеханическая обработка, обработка мощными импульсами тока и лазерное упрочнение), совершенствуются процессы пластичного поверхностного деформирования (обработка шариком, алмазное выглаживание, фрикционное упрочнение, ультразвуковое упрочнение), методы обработки абразивом на гибкой связке (обработка свободным

абразивом уплотненным инерционными силами, струйно-ударная обработка, виброабразивная обработка и магнитно-абразивная обработка) и др. Одним из прогрессивных способов повышения высокого качества поверхности является технология магнитно-абразивной обработки, которая широко применяется при доводки инструмента.

В процессе магнитно-абразивной обработки обрабатываемый материал подвергается не только механическому абразивному воздействию, но также воздействию переменного магнитного поля, которое благоприятно отражается на эксплуатационных свойствах поверхностного слоя изделия.

Опыт применения магнитно-абразивной обработки при изготовлении инструмента подтвердил перспективность этого метода. Магнитно-абразивная обработка режущего инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава, позволяет повысить стойкость в 2-3 раза за счет уменьшения приработки инструмента, увеличение микротвердости поверхности рабочей части, уменьшения коэффициента трения.

Анализ литературных источников выявил отсутствие рекомендаций по обработке материала стали марки 6ХЗМФС. Для определения зависимостей влияния технологических факторов на параметры качества были проведены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования магнитно-абразивной обработки пуансонов роторных линий выявили следующие: с увеличением времени обработки шероховатость обработанной поверхности уменьшается, и увеличивается по мере увеличения рабочего зазора, с увеличением времени обработки, зернистости порошка микротвердость поверхности увеличивается, и уменьшается по мере увеличения рабочего зазора, с увеличением времени обработки и рабочего зазора производительность уменьшается, и увеличивается по мере увеличения зернистости порошка.

Полученные математические модели при обработке экспериментальных данных позволяют рассчитать оптимальные технологические факторы (время обработки, высота рабочего зазора и зернистость порошка) по заданным параметрам качества и производительности.

Промышленные испытания подтвердили результаты исследований. Разработанная технология изготовления формообразующих инструментов для роторных линий внедрена в ОАО «Барнаульский станкостроительный завод».

УДК 621.359.4

ПРОДОЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Ю.М. Кайгородов, к.т.н.

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. (384-2) 39-63-63. E-mail: kaigorodov1937@mail.ru

Рассмотрены научные и технические аспекты применения продольных электрогазодинамических установок.

Addressed scientific and technical aspects of the longitudinal plants electrogasdynamics.

Защита воздушного бассейна от загрязнений промышленными выбросами во всех странах является одной из важнейших проблем. В настоящее время самым эффективным средством для улавливания загрязнений являются электрогазодинамические установки (ЭГД-установки), более известные как электрофильтры.

Согласно законодательству на таких объектах как тепловые электростанции, цементные заводы в обязательном порядке устанавливаются электрофильтры.

В электрофильтрах очистка газов от взвешенных твердых или жидких частиц происходит под действием электрических сил. Для этого частицам сообщается электрический заряд, и они под действием электрического поля осаждаются на осадительных электродах. Зарядка частиц происходит в поле коронного разряда, который возникает при подаче высокого напряжения на электроды, один из которых (коронирующий) выполнен в виде острия или тонкого провода, а другой (осадительный) имеет развитую поверхность. В области коронирующего электрода создается зона ионизации, т.е. образование газовых ионов, которые оседают на частицах аэрозоля и сообщают им электрический заряд.

Электрофильтры обеспечивают высокую степень очистки газов, работают при низких температурах, имеют низкое энергопотребление. Их существенным недостатком является низкая технологическая скорость газа (1 м/с), при которой они работают. Следствием этого являются большие габариты и соответственно стоимость электрофильтров. Этот недостаток является следствием стандартной поперечной технологической схемы электрофильтров, при которой технологическая скорость газа и скорость частиц в электрическом поле

перпендикулярны. Поэтому при увеличении технологической скорости газа возникает необходимость увеличения длины электрофильтров.

Как альтернатива традиционной поперечной технологической схеме предложена продольная электрогазодинамическая установка [1], в которой векторы технологической скорости газа и электрических сил совпадают, а осадительный электрод выполнен из дискретных элементов, т.е. аэродинамически «прозрачным». Подобная технологическая схема позволяет электрофильтру работать при больших скоростях газа. При этом на интенсивность осаждения частиц влияют кроме электрических сил инерционные силы.

В процессе теоретических исследований получена математическая модель электрогазодинамического течения, которая позволяет при заданных электрических, конструктивных параметрах и параметрах газовой среды определять величину электрического тока и скорость частиц аэрозоля.

Математическая модель осаждения частиц на элементах осадительного электрода позволяет обеспечить заданную степень очистки газа.

Адекватность математических моделей подтверждается экспериментальными исследованиями на стендовых установках.

Промышленные испытания продольного электрофильтра проводились на Мундыбашской аглофабрике. ЭГД-фильтр работал при скорости очищаемого газа 16,5 м/с и степени очистки 96 %. При этом по сравнению со стандартным заводского изготовления фильтром равной производительности УГ-2-4-74 опытный ЭГД-фильтр имел объем в 100 раз меньше, расход электроэнергии в 50 раз меньше.

Продольная схема ЭГД-установки позволила путем модификации некоронирующего электрода создать ЭГД-ионизатор, т.е. установку, выбрасывающую в окружающее пространство ионы, которые прилипают к частицам аэрозоля и осаждают их на почву.

Математическая модель внешнего электрогазодинамического течения позволяет определить скорость осаждения частиц в рабочем пространстве:

$$V = \sqrt{\frac{2jH}{\rho\bar{k}}},$$

где V - скорость осаждения частиц аэрозоля, H - расстояние от земли до ионизатора, j - плотность ионного тока в пространстве (производительность ионизатора), \bar{k} - среднее значение коэффициента подвижности частиц аэрозоля, ρ - плотность воздуха.

При реальных значениях параметров:

4 м, $j = 0,1 \cdot 10^8 \text{ а/м}^2 \cdot \text{к}$ $1 \cdot 10^8 \text{ м}^2 / \text{с}$ 2 кг/м^3 , скорость осаждения составит $\approx 5 \text{ см/ч}$. V

ЭГД-ионизатор испытывался на Мундыбашской аглофабрике, Новосибирском заводе стрелочных переводов и грузовом железнодорожном депо г. Кемерово.

Испытания показали, при запыленности цеха 15 мг/м^3 через 15 минут после включения ионизаторов запыленность снизилась до допустимого значения.

Электрогазодинамические установки просты в изготовлении, не требуют дефицитных материалов. Для них разработан высоковольтный источник питания, устойчивый к искровым пробоям разрядного промежутка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. № 588883 СССР МКИ НО: Р₁/100. Устройство для создания ионизированной струи воздуха / Кайгородов Ю.М., Пономарев П.Т., Рябчун И.П. [не публикуется].

УДК 621.787:621.91

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕЛИЧИН ПЕРЕДНИХ УГЛОВ ШЛИФОВАЛЬНЫХ ЗЁРЕН

В.А. Коротков, к.т.н., Е.М. Минкин, магистр
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-99, факс +7(3842)-58-30-73.
Email: Jonm1@mail.ru

Представлено описание разработанной программы, которая позволяет оценить величину передних углов шлифовальных зёрен в зависимости от их ориентации формы и износа.

The description of the developed program which allows to estimate size of forward corners of grinding grains depending on their orientation of the form and deterioration is presented.

Форма и ориентация шлифовальных зёрен сильно влияют на все аспекты микрорезания (размеры снимаемой стружки, силы резания, температуру, интенсивность износа). От того, насколько эффективно работает в шлифовальном инструменте каждое единичное зерно, зависит его работоспособность в целом. Поэтому представляется важным и полезным знать механизм и особенности работы каждого единичного зерна. Это открывает перспективу отыскания таких геометрических параметров, при которых каждое зерно работает

наиболее эффективно, а если каждое зерно работает эффективно, то значит увеличиваются эксплуатационные возможности инструмента в целом.

Для решение этой задачи на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» (МСИИ) ГОБУ КузГТУ проведен цикл исследований с использованием моделей шлифовальных кругов из оптически-прозрачной связки и специально разработанного программного обеспечения.

Модели шлифовальных кругов с оптически прозрачным связующим представляют собой некую разновидность отрезных кругов с однорядным расположением зёрен. Характеристика связующего (эпоксидный смолы) примерно соответствует физико - механическим свойствам бакелитовой связки. Это позволяет экстраполировать полученные результаты на реальную действительность и считать полученные при испытании результаты достаточно достоверными. Прозрачная связка обеспечивает визуальное рассмотрение (в направлении оси вращения) каждого единичного зерна, находящегося на рабочей поверхности круга.

Круг устанавливался на специальный испытательный стенд, с помощью которого осуществлялся реальный процесс шлифования на режимах, соответствующих отрезному шлифованию.

Однорядное расположение зёрен было сделано для того, чтобы при рассмотрении зёрен их проекции не пересекались.

Предварительные исследования показали, что оценка работы каждого единичного зерна путем изучения и замера его износа представляет собой кропотливую и трудоемкую работу. Для упрощения процесса наблюдения за износом каждого зерна на рабочей поверхности круга разработан специальный программный комплекс.

Программный комплекс структурно состоит из трёх программ. Первая из них («Угол наклона шлифовальных зёрен») позволяет оценивать угол наклона шлифовальных зёрен относительно вертикальной плоскости, т.е. плоскости, перпендикулярной гипотетической плоскости резания.

Оценка угла наклона шлифовальных зёрен производится путём анализа их монохромных изображений. Определяется главная ось исследуемого зерна, т.е. линия между двумя наиболее удалёнными точками его изображения и оценивается угол наклона главной оси зерна по отношению к вертикальной плоскости. Оценка угла наклона шлифовальных зёрен производится с учётом направления их наклона, т.е. расположения вершины зерна в том или ином квадранте. Полученные результаты сохраняются в виде таблиц формата Excel.

Вторая программа, представляет собой графический редактор, позволяющий производить поворот изображений зёрен на требуемый угол относительно гипотетической плоскости резания, с учётом предварительно полученных данных по первой программе.

Третья программа предназначена непосредственно для определения передних углов каждой точки поверхности ориентированного зерна и сохранения полученных данных в виде таблиц формата Excel.

С целью проверки эффективности и точности разработанного программного обеспечения была проведена сравнительная оценка передних углов радиально ориентированных зёрен с учётом факторов износа и формы вручную и с помощью программного комплекса.

Полученные результаты представлены в виде графиков (рис. 1 - 3) и формул (1) - (6).

Зависимости, представленные на рис. 1, могут быть описаны математическими моделями следующего вида:

$$\text{Ручная обработка: } y = 18,61 \cdot \ln(K_{\phi}) - 44,91 \quad R^2 = 0,55; \quad (1)$$

$$\text{Обработка ПрЭВМ: } y = 19,32 \cdot \ln(K_{\phi}) - 48,04 \quad R^2 = 0,71; \quad (2)$$

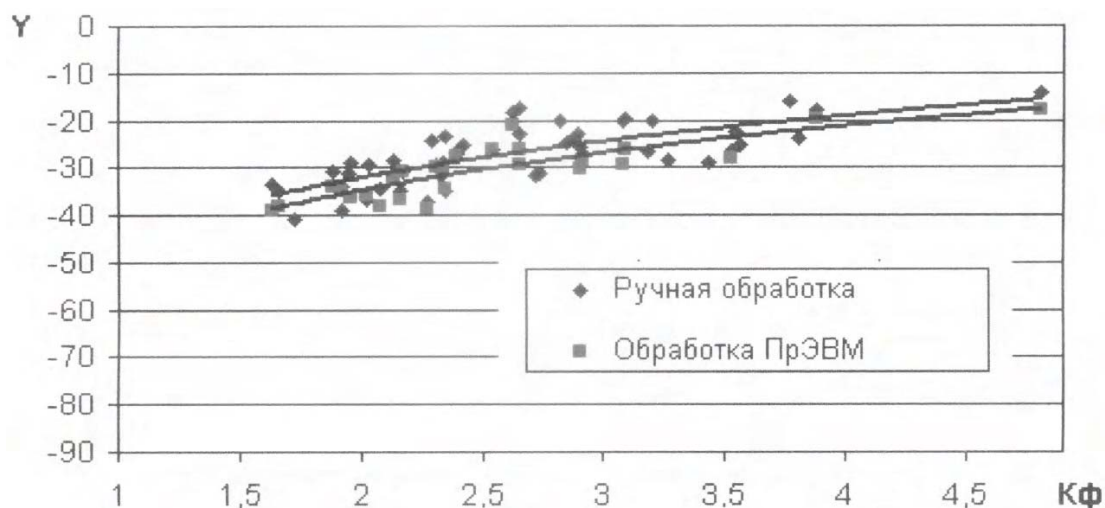


Рис.1. Зависимости передних углов у радиально ориентированных шлифовальных зёрен от коэффициента формы при гипотетическом износе до $1/3L$, полученные вручную и с помощью ПрЭВМ



Рис.2. Зависимости передних углов у радиально ориентированных шлифовальных зёрен от коэффициента формы K_ϕ , при гипотетическом износе до $1/2L$, полученные вручную и с помощью ПрЭВМ

Зависимости, представленные на рис.2, могут быть описаны математическими моделями следующего вида:

$$\text{Ручная обработка: } y = 13,41 \cdot \ln(K_\phi) - 32,69 \quad R^2 = 0,44; \quad (3)$$

$$\text{Обработка ПрЭВМ: } y = 15,26 \cdot \ln(K_\phi) - 36,02 \quad R^2 = 0,61; \quad (4)$$

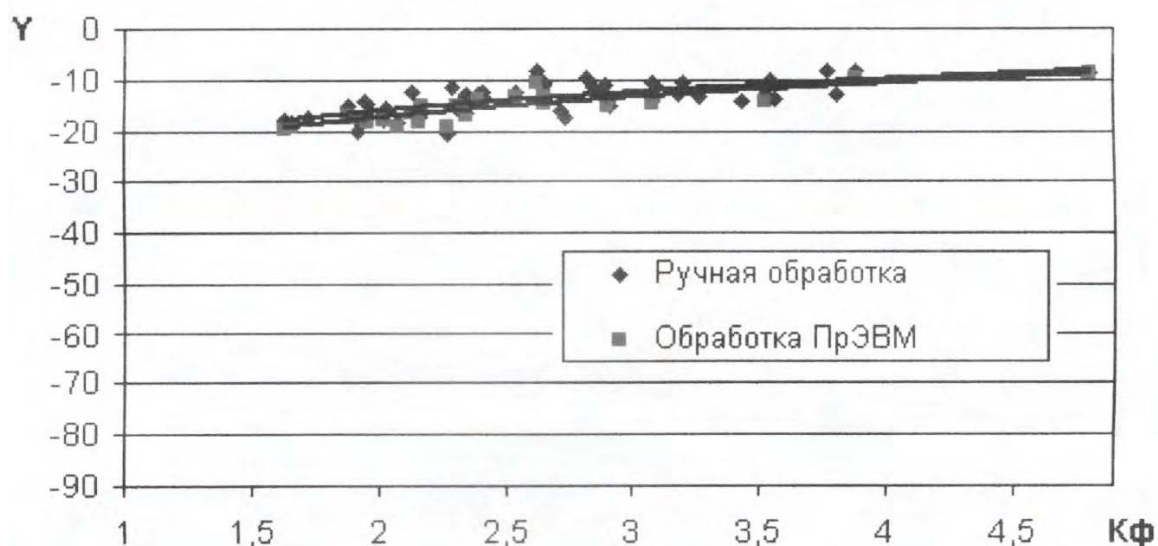


Рис.3. Зависимости передних углов у радиально ориентированных шлифовальных зёрен от коэффициента формы K_ϕ , при гипотетическом износе до $2/3L$, полученные вручную и с помощью ПрЭВМ

Зависимости, представленные на рис.3, могут быть описаны математическими моделями следующего вида:

$$\text{Ручная обработка: } y = 9,02 \cdot \ln(K_\phi) - 22,38 \quad R^2 = 0,49; \quad (5)$$

Обработка ПрЭВМ: $y = 9,78 \cdot \ln(K_{\phi}) - 24,20 \quad R^2 = 0,71;$ (6)

Полученные данные свидетельствуют о том, что результаты оценки передних углов ориентированных шлифовальных зёрен с помощью разработанного программного комплекса адекватны данным, получаемым при ручной обработке. Кроме того, коэффициент корреляции зависимостей, получаемых с помощью ПрЭВМ, выше, чем при ручной обработке, что свидетельствует о более высокой точности автоматизированной обработки данных.

Таким образом, предлагаемое программное обеспечение может быть эффективно использовано для исследования геометрии шлифовальных зёрен с учётом факторов их формы, износа и пространственной ориентации. На него получено свидетельство о государственной регистрации № 2011614263 от 30.05.2011 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротков В.А. Повышение эксплуатационных возможностей отрезных шлифовальных кругов: Монограф. - М.: Машиностроение, 2009. - 178 с.
2. Коротков В.А., Минкин Е.М., Полтораков А.С. Геометрия шлифовальных зёрен: Материалы 9-й Всероссийской науч.-практ. конф. «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе». - Новосибирск, 16 марта 2011 г. – 164 с.

УДК 621.9.047

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПЛАСТИН ИЗ КРЕМНИЯ

Б.А. Красильников, к.т.н., доц., В.В. Янпольский, к.т.н., доц.,
О.К. Нураев, магистрант
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, тел. 8 (383) 346-11-88.
E-mail: nok258@bk.ru, tms-ngtu@mail.ru

Рассмотрен вопрос о возможности применения электроалмазного шлифования для формообразования пластин из кремния.

The possibility of use of electro for forming diamond grinding plates of silicon.

Одной из основных тенденций роста производства полупроводниковых приборов является миниатюризация их размеров с непрерывным повышением требований к качеству и точности изготовления, что обеспечивает значительное их быстроедействие и надежную работу. Современные полупроводниковые приборы представляют собой чрезвычайно сложные устройства, отдельные

компоненты которых имеют размеры не более доли миллиметра. При уменьшении размеров полупроводниковых приборов существенное влияние на их технические характеристики оказывает структура приповерхностного слоя подложки из полупроводникового материала, в частности из кремния. Все эти обстоятельства предъявляют определенные требования к выбору методов обработки подложки из кремния. В настоящее время формообразование подложки из кремния осуществляется механической обработкой, в частности шлифованием с последующим полированием, направленным на достижение шероховатости ($Ra\ 0.01\ \mu\text{м}$), и снижения глубины дефектного слоя (до $5-7\ \mu\text{м}$ при толщине пластины из кремния в $300\ \mu\text{м}$) [1]. Однако, следует отметить тот факт, что именно при выполнении операции шлифования наблюдается большой процент появления бракованных пластин из кремния, достигающий в некоторых случаях 65% от всей партии обработанных деталей. Анализ структуры операции шлифования позволил установить, что причинами снижения качества поверхности пластины из кремния является воздействие силовых и температурных нагрузок, возникающих в процессе обработки. С целью достижения необходимого качества подложки из кремния приходится занижать режимы шлифования, что приводит к снижению производительности обработки, а следовательно, к повышению себестоимости детали. Решение вопросов по повышению качества поверхностного слоя и увеличения производительности операции формообразования подложки из кремния возможно за счет снижения тепловых и деформационных воздействий в процессе обработки при использовании технологий, основанных на комбинировании электрофизикохимических процессов, в частности технологии электроалмазного шлифования. Процесс электроалмазного шлифования хорошо себя зарекомендовал при обработке труднообрабатываемых материалов. Вместе с тем литературе отсутствуют сведения о применении этого метода для формообразования пластин из кремния. Однако для его эффективного применения при формообразовании подложки из кремния необходимо проведение комплексных исследований, направленных на установление параметров качества, производительности, точности от режимных параметров.

Экспериментальные исследования по электроалмазному шлифованию пластин из кремния производили на установке, внешний вид которой представлен на рис. 1.

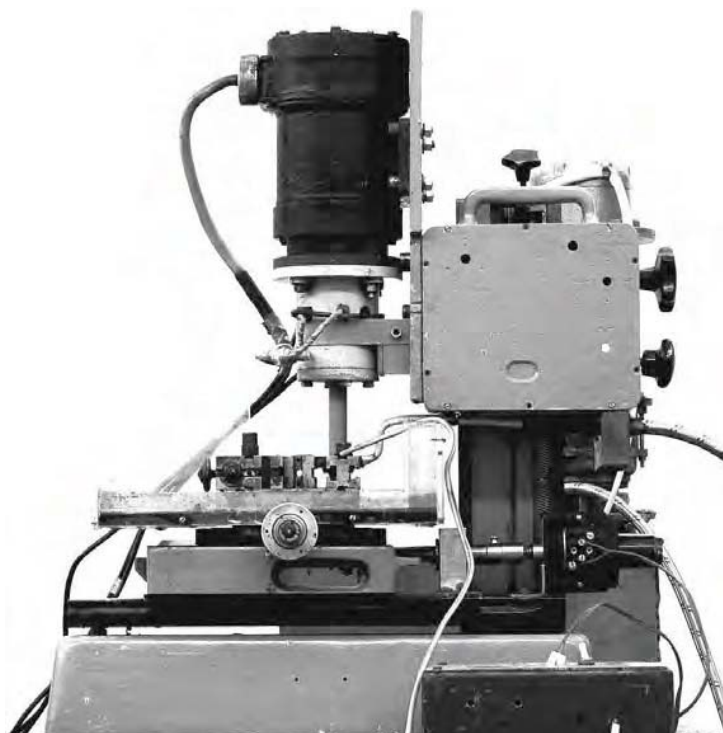


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки для электроалмазного шлифования

Основными характеристиками экспериментальной установки для электроалмазного шлифования являются: максимальная частота вращения шпинделя 9400 об/мин , мощность двигателя 900 Вт , диаметр алмазного круга 50 мм , плавно регулируемое продольное перемещение со скоростью от 12 до 60 мм/мин , регулируемое напряжение технологического тока до 15 В .

В качестве электролита использовался 10% раствор NaNO_3 в дистиллированной воде, который подавался в зону обработки поливом с расходом $4\text{-}6 \text{ л/мин}$. Напряжение технологического тока, используемое при проведении экспериментов, составляло 8 В . В качестве инструмента применялся алмазный круг на металлической связке АСВ 80/63 100% М1. Эксперименты проводились с разной глубиной $25, 50$ и 100 мкм . Скорость главного движения 14 м/с .

На основе проведенных экспериментальных исследований электроалмазного шлифования пластин из кремния установлено, что шероховатость поверхности составляет $Ra 2.5 \text{ мкм}$ при однопроходной обработке с производительностью $0,8 \text{ г/мин}$. На поверхности обработанной пластины из кремния не наблюдалось появление дефектов. Таким образом, применение электроалмазного шлифования при формообразовании пластины из кремния позволяет повысить производительность обработки по сравнению с традиционным шлифованием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курносое А. И., Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Изд. 3-е, М., 1986.—С. 368

УДК 621.787: 621.789

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПУТЕМ НАПРАВЛЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Кречетов А.А., к.т.н., доц.
Кузбасский государственный технический ун-тет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-76, факс 39-69-54.
E-mail: krechetov@mmfkuzstu.ru

В работе показано, что для разработки методики проектирования технологических процессов, обеспечивающих заданную совокупность показателей качества, физико-механического и структурно-фазового состояния поверхностного слоя, перспективным является развитие механики технологического наследования в направлении описания совместного формирования этих показателей. Разработана функциональная модель обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин.

In work it is shown that for working out of a designing technique of the technological processes providing necessary set of indicators of quality, a physicomachanical and structurally-phase condition, development of technological inheritance mechanics in a direction of the description of joint formation of these indicators is perspective. The functional model of maintenance of operational properties of details of cars is developed.

Эксплуатационные свойства деталей машин определяются состоянием поверхностного слоя, которое характеризуется показателями качества, физико-механического и структурно-фазового состояния.

В настоящее время сложились достаточно работоспособные подходы к проектированию технологических процессов, обеспечивающих заданную точность размеров деталей машин. Однако в рамках этих подходов формирование физико-механического состояния не рассматривается, что не позволяет использовать их в полной мере для проектирования упрочняющей обработки.

Методики проектирования технологических процессов на основе механики технологического наследования позволяют оценивать сквозное на всех стадиях жизненного цикла изделия формирование и трансформацию физико-механического состояния поверхностного слоя. Однако при этом не оценивается точность размеров и структурно-фазовое состояние материала поверхностного слоя. Это не позволяет проектировать технологические процессы с использованием

перспективных методов упрочнения, основанных на изменении структурно-фазового состояния материала изделия, например, деформационного наноструктурирования.

Существуют работы, в которых приведены закономерности для оценки комплексных критериев качества поверхностного слоя в зависимости от режимов обработки. Однако эти критерии получены эмпирическим путем и при изменении диапазона варьирования факторов, либо изменении маршрута обработки требуется проведение повторных трудоемких экспериментальных исследований.

На наш взгляд, перспективным с точки зрения разработки методики проектирования технологических процессов, обеспечивающих заданную совокупность показателей качества, физико-механического и структурно-фазового состояния поверхностного слоя, является развитие механики технологического наследования в направлении описания совместного формирования этих показателей.

В соответствии с основными положениями механики технологического наследования, свойства поверхностного слоя накапливаются на протяжении всего технологического процесса изготовления под действием характерной для каждой стадии нагружения (технологического перехода обработки) программы нагружения в условиях действия истории нагружения на предшествующих стадиях обработки.

Разработана функциональная модель обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин (рис. 1). В соответствии с методологией стандартов моделирования процессов IDEF контекстом модели является описание субъекта и цели моделирования, а также точки зрения на модель.

В качестве субъекта моделирования принят процесс обеспечения заданных эксплуатационных свойств для заданной детали машины, изготовленной из заданного материала, работающей в условиях заданных эксплуатационных воздействий.

Основными компонентами модели являются процессы изготовления детали из исходной заготовки, которые описываются как процессы формирования параметров состояния детали, обуславливающих возможность обеспечения заданных эксплуатационных свойств данной детали машины в условиях действия заданных эксплуатационных факторов.

Целью моделирования является описание механизмов формирования параметров состояния изделия как основы для разработки методологии проектирования технологических процессов изготовления, обеспечивающих заданные эксплуатационные свойства.

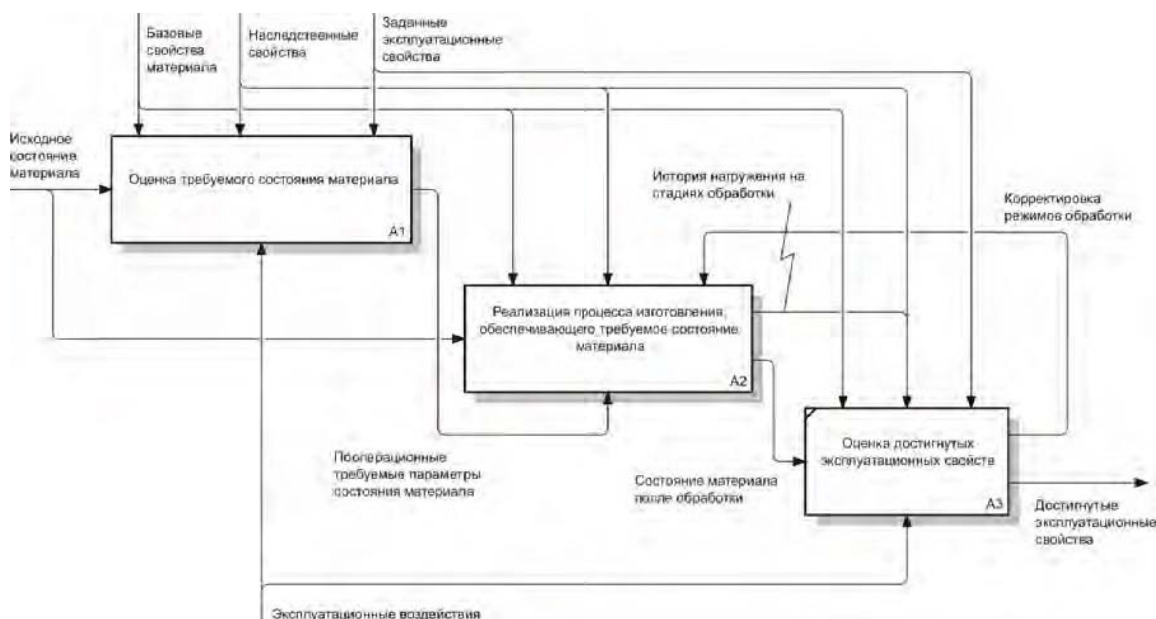


Рис. 1. Контекстная функция "Обеспечение заданных эксплуатационных свойств изделия" – диаграмма А-0

При разработке модели предполагалось, что процессы рассматриваются с точки зрения технолога, разрабатывающего технологические процессы обработки, обеспечивающие заданные эксплуатационные свойства изделия.

Контекстная функция преобразует исходное состояние материала, в результате формируя достигнутые эксплуатационные свойства изделия. Процесс выполнения функции протекает в условиях управления в виде базовых свойств материала, наследственных свойств, а также заданных эксплуатационных свойств. Механизмом реализации функции являются эксплуатационные воздействия.

В рамках модели состояние материала рассматривается как совокупность параметров, определяющих эксплуатационные свойства изделия: показатели качества поверхности, показатели механического состояния поверхностного слоя, а также характерные показатели структурно-фазового состояния материала.

Под базовыми свойствами здесь понимаются свойства материала, определяющие закономерности пластического течения металла в процессе обработки, а также характеристики материала, определяющие трансформацию его состояния под действием эксплуатационных факторов.

Наследственные свойства отражают закономерности влияния истории нагружения на трансформацию параметров состояния в условиях текущего нагружения под действием технологических или эксплуатационных факторов.

При декомпозиции контекстной функции выделены подфункции "Оценка требуемого состояния материала" (A1), "Реализация процесса изготовления, обеспечивающего требуемое состояние материала" (A2) и "Оценка достигнутых эксплуатационных свойств" (A3).

Подфункция "Оценка требуемого состояния материала" преобразует исходное состояние материала (исходные параметры состояния материала), в результате формируя пооперационные требуемые параметры состояния материала, то есть параметры, которые необходимо достигнуть после каждой операции изготовления изделия.

Процесс изготовления изделия, в рамках модели рассматриваемый как процесс достижения требуемых параметров состояния материала, представляется в виде последовательности стадий нагружения. Каждая стадия нагружения соответствует одной операции обработки. В соответствии с этим функция A2 "Реализация процесса изготовления, обеспечивающего требуемое состояние материала" в процессе декомпозиции представлена как совокупность подфункций A2.1-A2.N "Реализация стадии процесса обработки" (диаграмма A2, рис. 2...).

Каждая подфункция определенным образом преобразует состояние материала под управлением базовых свойств материала, наследственных свойств и корректировки режимов обработки, используя для этого преобразования значения параметров состояния материала, которые необходимо обеспечить на данной стадии обработки.

В качестве выходов каждая стадия обработки, помимо собственно достигнутого на данной стадии состояния материала, имеет историю нагружения на предшествующих стадиях и текущей стадии нагружения. Эта история нагружения совместно с наследственными свойствами является управляющим воздействием для последующих стадий обработки.

В рамках модели при реализации каждой стадии обработки необходимо выполнение подфункций "Определение диапазона варьирования технологических воздействий из условия обеспечения требуемых на данной стадии показателей качества" (A2.i.1), "Определение параметров программы нагружения для обеспечения требуемого на данной стадии состояния материала" (A2.i.2) и "Технологическая реализация обработки на данной стадии" (A2.i.3) (диаграмма A2.i, рис. 2).

Требуемые параметры качества накладывают определенные ограничения на возможные режимы обработки. В связи с этим необходимо определить допустимый диапазон варьирования технологических факторов обработки.

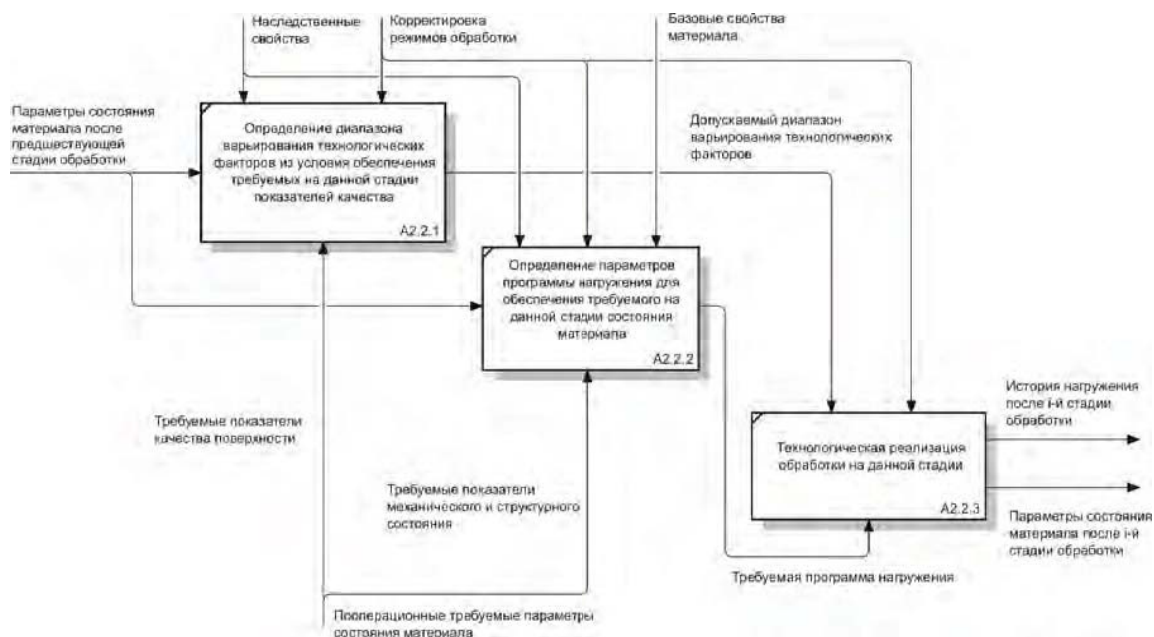


Рис. 2. Декомпозиция подфункции A2.i "Реализация i-й стадии процесса обработки" – диаграмма A.2.i

Механическое состояние в очаге деформации формируется под действием определенной программы нагружения. Также, под действием программы нагружения формируется и структурное состояние материала в части, касающейся трансформации структурного состояния, обусловленного пластическим деформированием. Иными словами, задача обеспечения требуемого механического и структурного состояния требует реализации соответствующей программы нагружения, требуемые параметры которой проектируется в рамках подфункции A2.i.2.

Спроектированная программа нагружения, обеспечивающая требуемые эксплуатационные свойства изделия, должна быть реализована на стадии обработки в рамках выполнения подфункции A2.i.3. Это означает, что в рамках этой подфункции должны быть определены такие режимы обработки, чтобы была реализована требуемая программа нагружения.

Таким образом, разработана функциональная модель обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин, в основе которой лежит представление об обеспечении заданных эксплуатационных свойств как о процессе формирования требуемого состояния поверхностного слоя.

Данная модель является общей и может быть использована для произвольных методов обработки и видов эксплуатационного нагружения. При этом возможно несколько вариантов декомпозиции одних и тех же подфункций для использования модели для различных методов обработки и видов эксплуатационного нагружения.

УДК: 621.923

ИМИТАЦИОННОЕ СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ ПРИ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Леонов С.Л., д.т.н., проф., Аскалонова Т.А., к.т.н., доц.
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул. Тел. 8-913-216-57-10

Описано построение имитационных стохастических моделей абразивной обработки с построением гистограмм распределения параметров шероховатости поверхности детали

Description of imitation stochastic models of abrasive processing with construction of histograms of the distribution parameters of the surface roughness of detail

Направление создания имитационных стохастических моделей в технологии машиностроения в настоящее время интенсивно развивается. Принцип имитации значительно упрощает математические соотношения при моделировании: вместо сложных зависимостей используются простые выражения, описывающие равновесные состояния (статика), перемещения элементов технологической системы (кинематика) и взаимодействие этих элементов (динамика). При обработке лезвийным инструментом эти зависимости представляют собой обычные функциональные выражения, дифференциальные или разностные уравнения. Для процессов абразивной обработки процесс имитационного моделирования значительно усложняется.

Процесс абразивной обработки имеет следующие особенности, существенно отличающие его от резания лезвийным инструментом [1]:

- беспорядочное расположение на рабочей поверхности инструмента огромного количества мельчайших зерен, обладающих значительной разновысотностью;
- разнообразная (неправильная) геометрическая форма режущих зерен и наличие у них округленных (сферических) вершин, обеспечивающих, как правило, отрицательные передние углы резания;
- особые свойства режущих элементов – абразивных зерен – высокая твердость, термоустойчивость, острота, хрупкость, способность разрушаться по плоскостям спайности и др.
- высокие скорости микрорезания и малые глубины резания каждым зерном, обеспечивающие мгновенное снятие огромного количества стружек в единицу времени;

- динамическое воздействие каждого шлифующего зерна на обрабатываемый поверхностный слой, способствующее мгновенному повышению температуры микрорезания.

Абразивные зерна являются многогранниками неправильной формы и имеют округленные вершины. По абсолютной величине эта округленность невелика, но ее всегда надо учитывать, так как при микрорезании толщины слоев, снимаемых отдельными зернами, соизмеримы с величиной радиуса округления зерна ρ . По сравнению с лезвийным инструментом, форма и геометрия режущей части которого известна (или выбрана), геометрия и форма абразивных зерен сложна и остается неопределенной. Обработка осуществляется выступающими кромками, поэтому не все абразивные зерна, расположенные на рабочей поверхности круга попадают в зону резания. Часть абразивных зерен, находящихся в зоне резания, не участвуют в резании, так как попадают на уже срезанные участки поверхности.

Стохастический характер процесса резания и указанные особенности процесса абразивной обработки значительно осложняют процесс моделирования формируемой геометрии поверхности. В связи с этим на практике преобладают эмпирические модели, позволяющие рассчитывать усредненные показатели. Имитационное моделирование процессов абразивной обработки [2] обычно наталкивалось на сложность получаемых зависимостей, что не позволяло авторам в полной мере использовать возможности этого подхода. Поэтому такие модели, хоть и учитывали стохастические характеристики процессов абразивной обработки, строились только для "средних значений" (модели математического ожидания). Но даже и в этом случае такие модели не имели значительного преимущества перед классическими эмпирическими: точность прогнозирования выходных параметров оставалась невысокой, а время расчетов весьма значительным.

Разработанная имитационная стохастическая модель процесса абразивной обработки включает в себя:

1. Статическую модель инструмента, описывающую распределение параметров режущих зерен как по поверхности инструмента, так и по его глубине.
2. Статическую модель обрабатываемой поверхности, описывающую распределение ее геометрических параметров (топографию) в фиксированный момент времени.
3. Кинематическую модель, описывающую движение элементов оборудования (главное движение, движение подачи, колебательные перемещения и т.п.).
4. Динамическая модель, объединяющая модели инструмента, заготовки и кинематики оборудования.

Моделирование поверхности абразивного инструмента достаточно хорошо отражено в исследованиях, например, А.И. Грабченко [3]. Подробно описаны статические модели распределения геометрических параметров зерен как по глубине, так и по поверхности инструмента в зависимости от его марки. Нами также проводились исследования в данной области и получены аналогичные результаты [1].

Статической моделью обрабатываемой поверхности является ее топография - функция двух аргументов: $y(l,c)$, где l и c – два взаимно перпендикулярных направления. Обычно эти направления выбирают вдоль и поперек следов обработки, а профилограммы, полученные в этих направлениях, называют продольными и поперечными. Но для получения топографии это не обязательно. Не обязательна даже перпендикулярность направлений l и c , но для упрощения расчетов удобно выполнять это условие. Для плоских поверхностей $y(l,c)$ задается в декартовых координатах, для поверхностей вращения можно использовать цилиндрическую систему координат $y(l,\varphi)$, где l - направление вдоль оси детали, а φ - угол ее поворота вдоль оси.

В любом случае для практических расчетов топография должна храниться в виде дискретных значений, то есть функция двух аргументов представлена в виде двумерного массива $y_{l,c}$. Получение классической профилограммы $y(x)$ вдоль любого направления x сводится фактически к двумерной интерполяции по этому массиву. Вычисление любых параметров шероховатости (например, по ГОСТ 2789-73) базируется на обработке профилограмм. После получения по топографии профиля поверхности не представляет никакого труда рассчитать эти параметры. Аналогичный подход можно использовать и для получения волнистости поверхности. Параметры волнистости не стандартизованы но обычно используют выражения, аналогичные расчету параметров шероховатости.

Кинематика движения элементов технологической системы зависит от конкретной технологической операции. Так, например, при круглом врезном шлифовании абразивный инструмент – шлифовальный круг – вращается с высокой скоростью, обеспечивая взаимодействие поверхности инструмента с обрабатываемой поверхностью. Движение подачи изменяет расстояние между осями заготовки и инструмента обеспечивая глубину резания t_ϕ (рис. 1). При этом геометрия зоны контакта приближенно описывается выражением:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{t_\phi R}{r(R + r)}, \quad (1)$$

где t_ϕ – фактическая глубина резания, R и r – радиусы круга и заготовки.

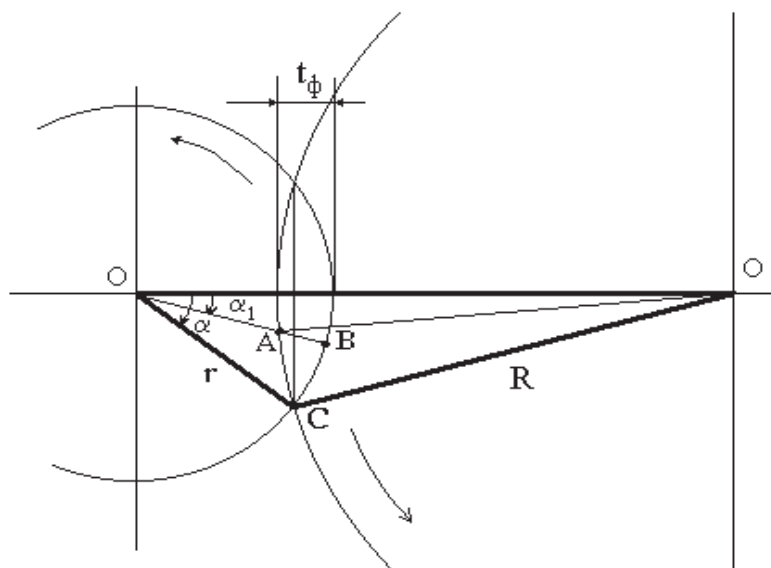


Рис. 1. Зона контакта заготовки и круга при врезном шлифовании

Другой вид абразивно-алмазной обработки – хонингование – характеризуется значительно меньшими скоростями резания, а геометрия зоны контакта практически представляет собой прямоугольную область. Особенностью этого вида обработки является возвратно-поступательное движение инструмента (хона).

Динамика взаимодействия инструмента и заготовки определяется явлениями, происходящими в зоне их контакта. Именно в этой зоне отдельные зерна снимают микростружки с обрабатываемой поверхности, формируя ее топографию. Именно в зоне контакта происходят динамические явления, определяющие изменения кинематических параметров (упругие отжатия, вибрации, износ инструмента), которые приводят к изменению значений фактической глубины резания.

Процесс формирования риски от абразивного зерна является центральным при имитационном моделировании. Для его визуализации используются графические возможности компьютера. При этом из металла вырезается профиль, соответствующий случайным параметрам зерна с учетом случайной глубины резания в зависимости от случайного расположения профиля в зоне контакта. Положение зерна на поверхности инструмента также является случайной величиной, определяемой моделью поверхности инструмента.

Стохастическое имитационное моделирование этих явлений позволяет получать реализации профиля и топографии обработанной поверхности. На рис. 2 приведен пример профилограммы обработанной поверхности заготовки при круглом врезном шлифовании. Проведя расчеты многократно и обработав профилограммы, можно получить гистограммы распределения параметров шероховатости поверхности

для конкретных операций абразивной обработки. На рис. 4 приведены примеры гистограмм распределения параметра шероховатости Ra. В расчетах принято: диаметр круга 400 мм, диаметр заготовки 80 мм, фактическая глубина резания $t_{\phi} = 0,01$ мм. Для построения гистограммы проводилось 600 расчетов. Для первого и второго варианта использован круг зернистости 25, а для второго – 15. Первый вариант соответствует средней, а второй и третий – плотной структуре круга.

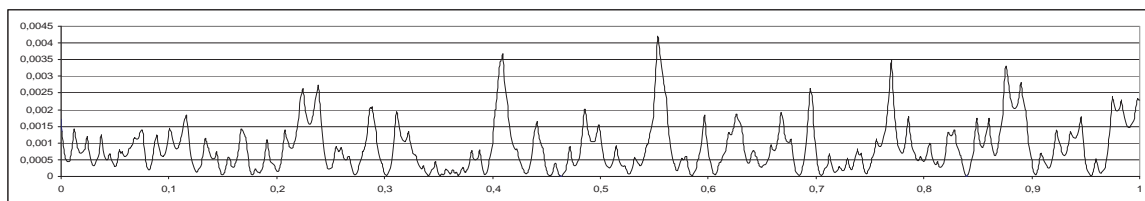


Рис. 2. Пример расчетного профиля шлифованной поверхности

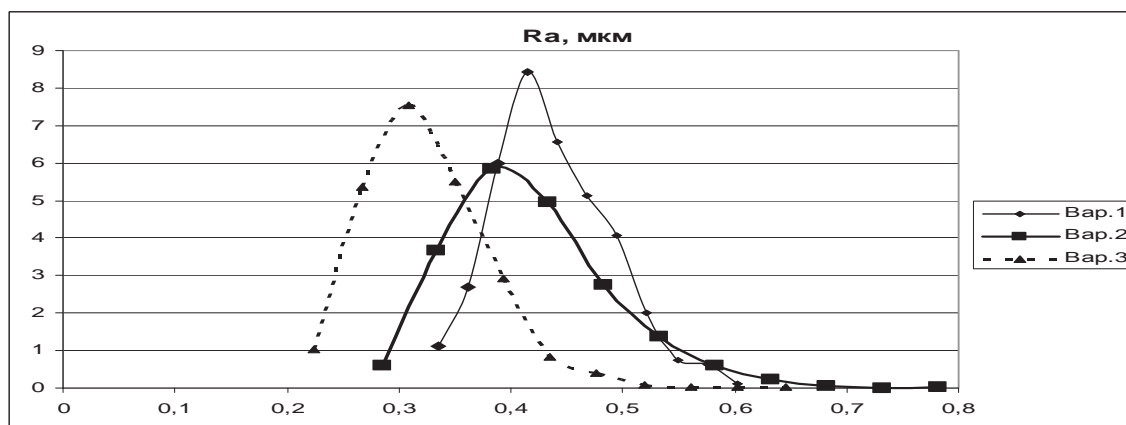


Рис. 3. Плотности распределения параметра Ra

Разработанные имитационные стохастические модели позволяют проектировать операции алмазно-абразивной обработки с прогнозированием качества поверхности детали и определением вероятности брака по параметрам шероховатости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов, С. Л. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С. Л. Леонов, А. Т. Зиновьев – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. - 198 с.
2. Новоселов, Ю. К. Обеспечение стабильности точности деталей при шлифовании / Ю. К. Новоселов, Е. Ю. Татаркин -Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1988. – 128 с.
3. Грабченко А.И., Доброскок В.Л. и др. Параметрическая вероятностная модель рабочей поверхности абразивных инструментов. // Сучасні технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць. Випуск 4. - Харків, 2010. с. 177-191.

УДК 621.923.1.001.57

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПЕРАЦИИ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ПЕРИФЕРИЕЙ КРУГА

С.Л. Леонов, д.т.н., проф., М.К. Витвинов, аспирант
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова
Барнаул, тел. +7-913-216-5710, +7-913-250-1169.

В данной статье описана методика построения моделей операции плоского шлифования периферией круга, основанная на использовании передаточной функции для описания процесса технологического наследования.

In given article the technique of construction of models of operation of flat grinding by the circle periphery, based on use of transfer function for the description of process of technological inheritance is described.

Рассмотрим операцию плоского шлифования периферией круга как технологическую систему для преобразования исходного профиля заготовки в профиль детали. В этом случае входным сигналом является профиль заготовки, а выходным - профиль обработанной поверхности детали (рис. 1).



Рис. 1. Система для преобразования исходного профиля заготовки в профиль детали

Для математического описания динамических систем широко используется аппарат передаточных функций:

$$W_{\text{оп}}(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{a_k s^k + a_{k-1} s^{k-1} + \dots + a_1 s + a_0}{a_k s^k + a_{k-1} s^{k-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (1)$$

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

Для идентификации технологической системы необходимо определить коэффициенты передаточной функции (1). Для решения данной задачи предлагается использовать частотные характеристики системы и классический принцип суперпозиции сигналов.

Передаточная функция системы тесно связана с её амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). Вид АЧХ полностью определяется видом передаточной функции. И наоборот - вид передаточной функции зависит от вида АЧХ.

Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции: если на вход системы подается линейная комбинация элементарных сигналов

$$x = \sum_i x_i,$$
 на ее выходе также получается линейная комбинация

$$y = \sum_i y_i,$$
 каждый из которых (y_i) является реакцией на

элементарный входной сигнал x_i . Поэтому задачу получения АЧХ можно упростить, если создать профиль заготовки, включающий в себя сумму большого количества гармоник. Далее на выходе системы из получаемого профиля выделяются гармоники с частотой, соответствующей частотам исходного профиля. Отношение амплитуд гармоник детали к амплитудам гармоник заготовки дает амплитудно-частотную характеристику.

Для идентификации операции плоского шлифования периферией круга в качестве исходного профиля заготовки предлагается использовать профиль формы меандр (рис. 2). Этот профиль дает при разложении в ряд Фурье теоретически бесконечное количество гармоник различных частот, а практическое их получение не является трудоемким.

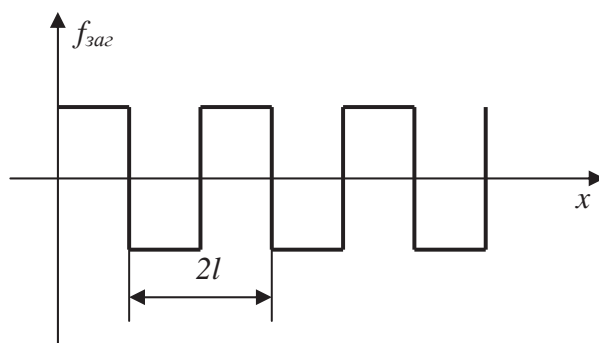


Рис. 2. Профиль заготовки

В ходе проведения практических экспериментов были использованы заготовки с профилем формы меандр с высотой впадин 0,005 мм и шириной 10 мм.

Разложение исходного профиля в ряд Фурье имеет вид:

$$f(x)_{заг} = \frac{h}{\pi} \left[2 \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) + \frac{2}{3} \sin\left(\frac{3\pi x}{l}\right) + \frac{2}{5} \sin\left(\frac{5\pi x}{l}\right) + \frac{2}{7} \sin\left(\frac{7\pi x}{l}\right) \dots \right] \quad (2)$$

После обработки заготовки профиль детали записывается и затем также производится его гармонический анализ:

$$f_{дет} = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left[a_k \cos\left(\frac{k\pi x}{l}\right) + b_k \sin\left(\frac{k\pi x}{l}\right) \right], \quad (3)$$

АЧХ операции получается делением соответствующих амплитуд гармоник профиля детали (3) на амплитуды профиля заготовки (2). Для определения вида передаточной функции предлагается использовать логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ). Коэффициенты аналитического представления АЧХ, а в равной степени и коэффициенты передаточной функции определяются аппроксимацией по методу наименьших квадратов.

Описанная методика использована для идентификации операции плоского шлифования периферией круга. Обработка детали производилась на плоскошлифовальном станке модели ЗГ71. Инструмент – шлифовальный круг 1 250*10*76 25A16СМ17К35Б3 Режим резания: скорость вращения круга ($V_{кр}$) - 35 м/с², скорость заготовки ($V_{заг}$) - 15 м/мин, глубина резания (t) – 0,005 мм, поперечная подача – 2 мм.

Профиль детали фиксировался с помощью автоматизированной системы состоящей из профилографа-профилометра модели 250 завода «Калибр», многофункциональной платы ввода/вывода (АЦП) ЛА-70 и компьютера, включенного в локальную сеть (рис. 3). Обработка полученных данных осуществлялась в среде табличного процессора Excel.

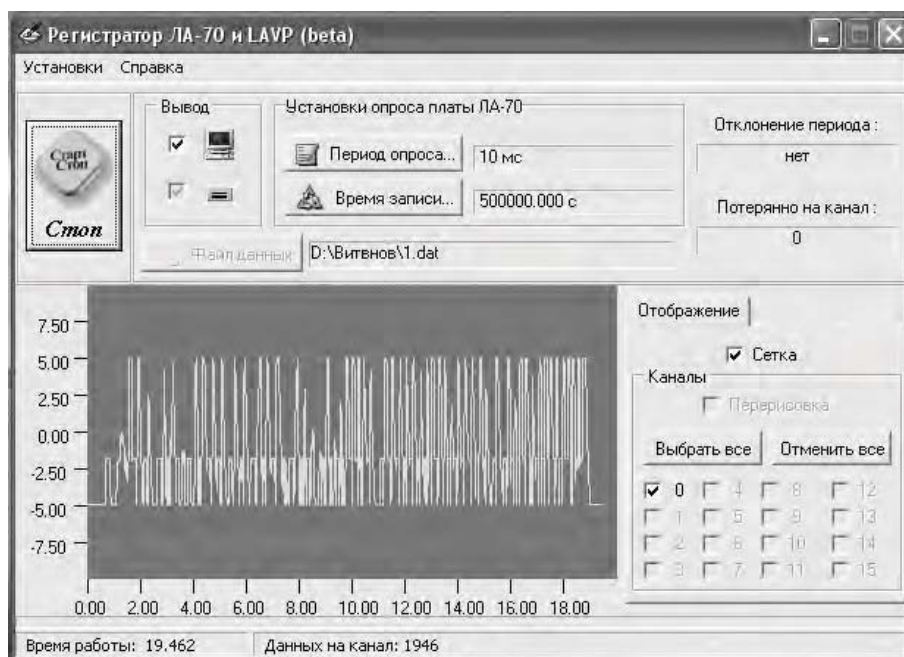


Рис. 3. Профилографирование поверхности детали

По виду ЛАЧХ установлено, что передаточная функция имеет вид:

$$W(s) = \frac{ks^2}{T^2s^2 + 2eTs + 1} \quad (6)$$

где k , T и e – искомые коэффициенты.

Аналитическое представление АЧХ для этой передаточной функции имеет вид:

$$A(\omega) = \frac{k\omega^2}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + 4e^2T^2\omega^2}} \quad (7)$$

Оно включает в себя все коэффициенты передаточной функции. Обработкой экспериментальных данных получены табличные значения АЧХ.

Коэффициенты АЧХ и передаточной функции определяли с помощью метода наименьших квадратов с использованием надстройки «Поиск решения». Для указанных условий эксперимента значения коэффициентов аппроксимации составляют: $k=73653$, $T=1,453$, $e=6,102$

В дальнейшем планируется рассмотреть влияние на вид и коэффициенты передаточной функции параметров режимов резания, обрабатываемого материала, а также характеристик инструмента и оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов С.Л., Зиновьев А.Т. Основа создания имитационных технологий прецизионного формообразования. / Алт.гос.техн.ун-т им.И.И.Ползунова. – Барнаул:Изд-во АлтГТУ, 2006. -198 с.
2. Исследования и изобретательство в машиностроении: Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / М.Ф. Пашкевич, А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, Л.М. Кожуро, В.М.Пашкевич; Под общ. Ред. М.Ф.Пашкевича. - Мн.: Адукацыя і выхаванне, 2005. - 287 с.: ил.

УДК: 621.9.04

СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОСНОВЫ ПОД НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ

Леонов С.Л., д.т.н., проф., Татаркин Е.Ю., д.т.н., проф.
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул. Тел. 8-913-216-57-10

Приведена постановка задачи оптимизации операций механической обработки основы для обеспечения максимальной площади контакта с покрытием и минимального расхода материалов с учетом стохастических характеристик геометрии инструмента.

The statement of problem of optimisation of operations of machining of a basis for maintenance of the maximum square of contact to a covering and the minimum charge of materials taking into account stochastic characteristics of geometry of the tool is resulted.

Подготовка поверхности под нанесение покрытия подразумевает создание определенной шероховатости основы. Это необходимо для обеспечения необходимой прочности сцепления. Нагрузки, приводящие к отслаиванию, пропорциональны площади контакта покрытия с основой. Обработка основы и создает на ее поверхности микрорельеф, увеличивающий эту площадь и, соответственно, прочность сцепления. Высокая удельная стоимость материала некоторых покрытий существенно ограничивает его толщину. При этом основным критерием становится стоимость объема наносимого слоя покрытия, в том числе и расположенного в рисках шероховатости основы.

Следовательно при создании развитого микрорельефа поверхности для обеспечения прочности сцепления основы с покрытием и увеличении высоты слоя шероховатости основы значительная часть покрытия может располагаться в рисках шероховатости. Поэтому микрорельеф основы неоднозначно влияет на эксплуатационные свойства покрытия.

Таким образом для повышения эффективности операций подготовки основы необходимо:

- 1) для снижения расхода материала покрытия - минимизировать его объем, размещаемый в микрорельефе поверхности основы;
- 2) для предотвращения отслаивания покрытия и обеспечения заданного ресурса ее работы - обеспечить развитый микрорельеф поверхности основы - максимум площади контакта покрытия с основой.
- 3) для увеличения прочности сцепления покрытия с необходимо выдерживать заданную толщину покрытия по максимуму и минимуму и ограничить максимальную величину шероховатости основы.

Математически первое требование выражается условием:

$$V_{II} = \int_0^{C_g} \int_0^{L_g} [y_{\max} - y(l,c)] dl dc \rightarrow \min \quad (1)$$

где L_g , C_g задают базовый участок на поверхности основы; V_{II} – объем покрытия, размещаемый в микрорельефе поверхности основы; y_{\max} – координата максимального выступа профиля основы; $y(l,c)$ – зависимость, описывающая топографию поверхности основы.

Второе требование – максимум площади контакта – определяется условием:

$$S_i = \int_0^{c_g} \int_0^{L_g} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial l}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial c}\right)^2\right] - \left(\frac{\partial y}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial c}\right)^2} dl dc \rightarrow \max \quad (2)$$

В зависимости (2) также используется топография поверхности $y(l, c)$.

Система ограничений (на максимальную величину шероховатости и минимально допустимую площадь контакта покрытия с основой) в математическом выражении имеют вид:

$$Ra(y) \leq Ra_{\text{доп}} \quad (3)$$

$$\int_0^{c_g} \int_0^{L_g} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial l}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial c}\right)^2\right] - \left(\frac{\partial y}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial c}\right)^2} dl dc \geq S_{\text{п мин}} \quad (4)$$

В связи с тем, что топография поверхности в настоящее время не нашла достаточного применения, логично выразить критерии (1) и (2), а также ограничения (3), (4) через характеристики профиля поверхности. При переходе от объемных (топографических) параметров к параметрам профиля поверхности, критерии значительно упрощаются и принимают вид:

$$S_{\text{СП}} = \int_0^{L_{\text{баз}}} (y_{\text{max}} - y(l)) dl \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$L = \int_0^{L_{\text{баз}}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dl}\right)^2} dl \rightarrow \max \quad (6)$$

где $y(l)$ – зависимость, описывающая профиль поверхности основы;

$L_{\text{баз}}$ – базовая длина.

Аналогично упрощается и ограничение (4):

$$\int_0^{L_{\text{баз}}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dl}\right)^2} dl \geq L_{\text{мин}} \quad (7)$$

Таким образом, для проектирования технологического процесса механической обработки основы под нанесения покрытия ставится оптимизационная задача в одном из двух вариантов - в объемной (топографической) постановке: критерии (1), (2) с ограничениями (3) и (4) или плоской: критерии (5), (6) с ограничениями (3) и (7).

Критерии (1), (2), (5) и (6) имеют различную размерность. Для их сравнения и реализации алгоритмов оптимизации удобнее перейти к

безразмерным параметрам. Например, для критериев (1) и (2) выражения будут иметь вид:

$$\begin{aligned}\tilde{V}_{\Pi} &= \frac{1}{C_g L_g y_{\max}} \int_0^{C_g L_g} \int_0^{L_g} [y_{\max} - y(l, c)] dl dc \rightarrow \min \\ \tilde{S}_{\Pi} &= \frac{1}{C_g L_g} \int_0^{C_g L_g} \int_0^{L_g} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial l}\right)^2\right] \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial y}{\partial c}\right)^2\right] - \left(\frac{\partial y}{\partial l} \frac{\partial y}{\partial c}\right)^2} dl dc \rightarrow \max\end{aligned}\quad (8)$$

Для критериев (5) и (6) выражения принимают вид:

$$\begin{aligned}\tilde{S}_{СП} &= \frac{1}{L_{\text{баз}} y_{\max}} \int_0^{L_{\text{баз}}} (y_{\max} - y(l)) dl \rightarrow \min \\ \tilde{L} &= \frac{1}{L_{\text{баз}}} \int_0^{L_{\text{баз}}} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dl}\right)^2} dl \rightarrow \max\end{aligned}\quad (9)$$

Значения безразмерных критериев (8) и (9) находятся в пределах 0...1.

Задача оптимизации усложняется, тем, что топография (профиль) поверхности имеет стохастические характеристики. В этом случае и критерии оптимальности, и ограничения имеют случайный разброс и становятся случайными величинами.

Обозначим плотности распределения:

$f_1(\tilde{V}_{\Pi})$ - безразмерного объема покрытия в рисках шероховатости;

$f_2(\tilde{S}_{\Pi})$ – безразмерной площади контакта покрытия с основой;

$f_3(Ra)$ – параметра шероховатости.

С учетом этих плотностей распределения задача оптимизации принимает вид задачи стохастической оптимизации:

$$F_1 = \int_0^1 \tilde{V}_{\Pi} \cdot f_1(\tilde{V}_{\Pi}) d\tilde{V}_{\Pi} \rightarrow \min \quad (10)$$

$$F_2 = \int_0^1 \tilde{S}_{\Pi} \cdot f_2(\tilde{S}_{\Pi}) d\tilde{S}_{\Pi} \rightarrow \max$$

$$\int_0^1 f_2(\tilde{S}_{\Pi}) d\tilde{S}_{\Pi} \leq P_1 \quad (11)$$

$$\int_{Ra_{\max}}^{\infty} f_3(Ra) dRa = 1 - \int_0^{Ra_{\max}} f_3(Ra) dRa \leq P_2 \quad (12)$$

Ограничение (11) задает обеспечение минимально допустимой площади контакта покрытия с основой, а ограничение (12) – предельно

допустимую шероховатость основы. Вероятности P_1 и P_2 определяют вероятность появления брака по невыполнению этих ограничений.

При решении задачи в плоской постановке при использовании профиля поверхности основы, критерии оптимальности принимают вид:

$$F_1 = \int_0^1 \tilde{S}_{СП} \cdot f_1'(\tilde{S}_{СП}) d\tilde{S}_{СП} \rightarrow \min$$
$$F_2 = \int_0^1 \tilde{L} \cdot f_2'(\tilde{L}) d\tilde{L} \rightarrow \max \quad (13)$$

Ограничение (11) преобразуется к виду:

$$\int_0^1 f_2'(\tilde{L}) d\tilde{L} \leq P_1 \quad (14)$$

Фактически критерии оптимальности (10) и (13) используют при оптимизации функции распределения как весовые функции. Эти выражения определяют математические ожидания случайных величин с учетом их плотностей распределения. Возможно выражение в безразмерной форме и ограничения (12).

В связи с наличием двух критериев оптимальности классическое решение задачи невозможно и необходимо сведение задачи к однокритериальной. Для этого существует 2 стандартных подхода. Первый подход заключается в формировании свертки $F = \alpha F_1 - (1 - \alpha) F_2$, где α - весовой коэффициент ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Второй подход заключается в перенесении одного из критериев в область ограничений. При этом выбирается обычно менее важный критерий. Например, перенос критерия F_2 приводит к исключению его и появлению ограничения типа $F_2 \geq F_{2\text{доп}}$. Здесь неопределенность остается в виде неизвестного параметра $F_{2\text{доп}}$.

В качестве примера использования описанной методики рассмотрим наружное точение стали 40X, диаметр детали 40 мм. Геометрия инструмента: $\varphi = 45^0 \pm 2^0$; $\varphi_1 = 45^0 \pm 2^0$; $r = 0,15 \dots 0,2$ мм; $V = 60$ м/мин. Параметр оптимизации – подача S . Для набора значений подачи $S = 0,05 \dots 1,2$ мм/об с учетом случайного колебания φ , φ_1 , r с помощью имитационной модели получены реализации профилей, а по ним рассчитаны значения параметров $\tilde{S}_{СП}$, \tilde{L} и Ra . Для получения стохастических характеристик вычисления производились 150 раз при случайных значениях параметров геометрии инструмента. Затем строилась гистограмма распределения параметров Ra , \tilde{L} и $\tilde{S}_{СП}$. Для оптимизации принято: $P_1 = P_2 = 0,05$ (вероятность брака не более 5%), $Ra_{\text{max}} = 0,04$ мм. Из ограничений найден допустимый диапазон изменения

подачи: $0,16 \leq S \leq 0,41$ мм/об. На рисунке приведены графики зависимости свертки F от подачи при различных значениях весового коэффициента α . Из анализа графиков видно, что оптимальное значение подачи может находиться как на границе допустимой области, так и внутри нее. Например, при $\alpha = 0,8$ и менее, оптимальное значение подачи соответствует правой границе: $S = 0,41$ мм/об; при $\alpha = 0,9$ оптимальная подача $S = 0,31$ мм/об; при $\alpha = 0,95$ оптимальная подача $S = 0,199$ мм/об; при $\alpha = 1$ оптимальная подача соответствует левой границе допустимой области: $S = 0,16$ мм/об.

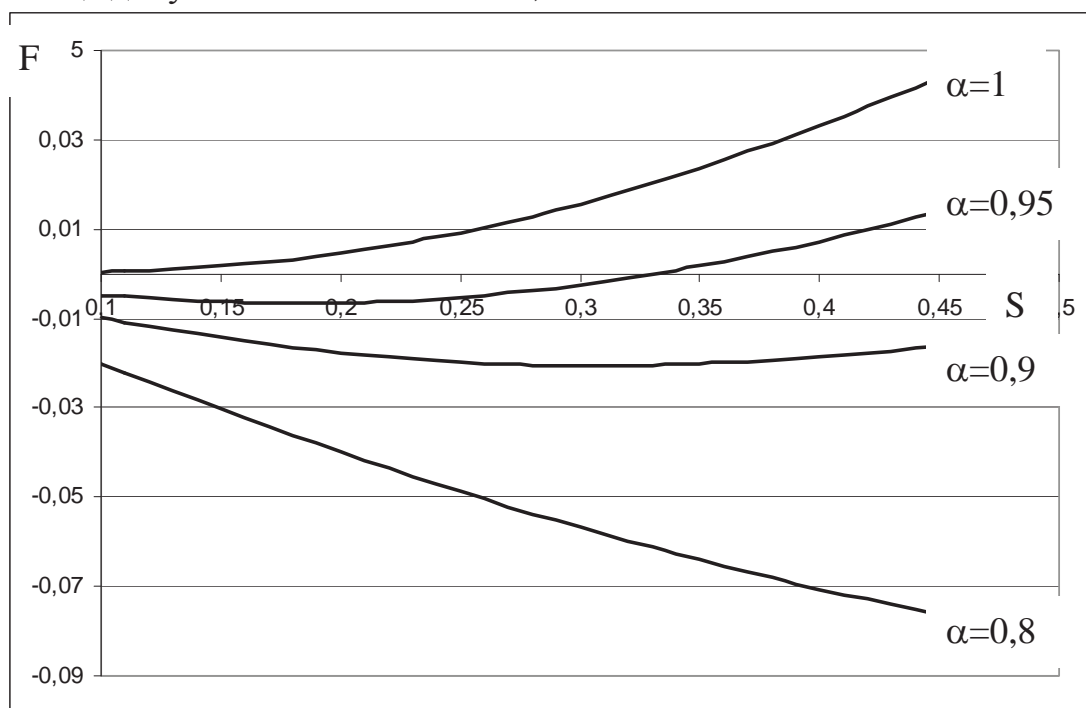


Рис. 1. Зависимость свертки F от подачи S при различных значениях весового коэффициента α

Возможность изменения весового коэффициента α дает возможность "маневра" при технологическом проектировании, позволяя при необходимости акцентировать внимание на площади контакта покрытия с основой или на остаточном объеме покрытия (например, при его высокой стоимости).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов, С. Л. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования / С. Л. Леонов, А. Т. Зиновьев – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. - 198 с.
2. Ситников, А. А. Технологическое обеспечение точности изготовления деталей с покрытиями / А. А. Ситников – Барнаул: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та им. И.И.Ползунова, 2004. - 198 с.

УДК 621.923

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ХРУПКИХ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В. Макара, аспирант

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический университет
Санкт-Петербург, тел. +7(812) 434-87-46, моб. +7(981) 797-03-56.

E-mail: yv_makar@mail.ru

Современные материалы, керамика, твердые сплавы, композиты и другие, обрабатываются шлифованием алмазным инструментом.

Обработку деталей из этих материалов ведут на шлифовальных станках с ЧПУ методом многопроходного шлифования. За один переход можно снять припуск t и исправить погрешности предшествующей обработки. В связи с развитием абразивной обработки в современном машиностроении, необходима оценка эффективности шлифования алмазными кругами.

Число работающих зерен в круге при глубине резания (t) и площади контакта (S_h) является одним из основных показателей эффективности шлифования различных поверхностей.

Grinding by the diamond tool processes modern materials, ceramics, hard alloys, composites, and others. CNC machines using multi-pass grinding carry out the processing of these materials. In one pass can be purge oversize and correct inaccuracy prior processing. In connection with the development of abrasive processing in modern mechanical engineering there is a need to assess the effectiveness of grinding processing by diamond grinding disc.

The number of working grains in the disk (at a depth of cut (t) and the contact area (S_h)) is one of the efficiency index of grinding processing of various surfaces.

Одной из актуальнейших проблем применения алмазных кругов является поддержание их стабильной режущей способности и обеспечение качества обработанной поверхности. Математическое описание отдельных параметров процессов шлифования является актуальной задачей для их управления.

Для оценки эффективности процесса шлифования и работоспособности шлифовальных инструментов используются разные показатели:

- а) линейный съём материала за единицу времени, мм/мин;
- б) износ инструмента, мм;
- в) период стойкости инструмента, мин;
- г) шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм.

Число работающих зерен в круге при глубине резания (t) и площади контакта (S_h) определяется по формуле:

$$N_t = N_{[\Delta n-1, \Delta n]} \cdot S_h,$$

где $N_{[\Delta n-1, \Delta n]}$ - плотность зерен (шт./мм²) в слое ($\Delta n-1 - \Delta n$)

Рассмотрим методику расчета числа работающих зерен в круге при их погружении в материал на глубину t .

- 1) Определение площади S_h (мм²) контакта круга с поверхностью заготовки при заданной глубине t резания за 1 ход.
- 2) Вычисление для назначенного алмазного круга плотности $N_{[\Delta n-1, \Delta n]}$ зерен при глубине t мм их погружения в материал заготовки.
- 3) Вычисление числа работающих зерен в круге при глубине t и площади контакта S_h .

1. Определение площади S_h (мм²) контакта круга с поверхностью заготовки при заданной глубине t резания за 1 ход.

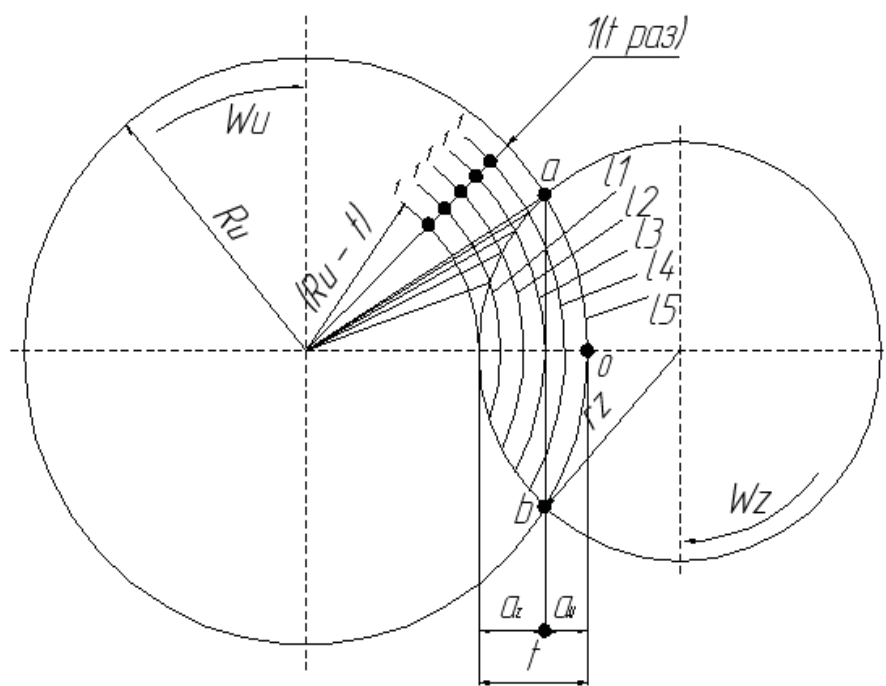
На рис.1, а и 1, б показаны схемы шлифования наружной и внутренней цилиндрических поверхностей кругом 1А1, где R_u – радиус инструмента, r_z – радиус заготовки

Зависимость площади S_h контакта кругов с цилиндрической заготовкой при наружном шлифовании (рис.1, а) от глубины внедрения (t) рассчитывается по формулам:

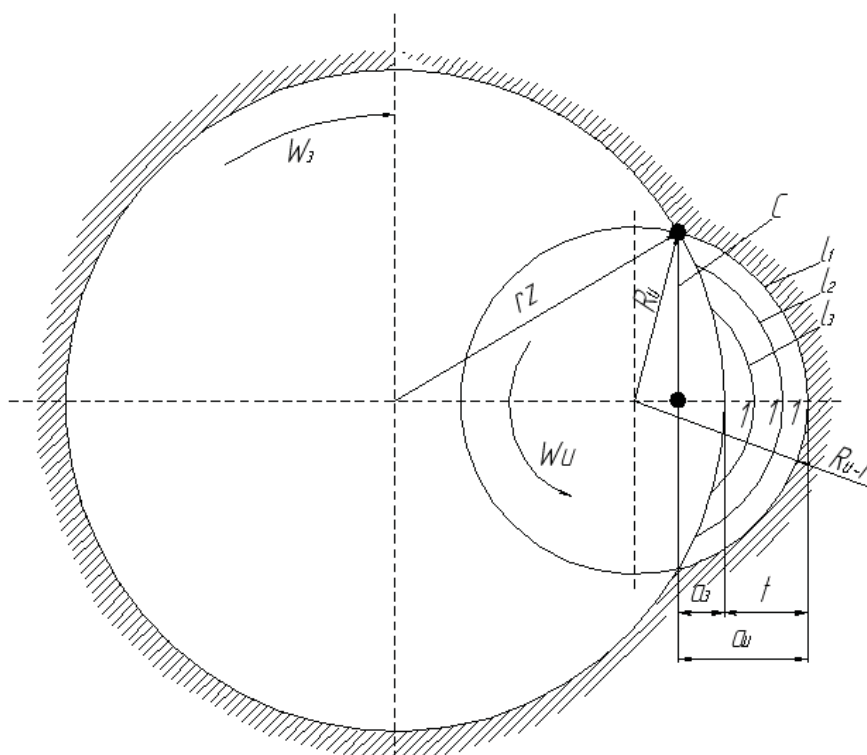
$$a_u(t) = t - \frac{R_u \cdot t - 0.5 \cdot t^2}{r_z + R_u - t}$$

$$l(t) = 4 \cdot \pi \cdot R_u \cdot \frac{\arctan \left[\frac{1}{\left[\frac{R_u - a_u(t)}{R_u} \right]^2 - 1} \right]}{360^\circ}$$

$$S_h = l(t) \cdot \frac{V_{os}}{n_{zag}}$$



а)



б)

Рис. 1. Схемы шлифования для расчета площади контакта круга с заготовкой: (а) – наружное шлифование, (б) – внутреннее

Обозначения на схемах показаны в формулах и объяснены в тексте статьи. Для случая внутреннего шлифования (рис.1.б) зависимости для расчета площади контакта (Sh) от глубины внедрения (t) будут иметь вид:

$$a_u(t) = t + \frac{r_z - (R_u - t) - t^2}{2} - \sqrt{\frac{[r_z - (R_u - t) - t]^2}{4} - 2 \cdot t \cdot [(R_u - t) + t]}$$

$$l(t) = 4 \cdot \pi \cdot (R_u - t) \cdot \frac{\arctan \left[\frac{1}{\sqrt{\left[\frac{R_u - t - a_u(t)}{R_u - t} \right]^2 - 1}} \right]}{360^\circ}$$

$$Sh(t) = l(t) \cdot \frac{V_{os}}{n_{zag}}$$

В пакете MATHCAD 14 были произведены расчеты, для случаев внутреннего и наружного шлифования, которые показали, что большее влияние на площадку контакта так же оказывает значение скорость подачи.

2. Вычисление для назначенного алмазного круга плотности $N_{[\Delta n-1, \Delta n]}$ зерен при глубине t мм их погружения в материал заготовки.

Вершины алмазных зерен в шлифовальных кругах в направлении нормально к обрабатываемой поверхности расположены по закону нормального распределения[3].

Количество зерен на единице площади круга или плотность зерен, вершины которых находятся в слое $t = \Delta_2 - \Delta_1$ абразивного рельефа вычисляется по формуле:

$$N_{[\Delta n-1, \Delta n]} = N_1 \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \int_{\frac{\Delta n-1}{1-\varepsilon}}^{\frac{\Delta n}{1-\varepsilon}} [1 - F_L(x)] dx$$

Где N_1 – среднее число зерен в 1 мм^3 алмазосодержащего пространства

$F_L(x)$ – функция распределения высот зерен в алмазосодержащем пространстве определяется, как сумма функций: $F_l(x)$ – функции распределения случайной величины l и $F_1(x)$ – функции учитывающая наклон величины l к оси y

$$F_L(x) = F_l(x) + F_1(x)$$

Функция распределения случайной величины l и функция учитывающая наклон величины l к оси y рассчитываются по формулам приведенным ниже

$$F_l(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \sigma_l \right) \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-l}{\sigma_l} \right)^2}$$

$$F_1(x) = K \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1-\alpha}} \right) \cdot \int_x^{\frac{x}{\alpha}} \sqrt{\left(\frac{x}{t} \right)^2 - \alpha^2} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-l}{\sigma_l} \right)^2} \cdot dt$$

По произведенным расчетам для назначенных шлифовальных кругов получили значения плотности зерен по слоям абразивного рельефа:

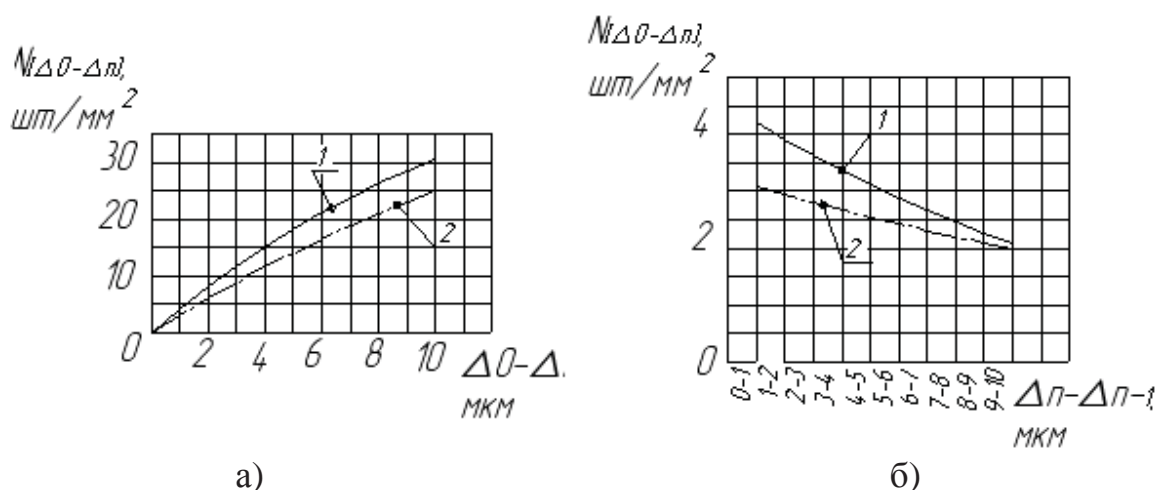


Рис.3. Графики плотности зерен (а) и приращения плотности зерен по слоям (б) в алмазосодержащем пространстве круга. (1 - круг А8 АС4 100/80 М2-01 100, 2 – круг 1А1 АС40 160/125 М2-01 100)

3. Вычисление числа работающих зерен в круге при глубине t и площади контакта S_h .

Проведем расчет числа работающих зерен по формуле $N_t = N_{[\Delta n-1, \Delta n]} \cdot S_h$.

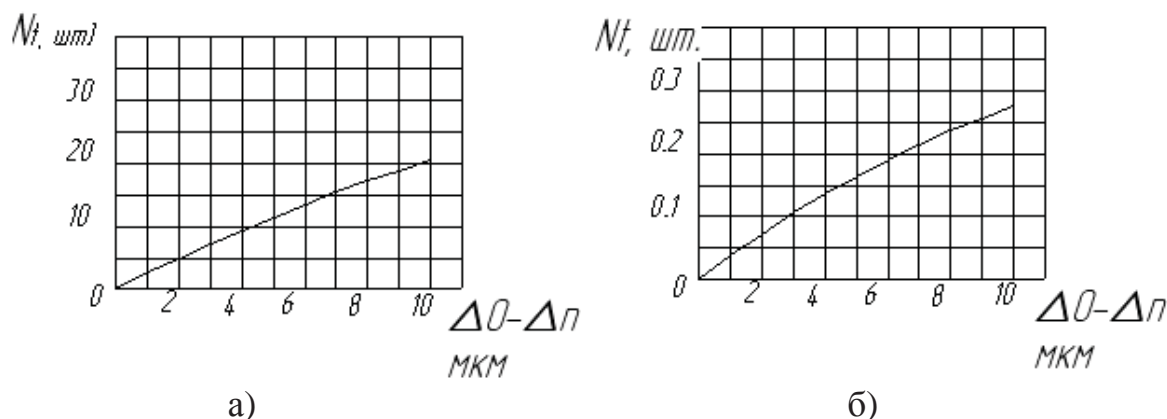


Рис. 4. Количество работающих зерен на площадке контакта круга с заготовкой для алмазов марки АС 4 с зернистостью 160/125 (а) и 100/80 (б)

По проведенным исследованиям и расчетам можно сделать вывод, что для повышения эффективности алмазного шлифования по критерию числа работающих зерен на площадке контакта необходимо подбирать режимы обработки, при которых площадь контакта круга с заготовкой будет максимальной. Значение плотности зерен в алмазосодержащем круге так же оказывает существенное влияние на эффективность шлифования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.Н. Маслов, «Теория шлифования материалов», Москва, «Машиностроение», 1974г. – 317 с.
2. Никитков Н.В. Математическое моделирование процессов алмазной абразивной обработки хрупких керамических материалов.- Математическое моделирование в машиностроении. Труды СПбГТУ № 466, Изд-во СПбГТУ, 1997, 32-36с.

УДК 622.24.051.52

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ПОДШИПНИКОВ С АФЗ В ОПОРНЫХ УЗЛАХ ГОРНЫХ МАШИН

Л.Е. Маметьев, д.т.н., проф., О.В. Любимов, к.т.н., В.П. Котурга, к.т.н.
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-76, факс 58-30-73.
E-mail: oleg_lyubimov@mail.ru

Рассмотрены некоторые вопросы применения радиальных подшипников сухого трения в опорных узлах горных, в частности, бурошнековых машин.

Some questions of application of the radial solid lubricated antifriction bearings into supporting units of mining, privately, auger machines are considered.

Значимость разработки оборудования бурошнековых комплексов, как разновидности горного оборудования, постоянно возрастает в России и в мире в силу ряда технических, технологических, экономических и экологических причин. При этом современные требования к бестраншейным проходческим комплексам определяются поставленной задачей, грунтовыми условиями и геометрическими размерами возводимой скважины [1]. К конструкции бестраншейного бурошнекового проходческого агрегата эти требования следующие:

- разрушение грунта и твердых включений;
- бурение скважин различного диаметра одним агрегатом;
- размельчение разработанного материала до размеров, пригодных к транспортировке;
- возможность очистки рабочего органа;
- крепление образованной выработки;
- возможность обратного хода;
- возможность изменения скорости и усилия подачи бурового инструмента;
- проходка намеченного участка без необходимости в техническом обслуживании.

Выдвигаются также специфические требования к устройствам для транспортирования грунта, заключающиеся в следующем:

- возможность транспортирования сыпучих и налипающих продуктов бурения;
- соответствие объема разработанного и транспортируемого грунта;
- максимальная длина транспортировки;
- простота и надежность соединений узлов оборудования при бурении;
- исключение возможности образования грунтовых пробок и прихвата инструмента в скважине.

Определенный резерв в этом отношении составляет научно обоснованные рациональные конструирование и эксплуатация опорных подшипниковых узлов шнекового бурового става. Так, использование при бурении скважины диаметром 0,54 м шнекового бурового става, опирающегося забойным концом на подшипниковый узел, жестко связанный с обсадной трубой, позволило улучшить центрацию обсадной трубы в буримой скважине, снизить энергозатраты. Однако было выяснено также, что подшипниковый узел затрудняет попадание продуктов разбуривания из призабойной зоны в зону работы шнекового става, что может привести к аварийной ситуации. Чтобы этого избежать, при бурении целесообразно использовать подшипниковые узлы с малым осевым габаритом, что позволяет уменьшить величину

непроталкиваемого участка. Для достижения еще большей энергоэффективности бурение должно вестись с увлажнением продуктов разрушения для исключения случаев залипания [1].

Снижение осевого и радиального габаритов опорных подшипниковых узлов может заключаться в устранении из конструкции типовых уплотняющих крышек. Но в этом случае сохраняющийся в узле стандартный подшипник качения оказывается подверженным попаданию продуктов разбуривания из призабойной зоны, что может привести к аварийной ситуации (рис. 1).

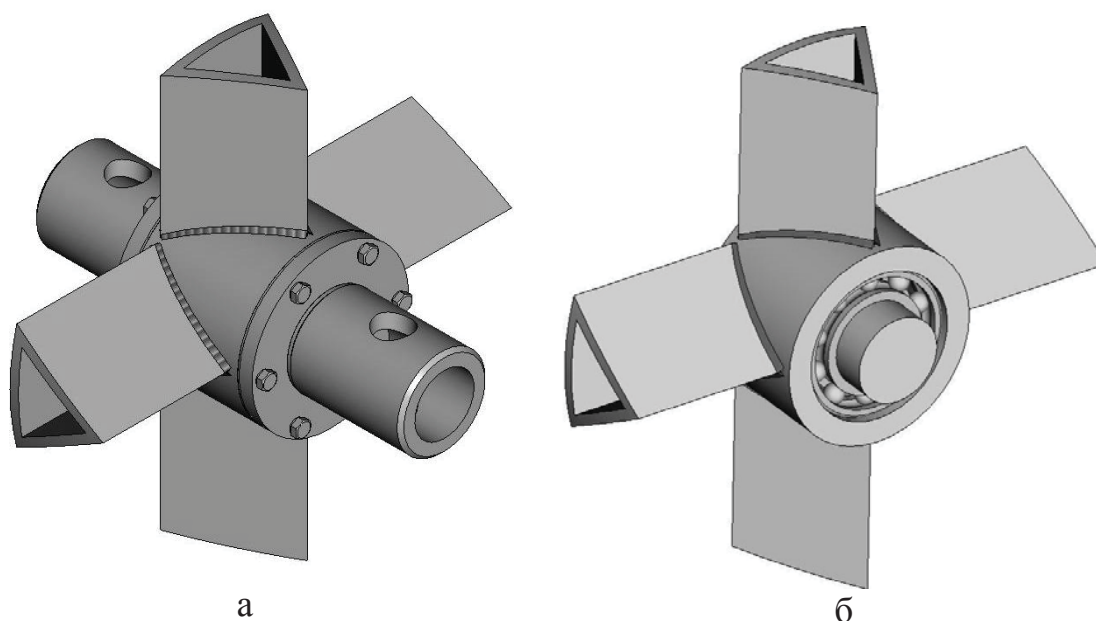


Рис. 1. Конструкции опорных подшипниковых узлов с типовыми уплотняющими крышками (а) и без них (б)

Решение данной проблемы – это применение в опорных подшипниковых узлах с антифрикционным наполнителем (рис. 2). В этих подшипниках к свойству самосмазывания добавляется функция самогерметизации узла трения. Эти два самоорганизующихся процесса, наряду со свойствами твердосмазочного материала, определяют перспективу использования данных подшипников в опорных узлах буровых машин и другого горно-шахтного оборудования.

Принимая во внимание модель накопления твердых частиц эксплуатационной среды во фрикционной зоне, характеризующую герметизирующую функцию подшипников при различных условиях полидисперсного запыления, можно отметить, что данные подшипники возможно использовать в узлах трения без внешних уплотнений при эксплуатации в крупнодисперсных средах и минимизацией зазоров в подшипнике, получаемых специальной технологией [2].

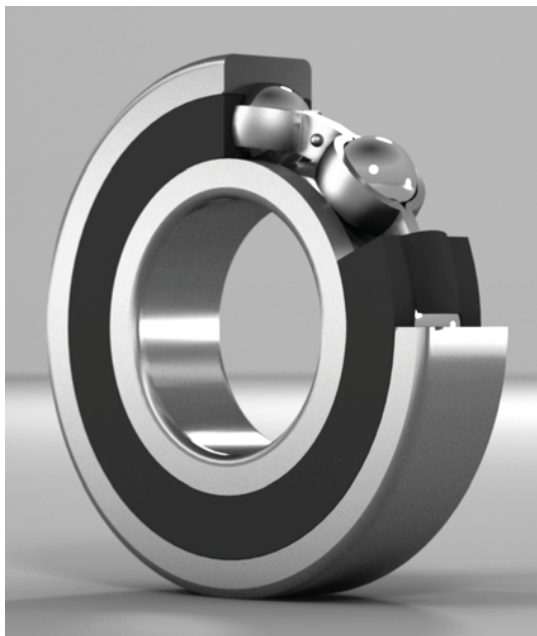


Рис. 2. Подшипник с твердосмазочным наполнителем (АФЗ)

С целью оценки работоспособности подшипников с АФЗ в опорно-центрирующих устройствах шнекового бурового става при непосредственном воздействии транспортируемого продукта бурения была осуществлена серия экспериментов на испытательном стенде кафедры горных машин и комплексов КузГТУ. Подшипники монтировались в корпусе опоры, расположенной в отрезке инвентарной обсадной трубы, нагружались весом секции шнековой спирали и приводились во вращение приводом экспериментальной бурошнековой машины. Корпус опоры оставлялся открытым так, чтобы подшипники имели непосредственный контакт с транспортируемым продуктом, в качестве которого использовалась глина, как наиболее часто встречающийся вид грунта, разрабатываемый бурошнековым способом.

На рис. 3 приведен график функциональной зависимости максимального преодолеваемого приводом в пульсирующем цикле при вращении момента трения подшипникового узла M_{\max} от времени t и влажности W при коэффициенте заполнения шнековой спирали $\psi = 0,5$.

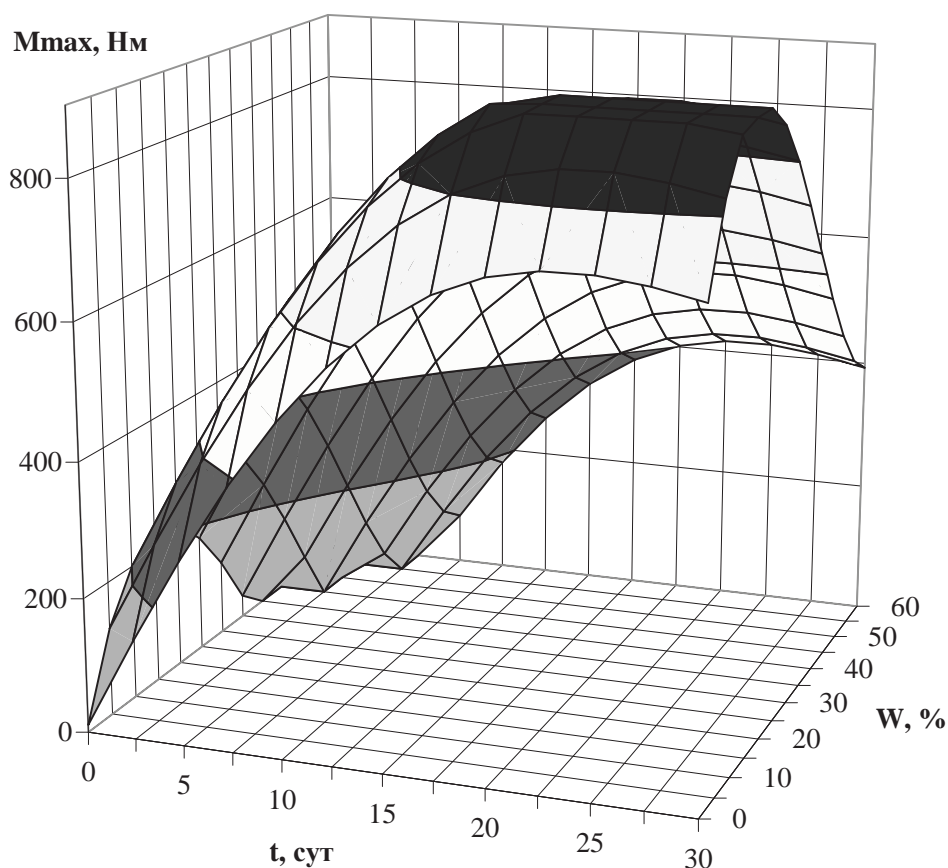


Рис. 3. График функциональной зависимости M_{\max} от t и W

Выявленные достоверные функциональные зависимости отражают возрастание M_{\max} на достаточно большом временном отрезке, в несколько раз превышающем среднее время бурения скважины. Кроме того, значение M_{\max} уменьшается с увеличением влажности транспортируемых продуктов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о положительном эффекте от применения в данных узлах подшипников с АФЗ с точки зрения снижения энергоемкости бурового оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маметьев, Л.Е. Результаты внедрения буровых машин для бестраншейной технологии прокладки коммуникаций / Л.Е. Маметьев, Ю.В. Дрозденко, О.В. Любимов. – Материалы 1-й конференции и выставки по бестраншейным технологиям в России, СНГ и странах Балтии [Электронный ресурс]. – М: SIBICO International Ltd., 2010. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв.; 12см - Загл. с контейнера. - ISBN 978 -5-904941-01-7.

2. Котурга, В.П. Прогнозирование и поддержание работоспособности подшипников с антифрикционным наполнителем в условиях полидисперсного запыления. Автореферат дисс. к.т.н. - М.:МВТУ, 1988. - 16 с.

УДК 622.232.83.054

ПОВЫШЕНИЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ РАДИАЛЬНЫХ КОРОНОК ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ

Л.Е. Маметьев, д.т.н., проф., А.А. Хорешок, д.т.н., проф.,
А.Ю. Борисов, ст. преп.

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(384-2) 39-69-40. E-mail: bau.asp@rambler.ru

Изложена сущность технического решения по оперативной замене и восстановлению работоспособности элементов корончатого рабочего органа проходческого комбайна при ремонте на месте эксплуатации.

The essence of the technical decision on operative replacement and restoration of serviceability of elements cutting head of road heading machine is stated at repair on a place of operation.

Необходимость механизации процессов разрушения, дробления и погрузки разрушенного массива угольных пластов и присекаемых горных пород предъявляет повышенные требования к износостойкости породоразрушающего инструмента, к элементам транспортирования и погрузки продуктов разрушения в призабойной зоне, к обеспечению механизированного способа дробления негабаритов, к оперативной взаимозаменяемости основных функциональных элементов конструкции при ремонтах в рабочем пространстве на месте эксплуатации.

Известные конструкции рабочих органов проходческих комбайнов имеют ту или иную степень ремонтпригодности на месте эксплуатации, но степень их адаптации к изменяющимся условиям эксплуатации является недостаточной, особенно при проведении ремонтно-восстановительных работ.

Перспективными являются исследования и конструкторские разработки, направленные на уменьшение объема потребляемой электроэнергии, нагрузок на приводы вращения и рабочие органы проходческих комбайнов избирательного действия [1].

Подготовительные забои практически осуществляют детальную доразведку угольных блоков в процессе оконтуривания лав. Работа подготовительных забоев зачастую происходит в недегазированных зонах, опасных по выбросам или горным ударам, местах геологических нарушений разных типов.

Опыт эксплуатации комбайнов избирательного действия показал, что для комбайнов, входящих в состав комплексов с конструктивными и

технологическими связями между элементами, выполняющими одновременно операции разрушения и погрузки горной массы, необходимо оценивать производительность не только количеством разрушенного материала, но и величиной грузопотока формируемого в процессе отбойки и погрузки горной массы [2].

На кафедре горных машин и комплексов КузГТУ разработаны варианты конструкций исполнительных органов проходческих комбайнов избирательного действия для проведения горных выработок по углю и смешанному забою с крепкими и абразивными породными прослойками и отдельными включениями. Конструкции исполнительных органов позволяют расширить область применения проходческих комбайнов на разрушение структурно-неоднородных сред забойных массивов горных пород, включая негабариты, причиной появления которых являются процессы отжима и внезапных выбросов угля, породы, газа в призабойных пространствах подземных горных выработок.

Основной научно-технический результат предлагаемых исполнительных органов заключается в повышении эффективности проведения горных выработок путем совмещения процессов разрушения, дробления и погрузки в исполнительном органе проходческого комбайна.

Исполнительные органы проходческих комбайнов избирательного действия могут иметь два варианта конструктивного исполнения (рис. 1, 2) и содержат стрелу 1 с двумя разрушающе-погрузочными коронками 2, кинематически связанными между собой через раздаточный редуктор 3.

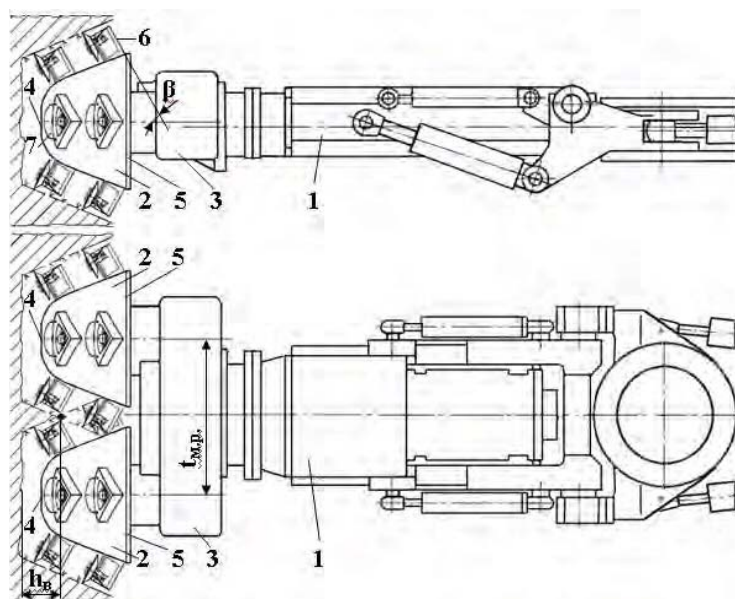


Рис. 1. Двухкорончатый исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия

В первом варианте исполнительного органа (рис. 1, 2) проходческого комбайна корпус каждой из разрушающе-погрузочных коронок 2 выполнен в виде усеченной конической поверхности, объединяющей меньшее основание 4 со стороны забоя с большим основанием 5 со стороны раздаточного редуктора 3 с длиной образующей, равной ширине захвата B_3 . На наружных поверхностях каждой из разрушающе-погрузочных коронок 2 жестко закреплены трехгранные призмы 6 с дисковыми инструментами 7 без возможности монтажа-демонтажа по неизменяемым вариантам схем набора.

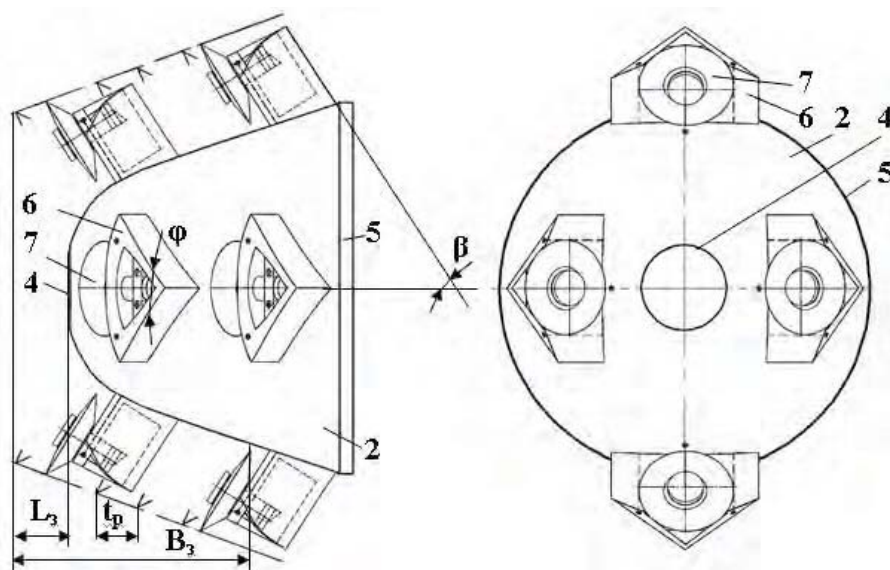


Рис. 2. Первый вариант исполнения унифицированной коронки с ограниченным уровнем ремонтпригодности

Во втором варианте выполнения исполнительного органа проходческого комбайна корпус каждой из разрушающе-погрузочных коронок 2 выполнен в виде усеченной многогранной пирамиды (рис. 3), объединяющей меньшее основание 4 со стороны забоя с большим основанием 5 со стороны раздаточного редуктора 3 с длиной образующей, равной ширине захвата B_3 . Опорные основания призм 6 выполнены в виде платы 8 (рис. 3, 4) с втулками-проушинами 9 для крепления к базовым поверхностям образующих граней 10 с ребрами 11, что обеспечивает возможность монтажа, демонтажа с изменяемыми вариантами схем набора по ширине захвата B_3 .

В обоих вариантах выполнения исполнительного органа проходческого комбайна дисковые инструменты 7 образуют опережающий вылет L_3 (рис. 2) от поверхности меньшего основания 4 корпуса разрушающе-погрузочной коронки 2, выполненного в виде усеченной конической поверхности (рис. 2) или усеченной многогранной пирамиды (рис. 3). Раздаточный редуктор 3 (рис. 1)

содержит кинематическую связь с межцентровым расстоянием $t_{m.p.}$ по осям разрушающе-погрузочных коронок 2. На наружных поверхностях разрушающе-погрузочных коронок 2 расположены в зонах подвижного кинематического сопряжения трехгранные призмы 6 с дисковыми инструментами 7. Это обеспечивает образование лабиринтных зазоров в осевом и радиальном направлениях с переменными площадями сечений.

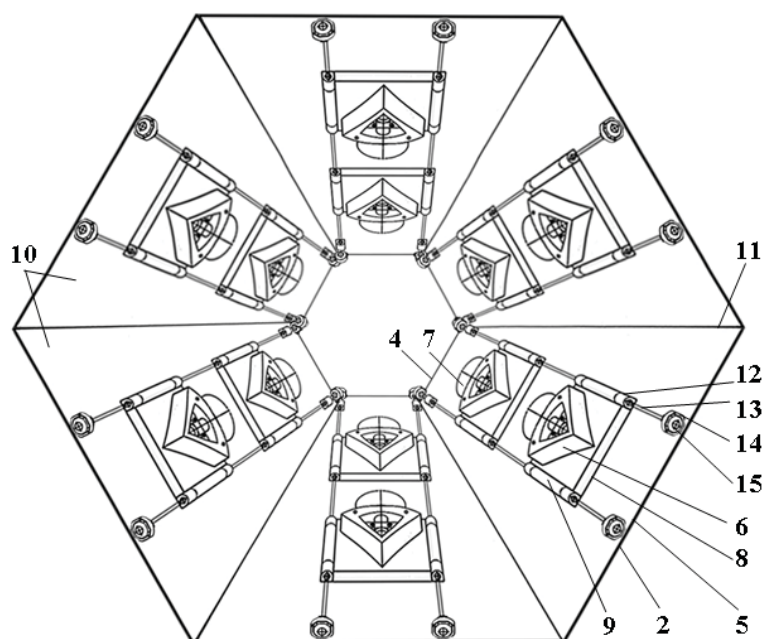


Рис. 3. Второй вариант исполнения унифицированной коронки с повышенным уровнем ремонтпригодности

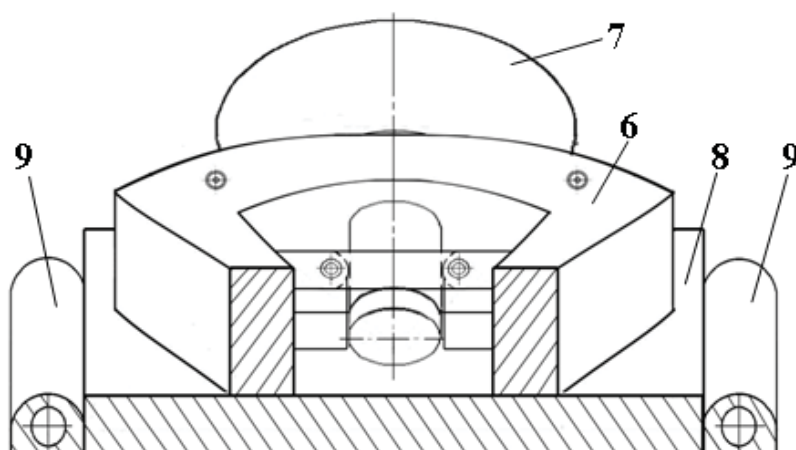


Рис. 4. Сменный разрушающе-погрузочный узел с дисковым инструментом

Дисковые инструменты 7 (рис. 2), расположенные в одних плоскостях вращения, которые размещены по ширине захвата B_3 с определенным шагом t_p , который является шагом расстановки

плоскостей вращения для кинематически и конструктивно увязанных трехгранных призм 6. При этом в крайних плоскостях вращения разрушающе-погрузочных коронок 2 со стороны больших оснований 5 траектории движения трехгранных призм 6 образуют зону геометрического и кинематического сопряжения.

Каждая грань 10 разрушающе-погрузочной коронки 2 (рис. 3) содержит два ряда проушин 12, которые жестко соединены с втулками-проушинами 9 опорных оснований в виде платы 8 трехгранных призм 6 посредством шкворней 13, обеспечивая схемы набора линий разрушения по ширине захвата В_з и создания винтовых поверхностей с разрывами спиралей в виде лопастных шнеков. Шкворни 13 торцевыми буртиками размещены в колпаках-втулках 14, выступающих над поверхностями граней 10 разрушающе-погрузочных коронок 2 со стороны больших оснований 5, обращенных к раздаточному редуктору 3 (рис. 1) и закреплены гайками 15. Аналогичное крепление может быть размещено и со стороны меньших оснований 4 (рис. 3), обращенных к забою.

В обоих вариантах выполнения исполнительный орган проходческого комбайна осуществляет проведение выработки циклически с поперечным перемещением разрушающе-погрузочных коронок 2 по ширине захвата В_з вынимаемого слоя при вертикально-ступенчатой или горизонтально-ступенчатой траекториях движения стрелы 1 (рис.1).

Конструктивно-кинематическое сопряжение трехгранных призм 6 с дисковыми инструментами 7 по линиям резания в пределах ширины захвата В_з обеспечивает эффективность дробления негабаритов, кроме того между коронками 2 создается транспортирующе-погрузочный коридор в диапазоне параметра межцентрового расстояния тм.р. (рис. 1).

Таким образом, оба варианта конструкций исполнительного органа проходческого комбайна позволяют повысить эффективность проведения горных выработок путем совмещения процессов разрушения забоя, дробления негабаритов и погрузки продуктов разрушения. При этом второй вариант позволяет производить ремонтно-восстановительные операции на месте эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронок проходческого комбайна избирательного действия / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 5. – С. 2–6.
2. Хорешок, А.А. Конструктивные подходы к расширению области применения исполнительных органов проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А. Ю. Борисов, С.Г. Мухортиков // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности : сб. тр. XII Междунар. науч.-практ.

конф. – Кемерово : СО РАН, КемНЦ СО РАН, ИУУ СО РАН, Кузбас. гос. техн. ун-т, ООО КВК "Экспо-Сибирь", 2010. – С. 191–193.

УДК 621.9

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.В. Доц к.т.н., доцент, А.М. Марков д.т.н., проф.
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова
Барнаул, тел. +7(3852) 29-09-43. E-mail: marinadoc1@mail.ru

Рассмотрен алгоритм проектирования операции токарной обработки композиционных материалов с использованием искусственных нейронных сетей.

The algorithm design for turning operations of composite materials using artificial neural networks.

Современные машиностроительные предприятия сталкиваются с необходимостью увеличения номенклатуры конкурентоспособной продукции. При этом требования к качеству деталей повышаются, но ограничиваются сроки выпуска и объемы партий деталей. Зачастую новые виды изделий проектируются из современных композиционных материалов, например стеклопластиков, успешно заменяющих черные и цветные металлы.

При этом, стеклопластики, являясь одной из перспективных групп композиционных материалов, не достаточно изучены с точки зрения их механической обработки: рекомендуемых инструментальных материалов, геометрии режущего инструмента, а также режимов резания, обеспечивающих заданные параметры качества обработанной поверхности. Отсутствие автоматизированных методик проектирования параметров операций для деталей из стеклопластика приводит к увеличению времени технологической подготовки производства (ТПП) до 30-40% от общей трудоемкости. Период ТПП становится соизмеримым со сроком нахождения изделия в производстве, а иногда и превышает его.

Автоматизация проектирования токарной операции для деталей из стеклопластиков затруднена отсутствием моделей, характеризующих процесс формо- и стружкообразования, а также баз данных режимов резания и конструктивно-геометрических параметров (КГП) режущего инструмента.

Одним из перспективных направлений совершенствования ТПП является использование автоматизированных систем, построенных с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). Принцип работы ИНС основан на массовой параллельной обработке большого объема информации и способности к самообучению системы по примерам обучающей выборки. Отличительной особенностью архитектуры таких вычислительных устройств является упрощение процессорного элемента однородной структуры до уровня нейрона, у которого резко усложнены связи между элементами и программирование перенесено на изменение весовых коэффициентов связей между вычислительными ячейками [1].

Преимуществом ИНС является способность обучаться решению задач, для которых у человека не существует формализованных, быстрых или работающих с приемлемой точностью алгоритмов решения. Применение в составе автоматизированной системы проектирования технологической операции оптимизационных алгоритмов с варьируемыми критериями оптимальности, построенных с помощью ИНС, позволит повысить эффективность принятия проектных технологических решений, минимизировать срок длительности ТПП, а также обеспечит возможность приспособлять базовый вариант системы к производственным и хозяйственным условиям конкретного предприятия. Однако, для построения нейросетевых моделей, описывающих процессы формо- и стружкообразования деталей из стеклопластика, необходимо провести экспериментальные исследования влияния режимов операции, КГП режущего инструмента на качественные показатели обработанной поверхности и тип стружки.

Результаты проведенного исследования течения стеклопластика твердосплавными пластинами разных типов по методу полного факторного эксперимента позволили построить математические модели процесса формирования дефектного поверхностного слоя Δh и шероховатости обрабатываемой поверхности Ra (табл. 1) [2].

Таблица 1
Эмпирические модели для применяемых сменных многогранных пластин

Тип пластины	Математическая модель для определения Δh , мм	Математическая модель для определения Ra , мкм
HNUM	$\Delta h = 0,8714 V^{0,0208} S^{0,353} t^{0,001}$	$Ra = e^{(0,77+0,14 \ln V + 1,72 S)}$
HNUA	$\Delta h = 0,4669 V^{0,214} S^{0,4311} t^{0,08}$	$Ra = e^{(0,76+0,12 \ln V + 1,63 S)}$
PNUM	$\Delta h = 0,5934 V^{0,1896} S^{0,2776} t^{-0,054}$	$Ra = e^{(1,14+0,12 \ln V + 2,09 S)}$
PNUA	$\Delta h = 0,5415 V^{0,2487} S^{0,7386} t^{0,1063}$	$Ra = e^{(0,7+0,15 \ln V + 2,27 S)}$

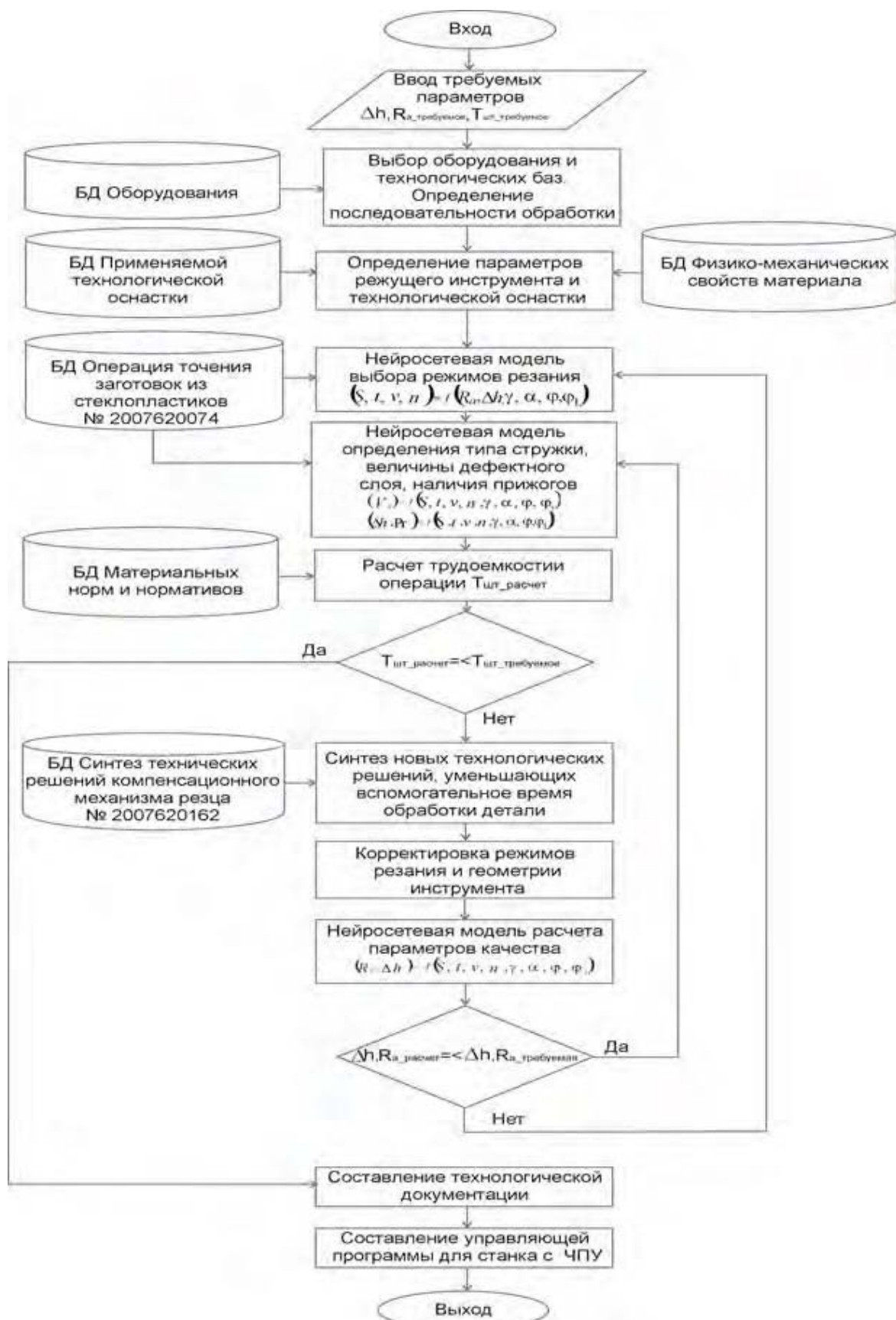


Рис. 1. Алгоритм проектирования операции для деталей из стеклопластиков, построенного на основе нейросетевых моделей

Кроме того, выявлено влияние на тип образующейся стружки режимов резания и КГП инструмента.

Полученные зависимости использованы для формирования обучающей и тестирующей выборок нейросетевых моделей процесса точения деталей из стеклопластика.

Проведенные исследования позволили составить базу данных «Операция точения заготовок из стеклопластика» [3], содержащую информацию о типе и геометрии сменных многогранных пластин, операционных режимах резания, а также прогнозируемые значения силы резания, величины дефектного слоя, шероховатости обработанной поверхности, вид стружки.

Используя полученные результаты, предложен алгоритм автоматизированного проектирования токарной операции для деталей из стеклопластиков, на основе нейросетевых моделей формо- и стружкообразования (рис. 1), обеспечивающий достижение заданного качества обрабатываемых поверхностей, за счет оптимизации выбора режимных параметров и КГП режущего инструмента. Нейросетевое моделирование реализовано с помощью программы NeuroPro_0_25 [1].

Разработанный алгоритм, позволяет повысить производительность обработки за счет оптимизации выбора режимов резания для деталей из стеклопластика, а также применения новых технологических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пятковский О.И. Разработка программного комплекса адаптивного нейропрограммирования/ Пятковский О.И., Авдеев А.С. //Программные продукты и системы. Научно-практическое издание. №1 (89) – 2010. – С. 106–109.
2. Доц М.В. Экспериментальные исследования точения стеклопластика / М.В. Доц, А.М. Марков, Е.Б. Бондарь // Современные технологические системы в машиностроении СТСМ – 2005 /Изд-во АлтГТУ – Барнаул, 2005 - С.133-135.
3. «Операция точения заготовок из стеклопластика» (ОТС) Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2007620074 от 08.02.07г.

УДК 621.91.002

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСКОВ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ УГЛОВЫХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ МАШИН

О.А. Медведев, к.т.н., В.Ф. Григорьев, к.т.н.

Брестский государственный технический университет
Брест, тел. 8103750162421321. E-mail: vfgrigorev77@yandex.ru

Статья посвящена разработке оригинальной методики проектного расчета угловых размерных цепей, позволяющей определять степень точности составляющих звеньев при обеспечении их полной взаимозаменяемости.

Применение методики сокращает трудоемкость определения допусков угловых составляющих звеньев.

This article is devoted the original method of design calculation of angle dimension circuits. This method reduces time parts angle dimension tolerances calculation.

Проектирование надежных и точных машин, эффективных техпроцессов сборки и механической обработки их деталей невозможно без комплексного размерного анализа объектов проектирования на основе выявления и решения конструкторских и технологических размерных цепей. На основе проектных расчетов размерных цепей можно определить технически обоснованные требования к точности размеров комплектующих деталей, исходя из заданной точности функциональных геометрических параметров машины, формирующихся при ее сборке, а также определить точность выполнения технологических размеров исходя из точности чертежных размеров детали при ее механической обработке.

Методика проектных расчетов линейных размерных цепей достаточно подробно разработана и описана в учебной и специальной технической литературе [2 и др.]. В то же время, вопросам выявления и решения угловых размерных цепей уделяется неоправданно мало внимания, несмотря на ряд объективных факторов, определяющих их важность:

- в большинстве случаев требуемый уровень точности размеров, определяющих угловые положения поверхностей деталей и сборочных единиц (отклонение от перпендикулярности, параллельности, наклона поверхностей, торцевого биения и др.) значительно выше уровня точности линейных размеров, связывающих указанные поверхности. В соответствии с ГОСТ 24643-81, допуски формы и расположения не должны превышать определенной доли допуска соответствующего линейного размера (от 60 до 25%);

- для достижения высокой точности угловых замыкающих размеров при сборке технически затруднительно использовать методы пригонки, регулирования, селективной сборки. Указанная точность обычно достигается методами полной и неполной взаимозаменяемости, что предполагает достаточную высокую точность получения угловых размеров при изготовлении деталей;

- точность углового положения поверхностей деталей при механической обработке так же обеспечивается методами полной и неполной взаимозаменяемости и зависит от точности угловых положений элементов станков, приспособлений, инструментов, поскольку в большинстве металлорежущих станков отсутствуют механизмы точной регулировки угловых положений рабочих органов.

Таким образом, во многих случаях проектные расчеты угловых размерных цепей имеют приоритетное значение для обеспечения точности изготовления деталей и сборки машин.

Несмотря на то, что основные положения теории линейных размерных цепей приемлемы и для угловых размерных цепей, расчеты последних не находят широкого применения в практике проектирования машин и техпроцессов. Это объясняется трудностями выявления, восприятия и изображения схем угловых размерных цепей, своеобразием построения системы допусков угловых размеров и отсутствием методики проектных расчетов, пригодных для практики.

Основой проектного расчета любой размерной цепи является способ распределения допуска замыкающего звена между составляющими звеньями. По аналогии с линейными размерными цепями, для угловых цепей целесообразно применение способа равноточных допусков. Используемые на практике способ подбора составляющих допусков и способ равных допусков имеют существенные недостатки. Бессистемный подбор допусков углов требует больших затрат времени. Принимая равные допуски на угловые размеры при разной длине границ углов, можно установить для углов с длинными сторонами неприемлемо высокий уровень точности. Более рационально допуск на составляющий угловой размер определять с учетом длин его границ так же, как допуски на составляющие звенья линейных цепей определяют с учетом их номиналов, ограничивая разнообразие допусков одним качеством.

Метод равноточных допусков может быть реализован для угловых размерных цепей при условии, что правила построения стандартной системы угловых допусков позволяют получить выражение для расчета номера степени точности (одинаковой для всех составляющих звеньев) в зависимости от допуска замыкающего звена, длин границ углов и параметров системы допусков.

Несмотря на то, что система допусков параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и система допусков углов регламентируется разными стандартами (ГОСТ 24643-81 и ГОСТ 8908-81 соответственно), они построены по единым принципам, имеют одинаковые интервалы длин, набор степеней точности и значений допусков (при выражении допусков углов в линейных единицах в виде катета). Это обстоятельство позволяет использовать метод равноточных допусков для решения размерных цепей, имеющих в качестве составляющих звеньев как углы, так и отклонения от перпендикулярности, параллельности, торцевого биения и наклона.

Анализ принципов построения указанных систем стандартных допусков позволил разработать математическое выражение для расчета

номера степени точности составляющих звеньев угловой размерной цепи.

Значения стандартных угловых допусков изменяются в пределах одной степени точности в зависимости от значения длины меньшей стороны угла по ряду предпочтительных чисел Ra10 со знаменателем прогрессии $\lambda = \sqrt[10]{10} \approx 1,25$. В пределах одного интервала длин допуски изменяются в зависимости от степени точности по ряду предпочтительных чисел Ra5 со знаменателем геометрической прогрессии $\varphi = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$ [1,2].

Поэтому любое значение стандартного допуска i -го составляющего звена угловой цепи можно выразить формулой

$$AT_i = AT_1 \cdot \varphi^{n-1} \cdot \lambda^{m-1}, \quad (1)$$

где: $AT_1=0,4$ мкм – исходный минимальный допуск для первой степени точности и первого интервала длин [1,2];

n – номер степени точности допуска;

m – номер интервала минимальной длины стороны нормируемого угла.

В то же время, границы интервалов длин в системах стандартных угловых допусков сами являются членами геометрической прогрессии со знаменателем $\varepsilon = \sqrt[5]{10} \approx 1,6$ в зависимости от номера интервала [1]. Тогда верхняя граница любого интервала длин может быть определена по формуле

$$L_i = L_1 \cdot \varepsilon^{m-1}, \quad (2)$$

где L_1 – верхняя граница первого интервала длин.

После логарифмирования уравнения (2) найдем выражение для m

$$\ln L_i = \ln L_1 + (m-1) \cdot \ln \varepsilon; \quad m-1 = \frac{\ln L_i - \ln L_1}{\ln \varepsilon}.$$

Заменив в (1) степень $m-1$ ее значением, после преобразований получим

$$AT_i = AT_1 \cdot \varphi^{n-1} \cdot \lambda^{\frac{\ln L_i}{\ln \varepsilon}} \cdot \left(\lambda^{1/\ln \varepsilon} \right)^{\ln L_i}, \quad (3)$$

При полной взаимозаменяемости составляющих звеньев, сумма угловых допусков составляющих звеньев, приведенных к одинаковой базовой длине стороны угла, должна быть равна угловому допуску замыкающего звена, приведенному к той же базовой длине. Для упрощения последующих выражений принимаем значение базовой длины 1 мм и приведенные значения допусков получим, разделив их на длину малой стороны соответствующего угла. Тогда соотношение

приведенных допусков звеньев угловой цепи, соответствующее их полной взаимозаменяемости, примет вид

$$\frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} = \sum_{i=1}^k \frac{AT_i}{L_i} = \sum_{i=1}^k \frac{AT_1 \cdot \varphi^{n_i-1} \cdot \lambda^{\frac{\ln L_i}{\ln \varepsilon}} \cdot \left(\lambda^{\frac{1}{\ln \varepsilon}}\right)^{\ln L_i}}{L_i}, \quad (4)$$

где: AT_{Δ} – заданный допуск замыкающего звена, мкм;

L_{Δ} – меньшая сторона замыкающего звена, мм;

i – номер составляющего углового звена;

k – число составляющих звеньев;

L_i – верхняя граница интервала длин, в который попадает меньшая сторона i -го звена, мм.

При условии, что n_j одинаково для всех составляющих звеньев, первые три множителя выносим за знак суммы и после алгебраических преобразований и логарифмирования получим уравнение для определения номера степени точности составляющих звеньев:

$$\begin{aligned} \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} &= AT_1 \cdot \varphi^{n-1} \cdot \lambda^{\frac{\ln L_i}{\ln \varepsilon}} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{\left(\lambda^{\frac{1}{\ln \varepsilon}}\right)^{\ln L_i}}{L_i}; \\ \varphi^{n-1} &= \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta} \cdot AT_1 \cdot \lambda^{\frac{\ln L_i}{\ln \varepsilon}} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{\left(\lambda^{\frac{1}{\ln \varepsilon}}\right)^{\ln L_i}}{L_i}}; \\ n &= \frac{1}{\ln \varphi} \cdot \left(\ln \frac{AT_{\Delta}}{L_{\Delta} \cdot AT_1 \cdot \lambda^{\frac{\ln L_i}{\ln \varepsilon}} \cdot \sum_{i=1}^k \frac{\left(\lambda^{\frac{1}{\ln \varepsilon}}\right)^{\ln L_i}}{L_i}} - \ln \sum_{i=1}^k \frac{\left(\lambda^{\frac{1}{\ln \varepsilon}}\right)^{\ln L_i}}{L_i} \right) + 1. \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом численных значений постоянных параметров ($\varphi \approx 1,25$; $AT_1 = 0,4$ мкм; $\lambda = 1,25$; $L_i = 10$ мм; $\varepsilon \approx 1,6$), получаем окончательное уравнение для определения номера степени точности:

$$n = 2,18 \cdot \left(\ln \frac{7,46 \cdot AT_{\Delta}}{L_{\Delta}} - \ln \sum_{i=1}^k \frac{1,6^{\ln L_i}}{L_i} \right) + 1. \quad (6)$$

В том случае, когда допуск замыкающего звена задан в угловой мере $AT_{\alpha\Delta}$, формула (6) может использоваться в следующем виде

$$n = 2,18 \cdot \left(\ln(7460 \cdot tg AT_{\alpha\Delta}) - \ln \sum_{i=1}^k \frac{1,6^{\ln L_i}}{L_i} \right) + 1. \quad (7)$$

При наличии в размерной цепи угловых звеньев, принадлежащих стандартным деталям или звеньев, допуски которых определены из расчета других размерных цепей, в формуле (6) вместо AT_{Δ} следует

использовать разность между заданным допуском замыкающего звена и суммой допусков стандартных составляющих звеньев.

Найденное значение номера степени точности округляют до ближайшего меньшего целого значения и по нему назначают допуски на составляющие угловые звенья по таблицам допусков углов (ГОСТ 8908-81) или допусков перпендикулярности, параллельности, торцевого биения и наклона (ГОСТ 24643-81). Сумма назначенных приведенных допусков не должна превышать приведенного допуска замыкающего звена.

Выражения, полученные для расчета номера степени точности, имеют достаточно компактный вид и вполне пригодны для нетрудоемких практических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палей М.А. и др. Допуски и посадки: Справочник: В 2 ч. Ч. 2. – 8-е изд. – Спб.: Политехника, 2001. – 608 с.
2. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / Под общ. ред. А.К. Кутая. М.: Машиностроение, 1983. - 367 с.

УДК 621.7.044.7

ВЫБОР СХЕМЫ КОМБИНИРОВАННОЙ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

А.Г. Овчаренко, д.т.н., проф., А.Ю. Козлюк, к.т.н., доц.,
М.О. Курепин, аспирант
Бийский технологический институт Алт ГТУ
Бийск, ул. Трофимова, 27. E-mail: pbuk@bti.secna.ru

В данной работе приведены различные схемы комбинированной магнитно-импульсной обработки сменных многогранных пластин из твердого сплава и обоснован выбор более перспективной схемы обработки.

In given article various schemes of the combined magnitno-pulse processing of replaceable many-sided plates from a firm alloy are studied and the choice of more perspective scheme of processing is proved.

Твердые сплавы являются одними из основных материалов при производстве металлорежущего инструмента, так как обладают наибольшей износостойкостью. Твердые сплавы состоят из карбидов вольфрама, титана и тантала на кобальтовой связке. Такие материалы являются дефицитными и дорогостоящими, поэтому существует необходимость в повышении износостойкости инструмента

изготовленного из твердых сплавов. Для повышения износостойкости инструмента из твердых сплавов применяют различные методы упрочнения. Наиболее перспективным направлением в этой области является разработка высокоэффективных и высокопроизводительных методов обработки поверхностей с применением концентрированных потоков энергий. Комбинированная магнитно-импульсная обработка (КМИО) является одним из таких методов [1-2].

Для максимально эффективного упрочнения твердых сплавов КМИО необходимо определить температуру предварительного нагрева и индукцию импульсного магнитного поля. Индукция импульсного магнитного поля должна быть равна индукции насыщения кобальта, так как только кобальт является ферромагнитным материалом в твердых сплавах. В области приближения к насыщению происходит неупругое смещение границ доменов к направлению внешнего поля. Полная ориентация намагниченности доменов по полю соответствует техническому насыщению. Индукция насыщения кобальта составляет 1,8 Тл [3].

Для получения необходимой индукции магнитного поля, достаточной для насыщения кобальта при существующих электрических параметрах установки для КМИО, необходимо не только использовать концентратор магнитного поля, но и выбрать оптимальную схему обработки. Для этого предварительно смоделирован процесс экспериментальных исследований КМИО для схемы обработки цилиндрической поверхности (рис. 1) [4].

Результаты были получены при использовании программного продукта COMSOL Multiphysics 4.1 методом конечных элементов. Параметры, используемые для расчета: сила тока, свойства материала концентратора, свойства материала образца, свойства воздуха, геометрические параметры индуктора.

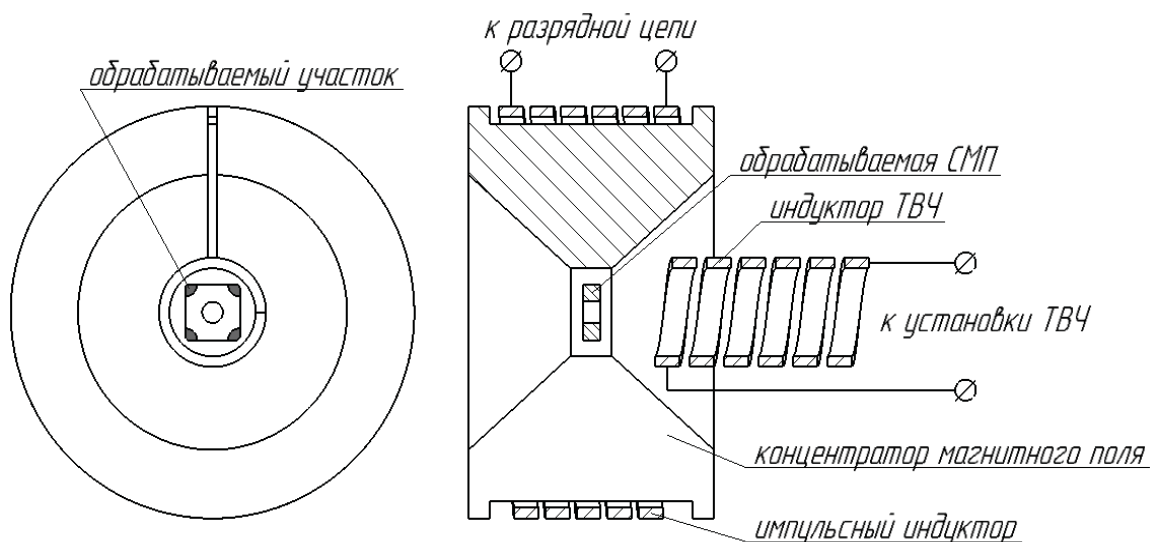


Рис. 1. Схема обработки цилиндрической поверхности комбинированной МИО твердосплавных сменных многогранных пластин

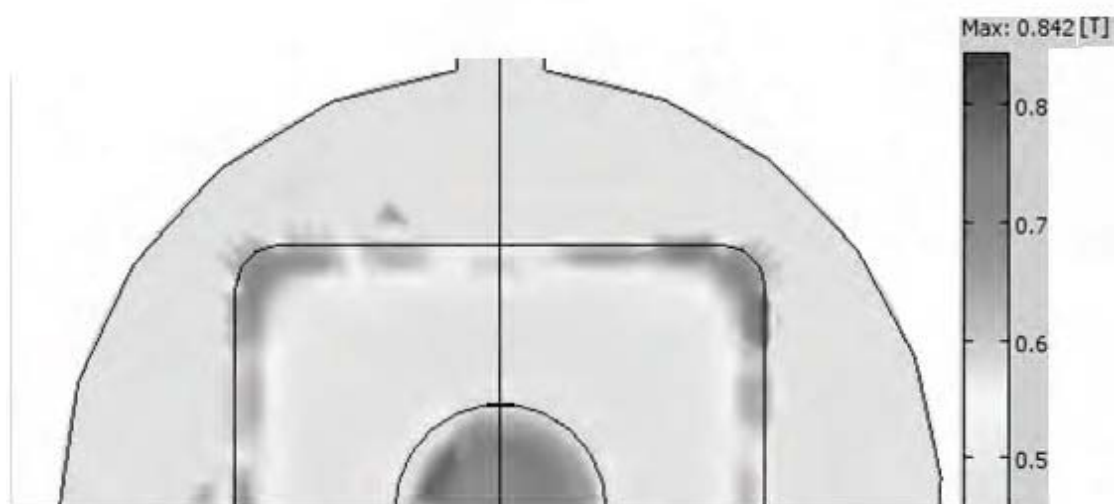


Рис. 2. Расчетная индукция импульсного магнитного поля при использовании схемы обработки цилиндрической поверхности КМИО

Из рис. 2 видно, что используя схему обработки цилиндрической поверхности комбинированной МИО, невозможно достичь индукцию импульсного магнитного поля необходимой для намагничивания кобальта до насыщения не увеличивая емкость установки для КМИО. В связи с этим целесообразно уменьшить зону обработки, применив следующую схему (рис. 3) [4].

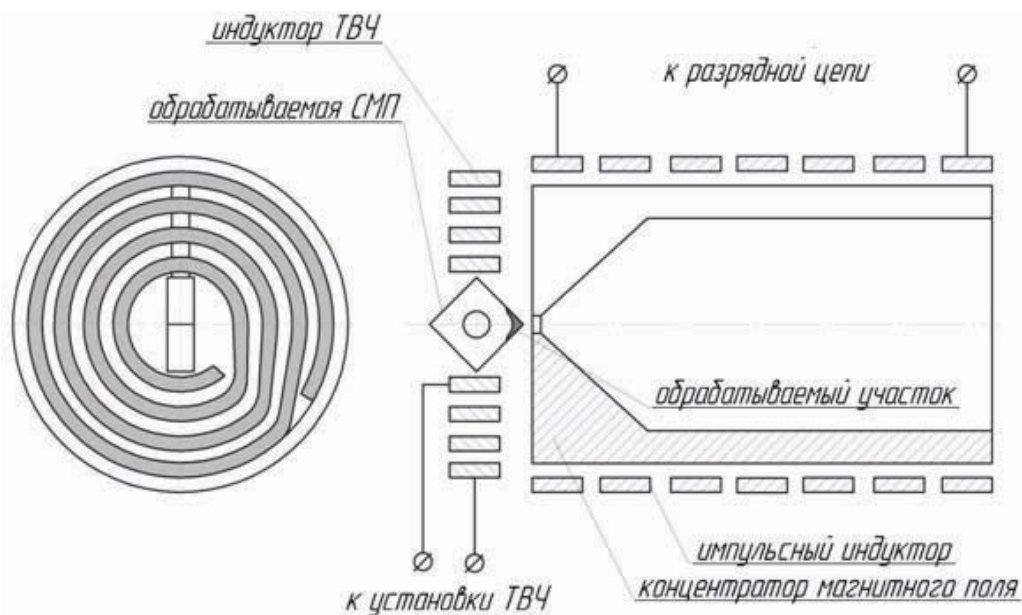


Рис. 3. Схема обработки плоской поверхности комбинированной МИО твердосплавных сменных многогранных пластин

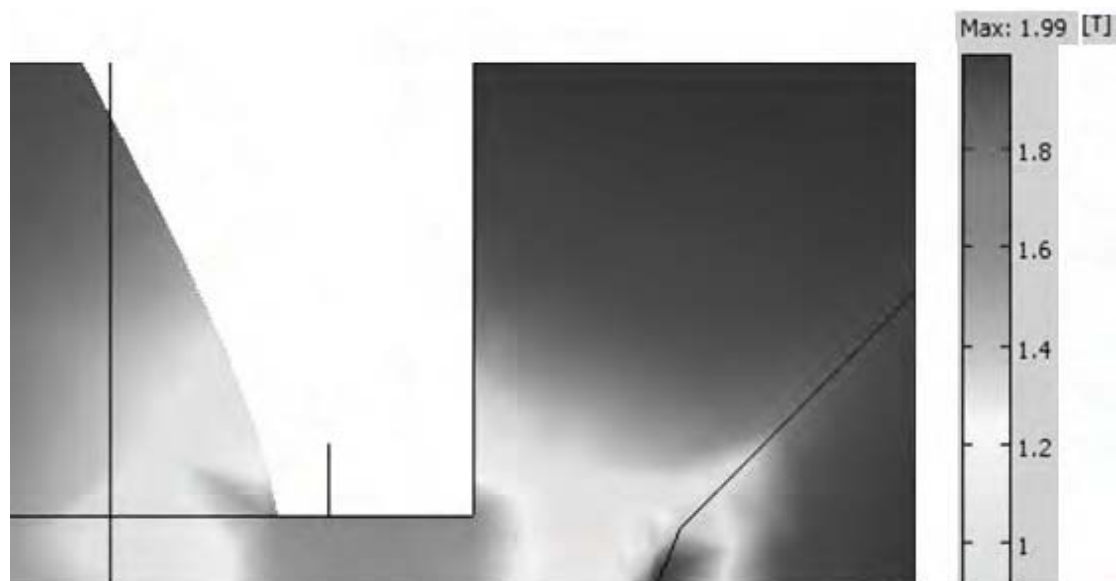


Рис. 4. Расчетная индукция импульсного магнитного поля при использовании схемы обработки плоской поверхности КМИО

Из рис. 4 видно, что, используя схему обработки плоской поверхности комбинированной МИО, возможно достичь величины индукции импульсного магнитного поля, необходимую для намагничивания кобальта до насыщения без увеличивая емкость установки для КМИО.

Используя схему обработки плоской поверхности необходимо каждую вершину обрабатывать отдельно, поэтому более перспективным вариантом будет увеличение емкости установки, что позволит

сократить время и уменьшит расход энергии на нагревание сменных многогранных пластинок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко, А.Г. Повышение износостойкости пластин из твердого сплава/ А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов. – 2010. - №2. – С.13-15.
2. Малыгин, Б.В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение – 1989. – 112 с., ил.
3. Чередниченко В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. 2-е изд., перераб. М.: изд-во «Омега-Л», 2006 г.
4. Овчаренко А.Г. Индукторы для комбинированной магнитно-импульсной обработки инструментов различной формы / А.Ю. Козлюк, М.О. Курепин //Обработка металлов.-2008.- №3. - С.11-12.

УДК 62-242.3

СТАЛЬНЫЕ ПОРШНЕВЫЕ КОЛЬЦА

Г.А. Околович, д.т.н., Е.А. Сизова, аспирант, А. Г. Околович, аспирант
Алтайский государственный технический ун-тет им. И.И. Ползунова
Барнаул, тел.+7(3852) 29-09-63. E-mail: karpov43@list.ru

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. Проведено обоснование выбора инструментальных сталей. Исследованы способы химико-термической обработки волочильных роликов и стальных поршневых колец.

Промышленные испытания колец показали повышение эксплуатационной стойкости в 1,5..2,0 раза по сравнению с чугунными кольцами.

The manufacturing techniques of steel piston rings are developed by a method of cold plastic deformation at drawing. Modes of thermal processing are certain at рекристаллизационном holiday, термофиксации and термостабилизации. Calculation of a degree of plastic deformation is executed at drawing. The substantiation of a choice tool сталей is lead. Ways of химико-thermal processing of drawing rollers and steel piston rings are investigated.

Industrial tests of rings have shown increase of operational stability 1,5-2 times in comparison with pig-iron rings.

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 исходного состояния стали следует выполнить отжиг 1-го рода (на 10 – 20 °С ниже A_{c1}).

Компрессионные ПК изготавливают из стали 65 Г после холодной пластической деформации ($\epsilon = 50 - 70\%$) при протягивании проволоки диаметром 5-6 мм через профильные волочильные ролики. Упрочнение при пластической деформации является результатом роста плотности дислокаций (твердость достигает HRC 35 – 40). В тоже время, значения свойств, характеризующих пластичность и вязкость стали, с ростом степени обжата увеличиваются лишь до 75%, а затем снижаются. Такое состояние наклепанного металла является предельным; при попытке продолжить деформирование металла разрушается. Это объясняется возникновением очагов разрушения в результате дробления цементитных пластинок, расположенных в сильно упрочненной ферритной матрице.

Для заживления деформационных дефектов и повышения пластичности стали перед навивкой профиля на оправку осуществляют рекристаллизационный отпуск при 500 °С, 1ч. Навивка полученного профиля компрессионного кольца на оправку с натяжением сопровождается динамическим старением при последующем термостабилизационном отпуске 550 °С, 1 ч., и полигонизацией, т.е. упорядочением и стабилизацией структуры.

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.

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 снижению шероховатости поверхности.

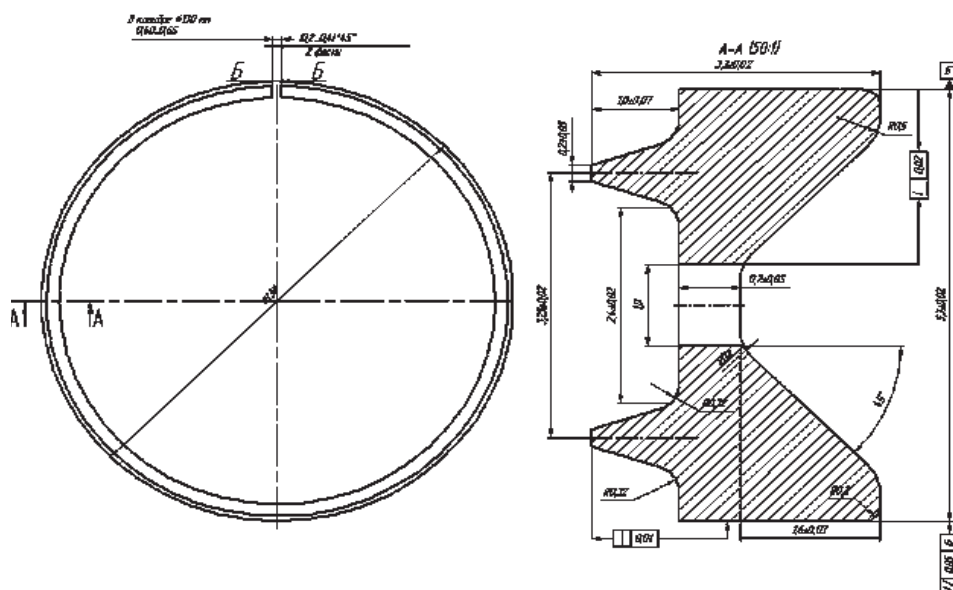


Рис. 1. Маслоъемное кольцо

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).

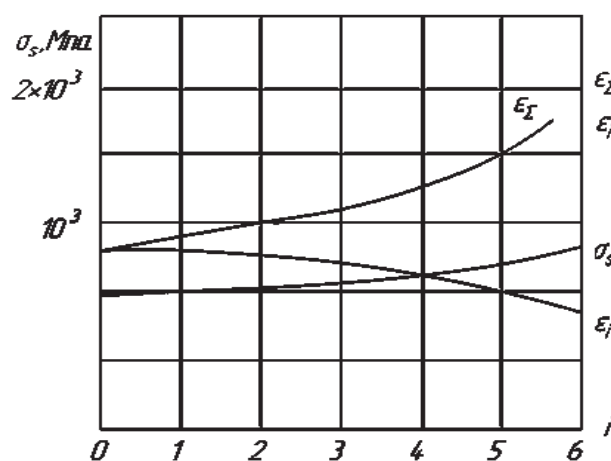


Рис. 2. Графики изменения σ_s , ϵ_Σ и ϵ_i по переходам

С нарастанием степени общей деформации (ϵ_Σ) в процессе волочения, вследствие упрочнения металла, вытяжка за проход уменьшается. Чем меньше эти обжатия, тем медленнее нарастает прочность, тем выше степень суммарной деформации и тем выше

абсолютная величина механических свойств. Падение единичной степени деформации (ϵ_i) должно компенсировать рост кривой упрочнения (σ_s), это обеспечит оптимизацию силовых условий процесса волочения.

Изготовление стальных маслоъемных ПК сложного профиля с перфорированными пазами производят шестикратно протягиванием проволоки из стали 20Х13 диаметром 5...6 мм через профильные волочильные ролики (рис. 3).

Первое деформационное упрочнение протягиванием проволоки через профильные волочильные ролики производят с обжатием 35...40% для получения высокой твердости и ориентированной структуры. После него осуществляют рекристаллизационный отпуск при температуре 660...680 °С в течение одного часа для снижения твердости до 20...22 НRC и повышения пластичности во избежание растрескивания при следующем деформационном упрочнении.

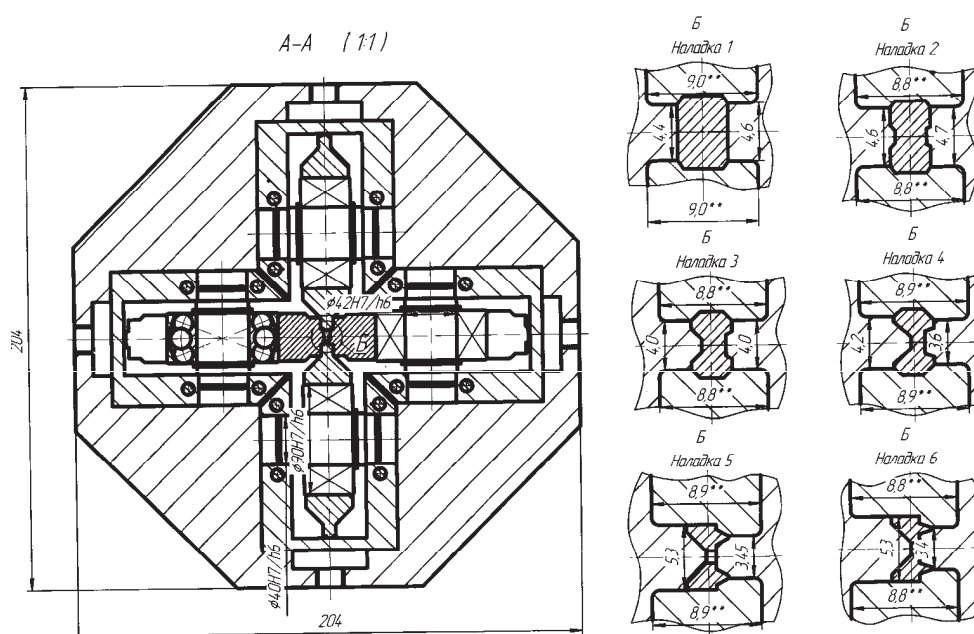


Рис. 3. Блок калибров волочильных роликов по переходам

Второе и третье деформационное упрочнение протягиванием проволоки осуществляют с обжатием 20...25% и 10...15%, соответственно, необходимое для формирования профиля маслоъемного кольца с последующим рекристаллизационным отпуском при 660-680 °С в течение часа для снятия напряжений. Кроме того, после отпуска достигаются высокие степени обжатия, связанные с получением ориентированной структуры, что способствует равномерной деформации при волочении.

Четвертое деформационное упрочнение 15...20% обеспечивает необходимое деформационное упрочнение и получение заданного профиля. После чего выполняют пробивку перфорированных пазов и калибрующее обжатие 6...8% для получения готового профиля маслоъемного поршневого кольца с дальнейшей навивкой на оправку и термофиксации при 500 °С в течение одного часа.

На оправке профиль разрезают на отдельные кольца, которые устанавливают в гильзу и в ней подвергают термостабилизации при температуре 550 °С в течение часа для протекания процессов полигонизации, т.е. выстраивание дислокационных стенок, повышение комплекса механических свойств деформационной структуры, т.к. окончательные свойства пружин определяются условиями отпуска, в процессе которого реализуется потенциальные возможности для повышения сопротивления малым пластическим деформациям и всего комплекса прочностных свойств.

Вследствие высоких контактных нагрузок, значительных сил трения в поверхности инструмента, волочильные и шлиценакатные ролики изготавливаются из высокопрочных инструментальных сталей Х6ВФ, 6Х4М2ФС (ДИ55) ГОСТ 5950-00 или быстрорежущей стали Р6М5 с высоким сопротивлением пластической деформации. Заготовку получают ковкой из круга 80-100мм. с осадкой на круг диаметром 180 мм.

Для повышения твердости, износостойкости, контактной прочности и выносливости инструмента выполнено упрочнение поверхности роликов карбонитрацией в расплаве солей (таблица 3).

Таблица 3

Стойкость волочильных роликов в зависимости от режимов термообработки и карбонитрации

№ п/п	Марка стали	Температура, °С		Твердость HRC	Стойкость, метр	
		Заковки	Отпуска		Сталь 20Х13	
					без карбонитрации	после карбонитрации
1	Р6М5	1180	580	59-61	1580	2800
2	Х6ВФ	1100 + 960	520	56-58	1400	2600
3	6Х4М2ФС	1040	540	58-60	1560	3200

Обработка стали при карбонитрации дает на поверхности слой, имеющий гексагональную структуру, присущую нитриду железа Fe₃N и карбиду железа Fe₃C - карбонитридная фаза Fe₃(NC). Размеры слоя - фазы Fe₃(NC) зависят от температуры процесса и длительности насыщения.

В тоже время азотированный слой значительно уступает карбонитрированному по прирабатываемости изделий и износостойкости. Применение карбонитрации для обработки деталей обеспечивает повышение усталостной прочности на 50-80%, резкое повышение сопротивления износу по сравнению с цементацией, нитроцементацией, азотированием. Полученные на поверхности нитридные фазы даже при отсутствии смазки не проявляют склонности к схватыванию.

Производственные испытания волочильных роликов после карбонитрации показали повышение стойкости инструмента от 1,5 до 3-х раз.

ВЫВОДЫ

1. Выполнен расчет переходов для получения заданного профиля П.К. по которому разработана конструкторская документация на изготовления волочильных роликов.

2. Изготовлены и проведены испытания опытных волочильных роликов из инструментальных сталей Х6ВФ, 6Х4М2ФС и Р6М5.

3. Проведены испытания износостойкости волочильных роликов и П.К. после поверхностного упрочнения карбонитрацией и сульфидирования.

4. Холодная пластическая деформация, термические процессы, упрочнение рабочих поверхностей инструмента и поршневых колец. Обеспечивают производство качественных колец соответствии с требованиями ДИН и ЕВРО-3.

5. Разработанная технология позволяет выпускать поршневые кольца для дизелей, бензиновых ДВС, компрессоров и др. установок в диапазоне \varnothing 60-180мм. Достигается повышение работоспособности цилиндропоршневой группы в 1,5-2,0 раза по сравнению с чугунными кольцами.

6. Технологический процесс изготовления поршневых колец освоен в производстве ООО ЦРТ «Алтай». Комплектующие колец \varnothing 80-130мм, а также \varnothing 180 для К-700 поставляются на рынок запчастей Алтайского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Околович, А.Г. Исследование технологии изготовления стальных поршневых колец/ А.Г. Околович// Ползуновский вестник №1-2, 2009, С. 256-259.
2. Околович, А.Г. Новые технологии изготовления стальных поршневых колец [Текст]/ А.Г. Околович, Г.А. Околович// Доклады 12-ой Международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня». - СПб, 2010, С. 253-259

3. 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.
4. 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.
5. Пат.2380210 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» - №2008115773/02, заявл. 21.04.08; опубл. 27.01.10, Бюл. №3.
6. 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, № 36.

УДК 621.43.01

ВЫБОР НАГРУЗОЧНО-СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДВС В ХОДЕ ПРИЕМОСДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Осипов К.Н., аспирант
Севастопольский национальный технический университет
Севастополь, Украина

В работе предлагается подход к определению рациональных нагрузочно-скоростных режимов работы ДВС в ходе приемосдаточных испытаний.

The method to determine rational load-speed regime of working for internal combustion engines is proposed.

Современные двигатели внутреннего сгорания (ДВС) должны отвечать повышенным требованиям к надежности, ресурсу, экологической безопасности, экономичности. Наиболее важную роль в их выполнении играют приемосдаточные испытания на завершающем этапе производства. Точность и достоверность результатов испытаний, а также долговечность ДВС зависят от рационального выбора нагрузочно-скоростных и температурных режимов испытаний. Однако выбор режимов представляет сложную задачу, не имеющую однозначного решения [1]. Поэтому поиск путей ее решения по-прежнему актуален.

Целью работы является выбор нагрузочно-скоростных режимов работы и формирование на их основе методики приемосдаточных

испытаний ДВС, позволяющей повысить достоверность оценки качества сборки в серийном производстве.

В современном отечественном производстве оценку качества сборки ДВС проводят на нескольких установившихся режимах работы. При этом измеряют и сравнивают с допустимым значением диагностические параметры: концентрацию углеводородов в отработавших газах, величину абсолютного давления воздуха во впускном коллекторе, давление масла и максимальное количество оборотов коленчатого вала двигателя на холостом ходу. Исправными двигателями считают те, для которых измеренные значения параметров отличаются от допустимых не более чем на 5%. В качестве примера в таблице 1 приведены допустимые значения диагностических параметров для двигателей МеМз – 307, 3071, 407, 245.

Исследования наиболее часто встречающихся дефектов, возникающих при изготовлении и сборке ДВС, показали, что для достоверного определения качества сборки испытуемых двигателей приведенная методика непригодна [2], поскольку измеряемые параметры не позволяют на нескольких установившихся режимах в полной мере оценить их техническое состояние.

Таблица 1

Допустимые значения диагностических параметров ДВС

Наименование параметра	Обозначение	Min.	Max.
Содержание углеводородов, млн.	CH	0	400
Абсолютное давление, кПа/мм.рт.ст.	P_a	17/130	48/360
Частота вращения на холостом ходу, об/мин	n_e	800	900
Давление масла, кг/см ²	P_m	0,8	4

Для определения дефектов, а также качества сборки ДВС и, как следствие, способности выполнять двигателем свои функции, испытания необходимо проводить под нагрузкой на режимах работы, близких к эксплуатационным режимам [3].

Режимными параметрами ДВС являются частота вращения коленчатого вала (далее просто частота вращения) и нагрузка. Поэтому для имитации эксплуатационных режимов работы двигателей на стенде необходимо и достаточно обеспечить заданное управление частотой вращения и моментом сопротивления вращению.

В качестве закона, описывающего изменение частоты вращения коленчатого вала, может быть использован закон, который аппроксимирует изменение частоты вращения коленчатого вала в городских условиях движения транспортного средства (рис. 1) [4].

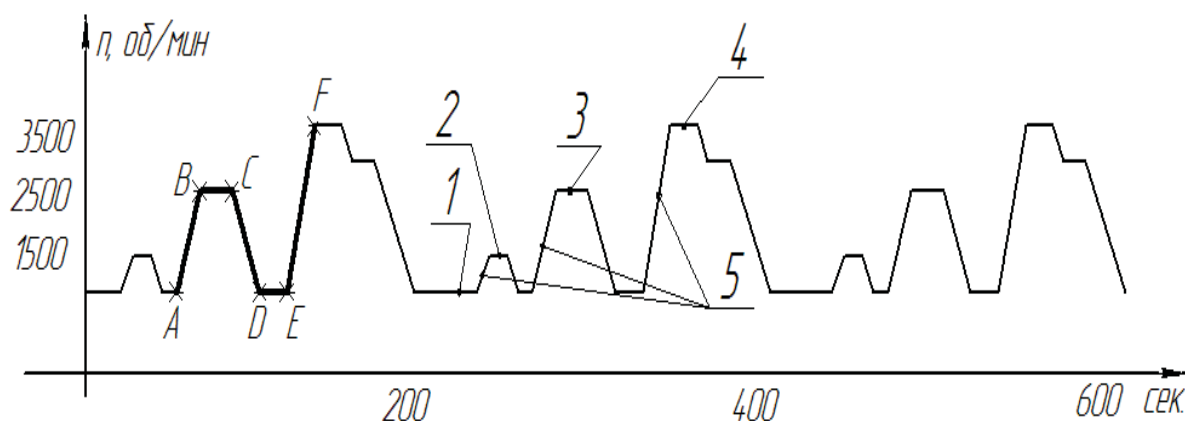


Рис. 1. Закон изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС, аппроксимирующий режим работы в городских условиях движения: 1 – режим холостого хода, 2,3,4 – режимы работы двигателя при постоянной скорости движения, 5 – переходной (неустановившийся) режим, AB – разгон, BC – движение с постоянной скоростью, CD – торможение, DE – холостой ход

Для того чтобы режим работы ДВС на стенде соответствовал режиму работы ДВС в составе транспортного средства, момент сопротивления вращению коленчатого вала в ходе испытаний должен рассчитываться по формуле [3]:

$$M_c = aMk + bM_{\Sigma} \quad (1)$$

где $a = \left(\frac{J_A - J_T}{J_M + J_A} \right)$, $b = \left(\frac{J_M - J_T}{J_M + J_A} \right)$, J_T – момент инерции вращающихся масс нагружающего устройства, M_{Σ} – суммарный момент сопротивления дороги и воздуха, J_A – момент инерции вращающихся и поступательно движущихся масс автомобиля, J_M – момент инерции движущихся деталей двигателя.

В уравнении (1) неизвестной величиной является суммарный момент сопротивления движению M_{Σ} , который в ходе эксплуатации изменяется по случайному закону. К сожалению, имитация такого режима нагружения в ходе испытаний недопустима, т.к. может вызвать возникновение чрезмерных усилий в сопряжениях новых деталей. Поэтому для ресурсосбережения испытуемых ДВС целесообразно выбрать ступенчатое изменение суммарного момента сопротивления M_{Σ} (рис. 2).

Для определения качества сборки ДВС в ходе испытаний на предлагаемых режимах необходимо измерение: крутящего момента, часового расхода топлива, разряжения воздуха во впускном коллекторе и содержания CH в отработавших газах [2].

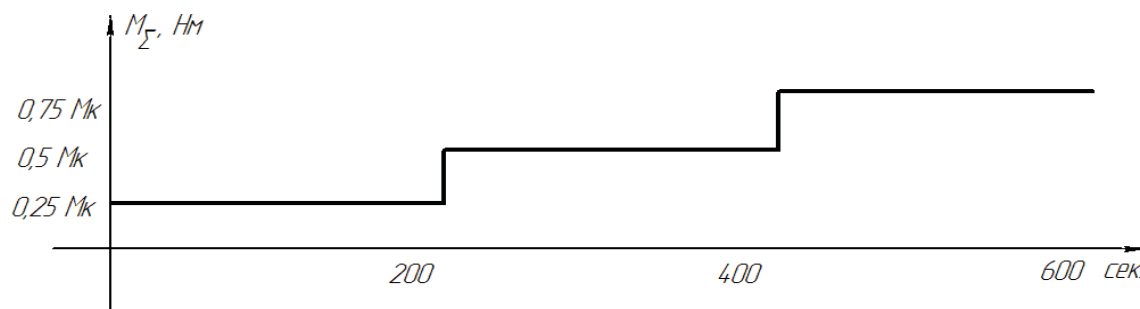


Рис. 2. Закон изменения суммарного момента сопротивления

В связи с этим для оценки качества сборки ДВС в ходе приемосдаточных испытаний, каждый испытуемый двигатель работает на двух режимах: установившемся (режим 1 – 4 на рис. 1) и неустановившемся (режим 5 на рис. 1).

Общая продолжительность испытаний составляет 600 сек и складывается из трех повторяющихся циклов по 200 сек, моделируя тем самым работу ДВС в составе транспортного средства при его движении в городском цикле по условной дороге протяженностью 4000 м (ГОСТ Р 41.83.—2004). Каждый цикл содержит шесть стационарных (соответствующих движению автомобиля с постоянной скоростью) и шесть переходных (нестационарных) режимов. Для исправных двигателей максимальная продолжительность переходного режима не превышает 5 сек. Продолжительность отдельного установившегося режима не должна превышать 30 сек. В зависимости от быстродействия используемой в ходе испытаний измерительной техники интервал между измерениями находится в диапазоне 1–5 сек.

Для определения состояния ДВС каждое измеренное значение параметров сравнивается с табличным (тестовым) значением.

Например, рассмотрим процесс изменения разрежения воздуха во впускном коллекторе p_a , которое является диагностическим показателем герметичности камеры сгорания. Численное значение разрежения во впускном коллекторе зависит от величины геометрических параметров двигателя и коэффициента сопротивления впускной системы ζ :

$$p_a = p_0 - \left[(\beta^2 + \xi) \cdot \frac{\rho_k}{2} \left(\frac{R\pi^2 D^2 \sqrt{1 + \left(\frac{R}{L}\right)^2}}{120 \cdot f_s} \right)^2 \right] \cdot n^2 \cdot \eta_v, \quad (2)$$

где p_0 – атмосферное давление, D – диаметр поршня, R – радиус кривошипа, L – длина шатуна, β – коэффициент затухания скорости воздуха, n – количество оборотов вала двигателя, ρ_k – плотность заряда на впуске, f_s – площадь наименьшего сечения впускной трубы, η_v –

коэффициент наполнения. В уравнении (2) при постоянной скорости вращения коленчатого вала переменными величинами являются коэффициенты β и ζ . В зависимости от вариации значений коэффициентов β и ζ для исправных двигателей значение p_a может находиться в диапазоне от 78 до 92 кПа.

Исходя из того, что геометрические параметры ДВС принимают постоянные значения, величина p_a может выйти из допустимого диапазона только в случае возникновения неисправности. При этом возникновение неисправности может привести к изменению значения p_a только в сторону уменьшения.

Например, наиболее распространенным дефектом новых двигателей является нарушение тепловых зазоров в газораспределительном механизме, заедание стержня клапана в направляющей втулке, поломка или недостаточная жесткость пружины клапана. Подобные дефекты приводят к появлению недопустимого зазора между клапаном и седлом клапана $h_{кл}$ (рис. 3).

В свою очередь, при постоянной частоте вращения появление данной неисправности приводит к снижению разрежения во впускном коллекторе на величину, пропорциональную площади проходного сечения $F_{кл}$, которая в зависимости от угла фаски γ и диаметра впускной трубы d_2 , рассчитывается по формуле:

$$F_{кл} = \pi h_{кл} (d_2 \cos \gamma - h_{кл} \sin \gamma \cos^2 \gamma). \quad (3)$$

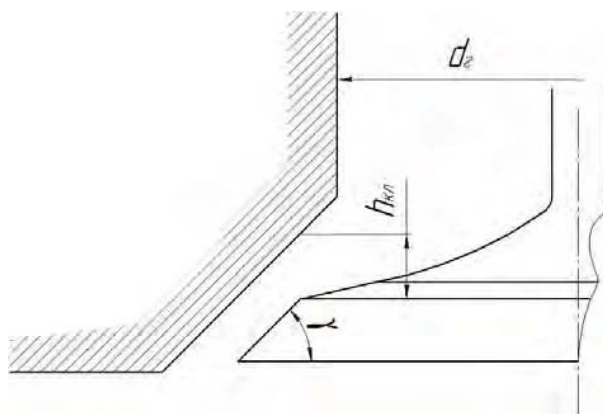


Рис. 3. Вид неисправности

Величина $h_{кл}$, при которой ДВС сохраняет работоспособность, находится в диапазоне 0,1– 2 мм, что соответствует снижению разрежения. Если дефект возникает в выпускных клапанах, то разрежение воздуха во впускном коллекторе снижается до значения 65 – 35 кПа. Если дефект возникает во впускных клапанах, то разрежение воздуха снижается до значения 60 – 50 кПа.

Аналогичным образом могут быть определены значения диагностических параметров, соответствующие возможным дефектам сборки ДВС.

Таким образом, при выборе нагрузочно-скоростного режима работы ДВС в ходе приемосдаточных испытаний необходимо ориентироваться, прежде всего, на определение дефектов сборки. Дальнейшее развитие предложенного подхода к оценке качества сборки ДВС может быть связано с проведением испытаний на режимах работы, соответствующих переходным режимам работы испытуемых двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Martyr A.J., Plint M.A. Engine testing. Theory and Practice. – Elsevier Ltd. – 2007. – 459 p.
2. Осипов К.Н., Первухина Е.Л., Рапацкий Ю.Л. Совершенствование методики приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания после сборки на основе зависимостей между диагностическими параметрами // Проблемы машиностроения и надежности машин – 2011, №2 – С. 93–99.
3. Осипов К.Н. Определение режимов приемосдаточных испытаний ДВС // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сборник научных трудов – Донецк: ДонНТУ, 2011 г. Вып. 41. – С 261-266.
4. Regner G., Loibner E., Krammer J., Walter L. Анализ переходных ездовых циклов с применением совместного моделирования CRUISE – BOOST. – AVT Powertrain Engineering Inc., 12 p.

УДК 621.787: 621.91

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА «ПРОГРАММА НАГРУЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН»

К. П. Петренко, к. т. н.

Кузбасский государственный технический ун-т
Кемерово, тел. +7 (3842) 39-63-86 E-mail: konst.petr@mail.ru

Представлена программная система для расчета программ нагружения, качества поверхностного слоя и долговечности деталей машин.

Application for calculation of load programs, surface condition and machine parts endurance is presented.

Одной из важнейших задач современного машиностроения является обеспечение качества поверхностного слоя и долговечности деталей машин. К числу наиболее эффективных методов поверхностного упрочнения и повышение долговечности изделий относится поверхностное пластическое деформирование (ППД). В

большинстве случаев ППД предшествуют операции резания, формирующие геометрическую форму и размеры детали.

Проектирование упрочняющих технологических процессов ППД должно осуществляться с учетом технологического наследования (ТН), что означает учет накопления свойств на всех операциях механической обработки по ходу технологического процесса и при последующей эксплуатации изделий. Эффективная оценка и прогнозирование свойств поверхностного слоя возможно на основе механики технологического наследования, разработанной проф. В. Ю. Блюменштейном [1]. Согласно ее основным положениям, при обработке и эксплуатации изделий происходит непрерывное накопление деформации и исчерпание запаса пластичности металлом поверхностного слоя. В качестве основных параметров механического состояния используются накопленная степень деформации сдвига Λ , показатель напряженного состояния Π , степень исчерпания запаса пластичности Ψ .

Ключевым элементом механики технологического наследования является программа нагружения (ПН), представляющая собой зависимость накопленной степени деформации сдвига Λ от показателя напряженного состояния Π . ПН имеет три участка квазимонотонной деформации, на каждом из которых происходит накопления деформации и исчерпание запаса пластичности в условиях изменяющегося показателя напряженного состояния. Исследования показали, что программа нагружения формируется под воздействием режимов обработки и определяет характер накопления деформации и формирование наследуемых свойств, качества поверхностного слоя и долговечность.

На основе механики технологического наследования с позиций программ нагружения был разработан алгоритм расчета параметров качества поверхностного слоя и циклической долговечности (рис. 1).

Алгоритм носит итерационный характер. На первом этапе задаются начальная структура упрочняющего технологического процесса, режимы резания и ППД методом обкатывания. При этом учитываются имеющиеся ограничения (минимальная допустимая производительность, наличие оборудования с возможностью обработки с заданными режимами резания и ППД и т. д.).

Далее производится расчет накопленной степени деформации сдвига и показателя напряженного состояния в ключевых точках программы нагружения и производится корректировка с учетом технологического наследования. Затем выполняется аппроксимация участков ПН, рассчитывается накопленная деформация Λ , степень исчерпания запаса пластичности Ψ , параметры качества поверхностного слоя и циклическая долговечность.

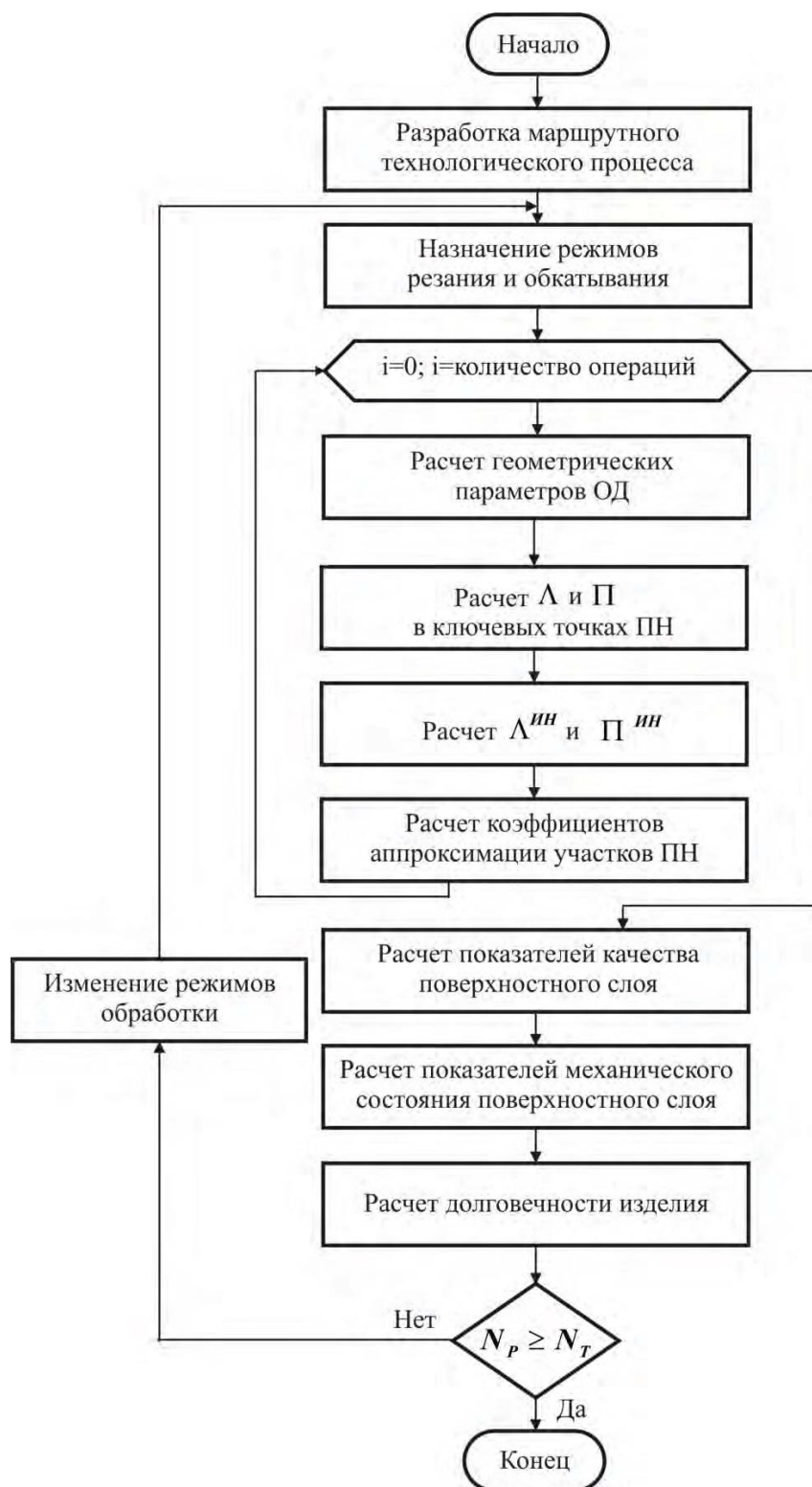


Рис. 1. Алгоритм проектирования упрочняющего технологического процесса

В случае если рассчитанная циклическая долговечность меньше заданной, режимы обработки изменяются с учетом имеющихся ограничений и описанная процедура повторяется до тех пор, пока не

будут определены режимы, обеспечивающие заданное значение циклической долговечности.

Для автоматизации трудоемкого расчета программ нагружения, значений формирующихся параметров качества поверхностного слоя и долговечности изделия была разработана программная система «Программа нагружения поверхностного слоя деталей машин» [2].

Программная система позволяет формировать произвольный маршрут обработки, задавать значения режимов резания и обкатывания, рассчитывать программы нагружения, параметры состояния качества поверхностного слоя после обработки и долговечность изделия, обработанного по заданному маршруту и режимам. Основное окно программы показано на рис. 2. Маршрут обработки формируется в технологическом блоке программной системы. После формирования маршрута обработки и ввода режимов определяются параметры программ нагружения нажатием управляющей кнопки «Рассчитать ПН».

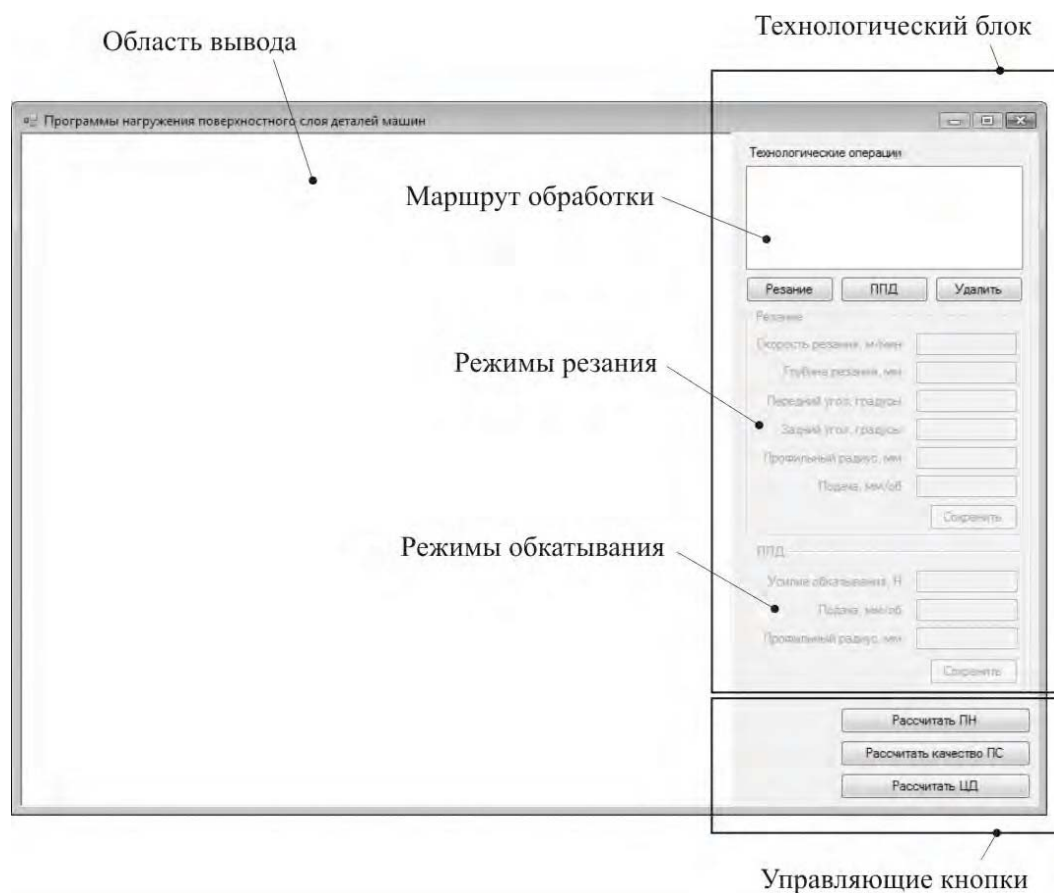


Рис. 2. Основное окно программной системы

В результате будут определены значения степени деформации сдвига и показателя напряженного состояния в ключевых точках и коэффициенты аппроксимации участков ПН. Программа нагружения для

выбранной операции в поле «Маршрут обработки» будет показана в области вывода (рис. 3).

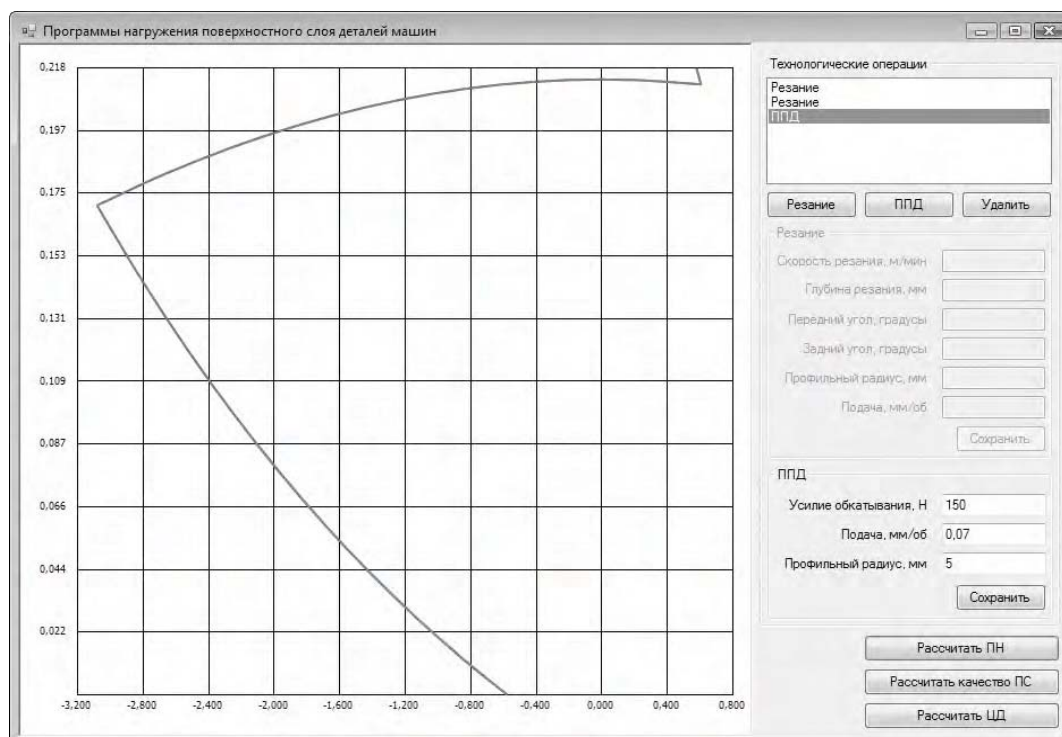


Рис. 3. Программа нагружения в области вывода

Показатели качества поверхностного слоя и циклическая долговечность изделия, обработанного в соответствии с заданными параметрами технологического процесса, рассчитываются нажатием управляющих кнопок «Рассчитать качество ПС» и «Рассчитать ЦД» соответственно. Результаты расчетов отображаются в области вывода (рис. 4).

Таким образом, разработанная программная система «Программа нагружения поверхностного слоя деталей машин» позволила автоматизировать трудоемкую процедуру расчета показателей качества поверхностного слоя, формирующихся под действием программ нагружения на стадиях механической обработки при заданной последовательности и режимах технологических операций.

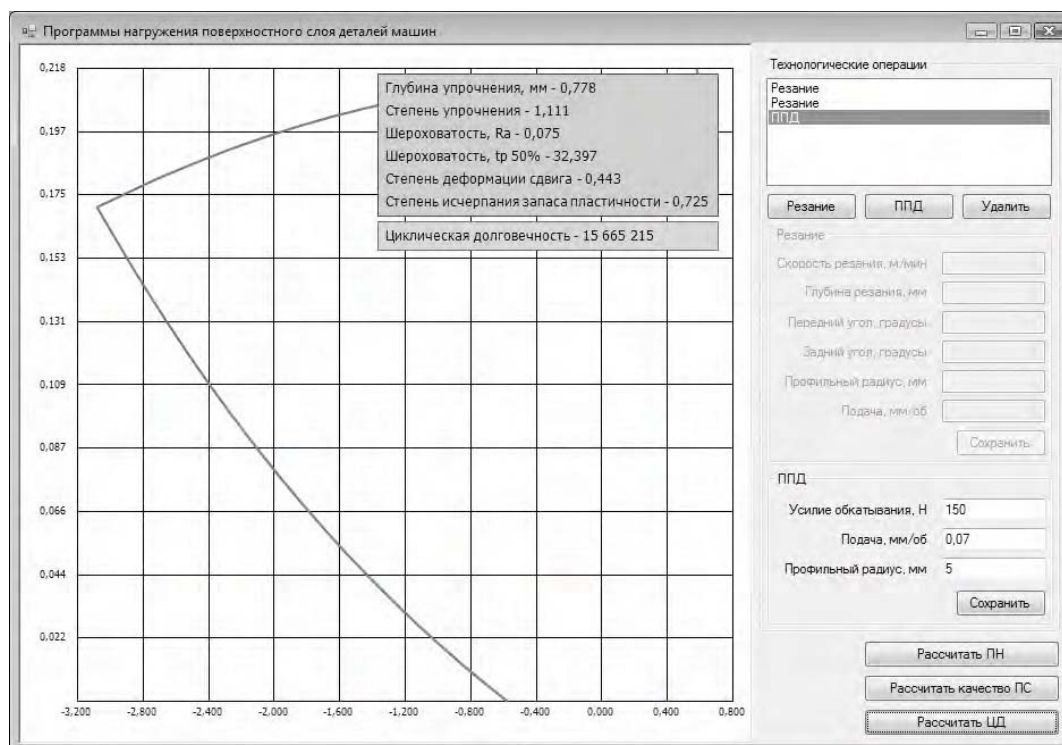


Рис. 4. Результаты расчета параметров качества поверхностного слоя и циклической долговечности изделия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612754, Российская Федерация. Программа нагружения поверхностного слоя деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов, К. П. Петренко; правообладатель К. П. Петренко. – Заявка № 2010610200; дата поступления 19 января 2010; дата регистрации 22 апреля 2010.

УДК 621.001.57

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ВАЛОВ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

М.Е. Попов, д.т.н., проф., Д.В. Буторин
ДГТУ, Ростов-на-Дону, E-mail: pme-dgtu@mail.ru

В работе исследуется процесс обработки деталей типа вал «битера» зерноуборочного комбайна «Вектор».

In work investigates process of processing of details of type a shaft “bitera” a combine harvester a “Vector”.

Известно, что детали, типа - круглые стержни большой длины ($L \gg D$) трудно обрабатывать. Это связано с недостаточной жесткостью стержня, из-за чего при обработке возникают значительные деформации.

Снизить влияние недостаточной жесткости детали можно путём выбора наилучшего способа установки заготовки на станке, расчета оптимальных припусков и операционных размеров, как в радиальном, так и в линейном направлениях.

Влияние способа установки заготовки на точность обработки рассмотрено на примере типичного представителя длинномерных деталей - вала «битера» зерноуборочного комбайна «Вектор» (рис. 1). Его длина – 2099 мм, диаметр – 80 мм. $L/D \gg 25$, что соответствует условию длинномерных валов. Материал детали – сталь 45.

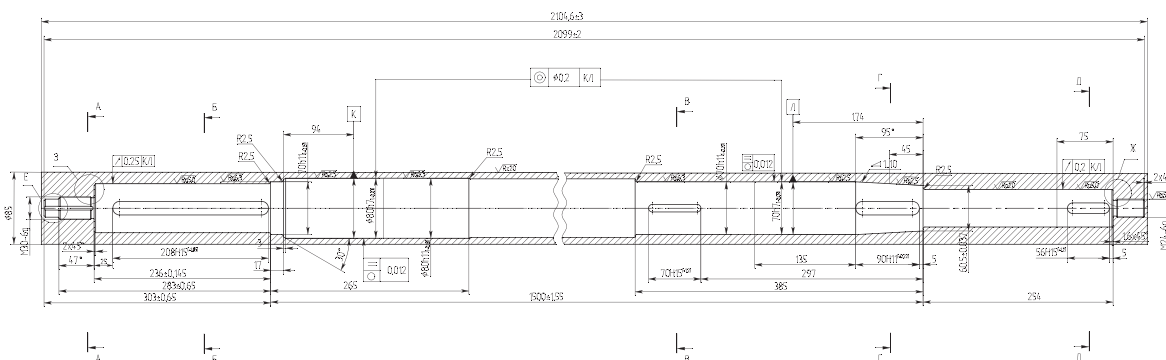


Рис. 1. Вал «битера» зерноуборочного комбайна «Вектор».

Используя метод спектрального анализа и среду T-FLEX CAD 3D, проанализированы различные способы установки вала на токарном станке и определены преимущества и недостатки каждого из них. Анализ 3D моделей заготовок вала показывает, что отклонение оси вала зависит от координаты x и способа установки вала на станке (рис. 2).

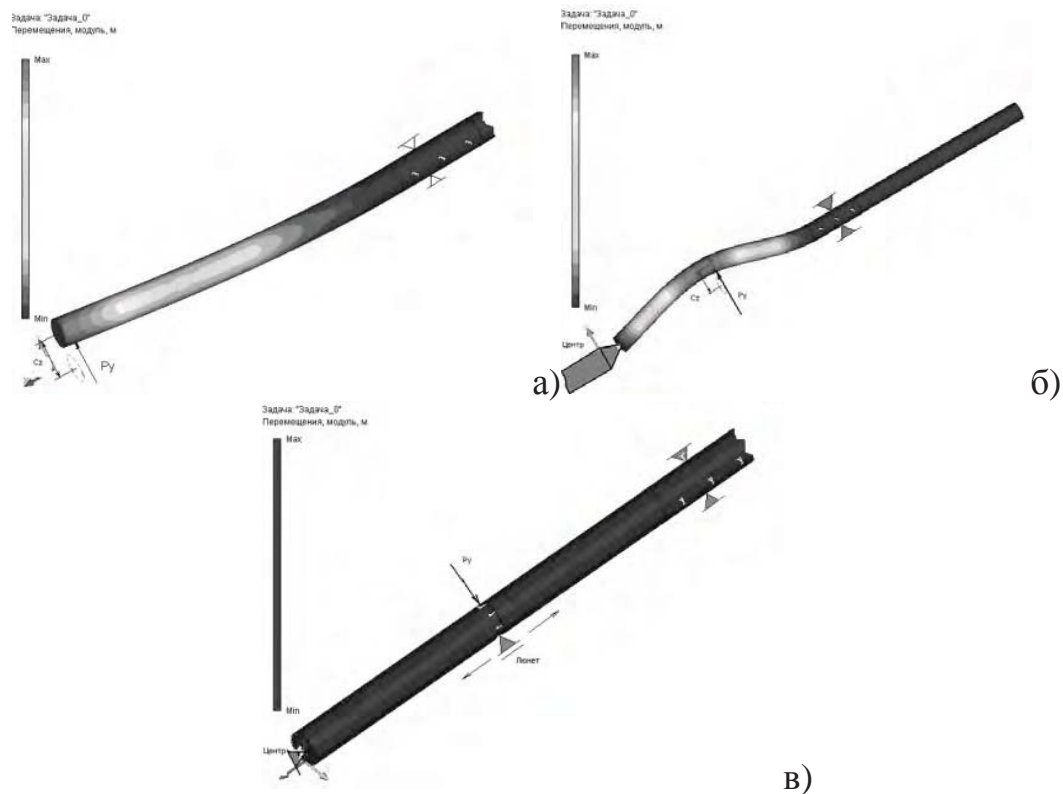


Рис. 2. 3D-модель заготовки вала: а) при консольном закреплении; б) при использовании неподвижного люнета и подпирающего центра; в) при использовании подвижного люнета.

Для моделирования точности размеров вала в осевом и радиальном направлениях и определения оптимальных операционных размеров, рассмотрен технологический процесс механической обработки вала «битера» зерноуборочного комбайна «Вектор». При размерно-точностном анализе технологического процесса использовался метод теории графов, позволяющий анализировать технологический процесс как единое целое. Размерная схема технологического процесса показана на рис. 3, а граф размерных связей технологического процесса вдоль оси вала на рис. 4.

По графу размерных связей выявлены технологические размерные цепи и составлены исходные уравнения размерных цепей. Математическая модель позволяет, при изменении любой переменной, будь то конструкторский размер (A), технологический (S), или припуск (Z), мгновенно пересчитывать все 126 уравнений модели, тем самым производить размерно-точностной анализ с учетом изменившихся условий. Также при этом пересчитывается и изменяется 3D модель детали, что даёт возможность анализировать её в дальнейшем.

Расчёты операционных размеров и припусков на каждый переход, как вдоль оси вала, так и в радиальном направлении, на примере вала «битера» зерноуборочного комбайна «Вектор», показывают

эффективность применения метода графов при проектировании технологического процесса с позиции обеспечения требуемой точности. Он позволяет, совместно с системой T-Flex CAD 3D, наглядно представлять, что получится при реализации данного технологического процесса обработки вала.

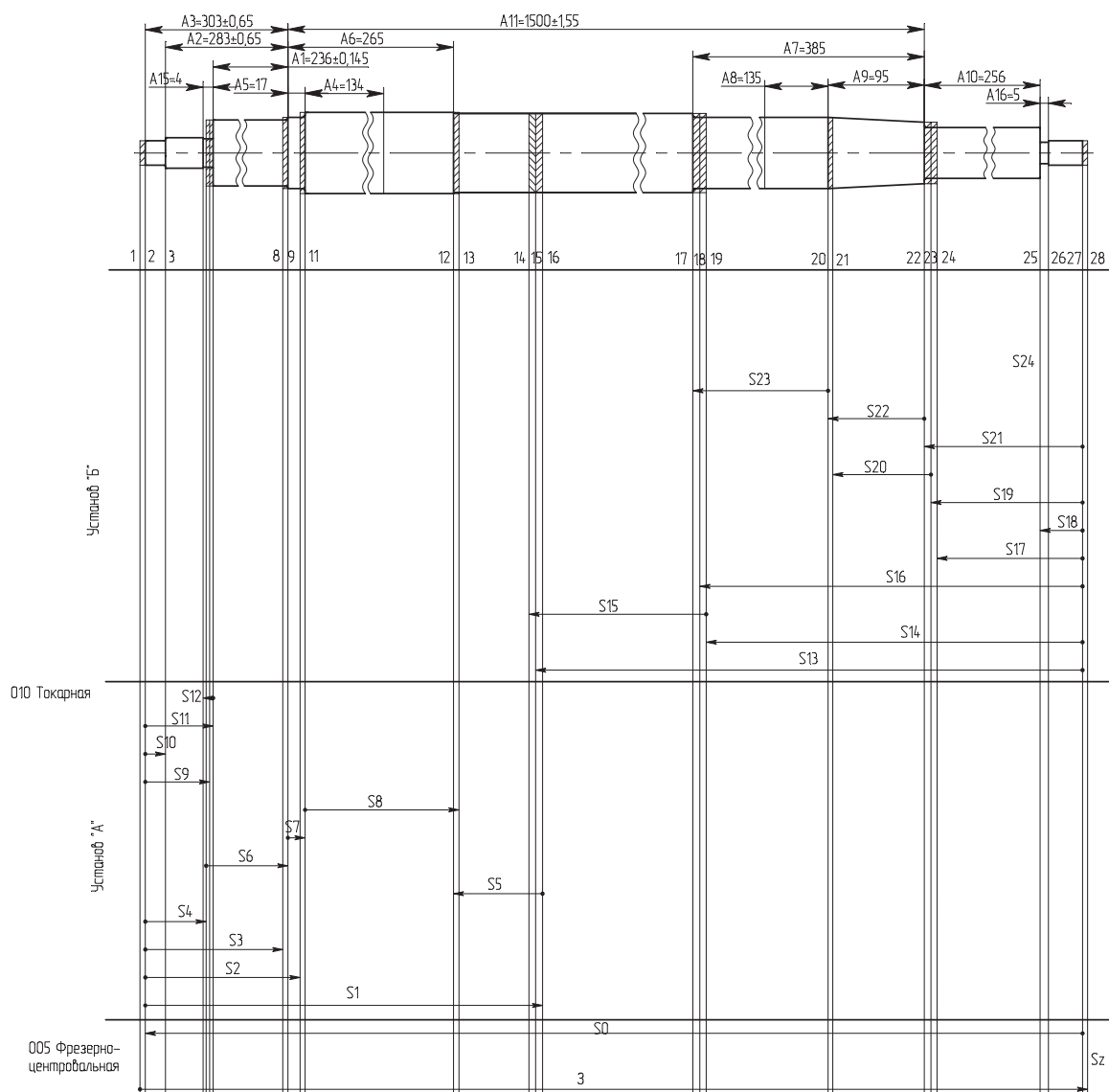


Рис. 3. Размерная схема технологического процесса изготовления вала «битера» в осевом направлении.

Рассматривая обеспечение точности размеров вала «битера», как в линейном, так и в радиальном направлении, можно заметить, что точность обработки длиномерных валов зависит не только от выбора способа установки и размерных связей технологической системы, но и от предшествующих операций подготовки заготовки к обработке. В частности, операций рихтовки (правки) выполняемых с целью

уменьшения кривизны заготовки, которая, в свою очередь, значительно влияет на точность зацентровки торцов вала. Рассмотрена подробно фрезерно-центровальная операция.

Для аналитического представления совокупности погрешностей в осевом и радиальном направлениях создана 3D модель вала, зависящая от этих переменных, и симулирована токарная обработка. Моделирование показало, что при значениях отклонений представленных в расчётной параметрической таблице, «черноты» не наблюдается. Значит, при этих отклонениях рихтовка заготовки вала не требуется, а при больших отклонениях при токарной обработке будет появляться «чернота».

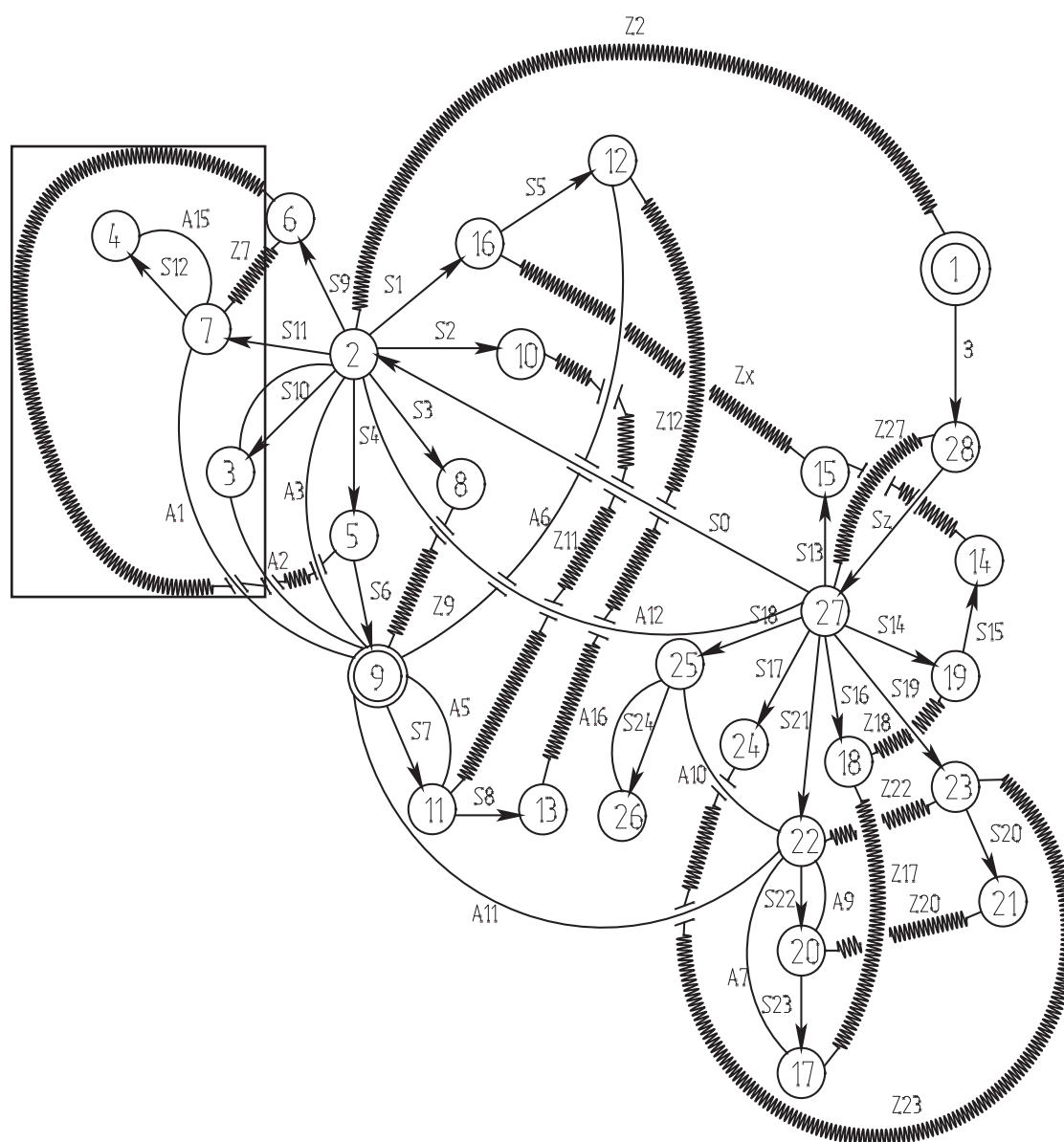


Рис. 4. Граф размерных связей технологического процесса изготовления вала «битера» в осевом направлении.

Итак, с помощью системы T-Flex CAD 3D и замеров размеров реального вала из партии можно виртуально и в достаточной мере точно определить потребуется ли рихтовка заготовок валов или нет. Информация об этом может значительно снизить расходы на операцию рихтовки.

Анализ существующих методов наладки станков для изготовления длинномерных деталей показал, что основная проблема при наладке таких станков это обеспечение соосности оси заготовки детали и оси установочных элементов станка. Из-за большой длины, следовательно, малой жесткости, ось длинной детали представляет собой кривую, а не прямую, необходимую для получения требуемой точности. Поэтому при наладке, в большинстве случаев, используется деталь-эталон (рис. 5,а). Причем длина эталона соизмерима с длиной самой детали, а значит и эталону присущи те же проблемы, что и самой детали.

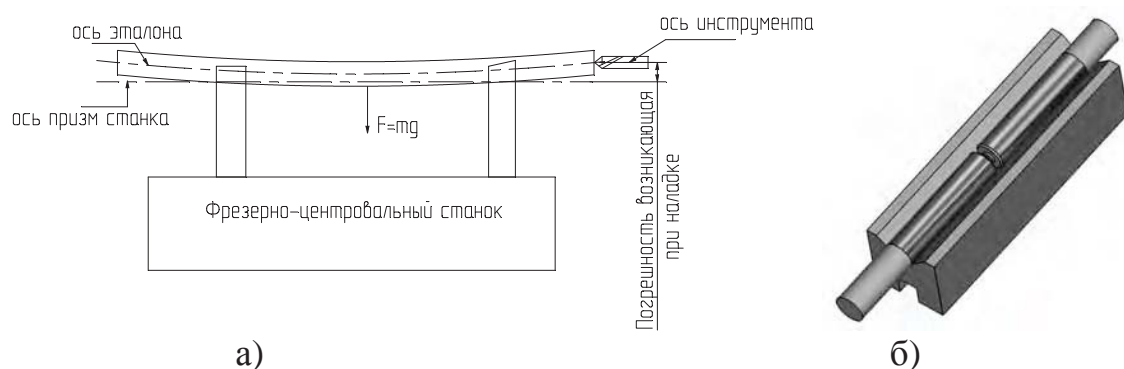


Рис. 5. Существующая схема наладки фрезерно-центровального станка с помощью «эталонного» вала (а) и предлагаемый комплекс для наладки станков при изготовлении длинномерных деталей (б)

Для устранения недостатков существующего способа наладки станков при изготовлении длинномерных деталей предложен способ наладки станка при помощи специального комплекса (рис. 5, б), который позволяет снизить влияние погрешностей присущих наладки по детали-эталону, так как осью в комплексе выступает луч лазера.

Комплекс наладки станков, для изготовления длинномерных деталей, предназначен для материализации оси дорогостоящего эталонного вала, лучом лазера. Положив трубу-излучатель на призму, включив лазер в трубе излучателе, материализуем ось вала посредством лазерного луча. На другую призму кладем трубу приемник и регулируем положение тисков до тех пор, пока не сработает фото датчик в трубе приемнике.

Выводы.

Рассмотрение вопросов обеспечения точности изготовления длинномерных деталей на примере вала «битера» зерноуборочного

комбайна «Вектор» показало, что решение проблем, с которыми сталкивается производство при изготовлении длинномерных валов, возможно путём выбора наилучшего способа установки заготовки на станке и расчёта оптимальных припусков и размеров заготовки. Предложенные методы исследования универсальны и могут применяться к любым деталям данного класса.

УДК 621.787.4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ

М.Е. Попов, д.т.н., проф.
ДГТУ, Ростов-на-Дону, E-mail: pme-dgtu@mail.ru

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

In clause results of research of process of finishing-strengthening processing by superficial plastic deformation oscillating the tool of the toroidal form with the inclined axis are presented.

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

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.

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.

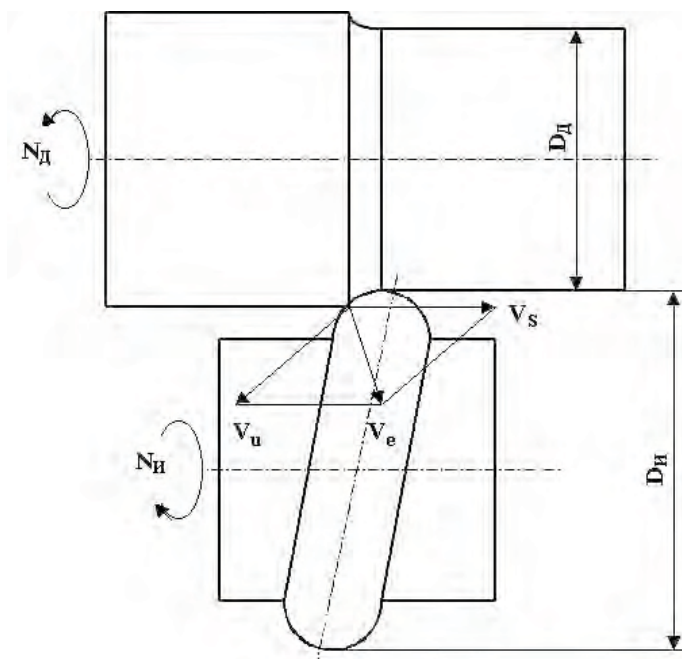


Рис. 1. Схема обработки осциллирующим инструментом

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

$$Y(t) = S_0 \cdot n_A \cdot t + A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot n_e \cdot t + \varphi_0)$$

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_0 - это расстояние между начальной и конечной точкой средней линии каждой кривой, а амплитуда A - это максимальное отклонение точки контакта от средней линии кривой.

Рис. 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.

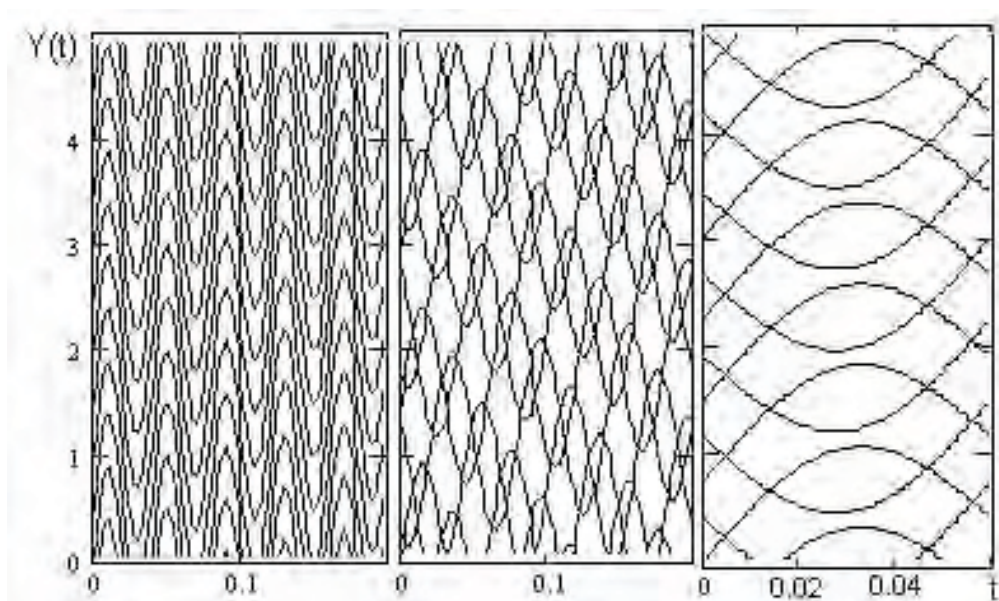


Рис. 2. Расчётные траектории перемещения точки контакта инструмента по обрабатываемой поверхности для режимов обработки 1 а), 2 (б) и 3 (в)

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_θ ; исходная шероховатость обрабатываемой поверхности R_a .

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

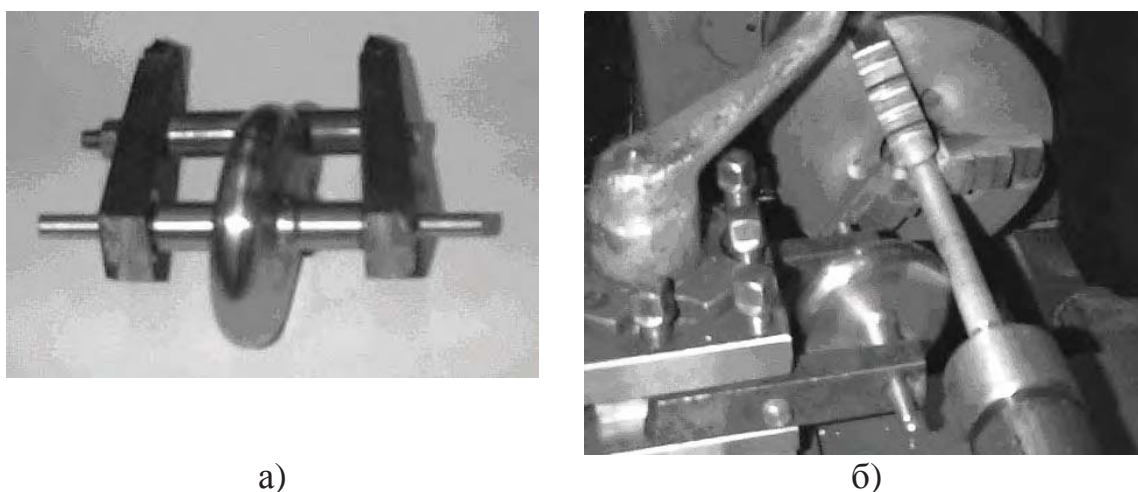


Рис. 3. Экспериментальный осциллирующий инструмент (а) и обработка детали на станке

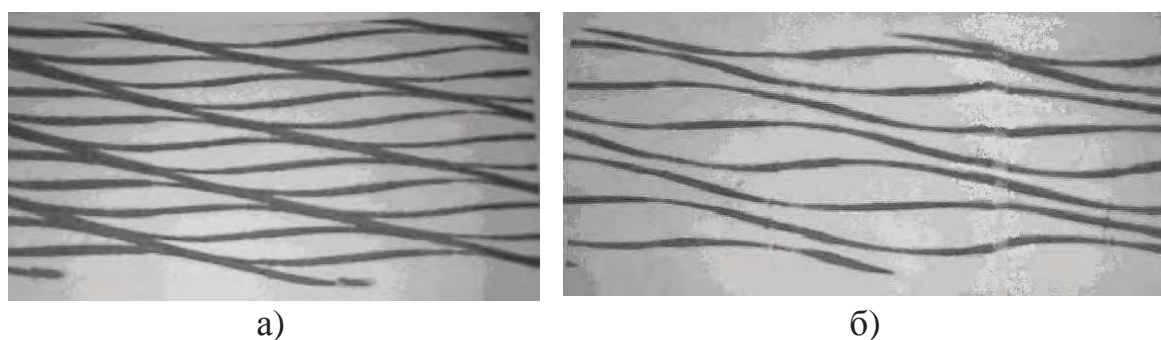


Рис. 4. Фото траектории следов перемещения точки контакта инструмента по обрабатываемой поверхности

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.

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.

УДК 621:681.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО КОМПЛЕКСОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.М. Пынькин, В.И. Бородавко, к.т.н., доц. А.Х. Насыбулин,
д.т.н., проф. Л.М. Акулович, д.т.н., проф. В.К. Шелег,

ГНПО «Центр» НАН Беларуси,
Белорусский государственный аграрный технический университет,
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрена структура технологических комплексов, использующих концентрированные потоки энергии. Описаны связи между структурными уровнями элементов комплекса. Предложено формировать кортежи для определения связей между составляющими функциональных систем, функциональных подсистем и функциональных элементов. Показано, что анализ кортежей позволяет определить рациональное количество взаимосвязей на различных уровнях компонентов.

The structure of the technological complexes using concentrated streams of energy is considered. Communications between levels of elements of a complex are described. It is offered for definition of communications between making elements functional systems, functional subsystems and functional elements to build columns of trains. It is shown, that the analysis of counts of trains allows to establish quantity of interrelations between various levels of components.

Синтез новых прецизионных, информационных и измерительных наукоемких технологий дает основу для проектирования и изготовления интеллектуальных мехатронных модулей и систем. Мехатронные машины и системы объединяются в мехатронные комплексы на базе единых интеграционных платформ. Цель создания таких комплексов -

добиться сочетания высокой производительности и одновременно гибкости технико-технологической среды за счет возможности ее реконфигурации, что позволит обеспечить конкурентоспособность и высокое качество выпускаемой продукции на рынках XXI века [1, 2].

Новые технологии основаны, как правило, на использовании концентрированных в пространстве и во времени потоков энергии физических полей [3, 4]. Использование источников концентрированной энергии радикально интенсифицирует технологические процессы современного производства.

Проектирование технологических комплексов (ТК) разделяется на два этапа [5, 6]: 1) структурный обобщенный синтез, при котором рассматриваются принципиальные схемы решения, отвечающие исходным технологическим условиям; 2) параметрический оптимизационный синтез, в ходе которого ранее найденное схемное решение, являющееся принципиальной реализацией заданного технологического способа, воплощается в рациональные конструктивные формы в виде совокупности конкретных механизмов, блоков, устройств и элементов ТК.

Анализ использования прогрессивного оборудования. Технологические модули и комплексы в своем развитии за последние 30 лет [7, 8] прошли ряд этапов (рис. 1).

По сравнению с универсальным станочным оборудованием 70-ых годов прошлого века компьютерно-управляемое производство начала, использующее, с приходом на рабочие места персональных компьютеров, компоненты искусственного интеллекта, позволяет повысить эффективность оборудования и при обеспечении все более возрастающих требований к качеству продукции увеличить производительность в десятки раз.

С середины 80-х годов подъем промышленного производства стран СНГ, особенно в наукоемких сферах, прервался и остановился на рубеже перехода от обрабатывающих центров к гибким производственным системам в то время, когда промышленно развитые страны начали овладевать элементами интеллектуального производства.

Развитие средств микроэлектроники явилось базой для создания мехатронных систем, которые включают как электромеханическую часть, так и электронно-управляющую (построенную на основе использования компьютеров или микропроцессоров) [9-10].

Мехатронные системы обеспечивают синергетическое объединение узлов точной механики с электротехническими, электронными и компьютерными компонентами с целью проектирования и производства качественно новых установок, модулей,

систем и комплексов машин с интеллектуальным управлением их функциями.

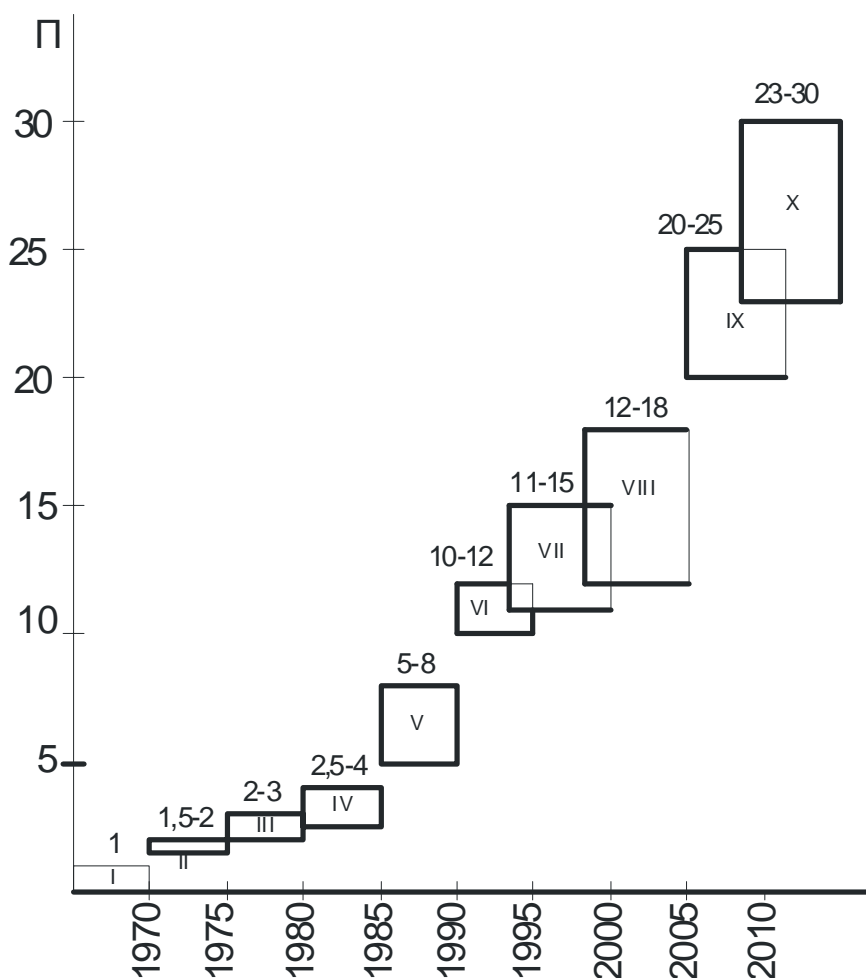


Рис. 1. Этапы развития технологических модулей и комплексов:
П – производительность оборудования, возрастающая со временем:
I – универсальное оборудование с производительностью, принятой за 1,
II – оборудование с числовым программным управлением,
III – робототехнические комплексы, IV – обрабатывающие центры,
V – гибкие производственные системы, VI – компьютерно-управляемое производство, VII – мехатронные технологические комплексы, VIII – компактное интеллектуальное производство, IX – компьютерное сопровождение жизненного цикла изделий, X – виртуальные предприятия

Новые этапы развития гибкой автоматизации производственных систем связаны, прежде всего, с предельной концентрацией средств производства и управления, а также с сокращением сроков конструирования, проектирования, технологической подготовки и изготовления изделий. В результате на основе мехатронных

технологических комплексов появляется компактное интеллектуальное производство (CIM - Compact Intelligent Manufacture), базирующееся на сочетании интенсивных технологий, прогрессивного технологического оборудования и интегрированной системы управления [7].

Современный уровень развития информационных технологий в промышленности обеспечивает переход к использованию технологий создания, поддержки и применения единого информационного пространства на всех этапах жизненного цикла продукции от ее проектирования до эксплуатации и утилизации, т.е. к CALS-технологиям (Continuous Acquisition and Life-cycle Support) [8].

Единое информационное пространство позволяет интегрироваться разрозненным производственным комплексам в виртуальное предприятие. Виртуальное предприятие, создаваемое из различных пространственно удаленных подразделений, не имея единой юридической организационной структуры, обладает единой информационной структурой для использования компьютерной поддержки всех этапов жизненного цикла продукции.

Проведенный анализ возрастающей эффективности технологических комплексов показывает необходимость формирования единой методологии их проектирования, учитывающей совместное использование инструментов и энергии, программных и аппаратных средств управления с начальных стадий разработки оборудования.

Синтез и оптимизация проектирования технологических комплексов. Ключевой задачей проектирования ТК является разработка универсальной структуры, обеспечивающей бесперебойную работу и гибкую переналадку оборудования. Рациональные надежность и адаптивность обеспечиваются при синтезе структуры, основанном на анализе элементов и исследовании коротежей ТК [5].

Технологический комплекс в общем случае рассматривается как иерархически построенная система «человек – машина», включающая следующие уровни [5, 11]:

I) функциональные элементы (ФЭ), такие как главное движение, движение подачи, движение инструмента и перемещение потока энергии;

II) функциональные подсистемы (ФПС) в виде агрегатных блоков и установок;

III) функциональные системы (ФС), обеспечивающие рабочие, транспортные движения, питание и удаление, а также обслуживание;

IV) технологические модули (ТМ) или агрегатные станки, энергетические и информационные машины;

V) автоматические и полуавтоматические линии и участки, образующие ТК.

Каждая подсистема n -го уровня является элементом подсистемы $(n+1)$ -го уровня. Состав ТК, каждой ФС и ФПС, входящих в ТМ, а также функции составляющих их ФЭ соответствуют содержанию тех технологических операций, для которых создается данный технологический комплекс.

Каждая ФПС состоит в общем случае из нескольких ФЭ, в названии которых фигурируют названия выполняемых ими функций (движений). Функциональная подсистема данного вида в ходе технологического процесса выполняет определенную типовую функцию, т.е. типовую технологическую операцию.

Технологические основы проектирования ТК обеспечивают разработчика информацией, необходимой для создания технологических процессов, средств их оснащения и автоматизации. Они содержат рациональные режимы сборки по всем операциям технологического процесса, сведения о конструкции приспособлений, рабочих органов оборудования, установок, программное обеспечение и схемы сопряжения рабочих, обслуживающих, информационных машин и агрегатов технологической системы.

Рациональные режимы и конструкции получают путем оптимизации основных параметров, которые описывают аналитическими и статистическими моделями. В статистических моделях используют многофакторное планирование экспериментов, дисперсионный, регрессионный и ковариационный анализ.

Структурный синтез и параметрическая оптимизация завершаются пространственно-временным совмещением требуемого сочетания функциональных элементов на множестве компоновок технологического модуля [11-12].

Интеграция электромеханики и микроэлектроники при компоновке машин привела к появлению комплексных интегрированных мехатронных модулей движения рабочих органов и узлов машин, а также создаваемого на их основе оборудования. Такая интеграция требует использования систем компьютерного управления движениями, деталями, инструментами, источниками энергии, транспортными и другими механизмами. В результате составляющие части мехатронных комплексов не просто дополняют друг друга, но и объединяются таким образом, чтобы образованная система обладала качественно новыми свойствами.

Элементы интегрированных мехатронных комплексов выбираются разработчиком на стадии функционального проектирования, а затем обеспечивается необходимая конструкторская и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации модуля. В этом радикальное отличие мехатронных систем от традиционных, когда

пользователь самостоятельно объединяет в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сироткин, О. Технологический облик России на рубеже XXI века / О. Сироткин // Экономист. – 1998. – № 4. – С. 3–9.
2. Технологические аспекты конверсии машиностроительного производства / А.С. Васильев [и др.]. – Тула: ТулГУ, 2003. – 271 с.
3. Технологические основы управления качеством машин: Библиотека технолога / А.С.Васильев, А.М.Дальский, М.Л.Хейфец и др.– Москва: Машиностроение, 2003. – 256 с.
4. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки/ М.Л.Хейфец – Москва: Машиностроение, 2005. – 272 с.
5. Артоболевский, И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие: в 7 т. / И.И. Артоболевский. – М.: Наука, 1979. – Т.1. – 496 с.
6. Артоболевский, И.И. Основы синтеза систем машин автоматического действия / И.И. Артоболевский, Д.Я. Ильинский. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
7. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / А.Г. Братухин [и др.]; под общ. ред. А.Г. Братухина. – Киев: Техника, 2001. – 728 с.
8. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития /Л.М. Акулович [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.
9. Медведев, В.С. Мехатроника в системе машиностроительных научно-технических дисциплин / В.С. Медведев // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1998. – №2. – С. 110–116.
10. Бушуев, В.В. Мехатронные системы в станках / В.В. Бушуев // СТИН. 1998. – №9 – С. 19 – 22.
11. Ящерицын, П.И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении / П.И. Ящерицын, Л.М. Акулович, М.Л.Хейфец. - Минск: Технопринт, 2006. - 248 с.
12. Хейфец, М.Л. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов/ М.Л.Хейфец., Л.М. Акулович, Е.З. Зевелева– Новополоцк: ПГУ, 2006. – 172с.

УДК 621.9.047

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ

Рахимьянов Х.М., д.т.н., проф., Гаар Н.П.
Новосибирский государственный технический университет,
Новосибирск. E-mail: tms-ngtu@mail.ru

Представлены исследования анодного поведения компонентов нержавеющей стали (хрома и титана) в условиях лазерного воздействия инфракрасного спектра излучения.

Studying of anodic behavior of components of stainless steel (chromium and titanium) presented under laser irradiation of infrared radiation spectrum conditions.

Нержавеющая сталь нашла широкое применение в различных отраслях промышленности, благодаря своей высокой устойчивости против коррозии (разрушение материала при эксплуатации вследствие электрохимического или химического взаимодействия с окружающей средой) в различных атмосферных условиях, газовых средах, растворах солей, щелочей и некоторых кислотах при различных температурах [1].

Основным легирующим элементом, обеспечивающим коррозионную стойкость нержавеющей сталей в кислых средах, является хром (в количестве 12-14 %). Для исключения возникновения межкристаллической коррозии в химический состав нержавеющей стали вводится небольшое количество титана (около 1%) [2].

Поляризационные исследования нержавеющей стали в растворе хлорида натрия указывают, что именно окисные пленки хрома и титана являются одной из причин низкой скорости анодного растворения нержавеющей стали [3-4].

Одним из перспективных методов активации процесса электрохимического растворения материалов, на обрабатываемой поверхности которых образуются пассивирующие окисные пленки, является лазерная активация процесса [5-6]. При этом разнообразие спектров излучения и режимных характеристик излучения процесса активации позволяет разрушать пленки различных химических составов.

В данной работе рассматривается влияние лазерного излучения инфракрасного спектра (длина волны 1,06 мкм) на электрохимическое растворение составляющих нержавеющей стали - хрома и титана в 10% водном растворе хлорида натрия. Исследования проводились на установке, описанной в работе [7] с применением электрохимической ячейки [8]. Выбор хлорида натрия в качестве электролита основан на

рекомендациях работы [9] и обусловлен оптической его прозрачностью для используемой длины волны. Режимные параметры лазерного излучения (частота следования импульсов 5 кГц и плотность мощности $1,39 \cdot 10^2$ Вт/см²) были выбраны по результатам предварительных исследований.

Анализ результатов поляризационных исследований по активации электрохимического растворения хрома лазерным излучением инфракрасного спектра (1,06 мкм), которые представлены на рисунке 1(кривая 2)), указывает на снятие пассивационных ограничений при анодном растворении хрома в хлориде натрия, имеющих место в стационарных условиях (кривая 1, рис. 1). Об этом свидетельствует увеличение плотности тока с ростом потенциала и достижения бóльших их значений, чем в условиях стационарного растворения.

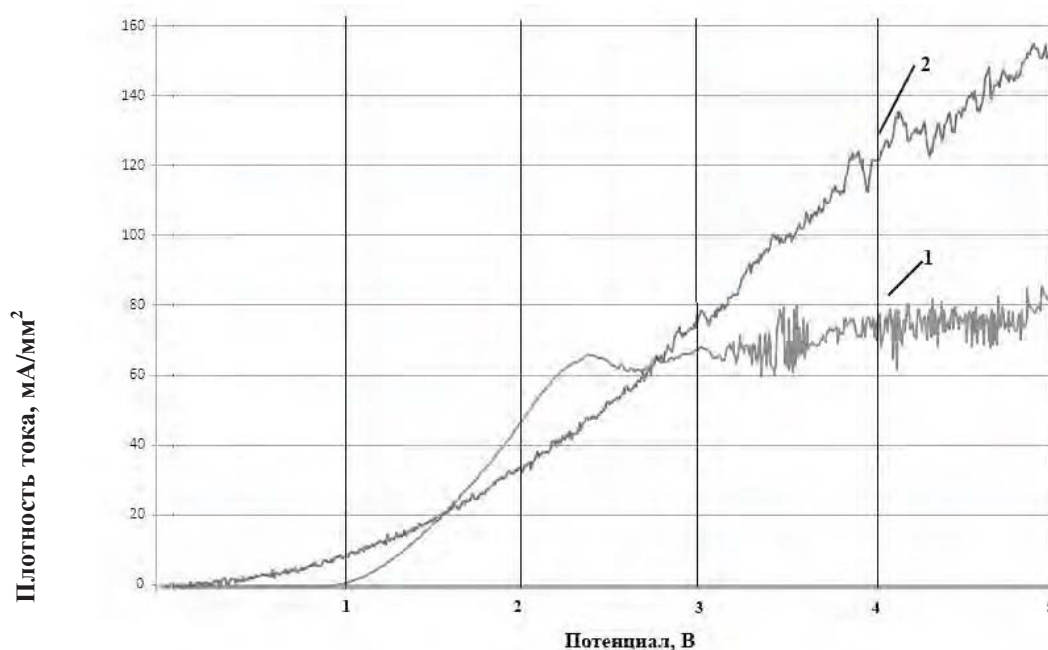


Рис. 1. Поляризационные кривые для хрома, полученные при помощи потенциодинамического метода: 1 - без наложения лазерного излучения, 2- с наложением лазерного излучения

Особенностью ЭХРО титановых сплавов является необходимость проведение процесса при повышенных значениях температуры (37 – 47 °С), либо при значительных потенциалах (свыше 16 В). Это связано с образованием на поверхности титановых сплавов в процессе электрохимической обработки труднорастворимых пленок. Согласно данным [10] толщина пленок достигает значений 20 Å, однако образование такой толщины пленок оказывается достаточным, чтобы процесс электрохимического растворения полностью прекратился.

Поляризационные исследования анодного растворения титанового

сплава в 10% растворе хлорида натрия показали, что плотность тока в исследуемом электролите в диапазоне потенциалов (от 0 В до 5 В) равна нулю. Это свидетельствует о том, что электрохимического растворения материала не происходит. Повышение температуры электролита в диапазоне от 20 до 70 °С не оказало существенного влияния на электрохимический процесс растворения. Это подтверждает данные о том, что образующиеся на титане пленки достаточно прочно соединены с материалом и повышение реакционной способности анионов электролита за счет сообщения им дополнительной энергии через повышение температуры не оказывают на них действия.

При введении в зону электрохимической обработке титанового сплава ОТ-4 в водном растворе хлорида натрия лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм процесс электрохимического растворения начинает реализовываться уже при потенциале близком к 0 В, о чем свидетельствует характер поляризационной кривой (рис. 2). Рост плотности тока во всем диапазоне потенциалов указывает на активность электрохимического процесса.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение лазерного метода интенсификации процесса электрохимического растворения длиной волны инфракрасного спектра позволит увеличить скорость анодного растворения и снять пассивационные ограничения при обработке нержавеющей сталей, в состав которых входят хром и титан.

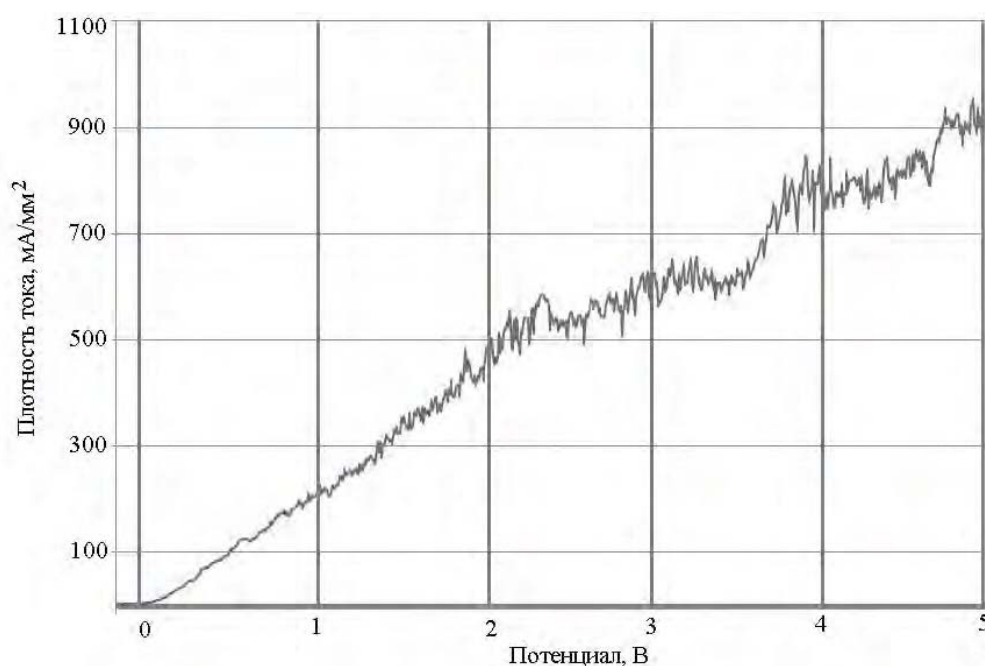


Рис. 2. Поляризационная кривая, полученная при помощи потенциодинамического метода для титанового сплава ОТ-4 в 10 % водном растворе хлорида натрия при лазерной интенсификации ЭХРО длиной волны 1,06 мкм

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн, М. И. Специальные стали : учеб. для вузов [Текст] / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М. : Металлургия, 1985. – 408 с.
2. Бородулин, Г. М. Нержавеющая сталь [Текст] / Г. М. Бородулин, Е. И. Мошкевич. – М. : Металлургия, 1973 – 319 с.
3. Рахимянов, Х.М. Исследования анодного поведения стали 12Х18Н9Т в водных растворах хлорида и нитрата натрия [Текст] / Х. М. Рахимянов, Б. А. Красильников, К. Х. Рахимянов, Н. П. Гаар // Международная научно-техническая конференция в машиностроении. Современная электротехнология в машиностроении. Сборник трудов. конф., Тула, 5-6 июня 2007 г. -Тула: ТулГУ, 2007 г.- С. 150-159.
4. Рахимянов, Х.М. Исследование процесса анодного растворения нержавеющей стали 12Х18Н9Т методом вращающегося дискового электрода. [Текст] /Х.М. Рахимянов, Н.П. Гаар // Инновации в машиностроении. Материалы I Международной научно-практической конференции Бийск, 7-9 октября. Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова, 2010 г.- С.82-84.
5. Possible ways for intensification of dimensional electrochemical machining (DECM) /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.
6. Рахимянов Х.М., Гаар Н.П. Пути интенсификации электрохимической размерной обработки // Ползуновский альманах. Барнаул: «АлтГТУ», 2008. № 4. С. 191-192.
7. Установка для исследования электрохимических процессов в условиях лазерной активации процесса электрохимической размерной обработки / Х. М. Рахимянов, А. И. Журавлев, Н. П. Гаар// Научный вестник НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010 г. №2 (39). С. 133-144.
8. Рахимянов, Х. М. Электрохимическая ячейка для исследования интенсификации ЭХРО лазерным излучением [Текст] /Х.М. Рахимянов, Н. П. Гаар // 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.
9. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. В 2 т. Т 2. Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии [Текст] / Б. А. Артамонов [и др.] ; под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – 208 с.
10. Некипелов С.В., Сивков В.Н., Ширяева Л.Л. Исследование методами ИК-спектроскопии степени окисления тонких пленок 3d-металлов. Журнал «Заводская лаборатория. Диагностика материалов». М.: ООО "ТЕСТ-ЗЛ". №7, Том 73, 2007 г – С. 44-47.

УДК 621.9.01: 621.791.947.55

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., проф., А.Х. Рахимьянов, аспирант, С.В. Лунин,
аспирант

Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, тел./факс +7(383) 346-17-92, 346-11-88, 346-27-76.

E-mail: kharis51@mail.ru, centerfht@mail.ru

Представлено математическое моделирование процесса тонкоструйной плазменной резки.

Mathematical modeling of high-precision plasma arc cutting is represented.

Внедрение высокоэффективных, энерго-ресурсосберегающих технологических процессов становится первоочередной задачей при техническом перевооружении производств. Решение данной задачи является актуальным для всех этапов создания продукции, включая и этап заготовительного производства. В последнее время ведущие мировые производители оборудования представили на рынок образцы новых технологий заготовительного производства – лазерные технологические комплексы для раскроя материалов, гидроабразивные установки, установки тонкоструйной плазменной резки. Отличительной особенностью данных технологий является возможность получения деталей точностью 12-14 квалитет, не требующих дальнейшей механической обработки. Однако препятствием для широкого применения данного оборудования является отсутствие обоснованных технологических режимов обработки существующего спектра металлических материалов для обеспечения требуемого качества обработки и необходимой производительности процесса. Для комплексной проработки технологических аспектов требуется как теоретическое изучение процессов высокоскоростного нагрева сложных композиционных систем при тонкоструйной плазменной резке, так и экспериментальное исследование вопросов точности, качества и производительности. Комплексное теоретико-экспериментальное исследование позволит обеспечить технологическое сопровождение процессов плазменного раскроя при внедрении в производство оборудования тонкоструйной плазменной резки. Теоретические исследования на базе математического моделирования процесса тонкоструйной плазменной резки позволят установить закономерности физического процесса обработки, а экспериментальные исследования

будут направлены на подтверждение адекватности математических моделей реальному процессу и позволят установить рекомендации как инструментальное обеспечение для технологического сопровождения процесса обработки. Данная работа посвящена теоретическому исследованию процесса тонкоструйной плазменной резки и основана на использовании 3D-моделирования.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Процесс плазменной резки металлов осуществляется путем передачи теплоты от луча плазмы заготовке. Для моделирования процесса теплопередачи используется параболическое уравнение:

$$-\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} U) + \rho c_p \frac{\partial U}{\partial t} = F,$$

с начальным условием:

$$U_0 = T_0,$$

где λ - теплопроводность, ρ - плотность, c_p - удельная теплоемкость T_0 - начальная температура заготовки.

Пусть Ω это вся расчетная область с границей $S = S_1 \cup S_2 \cup S_3$. Запишем исходное уравнение в виде:

$$-\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} U) + \gamma U = f,$$

с краевыми условиями:

$$U|_{S_1} = U_s,$$

$$\lambda \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{S_2} = \theta,$$

$$\lambda \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_{S_3} + \beta (U|_{S_3} - U_\beta) = 0,$$

где коэффициент γ и f определяются схемой аппроксимации по времени. Для неявной двухслойной схемы они равны:

$$\gamma = \frac{\rho c_p}{\square t},$$

$$f = F + \frac{U^{\leftarrow 1}}{\square t},$$

где $\square t = t^j - t^{j-1}$ и $U^{\leftarrow 1}$ - решение задачи на предыдущем временном слое.

Для данного уравнения запишем вариационную постановку в форме Галеркина. Представим уравнение в виде:

$$R(U) = 0,$$

$$R(U) = -\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} U) + \gamma U - f,$$

$R(U)$ - невязка уравнения.

Потребуем, что бы невязка $R(U)$ дифференциального уравнения была ортогональна некоторому пространству Φ функций V , которое будем называть пространством пробных функций, где ортогональность в смысле скалярного произведения пространства H^0 (пространство суммируемых с квадратом на Ω функций):

$$\int_{\Omega} (-\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} U) + \gamma U - f) V d\Omega = 0 \quad \forall V \in \Phi.$$

Выполним преобразование по формуле Грина:

$$\int_{\Omega} \lambda \operatorname{grad} U \cdot \operatorname{grad} V d\Omega - \int_S \lambda \frac{\partial U}{\partial n} V dS + \int_{\Omega} (\gamma U - f) V d\Omega = 0 \quad \forall V \in \Phi,$$

где $S = S_1 \cup S_2 \cup S_3$.

Воспользовавшись краевыми условиями, преобразуем интегралы по границам S_2 и S_3 :

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} \lambda \operatorname{grad} U \cdot \operatorname{grad} V d\Omega - \int_{S_1} \lambda \frac{\partial U}{\partial n} V dS - \int_{S_2} \theta V dS - \int_{S_3} \beta (U - U_{\beta}) V dS + \\ + \int_{\Omega} (\gamma U - f) V d\Omega = 0 \quad \forall V \in \Phi. \end{aligned}$$

Так как на границе S_1 значение $\lambda \frac{\partial U}{\partial n}$ не определяется краевым условием (задается значение самого U), то слагаемое $\int_{S_1} \lambda \frac{\partial U}{\partial n} V dS$ следует

исключить из уравнения, потребовав, что бы пространство пробных функций Φ содержало только функции, которые бы принимали нулевые значения на границе S_1 . Также в уравнение входят производные пробных функций, поэтому в качестве Φ мы можем выбрать пространство H_0^1 (пространство функций, имеющие суммируемые с квадратом производные и равные нулю на границе S_1). Получим вариационное уравнение:

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} \lambda \operatorname{grad} U \cdot \operatorname{grad} V_0 d\Omega + \int_{\Omega} \gamma U V_0 d\Omega + \int_{S_3} \beta U V_0 dS = \\ = \int_{\Omega} f V_0 d\Omega + \int_{S_2} \theta V_0 dS + \int_{S_3} \beta U V_0 dS \quad \forall V_0 \in H_0^1. \end{aligned}$$

Теплообмен с окружающей средой не учитывается и поэтому $\beta = 0$.

Также отсутствуют внутренние источники тепла, то есть $F = 0$ и правая часть примет вид f :

$$f = \frac{U^{\leftarrow 1}}{\square t},$$

Окончательное вариационное уравнение:

$$\int_{\Omega} \lambda \operatorname{grad} U \cdot \operatorname{grad} V_0 d\Omega + \int_{\Omega} \gamma U V_0 d\Omega = \int_{\Omega} f V_0 d\Omega + \int_{S_2} \theta V_0 dS \quad \forall V_0 \in H_0^1.$$

Теплота, переданная лучом плазмы в заготовку, учитывается через вторые краевые условия:

$$\lambda \frac{\partial U}{\partial n} \Big|_S = Q_{face},$$

где Q_{face} - на части S^q границы S расчетной области определяет теплоту, переданную лучом плазмы, а на остальной границе $S \setminus S^q$ значение Q_{face} равно 0.

Так как на практике теплота луча может быть неравномерно распределена по толщине объекта и по фронту движения луча, эту неравномерность распределения необходимо учитывать в математической модели. Нужно выделить два вида неравномерности. Первый вид – это неравномерность распределения потока по толщине заготовки. Тепловой поток должен уменьшаться от поверхности к основанию заготовки. Второй вид – это неравномерность, образованная завихрением газа, что вызывает неравномерный нагрев по фронту луча. Учет этих неравномерностей производится с помощью коэффициентов, которые вычисляются как функция расстояния от поверхности заготовки для первого вида и как функция расстояния от центра луча для второго вида. На рис. 1 изображен элемент и расстояния от поверхности заготовки(S_Y) и от центра луча(S_X).

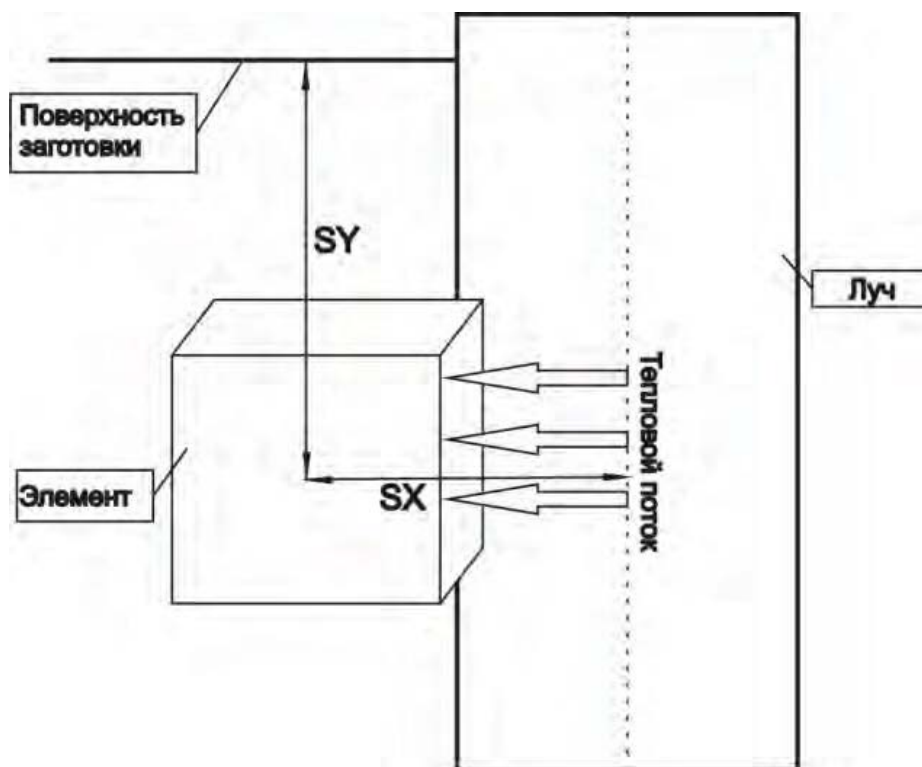


Рис. 1. Расстояния S_X и S_Y

Тогда поток для грани элемента будет равен:

$$Q_{face} = S_{face} K_{kxky} \frac{Q_{ray}}{S_k},$$

где S_{face} - площадь поверхности грани, Q_{ray} - заданная теплота луча, S_k - общая площадь всех граней, K_{kxky} - общий коэффициент равный:

$$K_{kxky} = KX(SX)KY(SY).$$

Здесь $KX(SX)$ и $KY(SY)$ функции расстояния. Площадь всех граней находится как:

$$S_k = \sum_i K_{kxky_i} S_{face_i}.$$

В математической модели для данной задачи необходимо учесть фазовый переход твердое тело – жидкость. Фазовый переход обусловлен тем, что тело поглощает теплоту, которая тратится не на нагрев, а на разрушение кристаллической решетки металла. Процесс плавления происходит с поглощением теплоты, равной удельной теплоте плавления. Для моделирования процесса фазового перехода при нагреве элемента до температуры плавления, удельная теплоемкость увеличивается в 100 раз и вычисляется новая температура плавления, до которой он будет нагреваться с измененной теплоемкостью:

$$\Delta T = \frac{q + 100c_p T_m}{100c_p},$$

где q - удельная теплота плавления, T_m - температура плавления.

Еще одним важным аспектом моделирования процесса плазменной резки является учет перегрева элементов. Из-за дискретизации по времени выплавляемые элементы будут нагреваться не до температуры плавления, а выше. Поэтому, если это не учесть, будут происходить потери энергии. Перегрев учитывается как возврат теплоты перегрева в луч, то есть находится теплота перегрева:

$$Q_m = \rho c_p V (T_{elem} - \Delta T),$$

где V - объем элемента, T_{elem} - текущая температура элемента. Затем эта теплота добавляется к теплоте луча на следующем временном слое. Таким образом, устраняются потери энергии при перегревах.

Для проверки адекватности разработанного математического аппарата планируется проведение экспериментальных исследований.

УДК 621.922.025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА И СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ РЕЦЕПТУРЫ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ПРОЧНОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

А.М. Романенко, к.т.н., доц.

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-99. E-mail: romanenkoam @yandex.ru

Приведены результаты исследований по определению степени и характера влияния компонентов рецептуры, так же различных наполнителей на прочность шлифовальных кругов

The results of researching on determination of the extent and the way of influence of both mixture`s components and different excipients on durability of grinding wheels are presented

Актуальной задачей в развитии процесса шлифования является производство абразивных кругов, способных при высоких значениях режима резания обеспечивать минимальные тепловые параметры в зоне резания, требуемую шероховатость поверхности после обработки, отсутствие термических дефектов и отклонения формы в пределах допуска.

Реализация преимуществ высокопроизводительных методов шлифования возможна лишь при использовании шлифовальных кругов, обладающих необходимыми физико-механическими свойствами и обеспечивающими за счет этого эффективную обработку деталей: уменьшение износа и увеличение стойкости круга, обеспечение заданной точности и качества обработки.

Физико-механические свойства круга, его прочностные и технологические параметры, определяются рецептурой абразивной массы. Основными компонентами любого абразивного инструмента являются зерно и связка которые и определяют физико-механические и режущие свойства абразивного инструмента. Одним из путей повышения режущей способности кругов является использование различных наполнителей. Все наполнители можно разделить на следующие виды;

- выгорающие наполнители, после выгорания, которых в теле круга остаются крупные поры,
- плавящиеся полые наполнители, в процессе обжига образуются дополнительные поры и изменяются свойства связки,

- невыгорающие полые наполнители, увеличивают число контактов между зернами и образуют дополнительные режущие кромки за счет разрушения в процессе резания.

Для сравнения характера и степени влияния различных типов наполнителей использовались;

1. электрокорундовые микросферы,
2. стеклянные микросферы,
3. фруктовые косточки,

В табл. 1. представлены основные характеристики наполнителей.

Таблица 1

Основные характеристики наполнителей

Показатели	Вид наполнителя		
	Электрокорундо- вые микросферы	Стеклянные микросферы	Фруктовы е косточки
Размер осн.й фракции, мкм	125	100	400
Температура плавления, ° С	2000	960	-
Насыпной вес, г/см ³	0,7	0,4	1,5

Как видно из таблицы 1. электрокорундовые микросферы представляют собой невыгорающий полый наполнитель, стеклянные микросферы – плавящийся наполнитель, а фруктовые косточки – выгорающий наполнитель.

Диапазоны варьирования составляющих компонентов рецептуры кругов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Диапазоны варьирования составляющих компонентов круга.

№ п/п	Компоненты рецептуры	Диапазон варьирования, в % общего содержания
1	Абразивное зерно из электрокорунда белого, зернистостью , V	38-42
2	Связка K5, V	8,5-12
3	Электрокорундовые микросферы, V	0-20
4	Стеклянные микросферы, V	0-10
5	Фруктовые косточки, V	0-5

Для характеристики механических свойств шлифовальных кругов принят предел прочности при одноосном растяжении, сжатии и изгибе.

Анализ полученных результатов осуществлен при помощи специальной программы многофакторного регрессионного анализа.

В которой исследовалась форма связи между поверхностью отклика и компонентами рецептуры круга в виде

$$\ln Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \ln x_i$$

Коэффициенты регрессии рассчитаны по методу наименьших квадратов. Проверка коэффициентов регрессии на значимость осуществлена с помощью t-критерия Стьюдента.

Гипотеза об адекватности полученных математических моделей проверялась по F - критерию Фишера и принималась на уровне значимости $\alpha = 0,05$, а наличие связи между исследуемыми факторами оценивалась по коэффициенту множественной корреляции.

На основании полученных данных и результатов обработки сделан вывод о связи включенных в модели факторов с физико-механическими свойствами абразивного круга и об адекватности разработанных моделей.

Из анализа коэффициентов парной корреляции моделей прочности видно, что наименьшее влияние на прочность оказывает содержание зерна в круге. Причем наименьшее влияние данный параметр оказывает на прочность при изгибе, очевидно, это можно объяснить характером разрушения при изгибе. Степень влияния содержания зерна на прочность при растяжении и сжатии примерно одинакова. Степень влияния на прочность наполнителей примерно одинакова. Максимальные значения коэффициентов парной корреляции у параметров, показывающих объемное содержание стеклянных микросфер и фруктовых косточек, влияние содержания электрокорундовых микросфер несколько меньше. Связка оказывает наиболее сильное влияние на прочность при сжатии, а на прочность при изгибе степень влияния связки минимальна.

Анализ коэффициентов парной корреляции СКО прочности на растяжение и сжатие показал, что характер и степень влияния составляющих компонентов в принципе одинаков. Наиболее слабое влияние на СКО оказывает содержание зерна, это можно объяснить тем, что, несмотря на большой разброс физико-механических свойств, прочность зерна в любом случае выше прочности связки. Наиболее же сильное влияние оказывают связка и фруктовые косточки. Сильное влияние связки на среднеквадратичное отклонение объясняется нестабильностью физико-механических свойств самой связки, фруктовые косточки, как уже отмечалось выше, обеспечивают создание крупных пор, которые ослабляют тело абразивного композита, создают дополнительные участки концентраторов напряжений.

Введение электрокорундовых и стеклянных микросфер способствует повышению степени однородности строения абразивного композита, увеличению количества перемычек, а, следовательно, снижения уровня напряжений в круге. Все это способствует повышению стабильности физико-механических свойств круга.

Выводы:

1. Характер влияния зерна и связки одинаков, с увеличением объемного содержания прочность увеличивается. Процентное содержание зерна (коэффициент парной корреляции для зерна 0,293) влияет слабее, степень влияния связки значительно выше (коэффициент колеблется в диапазоне 0,5-0,6).
2. Микросферы, как электрокорундовые, так и стеклянные, оказывают упрочняющее действие, причем влияние стеклянных микросфер значительно сильнее.
3. Фруктовые косточки разупрочняют абразивный композит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ипполитов Г.М. Абразивно-алмазная обработка. - М.: Машиностроение, 1969. - с.334.
2. А. И. Мироседи. Повышение эффективности процесса абразивной обработки путем управления структурными параметрами абразивного инструмента /А. И. Мироседи, В. М. Шумячер // Технология машиностроения. - 2007. - №1. - С. 28-29.
3. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. /М.: Машиностроение, 2007. – 688с.

УДК 622.232

РАЗРАБОТКА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ГЕОХОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.Ю. Садовец, к.т.н., доц., В.Ю. Бегляков, ст. преп.
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842)-39-63-87.

ЮТИ ТПУ, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская 26.
E-mail: vsadovec@yandex.ru

Представлены перспективные технические решения исполнительных органов геологов.

Perspective technical decisions of executive powers of geocourses are presented.

Освоение подземного пространства и строительство подземных сооружений является первостепенной задачей стратегического развития всего человечества. Создание технологий позволяющих проводить

строительство автомобильных трасс, железнодорожных тоннелей и сети подземных грузопотоков, расположенных на значительной глубине, является приоритетным направлением по группе задач «Использование подземного пространства»

Традиционно проведение горных выработок представляется как процесс образования полости в массиве горных пород. Для реализации такого подхода существует две технологии разработки горного массива: механическая и буровзрывная.

По конструктивным и технологическим особенностям исполнительные органы, реализующие механический способ разрушения геосреды, разделяют на две группы [1]:

- избирательные с перемещением в одной или двух плоскостях, получившие наибольшее распространение;
- буровые (роторные или планетарные), разрабатывающие проходческий забой по всей его поверхности.

Существует альтернативный подход к процессу проведения выработок, основанный на вовлечении геосреды в процесс перемещения проходческого оборудования. Такая технология получила название геовинчестерной, базовым функциональным элементом которой является геоход [2].

При движении геоходов в подземном пространстве приконтурный массив пород используется как опорный элемент для восприятия силовых нагрузок, возникающих при движении твердого тела в геосреде, т.е. при выполнении основных технологических операций по проведению горных выработок: разрушение горных пород, перемещение проходческой системы и крепления образовавшегося пространства выработки [3].

Главной особенностью геовинчестерной технологии проведения выработок является жесткая взаимосвязь операции перемещения и отделения, так как процесс идет в режиме – на сколько переместились, столько и отделили.

Выполнение основных технологических функций исполнительного органа влияет не только на процесс разрушения горного массива, но и на работу остальных функциональных устройств геохода в целом. Поэтому важнейшим функциональным устройством геохода является исполнительный орган.

Перемещение геохода осуществляется благодаря взаимодействию внешнего движителя аппарата с геосредой. Внешний движитель, представленный винтовой лопастью, определяет винтовую траекторию подачи корпуса (носителя) геохода на забой. Исполнительный орган, жестко связанный с корпусом геохода, перемещается на забой также по

винтовой траектории в строгом соответствии с шагом h_e и углом наклона β винтовой лопасти (рис. 1).

Своеобразный характер перемещения геохода на забой обуславливает формирование уступа перед исполнительным органом (ИО) геохода (рис. 1).

Высота формируемого уступа h зависит от шага винтовой лопасти и количества радиальных ножей, барабанов, баров установленных на ИО геохода:

$$h = \frac{h_B}{n},$$

где n – количество радиальных ножей, барабанов, баров или редукторов на исполнительном модуле.

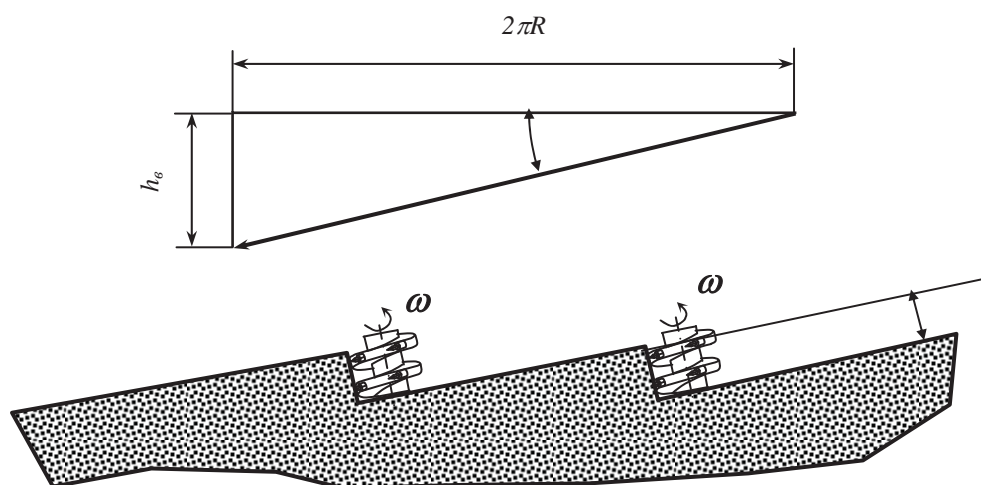


Рис. 1.

Постоянное формирование и одновременное разрушение уступа на поверхности забоя является главной отличительной особенностью работы ИО геохода и, соответственно, определяет основные функционально-конструктивные требования к разрабатываемым ИО геоходов. Кроме того, на функционирование ИО геоходов влияет еще ряд особенностей связанных с работой нового класса горнопроходческого оборудования:

- возможность создания больших напорных усилий на ИО;
- одновременная работа с остальными функциональными устройствами геохода.

Учитывая сложный характер работы и функционально-конструктивные отличия, нами сформулированы основные требования к ИО геохода:

1. Работа ИО должна осуществляться в строгом соответствии с характером и параметрами подачи геохода на забой.

2. Обязательное формирование и разрушение уступа на забое выработки.
3. Разрушение сформированного уступа должно производиться на свободную поверхность.
4. Должна обеспечиваться низкая энергоемкость разрушения горного массива.
5. Обязательное соответствие геометрических параметров ИО гехода, параметрам винтового движителя.
6. Должен обеспечивать маневренность на трассе выработки.
7. Должна быть возможность полного перекрытия забоя выработки.
8. Геометрическая форма диафрагмы должна соответствовать поверхности забоя, и также иметь вид геликоида.
9. Должна быть обеспечена возможность замены и взаимозаменяемости ИО на носителе.
10. Обязательное нарезание винтового канала за контуром выработки.

Существующие породоотделяющие органы проходческих машин не соответствуют предъявляемым к ИО геходов требованиям. Кроме того, ни конструктивно, ни функционально исполнительные органы геходов нельзя отнести к какой-либо группе существующих ИО проходческой техники.

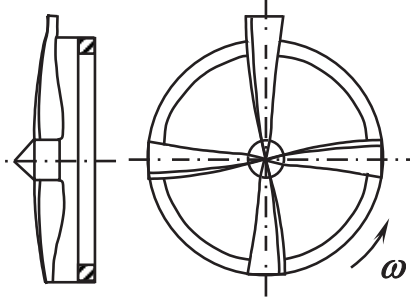
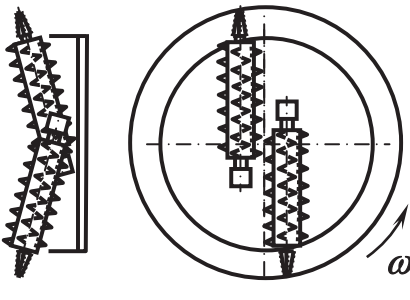
Все выше перечисленное обусловило необходимость разработки принципиально новых компоновочных и технических решений ИО гехода.

Синтез новых компоновочных и технических решений исполнительных органов геходов произведено, основываясь на функционально-конструктивном подходе к формированию структуры горнопроходческого оборудования.

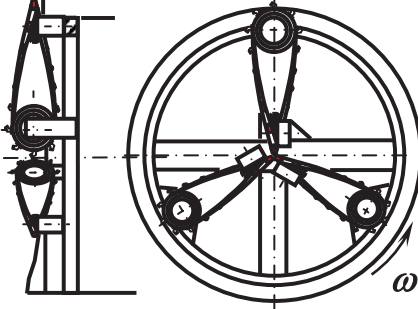
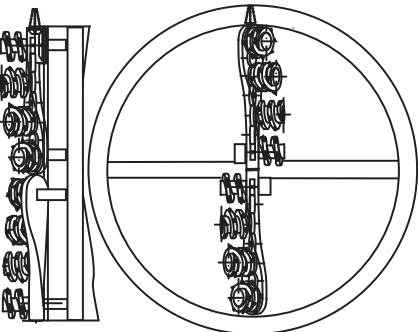
Основные конструктивные решения ИО геходов, их особенности, достоинства и недостатки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные конструктивные варианты исполнительного органа геолода

№ п п	Принципиальная схема	Особенности Область применения	Достоинства	Недостатки
1		<p>Четырех лучевой ножевой ИО.</p> <p>Угловые скорости движения инструмента и головной секции геолода равны.</p> <p>Область применения. Сыпучие и мягкие породы крепостью $f < 1$ по шкале проф. М.М. Протодьяконов а</p>	<p>Малая глубина уступа</p>	<p>Низкая производительность .</p> <p>Не имеет собственного привода.</p> <p>Работа по породам крепостью до $f=1$ по шкале проф. М.М. Протодьяконова.</p>
2		<p>Двух барабанный ИО, с двумя винторезами.</p> <p>Область применения. Породы крепостью $f < 4$ по шкале проф. М.М. Протодьяконов а</p>	<p>Проведение выработок по крепким породам.</p> <p>Компактность.</p> <p>Возможность оснащения меньшим приводом.</p>	<p>Эффективность использования на разных концах барабана отличается (вынимается разное количество породы в центре и по краям).</p> <p>Диаметр барабана ограничивает высоту уступа.</p> <p>Высокая энергоёмкость.</p> <p>Низкий коэффициент полезного действия.</p>

2-ая Международная научно-практическая конференция
«Инновации в машиностроении»

3		<p>Баровый трехлучевой ИО.</p> <p>Возможностью замены резцов баровой цепи на шарошки.</p> <p>Скол целикос осуществляется также барами, обеспечивая мало энергоемкое разрушение.</p> <p>Область применения разрушение пород крепостью $f < 10$ по шкале проф. М.М. Протодьяконов а</p>	<p>Возможность работы на вязких и крепких породах.</p> <p>Упрощается формирование винтового канала.</p> <p>Цепь бара может оснащаться не только резцами, но и шарошками.</p>	<p>Малая производительность.</p> <p>Низкий к.п.д..</p> <p>Высокое пылеобразование.</p> <p>Ограниченное применение.</p>
4		<p>Редукторный ИО.</p> <p>Представлен редукторный исполнительный орган со шнековыми разрушающими элементами.</p> <p>Вместо шнековых можно устанавливать другие разрушающие элементы или заменять режущий инструмент.</p> <p>Область применения Породы средней крепости $f < 8$ по шкале проф. М.М. Протодьяконов а</p>	<p>Удаление породы за один оборот на глубину хода винтовой секции.</p> <p>Разрушение пород любой крепости.</p> <p>Работа на увеличенных скоростях подачи.</p>	<p>Вероятность высоких динамических нагрузок.</p>

Один из вариантов активного исполнительного органа гехода редукторного типа представлен на рис. 2.

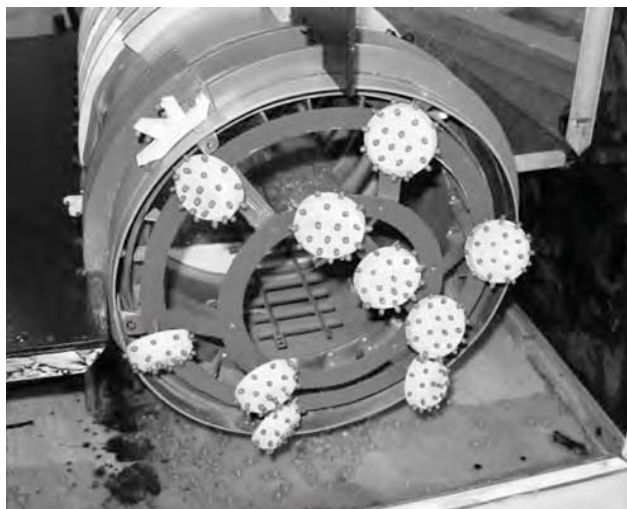


Рис. 2.

Создание нового класса исполнительных органов отвечающих предъявляемым требованиям и обеспечивающих работоспособность всего гехода является актуальной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гетопанов В.Н., Гудилин Н.С., Чугреев Л.И. Горные и транспортные машины и комплексы: Учеб. Для вузов. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
2. Аксенов В.В. Научные основы геовинчестерной технологии проведения горных выработок и создания винтоповоротных агрегатов: Дис. док. техн. наук. – Кемерово, 2004, 307 с.
3. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992. – 192 с.

УДК 622.002.5

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ГЕОХОДОВ

В.Ю. Садовец, к.т.н., доц, Е.В. Резанова, ст. преп.
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, ул. Весенняя, 28. Тел +7(3842)-39-63-87.
E-mail: vsadovec@yandex.ru, elen-rezanova@yandex.ru

Представлен новый подход к формированию структуры будущей машины. Дано определение структурного портрета геологов.

The new approach to formation of structure of the future car is presented. Definition of a structural portrait of geocourses is made.

В настоящее время коллективом авторов, занимающихся созданием новых видов горнопроходческой техники, предложено рассматривать проходку горной выработки как процесс движения твердого тела (горнопроходческого оборудования) в твердой среде (окружающем массиве горных пород) [1]. Такой подход жестко требует за базовую операцию в проходческом цикле принимать перемещение.

Для лучшего понимания и восприятия структурных формул горнопроходческих систем считаем необходимым, перейти на символическое обозначение технологических операций, функциональных устройств и элементов [2].

В то же время, исходя из необычности данного предложения, на переходном этапе предлагается оставить для основных технологических операций как у авторов [3] - буквенное обозначение, а для обозначения функциональных устройств (ФУ) ввести символы.

Структуру горнопроходческой системы обычно представляют тремя функциональными машинами, которые выполняют следующие технологические операции: отделение горной массы, уборки (транспортировки) и крепления образовавшегося пространства.

Функциональные устройства, входящие в структуру средств уборки, отделенной горной массы являются унифицированными и включают, как правило, два функциональных элемента. Порододоборочные машины состоят из погрузочного и транспортирующего органа, а также органа перемещения порододоборочной машины.

В общем случае технологическая операция по возведению постоянной крепи осуществляется двумя функциональными устройствами, которые выполняют следующие функции: создание

геомеханической системы «крепь-порода» и возведение ограждающих средств.

Согласно иерархии конечным элементом, при рассмотрении структурного строения проходческих систем являются функциональные элементы. Каждое функциональное устройство операционной машины состоит из достаточно обозримого числа элементов. Но структура функциональных устройств, зависящая от способа проведения выработки, используемых средств уборки и крепления, а так же ряда других факторов, является такой многообразной, что введение символического обозначения для функциональных элементов мы оставим для разработчиков конкретных проходческих систем.

Согласно иерархии конечным элементом, при рассмотрении структурного строения проходческих систем являются функциональные элементы. Каждое функциональное устройство операционной машины состоит из достаточно обозримого числа элементов. Но структура функциональных устройств, зависящая от способа проведения выработки, используемых средств уборки и крепления, а так же ряда других факторов, является такой многообразной, что введение символического обозначения для функциональных элементов мы оставим для разработчиков конкретных проходческих систем.

Проходческая система в целом представляет достаточно сложную структуру, состоящую функциональных устройств и элементов, которые посредством связей взаимодействуют друг с другом. Представляется удобным изобразить горнопроходческую систему в виде окружности, разбитой на четыре сектора. Каждый сектор обозначает технологическую операцию или функциональную машину. Функциональные устройства и элементы горнопроходческой системы, при составлении общей структурной схемы, следует располагать соответственно занимаемому уровню иерархии. Такое представление структуры проходческой системы назовем «структурным портретом» (рис.1).

Структурный портрет – это функциональные устройства и конструктивные элементы геологов, расположенные в соответствии занимаемым уровням иерархии, взаимосвязанные между собой и представляемые в виде символов.

Представленный структурный портрет изображен в виде спила ствола дерева. В центре располагается символ, обозначающий базовую операцию - перемещение. Удаляясь от центра к периферии, на круговых сегментах располагаются буквы, обозначающие основные технологические операции, а также символы, которым присвоено значение функциональных устройств и элементов. По радиусу

расположена геосреда, которая контактирует с технологическими операциями отделения перемещения и крепления.

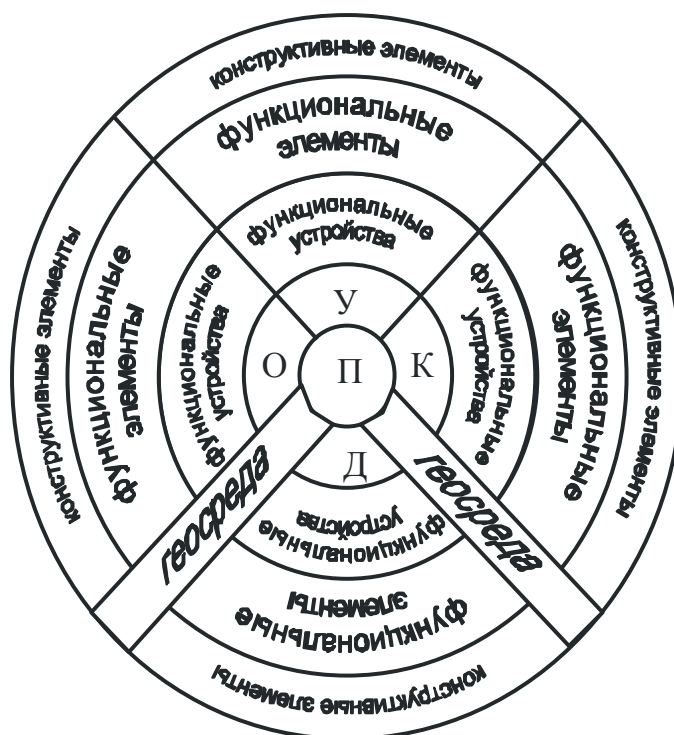


Рис. 1. Структурный портрет геохода

Такой вид представления совокупности элементов, входящих в состав проходческой системы, а также характер их взаимодействия, дает представление о иерархичности структуры горнопроходческого оборудования. Введение дополнительных технологических операций, новых функциональных элементов в дальнейшем можно показывать в виде вновь образуемых дополнительных круговых сегментов, аналогично росту ствола дерева.

Для дальнейшего развития и наработки вариантов обоснованных технических и компоновочных решений по новому классу горнопроходческой техники представляется целесообразным рассмотреть геоход как структурный объект.

Существует два подхода к формированию структуры будущей машины: функциональный и конструктивный [4].

Функциональный подход основывается на выполнении машиной, устройством или элементом какой либо технологической операции.

Конструктивный подход, основываясь на существующих конструкциях машин, устройств и элементов, формирует гипотетическую структуру будущей технологической единицы.

Кроме того, для создания структурного портрета геохода, представляется возможным и необходимым объединить два подхода –

функциональный и конструктивный. В результате получим функционально-конструктивную модель будущей машины.

С точки зрения функционального подхода любая горнопроходческая система должна обладать иерархичностью структуры. Для гехода иерархичность заключается в том, что в его структуре выделяются подсистемы, которые рассматривают как самостоятельные функциональные единицы.

Геход обладает вполне логичным числом уровней иерархии. Выделим основные из них: функциональные машины, функциональные устройства, функционально-конструктивные элементы и конструктивные элементы.

Основной технологической операцией, если рассматривать проведение горных выработок, как движение твердого тела (проходческого оборудования) в твердой среде, является перемещение. Поэтому, при структурной систематизации, перемещение было принято за базовую функциональную операцию.

Функциональная машина по отделению горной массы или исполнительный орган (ИО), состоит из:

- основного элемента, непосредственно разрушающего забой;
- винтореза – инструмента, нарезающего винтовые каналы за контуром выработки;

Структуру движителя гехода, обеспечивающего его перемещение в геосреде, необходимо представлять как совокупность трех функциональных устройств:

- винтовой лопасти;
- устройств противовращения;
- привода.

Поскольку движение гехода в геосреде выделяется как основная технологическая операция, а в структурном портрете для основных операций используется буквенное обозначение, следовательно, технологическую операцию движения предлагается обозначить буквой «Д».

Согласно принципу иерархии каждое ФУ состоит из определенного числа функционально-конструктивных элементов, которые являются его конструктивной реализацией.

Для ИО гехода можно выделить следующие функционально-конструктивные элементы:

- расположение ИО относительно продольной оси гехода;
- количество разрушающих элементов;
- тип исполнительного органа гехода;
- применение различного инструмента (ножи, резцы, шарошки);
- наличие собственного привода у ИО гехода.

В связи с тем, что набор функциональных элементов технологических операций по уборке отделенной горной массы и креплению выработки аналогичны (состоят из двух типов элементов: тип и наличие привода), то существует возможность введения одинакового символьного обозначения для функциональных элементов этих операций. При построении структурной схемы присоединение символьного обозначения функционального элемента к определенному функциональному устройству определит, к какой технологической операции относится данный элемент.

Рассмотрим функциональные элементы, входящие в состав винтовой лопасти. По сути их два – это количество заходов винтовой лопасти и геометрическая форма профиля винтовой лопасти. Эти структурные элементы больше являются конструктивными, чем функциональными, но именно они будут влиять на силовые и ходовые характеристики всего геохода.

Функциональное устройство противовращения включает в себя как минимум три функциональных элемента:

- крыло, непосредственно воспринимающее и перераспределяющее на массив нагрузки от силового оборудования;
- исполнительный орган, формирующий каналы за контуром выработки;
- орган уборки и транспортирования отделенной горной массы.

Структура привода геохода определяется двумя функциональными элементами – типом трансмиссии и типом двигателя.

Наглядно и доступно строение геохода можно представить в виде структурного портрета, используя в ней буквенно-символьное обозначения функциональных машин, устройств и элементов. Такой вид, представленный на рисунке 1, структуры геохода позволяет не только проводить анализ существующих конструкций геоходов, но и дает возможность синтеза новых технических решений.

В качестве примера представим структурные портреты геоходов ЭЛАНГ–3 (рис. 2) и ЭЛАНГ–4Т (рис. 3).

В структуру портрета введена геосреда, которая является опорным элементом для создания напорных усилий на ИО, при перемещении геохода на забой, используя внешний движитель.

Так как корпус геохода является временной проходческой крепью, то в структурном портрете оставлено место для обозначения операции крепления. На самом деле оборудование по возведению крепи в структуре опытного образца геохода ЭЛАНГ – 3 не предусмотрено.

Операция уборки в конструкции геохода ЭЛАНГ – 3 осуществляется двумя функциональными устройствами: погрузочными лопатками и преспогрузчиком. Процесс навалки отделенной горной

массы на пресспогрузчик осуществляется погрузочными лопатками, которые не имеют собственного привода, а пресспогрузчик имеет.

Исполнительный орган геохода ЭЛАНГ – 3 состоит из винтореза, не имеющего собственного привода (структурное обозначение привода отсутствует), и ножей, которые также не имеют своего привода. Также структурная портрет дает возможность представить геометрическое расположение винтореза и ножей ИО относительно продольной оси геохода.

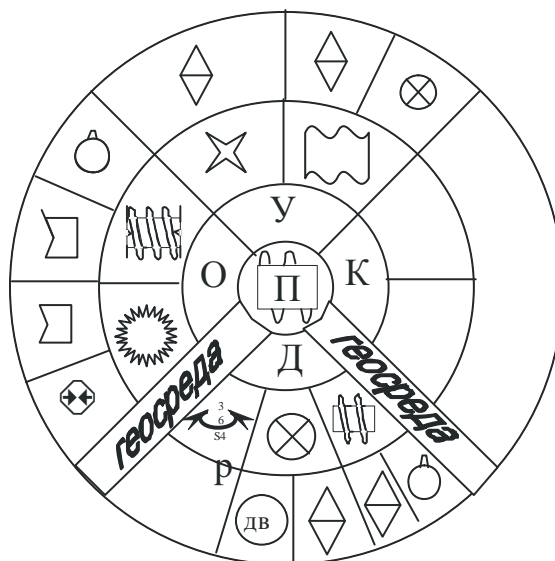


Рис. 2. Структурный портрет геохода ЭЛАНГ – 3

Основными отличиями структурного портрета геохода ЭЛАНГ – 4Т (Т - тоннельный), от структурного портрета геохода ЭЛАНГ – 3 являются:

- собственный привод у ИО (при этом возникает необходимость обозначения типа ИО);
- роторный погрузчик, осуществляющий погрузку отделенной горной массы на вагонетку или другое транспортирующее устройство (что отмечено технологической связью);
- винторез, технологически, кинематически и конструктивно связанный с основным ИО;
- отсутствие забурника;
- функциональные устройства по возведению постоянной крепи (тюбингоукладчик).

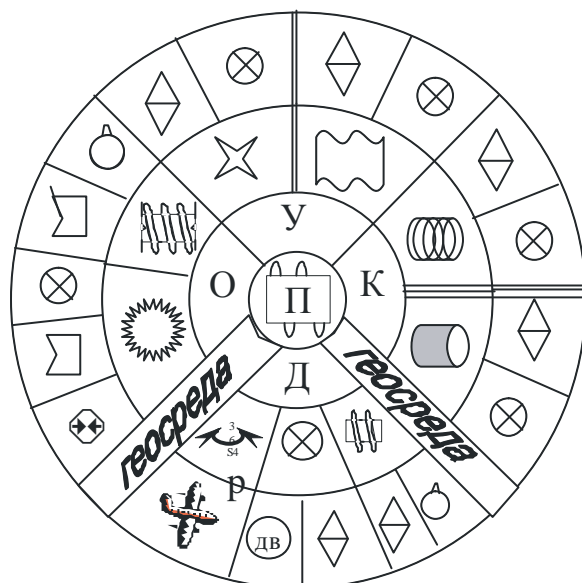


Рис. 3. Структурный портрет геохода ЭЛАНГ – 4Т

Выводы

- 1) Объединение функционального и конструктивного подходов к структурной систематизации горнопроходческих систем позволило получить структурный портрет, который является функционально-конструктивной моделью существующих горнопроходческих систем и машин.
- 2) Отображение средств механизации с использованием структурного портрета, изображенного в виде окружности разбитой на сектора, и с применением буквенно-символьного обозначения, позволяет получить наглядную картину о структуре функциональной машины.
- 3) Структурный портрет геоходов позволил выявить необходимость введения новых функционально-конструктивных устройств и элементов, а также открыть большое поле деятельности и широкие возможности в направлении создания исполнительных органов геохода, уборочной и крепевозводящей машин, а также вариантов движителя нового класса горнопроходческой техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эллер, А.Ф. Винтоповоротные проходческие агрегаты / А.Ф. Эллер, В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992 г.– 192 с.
2. Горбунов, В.Ф. Структурная матрица горнопроходческих систем / В.Ф. Горбунов, В.В. Аксенов, В.Ю. Садовец // Служение делу. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2006.- С. 77-84.
3. Солод, В.И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, К.М. Рачек. – М.: Недра, 1983.- 351с.

4. Горбунов, В.Ф. Основы проектирования буровзрывных проходческих систем / В.Ф. Горбунов, А.Ф. Эллер, В.М. Скоморохов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1985.- 254 с.

УДК 621.923

МАГНИТНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ПОРОШКАМИ С ПОКРЫТИЕМ

Е.Ю. Татаркин, д.т.н., проф., А.А. Дианов, к.т.н.
Алтайский государственный технический университет им.
И.И.Ползунова
Барнаул, +7(3852) 29-09-23. E-mail: agtu-otm2010@mail.ru

Предложен новый инструмент для чистовой обработки и приведены результаты экспериментальной оценки его технологических возможностей.

This article proposes a new tool for finishing work and present results of experimental rating of it capability.

Сложные физические и химические явления, проходящие при взаимодействии магнитно-абразивного порошка и заготовки, приводят к износу режущих зерен. Это оказывает влияние на отклонения профиля и шероховатость обрабатываемой поверхности. Интенсивность износа и период стойкости инструмента зависят от многих параметров: величины снимаемого припуска, размеров детали и инструмента, характеристик абразивной части и обрабатываемого материала, режимов резания и ряда других факторов. Импрегнирование (пропитка) абразивных инструментов оказывает прямое положительное влияние на контактные процессы в зоне резания и косвенное - через изменение физико-механических свойств инструмента. При этом выбор состава пропитывающих веществ зависит от обрабатываемого материала, условий и режимов резания, требуемого качества обработки.

При этом улучшаются показатели процесса: стойкость инструмента, шероховатость обработанной поверхности, среднюю скорость износа. В ряде случаев, например, при использовании импрегнированных кругов устраняются скрытые тепловые дефекты шлифованной поверхности (прижоги, микротрещины).

Для повешения качества поверхности деталей предложен инструмент для магнито-абразивной обработки (МАО), на который получен патент РФ на полезную модель [1]. Особенностью этого инструмента является то, что в нём применяется магнитно-абразивный порошок, каждое из зёрен которого выполнено с покрытием из поверхностно-активных веществ (ПАВ), рис. 1. Зёрна магнитно-

абразивного порошка состоят из магнитной 1 и абразивной 2 составляющих и выполнены с покрытием 3 из поверхностно-активных веществ. В качестве магнитной 1 составляющей зерен может быть использован спеченный порошок железа марки ПШ2М по ГОСТ 9894 – 81, в качестве абразивной 2 составляющей – спечённая композиция «титан+кобальт» TiC, а в качестве покрытия – поверхностно-активные вещества марки ОП-10 по ГОСТ 8433 – 81.

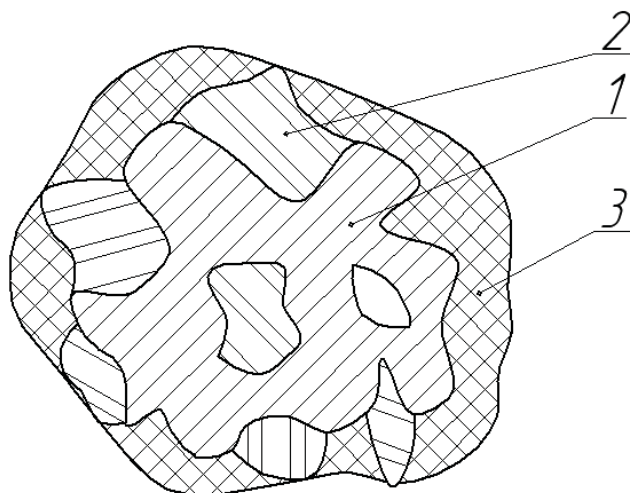


Рис. 1. Режущий элемент устройства для магнитно-абразивной обработки

Поверхностно-активные вещества, покрывающие зерна порошка, адсорбируясь на обрабатываемой поверхности детали, уменьшают механическую прочность её поверхностного слоя, снижая работу на срезание припуска и облегчая условия микрорезания обрабатываемой поверхности детали.

Эксперименты проводили на станке ГФ2171С5 с установленным на нём индуктором (рис. 2) на постоянных магнитах 1 диаметром 170 мм, установленных в корпус (поз. 2). Обрабатывали две партии образцов (поз. 3, рис. 2) размером 30×65×12 мм со шлифованным покрытием из оксида алюминия Al_2O_3 (шероховатость $Ra = 3,5$ мкм). Первую партию образцов полировали магнитно-абразивным порошком (поз. 4), не покрытым ПАВ, вторую - новой порцией порошка, покрытого ПАВ ОП-10 по ГОСТ 8433 – 81.

Для пропитки магнитно-абразивного порошка использовался баллончик с находящимися в нём под давлением ПАВ. Контролировали пропитку зёрен под микроскопом ИМЦЛ 150х50.6, имеющим окулярную головку с линейным увеличением объектов в 40 крат. Предел допускаемой основной погрешности микроскопа при отсчете от нулевого показания в диапазоне измерения от 0 до 25 мм составляет

$\pm 0,003$. Рассматривалось 20 непропитанных и 20 пропитанных зёрен. Средний максимальный размер пропитанных зёрен увеличился в 1,5 раза, что позволяет говорить об образовании плёнки на их поверхности толщиной порядка 150 - 400 мкм.

Режимы обработки: время обработки $t = 5$ минут, частота вращения магнитного индуктора $n = 200 \text{ мин}^{-1}$, зазор между индуктором и обрабатываемой поверхностью 1 мм, продольная и поперечная подачи отсутствовали. Использовался магнитно-абразивный порошок TiC+Fe зернистостью $630 \times 250 \text{ мкм}$.

Выходными (контролируемыми) параметрами после полирования были параметры волнистости W_z , W_{\max} , Sw и шероховатость обрабатываемой поверхности по R_a , определяемые при помощи профилометра-профилографа модели 250 завода «Калибр».

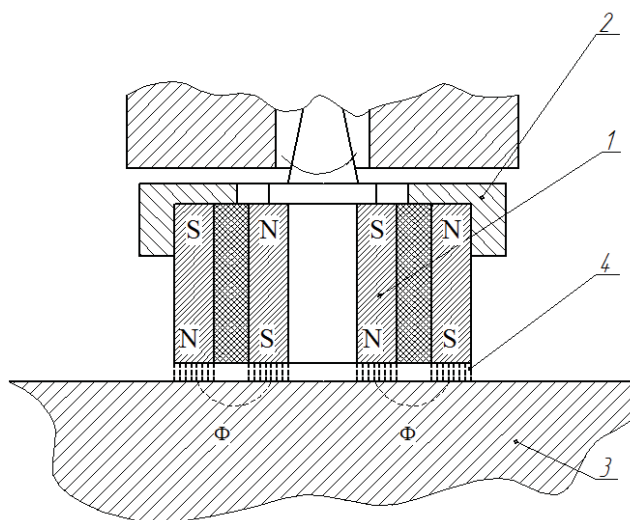


Рис. 2. Устройство для МАО (индуктор)

Применение разработанной технологии и устройства для магнитно-абразивной обработки на финишной операции изготовления деталей с износостойкими покрытиями в условиях проведенного эксперимента позволило снизить на 30% высоту волнистости для рассматриваемого типа покрытия из оксида алюминия, не ухудшая, при этом шероховатость поверхности. Этот инструмент наиболее эффективно применять для окончательной механической обработки износостойких покрытий, отличающихся высокой твёрдостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 83211 Российская федерация, МПК⁸ В 24 D 17/00. Устройство для магнитно-абразивной обработки. / Е.Ю. Татаркин, А.А. Ситников, Я.Г. Мостовая, А.А. Дианов. – 2008141877/22; заяв. 22.10.2008; опубл. 27.05.2009, Бюл. №15.

УДК 621.929.3

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ МАСС ЗАГРУЗКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ РАСТВОРОВ И БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

В.Д. Таратута, к.т.н., проф., Г.В. Серга, д.т.н., проф.
Кубанский государственный аграрный университет
Краснодар, 350044, ул. Калинина 13.
Тел +7(861) 221-59-15, 228-12-10, 8-918-410-79-55.
E-mail: serga-georgy@mail.ru

Показана возможность использования винтовых барабанов обеспечивающих за счет их оригинальной геометрии движение частицам компонентам растворов и бетонных смесей с большой амплитудой и энергоемкость в производстве растворов и бетонных смесей.

A facility is demonstrated to use screw drums that provide solutions and concrete mixtures components' particles movement with large amplitude due to their original geometry and energy consumption in solutions and concrete mixtures production as well.

На предприятиях нашей страны и за рубежом для выполнения операций по приготовлению растворов и бетонов наиболее широкое распространение получили различные барабанные устройства со снабженными внутри смесительными лопастями. Однако низкая интенсивность протекающих процессов и локализация их в ограниченной зоне приводит к большой длительности реализации процессов приготовления бетона и растворов и, поэтому, выполнение этих технологических операций в барабанных устройствах малоэффективно.

Так как вибрация – наиболее распространенный вид механического воздействия на сыпучие материалы, обеспечивающий быстрое протекание технологических процессов, то одним из прогрессивных видов техники для приготовления растворов и бетонных смесей являются вибрационные машины. Такие машины обеспечивают высокую удельную производительность при относительно низких энергозатратах, имеют значительно меньшие габариты по сравнению с другими устройствами, в результате чего открывается принципиальная возможность сокращения производственных площадей, транспортных средств, капитальных и эксплуатационных затрат.

Применение полезной вибрации позволило создать на основе вибрационных процессов целый ряд смесителей для приготовления растворов и бетона, которые обладают определенными преимуществами. Это, прежде всего, конструктивная простота

бетоносмесителей, основными узлами которых являются двигатель 1 (рис. 1) совершающий вращательное движение, виброактиватор 2, преобразующий вращательное движение двигателя в колебательное. Эти колебания посредством упругих связей 3 передаются рабочему органу 4, который, в свою очередь, своими стенками или дном сообщает колебательные движения частицам сыпучих материалов (массам загрузки 5). Поскольку масса рабочих органов вместе с массами загрузки составляет достаточно большую величину, то при увеличении амплитуд колебаний происходит разрушение системы упругих связей, и поэтому современные вибрационные машины работают в диапазоне амплитуд перемещений от 3 мм до 10 мм. Можно предположить что увеличение амплитуды колебаний позволит повысить интенсивность вибрационных процессов, однако этот вопрос мало изучен и требует дальнейшей проработки.



Рис. 1. Схема передачи движения от электродвигателя к частицам масс загрузки в известных конструкциях вибрационных устройств

Решение проблемы следует искать в нестандартных решениях, создании оригинальных конструкций бетоносмесителей и инновационных технологий, обеспечивающих существенную интенсификацию процессов смешивания частиц сыпучих материалов, усложнении траектории их движения, увеличения амплитуд и энергоемкости взаимодействия частиц не только друг с другом, но и со стенками рабочих органов без виброактиваторов, что обеспечивает повышение производительности и сокращает время приготовления растворов и бетонных смесей.

Такая задача может быть решена с помощью бетоносмесителя, рабочими органами которого являются винтовые барабаны, обеспечивающие за счет оригинальной геометрии не только нестандартные формы движения частиц сыпучих материалов с большой амплитудой (100 – 1000 мм и более), но и значительную энергоемкость их взаимодействия. Пространственная форма винтовых барабанов создана за счет сформированных по их периметру винтовых линий основного и противоположного направления. Такие оригинальные бетоносмесители сохраняют положительные характеристики как барабанных устройств – простоту изготовления, эксплуатации,

незначительные потери при передаче энергии от двигателя к массам сыпучим сред, так и вибрационных машин – большую скорость технологических процессов приготовления растворов и бетона, высокую удельную производительность при относительно низких энергозатратах, а также значительно меньшие, по сравнению с другими устройствами, габариты. В результате создания таких бетоносмесителей открывается принципиальная возможность сокращения производственных площадей, транспортных средств, капитальных и эксплуатационных затрат, т. е. создание ресурсосберегающих машинных инновационных технологий и бетоносмесителей, способных выполнять технологические процессы во время транспортирования частиц компонентов растворов или бетонных смесей в неориентированном состоянии – масс загрузки (рис. 2).



Рис. 2. Схема передачи движения от электродвигателя к частицам масс загрузки в предлагаемых конструкциях бетоносмесителей на базе винтовых барабанов

В бетоносмесителях (рис. 2) вращательное движение электродвигателя 1 передается непосредственно рабочему органу – вращающемуся винтовому барабану 2, (рис. 2), который, в свою очередь, сообщает движение с большой амплитудой колебаний частицам компонентов раствора или бетонных смесей. Возможность создания низкочастотных колебаний с большой амплитудой в винтовых барабанах реализуется за счет оформления их наружных поверхностей дискретно расположенными по периметру плоскими элементами различной формы и типоразмеров (треугольной, квадратной, прямоугольной, трапециевидной и т. п.), разнонаправленными по отношению к винтовым линиям основного и противоположного направлений. Наличие в таких барабанах винтовых или зигзагообразных линий противоположного направления и величина их шага, не только определяют характер движения масс загрузки (от единообразного в одних конструкциях барабанов до сложного и бесконечно разнообразного в барабанах других конструкций), но и увеличивают или уменьшают транспортный или технологический эффект. Новизна предлагаемых конструкций вибрационных бетоносмесителей [1-5] на базе винтовых барабанов для приготовления растворов и бетона

обусловлена тем, что элементы, из которых собраны винтовые барабаны, смонтированы под некоторым углом не только друг к другу, но и к оси вращения. Поэтому, интенсивность и энергоемкость смешивания возрастает, так как эти элементы, работая как полки, захватывают порции частиц компонентов растворов или бетонных смесей (цемент, инертные материалы) и направляют их навстречу друг другу и к противоположным движущимся стенкам барабана. Поскольку площадь, форма и размеры проходного сечения винтового барабана по его длине меняются от загрузки до выгрузки, то интенсифицируется процесс смешивания, увеличивается энергоемкость взаимодействия частиц компонентов растворов или бетонных смесей друг с другом и со стенками винтового барабана, изменяется частота такого взаимодействия и амплитуда движения. Процесс приготовления растворов и бетона в предлагаемых конструкциях бетоносмесителей происходит посредством смешивания и вибрации. В таких бетоносмесителях создается достаточное количество противоположных конвективных потоков частиц компонентов растворов или бетонных смесей, которые интенсивно завихряются. Вибрация – пространственные движения порций масс загрузки с большей амплитудой колебаний (100 – 1000 мм и более) образует внутри винтовых барабанов дополнительные смешивающие потоки и производит «активацию» компонентов растворов или бетонных смесей. Основными преимуществами предлагаемой инновационной технологии являются выполнение технологического процесса приготовления бетона и раствора во время транспортирования и загрузки инертных материалов, цемента и воды (конвейерный способ), а также повышение прочности бетона за счет интенсификации процесса перемешивания под воздействием низкочастотных колебаний большой амплитуды (вибрационный способ). Предлагается сначала осуществлять активацию инертных составляющих путем «сухого» смешивания и транспортирования в горизонтальном направлении, противоположном направлению потоков воды на расстоянии, равном половине технологического пути, затем, после подачи воды, осуществляют поворот движения бетонной смеси на 180° и смешивание компонентов с транспортировкой их в направлении, совпадающем с направлением подачи воды. Для реализации способа предлагается бетоносмеситель (рис. 3 и 4), содержащий приемную воронку 1, питатель 2, винтовой барабан 3, трубу для подачи воды 4, наружный барабан 5, приемный бункер 6, раму 7 с закрепленными на ней приводом 8, передающим вращение от двигателя 9 посредством ременной передачи 10, редуктора, шестерни, венцового колеса 11, в котором жестко вмонтирован наружный барабан 5. На раме 7 закреплены опорные катки 12, на

которых покоится опорное кольцо 13, которое также жестко скреплено с наружным барабаном 5, в котором жестко коаксиально закреплен винтовой барабан 3. Он скреплен с наружным барабаном 5 с помощью спиц 14 и 15. От радиального перемещения барабан 5 предохраняют два опорных ролика (на рис. 3 и рис. 4 не показаны). Наружный барабан 5 выполнен в виде многозаходной пустотелой конической колонны с винтовыми линиями переменного шага и собран из равносторонних и равнобедренных треугольников, друг с другом поочередно соединенных своими боковыми сторонами. Такое конструктивное оформление обеспечивает не только интенсивное смешивание расположенных под углом друг к другу и к продольной оси вращения наружного барабана треугольников, но и за счет естественного уклона конуса наружного барабана, создает условия для перемещения бетонной смеси вдоль горизонтальной оси. Так как приемник 2 закреплен жестко с винтовым барабаном 3 и получает от него вращение, то отпадает необходимость в специальном приводе для питателя 2, что упрощает конструкцию устройства в целом и снижает энергозатраты.

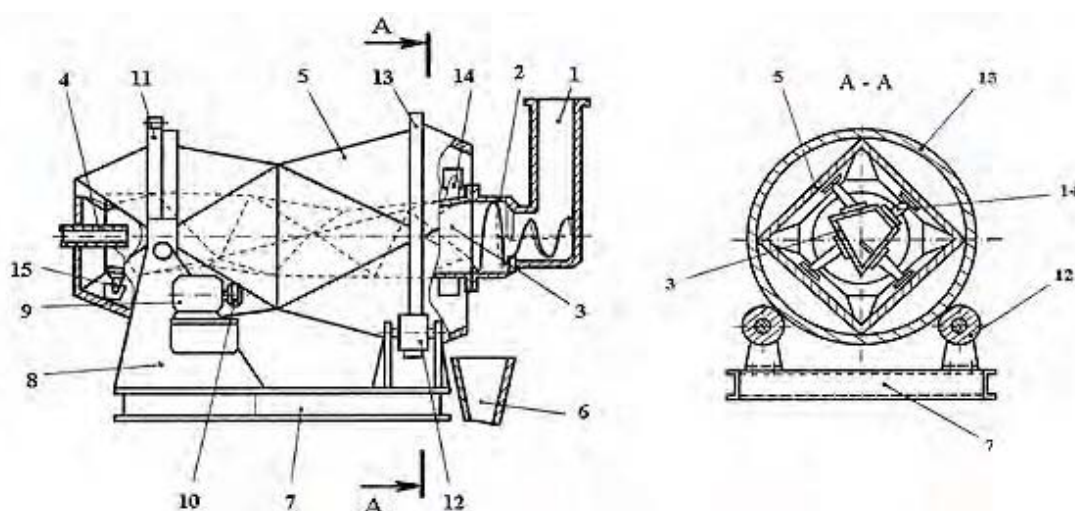


Рис. 3. Схема бетоносмесителя

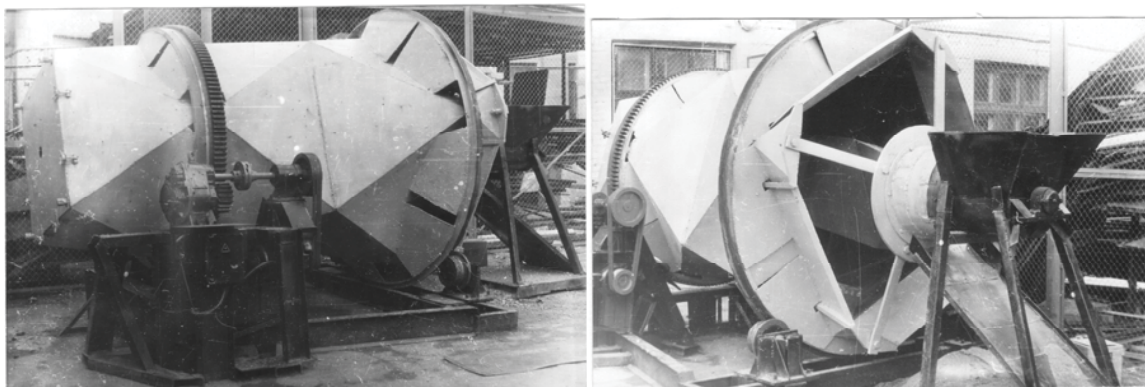


Рис. 4. Бетоносмеситель

Основные технические данные

Производительность, т/час.....	40
Мощность электродвигателя, кВт.....	7
Габариты, мм.....	3800x2200x2600
Масса, кг.....	3000

Бетоносмеситель работает следующим образом. Цемент и инертные материалы (гравий с песком) массы, непрерывным потоком загружаются в приемную воронку 1, из которой с помощью питателя 2 поступают в полость внутреннего винтового барабана 3. Он транспортирует цемент и инертные материалы навстречу поступающему в полость винтового барабана 3 потоку воды, подаваемой трубой 4. В процессе транспортирования компонентов бетонной смеси в винтовой барабан 3, под воздействием сложного пространственного движения масс загрузки с большой амплитудой (450 – 500 мм) происходит активация сухих компонентов и цемента, разрушение их крупных фракций на более мелкие, интенсивное перемешивание частиц цемента в объемах инертных материалов, а также равномерное распределение между частицами песка и гравия. Так как процесс смешивания производится до начала процесса затворения водой, то и качество смешивания сухих компонентов значительно выше и процесс смешивания сокращается во времени. Сухая бетонная смесь транспортируется навстречу потоку воды, создаются встречные потоки и полужидкая бетонная смесь поступает из внутренней полости винтового барабана 3 во внутреннюю полость наружного барабана 5, в котором происходит окончательное перемешивание и вывод готового бетона в приемный бункер 6. Выполнение наружного барабана 5 и внутреннего барабана 3 с взаимонаправленными винтовыми линиями различного шага, обеспечивает интенсивное перемешивание цемента и инертных составляющих, а также их измельчение, интенсифицируя таким образом процесс смешивания. Кроме того, выполнение устройства коаксиальным обеспечивает уменьшение габаритов бетоносмесителя вдвое. Сравнение результатов исследований прочности бетона, изготовленного по существующей заводской технологии и предлагаемой инновационной технологии, показали значительное повышение качества бетона за счет улучшения смешивания компонентов бетонной смеси, повышение ее однородности. Новизна технологического процесса и оборудования для его реализации, отсутствие сведений о их эксплуатации вызывает необходимость проведения исследований по определению T-времени смешивания компонентов растворов и бетонных смесей (сыпучих материалов) (мин.), что позволяет определить (рассчитать) L –длину винтового барабана

(мм) по известной V - скорости продольного перемещения сыпучих материалов внутри винтового барабана (мм/с), при этом:

$$L = T \cdot V. \quad (1)$$

Процесс смешивания различных сыпучих материалов - один из сложных и малоизученных. В винтовых барабанах, снабженных по периметру многозаходными винтовыми поверхностями, возникают разнонаправленные составляющие перемещения компонентов растворов или бетонных смесей с большой амплитудой, поэтому при продольном их перемещении от загрузки к выгрузке усиливается эффект их смешивания благодаря наличию множества векторов, имеющих различные направления. Таким образом, двойная кривизна поверхности, благодаря наличию разнонаправленных векторов в каждой точке поверхности периметра цилиндрического винтового барабана, обеспечивает усиление технологического и транспортного эффекта, ускоряет их процесс смешивания, сокращает время на выполнение операции смешивания сыпучих материалов. Поэтому, во вращающемся винтовом барабане частицы компонентов растворов или бетонных смесей взаимно перераспределяются относительно одна другой в общем объеме, переходя от первоначально упорядоченного расположения в бункере после их загрузки к беспорядочному, хаотическому расположению в их общей массе. Смешивание заканчивается когда система перейдет от менее вероятного упорядоченного состояния в более вероятно- хаотическое, устойчивое. Анализ процесса смешивания позволяет отдать предпочтение для его оценки статистическим характеристикам: среднеквадратическому отклонению σ и коэффициенту вариации C :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad C = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100, \quad (1)$$

где x_i – концентрация контролируемого или контрольного компонента в пробах (весовая, относительная, количество частиц); \bar{x} – среднеарифметическая концентрация контролируемого компонента

$$(\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n) \quad (2)$$

n – число проб, отобранных равномерно по всему объему смеси, ($n = 10-30$).

Для оценки смеси отбирали равномерно со всего объема 12 проб. Результаты исследования представлены в виде номограмм на рис. 5. Анализ результатов экспериментов (усредненные показатели по трем опытам) показывают, что, так же как и в известных конструкциях смесителей в винтовых барабанах, в процессе смешивания обнаруживаются некоторые общие свойства показателей изменчивости $\sigma(T)$ и $C(T)$: по мере увеличения продолжительности смешивания T

постепенное их уменьшение и приближение к некоторому определенному численному значению. Показатели эти достигают как бы своего предела- нижнего порога изменчивости. Дальнейшее продолжение смешивания не улучшает равномерности распределения компонентов. Это указывает на то, что при данном состоянии компонентов (по гранулометрическому составу и плотности частиц) и режимах работы смесителя (в меньшей степени) лучше перераспределить их не представляется возможным.

Если проследить за процессом смешивания по одному из показателей изменчивости, σ или C , то можно отметить три составляющих (рис. 5): I-конвективное смешивание, при котором скорость процесса почти не зависит от физико-механических свойств смешиваемых материалов; II - диффузионное смешивание, при котором скорость процесса несколько замедляется, процесс входит в «полосу» допуска; III- состояние завершения смешивания, когда процесс находится в «полосе», показатели изменчивости колеблются в некоторых пределах. Последнее зависит от размеров смешиваемых частиц, параметров винтовых барабанов и т.п. Дальнейшее перемешивание не улучшает качество смеси, при этом показатели изменчивости достигли своего нижнего предела. Принято считать (1), что колебания σ или C на III участке вызваны сочетанием действия двух противоположных процессов: смешивания и сегрегации. В данном случае под сегрегацией (разделением) подразумевается естественное сортирование смеси винтовым барабаном по гранулометрическому составу. Учитывая это, можно заключить, что процесс смешивания в винтовых барабанах протекает быстрее и устойчивее при перемешивании однородных материалов. И наоборот, при смешивании материалов с частицами различных размеров и неодинаковых по плотности процесс протекает медленнее (участок II) и менее устойчиво (на участке III). Анализ номограмм рис. 5 показывает, что оптимальным временем (T) смешивания в винтовых барабанах можно считать 1-1,5 мин.

Для уточнения этой важной для определения длины винтового барабана характеристики (T) проведены дополнительно экспериментальные исследования. После обработки числовых значений результатов исследований (усредненные показатели по трем опытам) построены номограммы зависимостей изменения веса, объема, количества в пробах (например, четырех компонентов) по мере увеличения продолжительности времени. Например, на рис. 6 показан характер изменения объема четырех компонентов в пробах при смешивании в винтовых барабанах по мере увеличения продолжительности времени их смешивания. Как показывает анализ

результатов этих исследований (рис. 6) диапазон времени смешивания T составляет 1,25-1,5 мин.

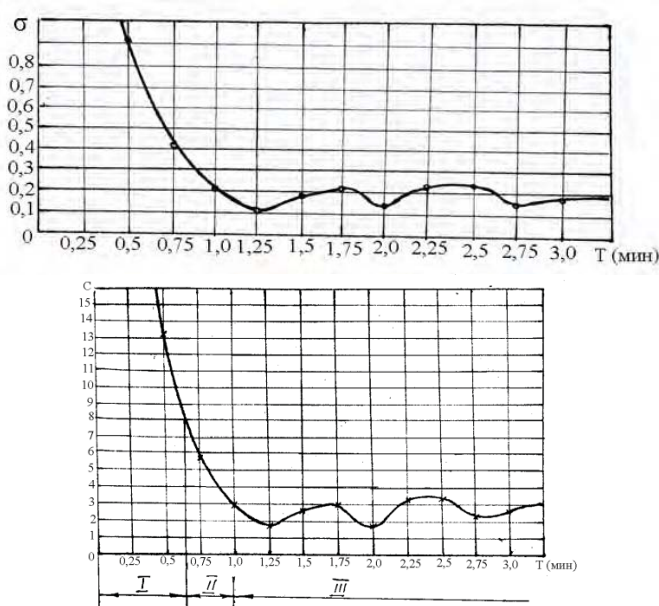


Рис. 5. Характер изменения среднеквадратического отклонения σ и коэффициента вариации C в зависимости от продолжительности процесса смешивания в винтовом барабане

По результатам исследований дополнительно проведены исследования отклонения Δ от 100% - качественного смешивания. Теоретический объем фракции $Q_{\text{фр.теор.}}$ в пробе $Q_{\text{пр}}$, который должен быть при 100% смешивании в идеале смеси:

$$Q_{\text{фр.теор.}} = \frac{Q_{\text{пр}}}{\beta}, \quad (3)$$

где β – количество компонентов смеси при проведении исследований.

Далее фиксировались максимальные $\Delta_{\text{макс.}}$ и минимальные отклонения $\Delta_{\text{мин.}}$ объема фракций в пробе $Q_{\text{фр}}$ от теоретического объема фракций $Q_{\text{фр.теор.}}$ - 100% качественного смешивания. В течение заданного времени смешивания экспериментально определялись объемы фракции в пробах и затем рассчитывали отклонения Δ от 100% смешивания для каждого отрезка времени их смешивания. Результаты исследований представлены в номограмме на рис. 6. Анализ результатов исследований показал, что для винтового барабана оптимальным временем смешивания частиц компонентов является 1,5 минуты. При этом отклонения от теоретического среднего объема фракций составляет: для фракции объемом $0,046 \text{ см}^3$ для фракции объемом $0,42 \text{ см}^3$; для фракции объемом $0,067 \text{ см}^3$; для фракции объемом $0,06 \text{ см}^3$ т.е. предельные

отклонение по всем четырем компонентам бетонных смесей составляют максимальные $\Delta = +4,7\%$ и минимальные $\Delta = 0,0\%$.

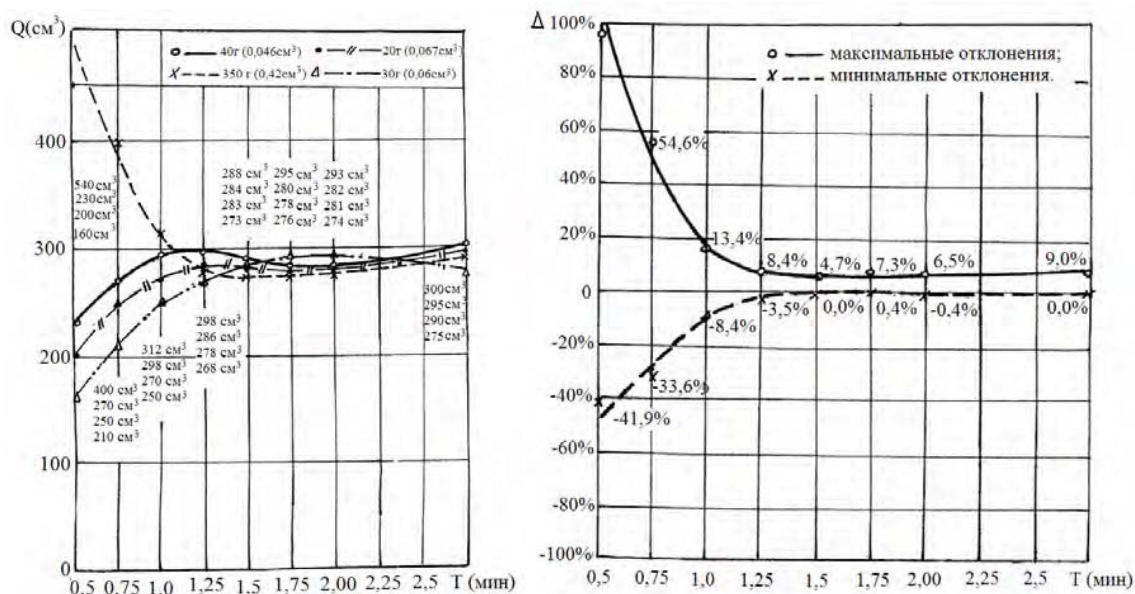


Рис. 6. Характер изменений объемов компонентов смеси и отклонений Δ от 100% смешивания в зависимости от продолжительности процесса смешивания в винтовых барабанах

В процессе продолжения дальнейшего смешивания компонентов наблюдается некоторое увеличение отклонений, например: при смешивании 1,75 мин. предельные отклонения Δ составляют $+7,3\%$ и минимальные $-0,4\%$; при смешивании 2,0 мин. - Δ составляет $+6,5\%$ и минимальные $-0,4\%$; при смешивании 2,75 мин. - Δ составляет $+9\%$ и минимальные $0,0\%$.

Таким образом, оптимальным и достаточным временем для качественного смешивания компонентов смеси в винтовом барабане является 1,5 мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таратута В.Д. патент РФ № 2397865 Бетоносмеситель непрерывного действия / В.Д. Таратута, Г.В. Серга. Оpubл. 27.08.10г. в Б.И. № 24, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.-9с.
2. Таратута В.Д. патент РФ № 2404889 Установка для приготовления растворов / В.Д. Таратута, Г.В. Серга. Оpubл. 27.11.10г. в Б.И. № 33, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.-15с.
3. Таратута В.Д. патент на полезную модель РФ № 96061 Устройство для приготовления растворов и бетонных смесей / В.Д. Таратута, В.В. Цыбулевский, Г.В. Серга. Оpubл. 20.07.10г. в Б.И. № 20, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.-2с.
4. Таратута В.Д. патент РФ № 2398678 Виброционный бетоносмеситель / В.Д. Таратута, В.В. Цыбулевский, Г.В. Серга. Оpubл. 10.09.10г. в Б.И. № 25, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.-6с.

5. Серга Г.В. патент РФ № 2351467 Бетоносмеситель для приготовления бетона / Г.В. Серга, К.М. Кретинин. Оpubл. 10.04.09г. в Б.И. № 10, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.-11с.

УДК 621.9.015

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ МАСС ЗАГРУЗКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

В.Д. Таратута, к.т.н., проф., Г.В. Серга, д.т.н., проф.
Кубанский государственный аграрный университет
Краснодар, 350044, ул. Калинина 13.
Тел. +7(861) 221-59-15, 228-12-10, +7-918-410-79-55.
E-mail: serga-georgy@mail.ru

Представлено обоснование использования винтовых роторов в качестве рабочих органов вибрационных машин при изготовлении оборудования для строительной индустрии, в которых движения частиц масс загрузки с большой амплитудой движения обеспечивается лишь их оригинальной конструкцией.

Substantiation of screw rotors usage as vibration machines' working organs in producing facilities for building industry is presented. In these rotors loading mass particles movement with large amplitude is provided only by its original construction.

При производстве оборудования для строительной индустрии особое внимание уделяется упрочняющей и отделочно-зачистной обработке (УОЗО) деталей. Однако, для большинства существующих технологических процессов упрочняющей и отделочно-зачистной обработки, характерно наличие противоречия между наивысшей формой способа технологического взаимодействия между предметами обработки и инструментом (массы загрузки), например, виброабразивная обработка, галтовка во вращающихся барабанах и др. и низшими формами осуществления технологического транспортирования [1]. В то же время технические возможности современных машин и физическая возможность осуществления перехода к автоматическим системам характерны для Ш и 1У классов технологических процессов, а реализация этих возможностей связана с переходом к соответствующим им классам машин [1]. Причем, для наиболее совершенных процессов 1У класса с объемным взаимодействием инструмента и предмета обработки, экономически целесообразным являются машины 1У класса, для которых характерно выполнение технологического процесса обработки в процессе транспортирования предметов обработки в

неориентированном состоянии через рабочее пространство с произвольной скоростью при максимально возможной плотности в любом сечении потока. Поэтому необходимо создать такое принципиально новое технологическое оборудование, в котором транспортное движение сопровождалось бы сложнопространственным движением с большой амплитудой, которое за счет возникновения сил взаимодействия между частицами масс загрузки обеспечило бы высокую интенсивность обработки. Такая задача может быть решена внедрением инновационного технологического процесса и комплекта оборудования для его осуществления на базе новых конструкций рабочих органов, позволяющих осуществлять смешивание предметов обработки и рабочих частиц непрерывным потоком в процессе их транспортирования [2-3]. Возможность совмещения транспортных и технологических функций в одной установке реализуется за счет использования рабочих органов с дискретно расположенными по периметру, разнонаправленными по отношению к винтовым линиям плоскими элементами. Такие рабочие органы названы нами винтовыми роторами. Уникальные возможности винтовых роторов позволяют осуществлять в условиях производства оборудования для строительной индустрии не только упрочняющую но и отделочно-зачистную обработку, деталей и ряд других процессов с использованием низкочастотных колебаний с большой амплитудой. В настоящее время известны конструкции 16 винтовых роторов, в том числе 7 винтовых роторов условно цилиндрической формы (таблица 1) , 6 винтовых роторов условной конической формы (таблица 1), 2 винтовых ротора условно выпуклой и условно вогнутой формы (таблица 2) и 1 тороидальной формы (таблица 3). Комбинирование величины и направления винтового параметра в сочетании с геометрическими параметрами плоских элементов позволяет управлять сложнопространственным движением массы загрузки с большой амплитудой движения (детали и рабочая среда), т.е. увеличивать или уменьшать транспортный или технологический эффект. Оптимальной схемой для процессов непрерывной УОЗО деталей является типовая схема установки со схемой движения деталей и рабочих сред (рис. 1).

Установка работает следующим образом. В винтовой ротор 1 (рис. 2) через средство для загрузки 2 непрерывно загружаются подлежащие обработке детали 3. Рабочая среда 4, например, в виде роликов, шариков, абразивных гранул предварительно загружается внутрь и при вращении винтового ротора 1 непрерывно циркулирует по его поверхности и внутри наружного барабана 5.

Таблица 1

Классификация винтовых роторов

	Цилиндрические	Конические
1 класс		
2 класс		
3 класс		
4 класс		
5 класс		
6 класс		Неизвестная конструкция
7 класс		

При попадании деталей 3 внутрь винтового ротора 1 они смешиваются с частицами рабочей среды 4, перемещаются вместе с

ними к выходному люку 6 и выгружаются из установки. В процессе перемещения масс загрузки (обрабатываемые детали 3 и рабочая среда 4) от места загрузки к месту выгрузки частицы рабочей среды 4 и отходы обработки 7 выводятся через отверстие 8 из полости винтового ротора 1 в полость наружного барабана 5. Диаметр отверстий 8 меньше минимальных размеров обрабатываемых деталей 3, но больше, чем наибольший размер гранул рабочих сред 4. Рабочая среда 4 и отходы обработки 7 винтовыми направляющими 9 перемещаются в полости наружного барабана 5 в обратном направлении, при этом отходы обработки 7 через отверстия 10 выводятся в центральную часть барабана 5, в полость кожуха 11 и из него - в отстойную камеру 12. Диаметр отверстий 10 меньше минимального размера гранул рабочих сред. Рабочая среда, перемещаясь далее винтовыми направляющими 9, заводится в средство для перегрузки 13 и перемещается внутрь винтового ротора 1, где вновь встречается с деталями.

Таблица 2

Классификация винтовых роторов

Класс	Бочкообразные	Вогнутые
3		
Конструкции винтовых роторов (таблица 2) 1, 2, 4, 5, 6, 7 классов неизвестны и не изучены.		

Таблица 3

Классификация винтовых роторов

Класс	Торовые
3	
Конструкции винтовых роторов (таблица 3) 1, 2, 4, 5, 6, 7 классов неизвестны и не изучены.	

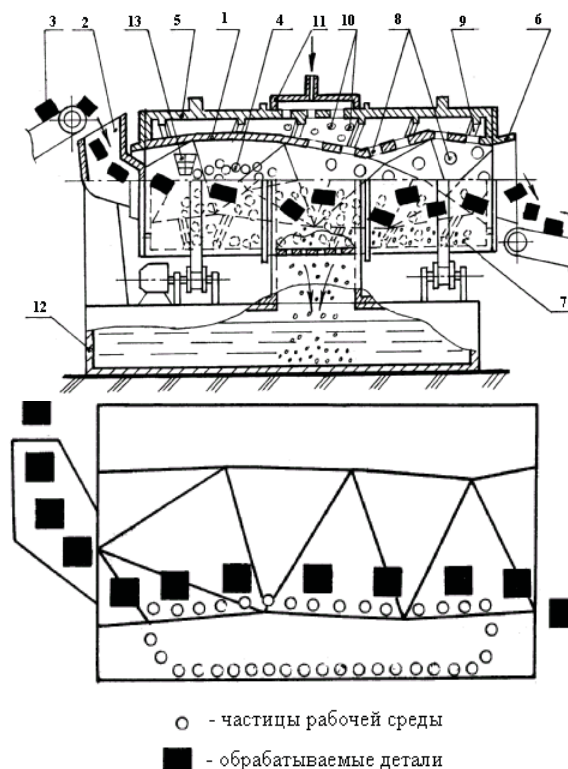


Рис. 1. Установка и схема движения деталей и частиц рабочих сред в установке для непрерывной УОЗО деталей

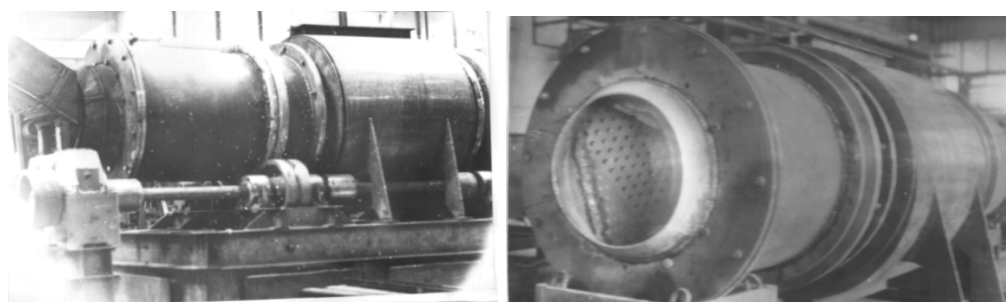


Рис. 2. Установка для непрерывной УОЗО обработки деталей и наружный барабан с вмонтированным в нем винтовым ротором

Техническая характеристика установки:

Производительность – 28 тонн массы деталей в час.

Режим работы – непрерывным потоком.

Размеры обрабатываемых деталей, мм – минимальный – 30
максимальный – 300

Рабочая среда – ПТ-15 в виде или металлических шариков, роликов диаметром 10-15 мм или трехгранных призм.

Масса установки – 10200 кг.

Габаритные размеры – длина 9000 мм, ширина 3200 мм, высота 3000 мм.

Мощность трех насосов – 0,6 кВт с напором 30 кг/м².

Объем воды для моющих (интенсифицирующих) растворов – 6800 л.

Температура нагрева моющих растворов – 50-70°.

Время упрочняющей и отделочно-зачистной обработки, например, деталей холодной штамповки, составляет 4 мин.

На рис. 3 показана деталь после и обработки в установке для непрерывной УОЗО деталей.



Рис. 3. Образцы деталей после и до УОЗО

В процессе проведения исследований изменения качества поверхностного слоя проведены замеры микротвердости образцов на глубине 20 мкм [3]. Анализ результатов исследований показал, что интенсивность наклепа может достигать значительных величин и обеспечивать повышение микротвердости поверхностного слоя деталей оборудования строительной индустрии в 1,3-1,5 раза, что обеспечивает повышение их срока службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин – М.: машиностроение, 1986. - 319с.
2. Отделочно - зачистная обработка деталей в винтовых роторах / Г.В. Серга - дис. докт. техн. наук. Тула, 1988.
3. Повышение эффективности и расширение технологических возможностей процесса обработки деталей в винтовых роторах / А.Н. Иванов - дис. канд. техн. наук, Ростов-на-Дону, 2002.

УДК 621.928.2 (088.8)

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ
АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ РАЗНООБАЗНЫХ ТВЕРДЫХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В МЕЛЬНИЦАХ НА
БАЗЕ ВИНТОВЫХ БАРАБАНОВ**

В.Д. Таратута, к.т.н., проф., Г.В. Серга, д.т.н., проф.
Кубанский государственный аграрный университет
Краснодар, 350044, ул. Калинина 13.
Тел. +7(861) 221-59-15, 228-12-10, +7-918-410-79-55.
E-mail: serga-georgy@mail.ru.

Для измельчения разнообразных твердых материалов предлагаются винтовые барабаны, обеспечивающие за счет их оригинальной геометрии не только движение частицам строительным материалам с большой амплитудой, но и интенсификацию процессов их измельчения

To reduce to fragments different hard materials screw drums are suggested that via their original geometry provide not only building materials' particles movement with large amplitude but reduction to fragments process intensification.

Развивающиеся рыночные отношения и современные технологии переработки сыпучих материалов продукции производства строительных материалов, руд, угля и т.п.) требуют постоянного повышения качества не только готового продукта, но и сырья, снижение их стоимости.

Поэтому постоянно ведется инженерный и научный поиск совершенствования ресурсосберегающих машинных технологий измельчения, т.е. технологических процессов измельчения, разработка новых машин и принципов их работы, обеспечивающих повышения их эффективности и производительности.

Одним из прогрессивных видов техники для измельчения являются вибрационные машины, которые обеспечивают высокую удельную производительность при относительно низких энергозатрат, имеют значительно меньшие габариты по сравнению с другими устройствами, в результате чего открывается принципиальная возможность сокращения производственных площадей, транспортных средств, капитальных и эксплуатационных затрат, т.е. создание ресурсосберегающих машинных технологий.

Применение полезной вибрации позволило создать на основе вибрационных процессов целый ряд машин для измельчения, которые обладают определенными преимуществами. Это, прежде всего

конструктивная простота вибрационных машин, основными узлами которых являются двигатель, совершающий вращательное движение, виброактиватор, преобразующий вращательное движение двигателя в колебательное движение и передающий эти колебания посредством упругих связей рабочему органу, который в свою очередь своими стенками или дном сообщают колебательное движение частицам массам загрузки. Однако так как масса рабочих органов вместе с массами загрузки составляют достаточно большую величину, то при увеличении амплитуд колебаний происходит разрушение системы упругих связей, и поэтому современные вибрационные машины работают в диапазоне амплитуд перемещений от 3 мм до 10 мм. Можно предположить, что увеличение амплитуды колебаний позволит повысить интенсивность вибрационных процессов, однако этот вопрос является анализ состояния и перспективы развития процессов вибрации в технике и технологиях, выполненные на основе классификации и в соответствии с принципами, изложенными в трудах академика Кошкина Л.Н. показал, что в подавляющем большинстве признаки, необходимые для получения высоких экономических показателей, как правило, в них отсутствуют [1] мало изученным и требует дальнейшей проработки.

Поэтому с точки зрения ресурсосбережения, оптимальной схемой вибрационных машин являются машины без традиционных виброактиваторов, позволяющих выполнять технологические процессы измельчения с большой амплитудой колебаний. Решение проблемы следует искать в поиске оригинальных конструкций машин и технологий, обеспечивающих существенную интенсификацию процессов движения частиц сыпучих материалов, усложнении траектории их движения, увеличения амплитуд и энергоемкости взаимодействия частиц не только друг с другом, но и со стенками рабочих органов без виброактиваторов.

Такая задача может быть решена с помощью машин, рабочими органами которых являются винтовые барабаны, обеспечивающие за счет оригинальной геометрии нестандартные формы движения частиц сыпучих материалов с большой амплитудой и значительную энергоемкость взаимодействия частиц сыпучих материалов. При этом для создания прогрессивных ресурсосберегающих машинных технологий измельчения необходимо создать такое вибрационное оборудование, для которого характерно выполнение технологических процессов во время транспортирования частиц сыпучих материалов в неориентированном состоянии через рабочей пространство с произвольной скоростью. Поэтому создание и широкое применение вибрации без виброактиваторов, без колебаний рабочих органов и даже без колебаний самих устройств, в которых в технологических целях

совершают колебания во время транспортирования от загрузки к выгрузке лишь одни обрабатываемые материалы, например частицы сыпучих материалов (массы загрузки), является чрезвычайно заманчивой и актуальной задачей.

Пространственная винтовая форма винтовых барабанов, создана нами за счет сформированных по их периметру винтовых линий основного и противоположного направления. Возможность создания низкочастотных колебаний с большой амплитудой (10-1000 мм и выше) в винтовых барабанах реализуется за счет оформления их наружных поверхностей, дискретно расположенными по периметру плоскими элементами различной формы и типоразмеров (треугольной, квадратной, прямоугольной, трапециевидной и т.п.), разнонаправленными по отношению к винтовым линиям основного и противоположного направлений. Наличие в винтовых барабанах винтовых или зигзагообразных линий противоположного направления, величина их шага, не только определяют характер движения масс загрузки от единообразного в одних конструкциях винтовых барабанах до сложного и бесконечно разнообразного в винтовых барабанах других конструкций, но и увеличивают или уменьшают транспортный или технологический эффект [2]. С учетом упомянутых параметров винтовые барабаны можно разделить на:

Цилиндрические (Ц) – винтовые барабаны условно цилиндрической формы с постоянным по длине барабан шагом винтовых линий;

Конические (К) – винтовые барабаны условно конической формы с переменным по длине барабан шагом винтовых линий;

Бочкообразные (Б) – винтовые барабаны условно выпуклой формы с переменным по длине барабана шагом винтовых линий;

Вогнутые (В)- винтовые барабаны условно вогнутой формы с переменным по длине барабана шагом винтовых линий.

Торовые (Т) – **винтовые барабаны торообразной формы с постоянным по длине барабана шагом винтовых линий.**

Для увеличения интенсивность измельчения и расширения технологических возможностей мельницы и устройства для измельчения строительных материалов [3-5] состоят (для примера на рис. 1 показана барабанная мельница [3]) из барабана 1, загрузочного 2 и разгрузочного 3 приспособлений и привода (не показан). Барабан 1 снабжен втулками 4 и 5 с возможностью вращения в подшипниковых опорах 6 и 7. Носок 8 загрузочного приспособления 2 входит в отверстие втулки 4 барабана 1. Загрузочное приспособление 2, подшипниковые опоры 6 и 7 с смонтированных в них барабаном 1 закреплены на раме 9. Рама

подвешены на четырех пневмобаллонах 10, которые закреплены на станине 11.

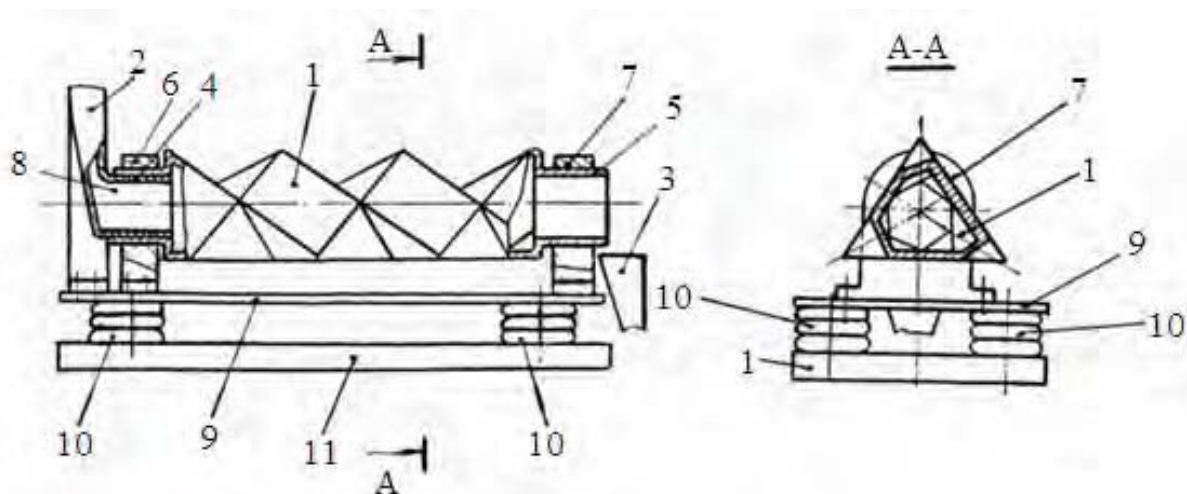


Рис. 1. Мельница на базе винтового барабана

Барабан 1 (рис. 2, рис. 3.) смонтирован из секций соединенных между собой известными методами, например, сваркой. В результате соединения секций друг с другом по периметру барабана мельницы образуется многозаходная винтовая поверхность с различным количеством заходов, а именно четыремя непрерывными ломанными винтовыми линиями основного направления с шагом S_1 : 15-16-17-18-19-20-21; 22-23-24-25-26-27; 28-29-30-31-32-33-34; 35-36-37-38-39-40 и двумя ломанными винтовыми линиями противоположного направления с шагом S_2 : 21-27-33-39-19-25-31-37-17-23-29-35-15; 40-20-26-32-38-31-24-30-36-22-28. Шаг S_1 в два раза больше шага S_2 . Одна из четырех ломанных винтовых линий основного направления с шагом S_1 : 15-16-17-18-19-20-21 и одна из двух винтовых линий противоположного направления с шагом S_2 : 21-27-39-19-25-31-37-17-23-29-35-15 показаны на рис. 2 и рис. 3 утолщенной линией.

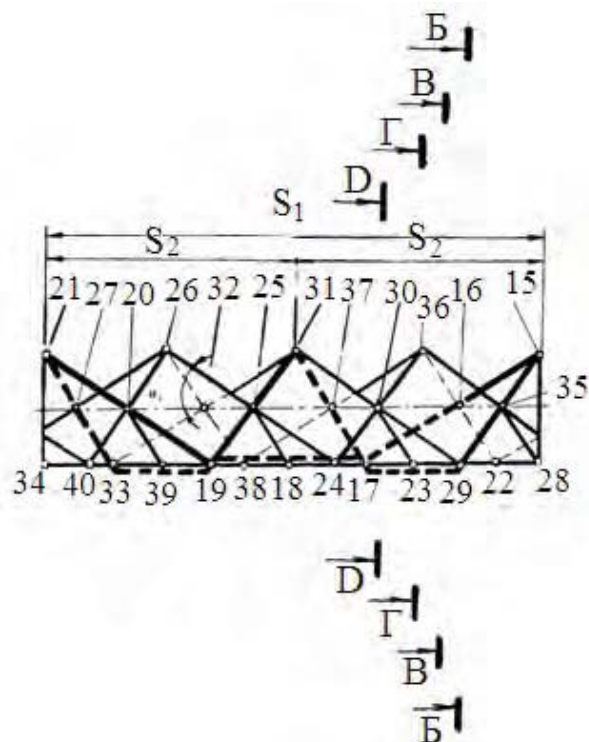


Рис. 2. Винтовой барабан мельницы (вид спереди)

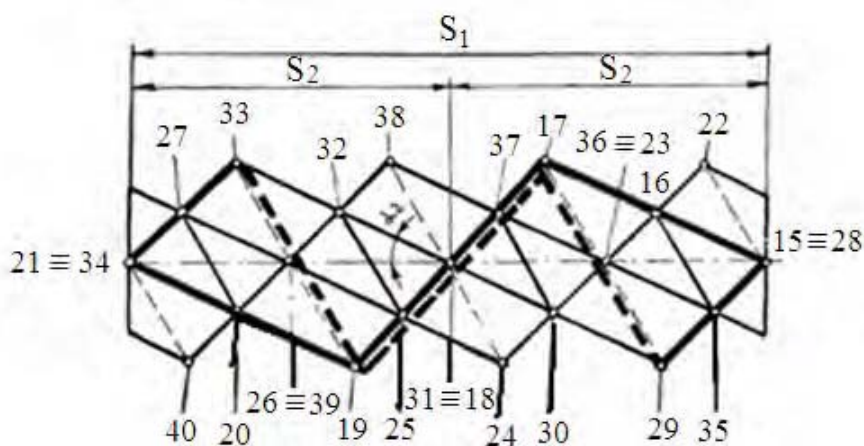


Рис. 3. Винтовой барабан мельницы (вид сверху)

Такое конструктивное оформление барабана 1 обеспечивает изменение по длине барабана не только размеров проходного сечения барабана (рис. 4), но и формы проходного сечения барабана. При этом центры симметрии внутренней поверхности барабана 1 в каждом его элементе поперечного сечения по его длине смещены относительно оси вращения барабана 1, что нарушает стационарность движения частиц строительного материала.

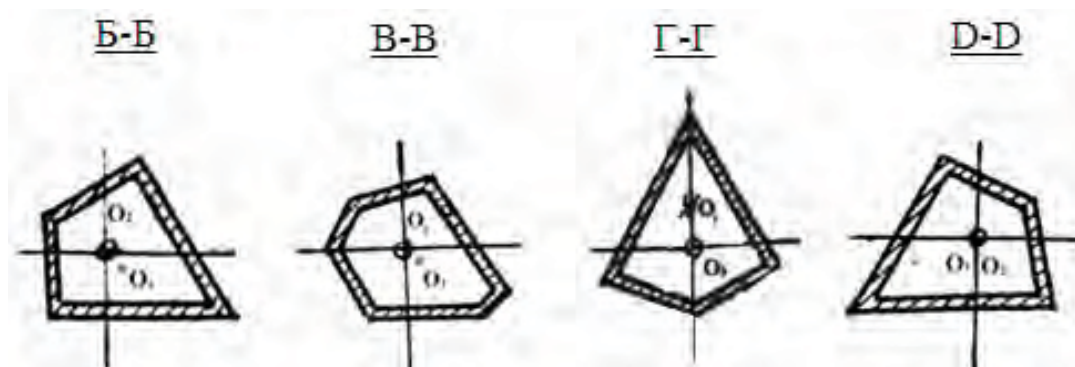


Рис. 4. Поперечные сечения винтового барабана мельницы

Барабанная мельница работает следующим образом. Барабан 1 заполняется шарами или другой дробящей средой и измельчаемым материалом или одним измельчаемым материалом. При вращении барабана смеси мелющих тел и материала или смесь частиц различной крупности материала сообщается сложное пространственное движение по винтовым линиям с перемещением материала вдоль винтовых линий от загрузки к выгрузке, при этом процесс измельчения интенсифицируется наложением вибрационных колебаний барабана за счет смещения центров симметрии внутренней поверхности барабана в каждом элементе его сечения по всей длине и возбуждения колебаний всей рамы 9 с закрепленным на ней барабаном 1 с измельчаемым материалом.

Технико-экономические преимущества возникают за счет повышения интенсивности смешивания, увеличения энергоемкости и частоты взаимодействия мелющих тел и материала, что повышает производительность и расширяет технологические возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкин Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин – М.: Машиностроение, 1986.- 319с.
2. Марченко А.Ю. Винтовые барабаны (смешивание сыпучих материалов): монография / А.Ю. Марченко, В.В. Цыбулевский, Г.В. Серга. – Краснодар: Издательский центр КубГАУ, 2008. – 460 с.
3. Марченко А.Ю. патент РФ № 2372992, Барабанная мельница / А.Ю. Марченко, Г.В. Серга. Оpubл.20. 11.2009 в Б.И. № 32, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.- 11с.
4. Марченко А.Ю. патент РФ № 2362628, Устройство для измельчения строительных материалов / А.Ю. Марченко, Г.В. Серга. Оpubл.27. 07.2009 в Б.И. № 21, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.- 16с.
5. Марченко А.Ю. патент РФ №2352399, Мельница/ А.Ю. Марченко, Г.В. Серга. Оpubл.20.04.2009 в Б.И. № 11, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.- 16с.

УДК 621.928.2 (088.8)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ С БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДОЙ ДВИЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ИХ НА ФРАКЦИИ ВИНТОВЫМИ РЕШЕТАМИ

В.Д. Таратута, к.т.н., проф., Г.В. Серга, д.т.н., проф.
Кубанский государственный аграрный университет
Краснодар, 350044, ул. Калинина 13.
Тел. +7(861) 221-59-15, 228-12-10, +7-918-410-79-55.
E-mail: serga-georgy@mail.ru

Для разделения на фракции строительных материалов предлагаются винтовые решета с перфорированными стенками (ситами) по их периметру, обеспечивающие за счет их оригинальной геометрии не только движение частицам строительных материалы с большой амплитудой, но и интенсификацию процессов их разделения на фракции по размерам, а также их самоочистку.

To divide building materials into fractions screw sieves with perforated walls (sieves) on their perimeter are suggested. Through their original geometry they provide not only building materials' particles movement with large amplitude, but intensify processes of their division into fractions according to their size and their self-refinement as well.

Решета являются одними из основных рабочих органов, посредством которых осуществляется разделения на фракции по размерам частиц в условиях производства строительных материалов и строительстве. Применяемые в настоящее время сортировочные машины по своим эксплуатационным показателям не отвечают возрастающим требованиям производства.

Решение проблемы следует искать в нестандартных решениях, создании оригинальных конструкций машин и технологий, обеспечивающих существенную интенсификацию процессов смешивания частиц сыпучих сред, усложнение траектории и увеличение амплитуд их движений, а также обеспечение постоянной очистки сит.

Такая задача может быть решена с помощью машин, рабочими органами которых являются винтовые решета, обеспечивающие оптимальные нестандартные формы движения сыпучих сред, самоочистку решет, движение их частиц с большой амплитудой перемещения 10-1000 мм и более. Это обуславливает эффективность применения винтовых решет в производстве строительных материалов для разделения их на фракции

При создании оборудования на базе винтовых решет конструктор должен уметь выбрать габаритные размеры рабочего органа. И если

условный диаметр винтового решета может быть выбран исходя их заданной производительности, согласно технического задания, то для определения длины рабочего органа — винтового решета необходимо уметь рассчитывать скорость продольного перемещения частиц сыпучих сред от загрузки к выгрузке.

В настоящее время можно считать известными 16 различных по своей геометрической форме конструкций винтовых решет. Для примера, покажем винтовое решето, смонтированное из пустотелых октаэдров с тремя по периметру взаимонаправленными ломаными винтовыми линиями, две из которых на рис.1 показаны утолщенными линиями 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — одна из 3-х правых винтовых линий с шагом S_1 — 8, 2, 9, 10, 5, 11, 12 — одна из трех левых винтовых линий с шагом S_2 .

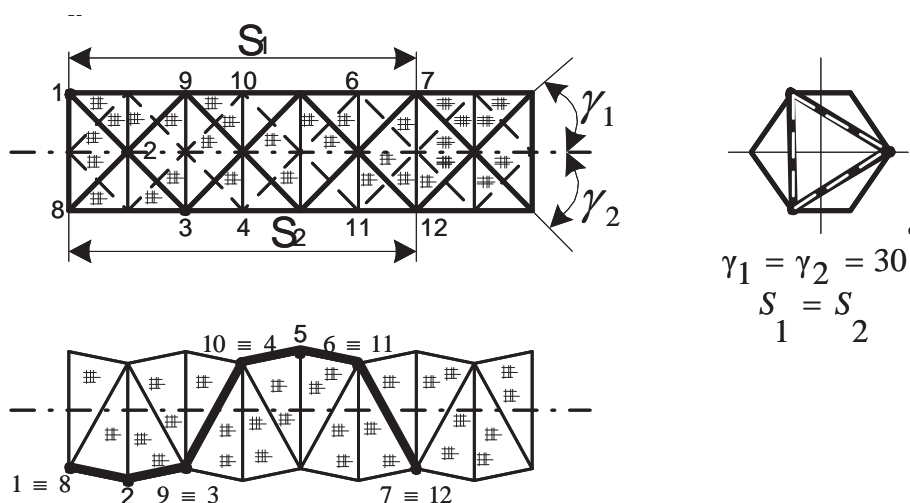


Рис. 1. Винтовое решето, смонтированное из октаэдральных пустот.

γ_1, γ_2 - углы наклона винтовых линий к продольной оси винтового решета

Возможность создания низкочастотных колебаний с большой амплитудой перемещений 10-1000 мм и более для строительных материалов (сыпучих материалов) в винтовых решетках реализуется за счет оформления их наружных поверхностей дискретно расположенными по периметру плоскими перфорированными элементами различной формы и типоразмеров, разнонаправленных по отношению к винтовым линиям по их наружной поверхности.

На рис. 2 показана схема движения частиц в плоскости, перпендикулярной к оси вращения (поперечное сечение) внутри винтового решета. Масса частиц, передвигаясь непрерывным потоком внутри вращающегося винтового решета, увлекаясь плоскими ситами, в определенный момент скатывается лавинообразно (рис. 2, а) или водопадом (рис. 2, б) режимах, продвигаясь при этом в осевом

направлении до тех пор, пока не перейдет на соседнюю поверхность решет другого направления. Попав на эту поверхность, частицы изменяют направление осевого перемещения и движутся уже под углом к горизонтальному направлению движения и т.д., обеспечивая в винтовых решетках создание сложно-пространственного движения в виде колебаний с большой амплитудой, величина которых определяется диаметром винтового решета, размерами и расположением плоских решет, образующих в совокупности дискретно прерывистую поверхность винтового решета.

При лавинообразном движении (рис. 2, а) часть массы сыпучих материалов, увлекаемая плоскими решетками, поднявшись по направлению движения винтового решета несколько выше угла своего собственного откоса, скатывается лавинообразно вниз. При скатывании верхние слои частиц вращаются вокруг собственных осей и втягивают близлежащие слои частиц. В результате интенсивного перемешивания и движения по сложным траекториям одновременно происходит процесс интенсивного самосортирования, просеивания.

Под водопадным режимом (рис. 2, б) понимается такое движение, при котором частицы, вследствие возникающих при вращении центробежных сил, поднимаются по направлению движения плоских решет значительно выше угла своего естественного откоса, затем отрываются от него и под действием силы тяжести падают вниз, соударяясь со слоем частиц, движущихся под другим углом направления движения, или слоя частиц, находящихся на поверхности другого плоского решета.

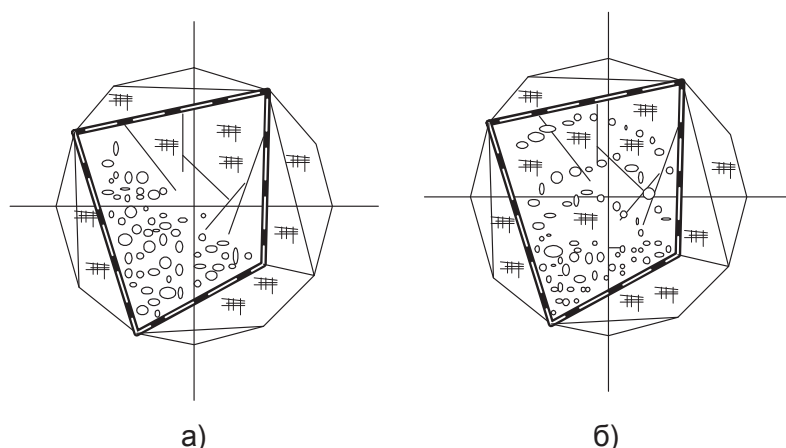


Рис. 2. Схема движения частиц сыпучих материалов в поперечном сечении винтовых решетках: а) лавинообразный режим; б) водопадный режим

В действительности движение масс частиц в винтовом решете отличается от теоретического, описанного выше. В зависимости от

габаритов винтового решета, коэффициента заполнения, скорости вращения и ряда других факторов, большая или меньшая часть частиц строительных материалов может работать в лавинообразном режиме, а остальная - в водопадном, в этом случае имеет место смешанный водопадно-лавинообразный режим. Наличие по периметру винтовых решет всех отделов, классов и подклассов решет различной формы и размеров (рис. 3), взаимонаправленных не только к оси винтовых решет O_1-O_1 , но и друг к другу, изменяет направление движения частиц в поперечном сечении, сообщая им дополнительное движение, и направляет их по плоскостям,

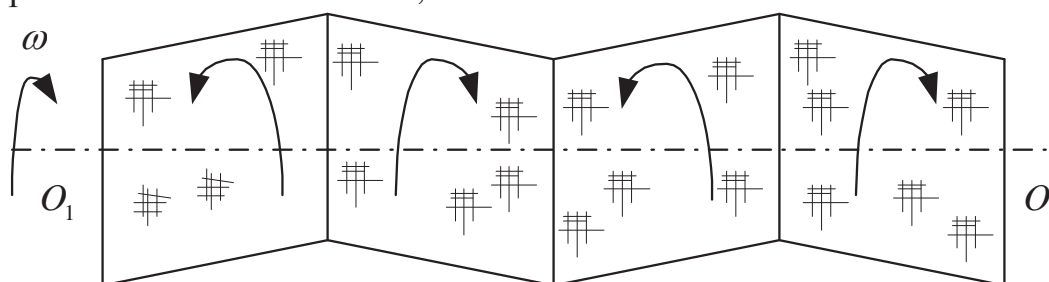


Рис. 3. Схема движения сыпучих материалов по длине винтового решета.

Перпендикулярным плоским решетам. Это дополнительное движение по углу наклона и энергоемкости различно для каждого класса, отдела, подкласса. Таким образом, плоские решета, разнонаклоненные к оси вращения и друг к другу, отличающиеся по площади, по размерам и конфигурации, работая как полки, захватывают различные по объему порции частиц, перемещают их в направлении вращения винтового решета, подают эти порции на плоскости, перпендикулярные не к оси вращения, а под некоторым углом к ней, т.е. в плоскостях, перпендикулярных этим полкам. При этом нарушается стационарность движения потоков частиц, которые направляются навстречу друг другу. На рис 4 представлена схема устройства для разделения строительных материалов на фракции, которое состоит из загрузочного устройства 1, закрепленного на торцевой щеке 2, и разгрузочного устройства 3, между которыми жестко закреплена просеивающая поверхность 4. К торцевой щеке 2 прикреплено опорное кольцо 5, которое опирается на два опорных ролика 6. Опорные ролики 6 смонтированы на раме 7. Разгрузочное приспособление 3 состоит из щеки 8 и диска 9, соединенных друг с другом стержнями 10. Диск 9 закреплен на валу 11 привода 12, который смонтирован на раме 13. Загрузочное приспособление 1 выполнено в виде жестко закрепленной в обечайке 14, снабженной конусом 15 винтовой навивки 16 длиной 1,25 витка. Просеивающая поверхность 4 состоит из каркаса 17 и решет 18,

которые закреплены на каркасе 17 быстросъемными зажимами (на рисунках не показаны). Решета 18 в виде отдельных плоских перфорированных треугольников закреплены на каркасе 17 по периметру, создавая, таким образом, винтовую пустотелую колонну, выполненную из секций, соединенных между собой в винтовое решето (рис.4), тетраэдральные пустоты которого собраны из равносторонних треугольников-решет. По длине винтового решета, снабженного просеивающей поверхностью 4 у загрузочного устройства 1 по длине L_1 смонтированы для прохождения мелких фракций частиц сыпучих материалов решета с размером отверстий, меньше минимального размера сыпучих материалов, например, расположены над приемным бункером 19. На остальной части винтового решета -просеивающей поверхности 4 по длине L_2 над бункером 20 для более крупных фракций частиц сыпучих материалов смонтированы решета с большими размерами отверстий. Под разгрузочным устройством 3 смонтирован бункер 21 для приема крупных фракций сыпучего материала.

Установка для разделения сыпучих материалов работает следующим образом. Сыпучий материал поступает в загрузочное устройство 1, в котором с помощью навивки 16 подается внутрь винтового решета 4. В разрезе, как видно на рис. 17, просеивающая поверхность имеет форму неправильного четырехугольника, причем одна из четырех, лежащих в сечении поверхностей сит, наклонена против направления движения сыпучих материалов от загрузки к выгрузке. Поэтому при попадании на нее частиц сыпучих материалов из загрузочного устройства 1 она возвращает их назад. Винтовая навивка 16 должна не только подавать внутрь винтового агрегата 4 частицы сыпучего материала, но и препятствовать их возврату в приемное устройство. Перемещаясь внутри винтового решета 4 и совершая сложное пространственное движение, частицы сыпучих материалов движутся от места загрузки к месту выгрузки. При этом движение по длине L_1 барабана 4 в приемный бункер 19 удаляются мелкие фракции, затем по длине L_2 более крупные фракции, которые выводятся в приемный бункер 20, а самые крупные через разгрузочное устройство 3 выводятся в приемный бункер 21.

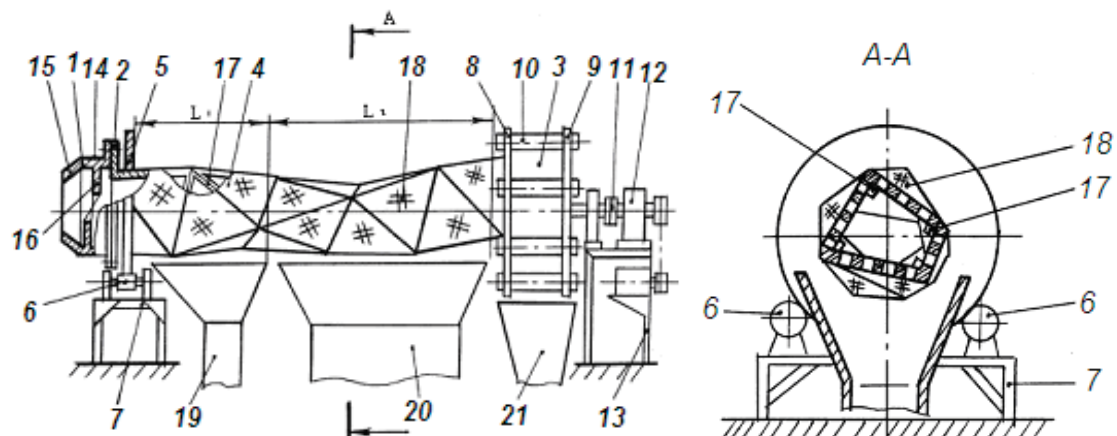


Рис. 4. Схема установки для разделения сыпучих материалов на три фракции, вид спереди

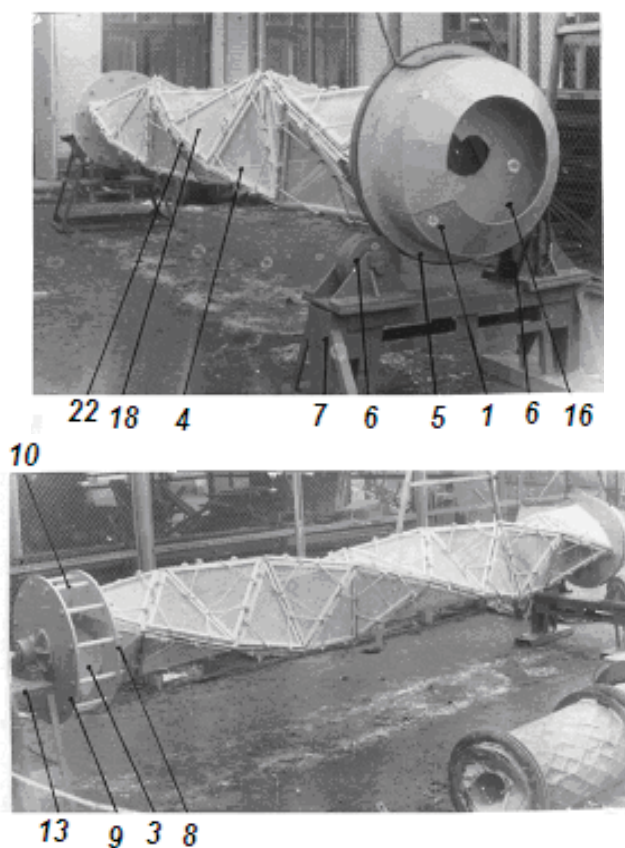


Рис. 5. Установка для разделения сыпучих материалов на фракции

Техническая характеристика:

Производительность, кг/час.....	30 т/час
Установленная мощность, кВт.....	5,5
Габаритные размеры, мм.....	9000×1700×1600
Масса, кг.....	2300.

На рис. 5 показана установка для разделения сыпучих материалов, включающая загрузочное устройство 1 с винтовой навивкой 16, кольцо 5, опирающееся на два ролика 6, смонтированных на раме 7, просеивающая поверхность 4 с ситами 18, которые закреплены зажимами 22 на каркасе 17. На рис. 5 видны разгрузочное устройство 3, состоящее из щеки 8 и диска 9, соединенных между собой стержнями 10. Диск 9 закреплен на валу привода, который смонтирован на раме 13.

Для оценки эффективности предлагаемых нами конструкций установок для разделения сыпучих материалов на фракции на базе винтовых решет предлагается проводить сравнительный анализ показателей ресурсосбережения, таких как энергозатраты на тонну готового продукта, занимаемой площади установок для разделения сыпучих материалов, их металлоемкости в расчете на тонну готового продукта

Путь к такому сравнению и обобщению дает использование методов теории подобия и теории размерностей, что позволяет проводить сравнительный анализ по безразмерным коэффициентам ресурсосбережения $K_{рес.}$, который определяется зависимостью:

$$K_{рес.} = K_{элек.} * K_{плоч.} * K_{метал} \text{ (безразмерная величина),} \quad (1)$$

где: $K_{элек.}$ - коэффициент расхода электроэнергии на одну тонну выпускаемой продукции, например тонну одной из фракций строительного материала в безразмерном виде; $K_{плоч.}$ – коэффициент характеризующий площадь, например установки для разделения сыпучих материалов на фракции приходящуюся на одну тонну выпускаемой продукции, например тонну одной из фракций строительного материала в безразмерном виде; $K_{метал}$ - коэффициент металлоемкости характеризующий массу установки для разделения сыпучих материалов на фракции, приходящуюся на одну тонну выпускаемой продукции, например, тонну одной из фракций строительного материала в безразмерном виде.

Коэффициент расхода электроэнергии на одну тонну выпускаемой продукции ($K_{элек.}$) определяется зависимостью (безразмерная величина):

$$K_{элек.} = \frac{\text{мощность электродвигателя (кВт)}}{\text{производительность (т/час)}} * 1 \left(\frac{\text{т/час}}{\text{кВт}} \right) \quad (2)$$

Коэффициент занимаемой площади ($K_{плоч.}$) установкой для разделения сыпучих материалов на фракции определяется зависимостью (безразмерная величина):

$$K_{плоч.} = \frac{\text{длина x ширина смесителя (м}^2\text{)}}{\text{производительность (т/час)}} * 1 \left(\frac{\text{т/час}}{\text{м}^2} \right) \quad (3)$$

Коэффициент металлоемкости ($K_{метал}$) характеризующий массу установкой для разделения сыпучих материалов на фракции

приходящуюся на одну тонну готовой продукции определяется зависимостью (безразмерная величина):

$$K_{\text{метал}} = \frac{\text{масса смесителя (тонн)}}{\text{производительность (т/час)}} * 1 \left(\frac{\text{т/час}}{\text{тонн}} \right) \quad (4)$$

Сравнительный анализ, проведенный с использованием предлагаемой методики показывает, что безразмерный коэффициент ресурсосбережения $K_{\text{рес.}}$ установок для разделения сыпучих материалов значительно ниже известных конструкций, применяемых в производстве строительных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серга Г.В. патент РФ № 1360814 Барабанный грохот / Г.В. Серга. Оpubл. 23.12.1987г. в Б.И. № 47, патентообладатель Серга Г.В., 3с.
2. Таратута В.Д. патент РФ № 2377075 Грохот для классификации сыпучих материалов/ В.Д. Таратута, Г.В. Серга. Оpubл. 27.12.2009г. в Б.И. № 36, патентообладатель ФГОУ ВПО КубГАУ.-12с.
3. Седов, Л.И. Методы подобия и размерностей в механике /Л.И. Седов-Гостеххимиздат, изд. 4 1957–160с.
4. Горячин, В.П. Принцип подобия и однородности /В.П. Горячин/ Труды ВИСХМ, т. 1 – Сельхозиздат, 1935.
5. Кирпичев, М.В. Теория подобия /М.В. Кирпичев – АН.СССР. 1953.–171с.

УДК 621.91: 62-294.2

КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА ПЛАЗМЕННЫХ ПОРОШКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВО-ЖЕЛЕЗИСТОЙ БРОНЗЫ

В.А. Федоров, к.т.н.

Алтайский государственный технический университет

им. И.И. Ползунова

Барнаул, тел. +7(3852) 62-76-78, 8-906-961-64-59.

E-mail: fvaagtu@mail.ru

Предложена методика комбинированной обработки плазменных порошковых покрытий на основе алюминиево-железистой бронзы.

The technique of the combined processing of plasma powder coverings on the basis of aljuminievo-ferruterous bronze is offered.

Особенностями сформированного плазменным напылением антифрикционного покрытия из алюминиево-железистой бронзы являются гетерогенность структуры, пористость, повышенная твёрдость по сравнению с бронзовым литём и относительно низкая прочность

напылённого слоя. Вместе с тем, низкое качество поверхности покрытия вызывает необходимость совершенствования технологических процессов финишной обработки для получения задаваемых конструкторами геометрических и физико-механических показателей.

Перспективным является применение способов поверхностного пластического деформирования и магнитно-абразивной обработки, позволяющих эффективно влиять на свойства обработанных поверхностей. Их использование в комбинации с традиционными методами обработки покрытий способно снизить влияние негативных явлений, присущих точению и шлифованию.

Отсутствие технологических рекомендаций для комбинированной обработки напылённой бронзы объясняется и отсутствием соответствующей специализированной технологической оснастки. Применяются инструменты и приспособления, как правило, без учёта особенностей структуры материала покрытия. Для создания рациональных процессов механической обработки следует установить взаимосвязь между основными критериями качества поверхности изготавливаемых деталей и последовательностью применения различных технологических методов.

С учётом изложенного, была сформулирована следующая задача исследования. Провести анализ влияния свойств напылённых бронзовых покрытий на формирование поверхности деталей на этапе механической обработки.

С позиций классических представлений о резании металлов рассмотрены явления, происходящие при взаимодействии режущего элемента лезвийного инструмента и напылённого слоя для различных условий обработки.

Основными особенностями плазменного покрытия из порошка ПГ-19М-01 являются пониженная прочность $\sigma_B = 50...80$ МПа и повышенная твердость НВ180...200 по сравнению с идентичной по химическому составу алюминиево-железистой бронзой БрАЖ 9-4 ($\sigma_B=400..500$ МПа и НВ 100...120). Покрытие состоит из отдельных кристаллических частиц с размерами 3...5 мкм, удерживаемых силами когезионных связей. Пористость напылённого слоя составляет 3...4%.

При воздействии лезвийного инструмента на материал покрытия протекают одновременно следующие процессы: резание, отделение частиц, отделение остатков срезанных частиц с обработанной поверхности. Это происходит в результате силовых взаимодействий, вызывающих интенсивные пластические деформации элементов покрытия в зоне резания вследствие меньшей прочности когезионного соединения, чем у частицы. Наличие неупорядоченно расположенных пор, представляющих собой концентраторы напряжений, вносит

дополнительную дестабилизацию в процесс образования поверхности. Основными факторами, способствующими вырыванию напылённой частицы при обработке резанием являются:

- тангенциальная составляющая P_z реакции R на силу резания при деформации отдельного зерна, вызывающая возникновение напряжения сдвига вдоль поверхности когезионного соединения зёрен;

- напряжения на поверхности деформируемого зерна, возникающие в результате воздействия режущего лезвия, тем большие, чем интенсивнее деформация. Некоторое критическое значение напряжений может вызвать сдвиг в областях когезионного соединения с прилегающими зёрнами.

Компенсируют экстрагирующее воздействие на частицу составляющая реакции P_y и прочность когезионных связей зерна.

Хаотичное расположение пор и напылённых частиц разнообразных форм и размеров, многообразие взаимодействующих факторов крайне затрудняет математическое моделирование процесса.

В то же время, можно сформулировать особенности, определяющие условия отрыва зерна при обработке. Режимы напыления порошков сплавов обычно таковы, что при ударе о заготовку частица "расплющивается" и в таком виде происходит ее кристаллизация. Размер зерна в радиальном направлении обычно в несколько раз меньше, чем в тангенциальном. Другая особенность состоит в том, что площадью контакта частиц с передней поверхностью резца определяется величина экстрагирующих моментов, сил и напряжений. Чем площадь контакта в опасном сечении больше, тем выше вероятность отрыва зерна при деформации. Таким образом, существует зависимость вероятности отрыва элемента покрытия при обработке, а, следовательно, и увеличения шероховатости поверхности детали, от высоты H напылённой частицы. Величина этого параметра зависит от режимов плазменного напыления и размеров напыляемых частиц. Применение поверхностно-пластического деформирования перед лезвийной обработкой приводит к следующим изменениям свойств обрабатываемого покрытия.

1. При деформации вязких зерен бронзы повышается их твердость, что приводит к увеличению нормальной силы на задней поверхности N_z . Уменьшение высоты отдельной частицы приводит к уменьшению силы P_z .

2. При пластическом деформировании происходит расширение поверхностного слоя покрытия. Расширению поверхностного слоя препятствуют связанные с ним подповерхностные слои. Возникающие в результате остаточные сжимающие напряжения, складываясь с растягивающими напряжениями от внешней нагрузки при резании,

уменьшают их величину. Экстрагирующее воздействие на бронзовые частицы в зоне резания уменьшается.

Процесс формирования микрорельефа при магнитно-абразивном полировании, применяемом после воздействия лезвийным инструментом на пористое покрытие, значительно отличается от аналогичного процесса для сплошного материала. Эти особенности обуславливаются наличием естественных и образовавшихся при резании пор, частично или полностью завальцованных задней поверхностью резца в поверхностном слое покрытия глубиной не более 0,1 мм. При магнитно-абразивном полировании происходит постепенное уменьшение высоты профиля до тех пор, пока не начнут вскрываться поры, что приводит к её увеличению. Таким образом, варьируя режимы полирования или его продолжительность, можно получать требуемую шероховатость и пористость поверхности покрытия.

В заключение приведены результаты исследований влияния технологических параметров процессов поверхностного пластического деформирования (ППД), точения и магнитно-абразивного полирования (МАП) на основные показатели качества деталей с бронзовыми покрытиями. Опыты выполнялись на токарном станке модели 16К20Ф3. В процессе исследований применялся прямой проходной сборный токарный резец. Геометрия режущей пластины из сплава Т15К6: $\alpha=8^\circ, \alpha_1=6^\circ, \gamma=0^\circ, \gamma_1=0^\circ, \varphi=60^\circ, \varphi'=30^\circ, \lambda=0^\circ, f=0,2$ мм. Инструмент для ППД – обкатник с закалённым шариком из стали ШХ15, НРСэ 60...65, R=9,5 мм.

В качестве экспериментальных образцов использовали валики, изготовленные из конструкционной стали 30. На них наносили покрытие плазменным напылением порошка ПГ-19М-01. Химический состав порошка ПГ-19М-01: Al – 8,5...10,5 %, Fe – до 4%, Cu – остальное. Режимы напыления назначались по существующим рекомендациям для плазменных покрытий из бронз.

Исходные параметры образца: диаметр $d = 52$ мм, толщина покрытия $h = 2,5^{+0,3}$ мм, частота вращения шпинделя $n = 800$ мин⁻¹, шероховатость $Ra = 32$ мкм, волнистость $W_{max} = 100$ мкм, отклонение от круглости $\Delta g = 92$ мкм. Твердость по глубине напыленного слоя, не подвергнувшегося механической обработке, распределена равномерно и составляла HRA 46...50.

На основании анализа процесса взаимодействия материала покрытия с режущим инструментом после предварительного поверхностного пластического деформирования обоснован механизм формирования микропрофиля поверхности бронзового покрытия, что подтверждает перспективность включения этого метода в

технологические процессы механической обработки деталей с плазменными бронзовыми покрытиями.

Проведённые экспериментальные исследования позволили выявить особенности протекания процессов поверхностного пластического деформирования и магнитно-абразивного полирования, применяемых в качестве отделочной обработки, по сравнению с обработкой сплошных материалов.

Предварительное поверхностное пластическое деформирование перед точением вызывает увеличение твердости поверхностного слоя покрытия, глубиной 1,0...1,3 мм с HRA 48...53 до HRA 54...62. Шероховатость после токарной обработки снижается на 30 %, достигая $R_a = 0,4$ мкм, что доказывает влияние предварительного пластического поверхностного деформирования на процесс формирования микрогеометрии поверхности при последующей обработке резанием. Применяемое после точения, поверхностное пластическое деформирование снижает шероховатость поверхности до $R_a = 0,06...0,24$ мкм. Твёрдость поверхности увеличивается с HRA 48...53 до HRA 54...62.

Применение метода магнитно-абразивного полирования после чистовой токарной обработки обеспечивает параметр шероховатости $R_a = 0,06...0,1$ мкм в течение 1...2 мин.

УДК 621.9 (045)

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ С ПОМОЩЬЮ НЕПРЕРЫВНОГО МАГНИТНОГО ПОТОКА

А. М. Фирсов, к.т.н., зав. каф. МРСиИ, А.В. Вдовин, аспирант,
К.И. Заболотников, техник

Бийский технологический институт (филиал)
ГОУВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02 E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Представлено исследование шероховатости поверхности при токарной обработке с помощью непрерывного магнитного потока.

A study of surface roughness in turning processing using a continuous flux.

Известно, что качество поверхности изделия при токарной обработке, определяется многими факторами, основным из которых является шероховатость поверхности.

Выбор магнитного контроля шероховатости обусловлен тем, что контроль можно производить непосредственно в процессе обработки, т.к., по разным оценкам, около 65% всех деталей в машиностроении выполнены из стали, следовательно, метод может получить широкое применение.

Магнитное сопротивление цепи представляет собой сумму трех магнитных сопротивлений составляющих цепи: катушки (R_{mk}), зазора (R_{mz}) и детали (R_{md}). Магнитный поток в цепи головка-зазор-деталь показан на рис. 1.

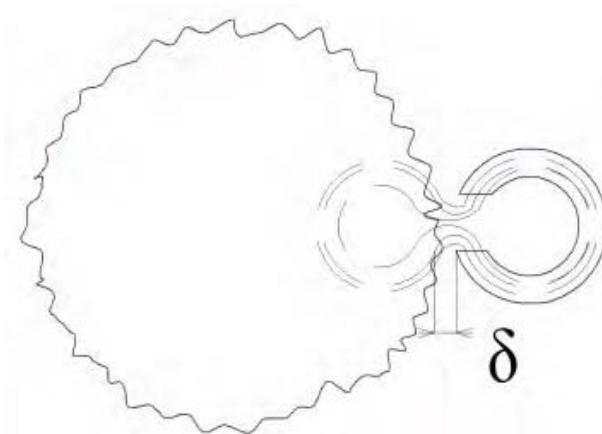


Рис. 1. Магнитный поток в цепи головка-зазор-деталь: δ – ширина зазора между магнитной головкой (от катушечного магнитофона - немагнитный зазор – 1 мкм, индуктивность головки - 100 мГн) и деталью

Так как R_{mk} и R_{md} являются постоянными, то на R_m может повлиять только изменение R_{mz} . Если зазор достаточно мал, по сравнению с длиной магнитной цепи, то его магнитное сопротивление прямо пропорционально зазору между магнитной головкой и деталью. Магнитный поток будет обратно пропорционален расстоянию между головкой и деталью

$$\Phi = \Phi_0 + \chi \frac{1}{\delta}, \quad (1)$$

где δ - зазор между магнитной головкой и деталью;
 χ - коэффициент пропорциональности.

Так как изменение величины зазора, по сравнению с его начальным значением невелико, преобразуем выражение (1) к следующему виду:

$$\Phi = \Phi_0 - \frac{\chi}{\delta^2} \cdot \Delta\delta. \quad (2)$$

Следовательно, э.д.с. индукции, вырабатываемая магнитной головкой будет определяться вторым членом выражения (2) и приближенно описываться выражением:

$$\varepsilon = -\frac{\chi}{\delta^2} \frac{d\delta}{dt} . \quad (3)$$

Таким образом, можно считать, что величина э.д.с., вырабатываемая магнитной головкой будет пропорциональна скорости изменения зазора, между головкой и деталью.

Основной параметр, характеризующий шероховатость – среднее арифметическое отклонение профиля от начальной окружности $-R_A$.

Оценим частоту изменения зазора. Распределение размеров элементов шероховатости, с достаточной точностью описывается нормальным распределением. При этом математическое ожидание этого распределение и будет параметром R_A .

Будем считать элементы шероховатости равносторонними треугольниками равных размеров, высота которых равна R_A . Определим число вершин этих треугольников на длине окружности детали:

$$n = \frac{2\pi D}{\sqrt{3} \cdot R_A} , \quad (4)$$

где D - диаметр детали.

Определим частоту изменения магнитного зазора. Очевидно, что она определяется как:

$$f = n \cdot \omega , \quad (5)$$

где ω - частота вращения шпинделя.

Подставим выражение (4) в (5) и получим:

$$f = \omega \frac{2\pi D}{\sqrt{3} \cdot R_A} . \quad (6)$$

Следовательно, величина э.д.с., возникающей в катушке магнитной головки будет изменяться с частотой, прямо пропорциональной частоте вращения шпинделя и обратно пропорциональной высоте профиля. Размеры элементов шероховатости подчиняются нормальному распределению, очевидно, что спектр этого сигнала также будет иметь вид нормального распределения. Причем, его спектр будет повторяться (правда с меньшими амплитудами) на частотах, кратных f .

Оценим частоту f . Диаметр детали - 40 мм, параметр R_A – 3 мкм, частота вращения шпинделя 300 об/мин. Таким образом, частота сигнала, обусловленного шероховатостью для рассмотренных условий будет лежать в диапазоне порядка 50 кГц.

С учетом того, что режимы резания устанавливаются не по частоте, а по линейной скорости, перепишем выражение 6 в виде:

$$f = \frac{2}{\sqrt{3} \cdot R_A} \cdot v, \quad (7)$$

где v – линейная скорость вращения поверхности детали.

Оценим амплитуду сигнала. Очевидно, что она будет пропорциональна скорости средней изменения зазора. А скорость изменения зазора будет пропорциональна произведению частоты прохождения выступов и впадин мимо головки и высоте профиля шероховатости:

$$\varepsilon \sim \frac{d\delta}{dt} = \omega \frac{2\pi D}{\sqrt{3} \cdot R_A} R_A. \quad (8)$$

Таким образом, параметр R_A в выражении (8) сокращается. Следовательно, амплитуда сигнала будет очень слабо зависеть от высоты профиля шероховатости. В реальности это будет иметь место, в тех случаях, когда зазор в магнитной цепи головки будет существенно меньше размеров шероховатостей. В противном случае величина э.д.с. существенно снизится.

Следовательно, по этим двум признакам, а именно, частотному диапазону и корреляции выходного сигнала с угловым положением шпинделя представляется возможным разделять информацию, несомую сигналом о шероховатости.

Для проведения исследований, была разработана экспериментальная установка для получения и анализа полезного сигнала, схема которой представлена на рис. 2.

Для крепления магнитной головки вблизи резца токарного станка был изготовлен специальный кронштейн из алюминиевого сплава. Магнитная головка устанавливалась с постоянным зазором 0,1 мм в поверхности от обработанной поверхности детали.

Экспериментальные исследования выполнялись в лаборатории кафедры МРС с использованием токарного станка 16К20Ф3.

Для проведения экспериментов была изготовлена модель шероховатости поверхности, представляющая собой цилиндр круглого сечения диаметром 40 мм, выполненный из стали марки 45.

При обработке полученного сигнала было использовано несколько прикладных программ (рис. 3)

В ходе эксперимента проводились измерения продольной и окружной шероховатости. Измерения проводились без контакта резца с обрабатываемой деталью, то есть, эксперимент был модельным.

В виду того, что профиль продольной шероховатости примерно в 10 раз больше профиля окружной шероховатости и значительно превышает величину зазора в магнитной головке, было принято решение

на первом этапе эксперимента проверить чувствительность метода к изменению шероховатости.

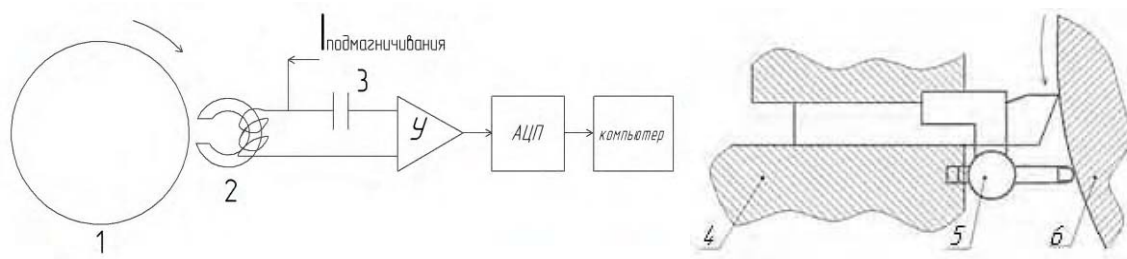


Рис. 2. Схема установки магнитной головки на резцедержатель для получения и анализа полезного сигнала: 1 – контролируемая вращающаяся деталь, 2 – магнитная головка, 3 – разделительный конденсатор, 4 – резцедержатель; 5 – магнитная головка на микрометрическом винте; 6 – контролируемая деталь, У – усилитель, АЦП – аналогово-цифровой преобразователь

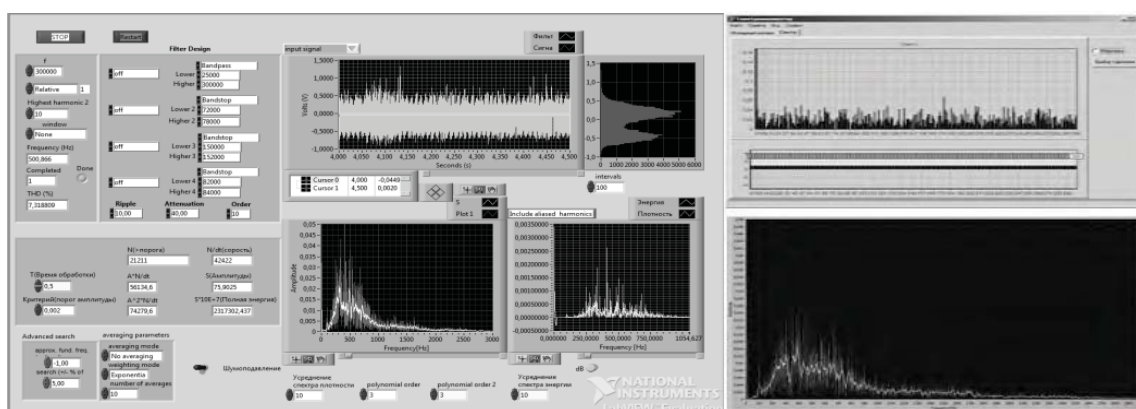


Рис. 3. Общий вид пользовательского интерфейса программ: а) программа «Анализатор спектра» написанная на графическом языке программирования G, в среде разработки LabVIEW, б) Программа – «Спектр» разработана в среде Delphi на языке Object Pascal

Ожидаемая частота сигнала, обусловленного шероховатостью поверхности (а других источников в данном режиме нет) может быть определена по формуле:

$$f = \frac{v}{R_A} \quad (9)$$

где v – линейная скорость вращения поверхности детали

R_A - основной параметр, характеризующий шероховатость – среднее арифметическое отклонение профиля от начальной окружности.

Ожидаемые и полученные в ходе эксперимента центральные частоты сигнала представлены рис. 4. Анализ полученных данных

показывает, что магнитный метод чувствителен к изменению шероховатости поверхности детали, т.к. информацию о показателе шероховатости несет как центральная частота сигнала, так и его амплитуда.

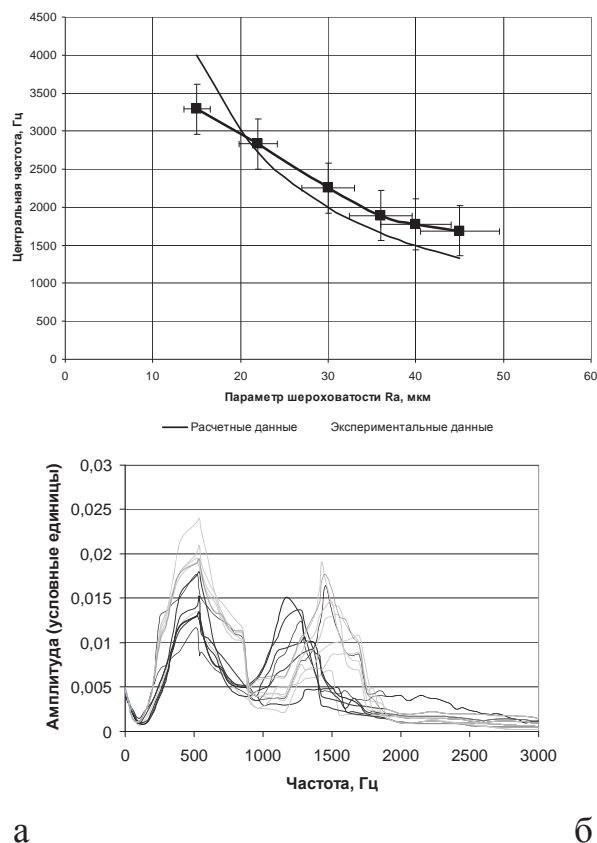


Рис. 4. Графики: а) график зависимостей центральной частоты и амплитуды сигнала, полученных в ходе эксперимента и ожидаемого значения центральной частоты; б) огибающие спектров низкочастотных составляющих сигналов

Предложенная математическая модель магнитного метода, в целом, адекватна, но требует введение коэффициентов преобразования.

Далее был осуществлен эксперимент по исследованию особенностей применения магнитного метода для контроля окружной шероховатости детали.

Таким образом, в результате экспериментов по измерению продольной и окружной шероховатости было выявлено, что магнитный метод чувствителен к изменению шероховатости поверхности детали и может быть применен для контроля качества формируемой в процессе токарной обработки поверхности детали. Но для контроля шероховатости с профилем менее 10 мкм необходимы специализированные магнитные головки с зазором менее 1 мкм.

Представляется возможным применение магнитных головок видеоманитофонов, где зазор составляет примерно 400 нм и магнитных головок жестких дисков персональных компьютеров, где зазор составляет 100-200 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демкин Н.Б. Качество поверхности и контакт деталей машин [Текст]. / Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи [Текст]. / Л.А. Бессонов. – Изд. 7-е, перераб. и доп. – М.:Высшая школа, 1978. – 528 с.
3. Детлаф А.А. Курс физики [Текст]. / Детлаф А.А., Яворский Б.М. — М: Высшая школа, 2002. — С. 718.

УДК 621:534 (045)

ВОЗМОЖНОСТЬ КОНТРОЛЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

А. М. Фирсов, к.т.н., зав. каф. МРСиИ, А.В. Вдовин, аспирант,
А. А. Кретов, студент гр. ТМ - 61
Бийский технологический институт (филиал)
ГОУВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02. E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований о возможности применения метода акустической эмиссии для контроля шероховатости поверхности в процессе токарной обработки.

Show the results of experimental studies on the applicability of acoustic emission method to control surface roughness in turning.

Известно, что качество поверхности играет огромную роль при производстве любой детали. Поэтому решение задачи контроля качества поверхности непосредственно при обработке в условиях автоматического производства без привлечения дополнительного оборудования имеет огромное значение для всего машиностроения.

Диагностика процесса резания целиком и полностью определяется информативностью используемых параметров, их зависимостью от условий обработки. Традиционное использование для этой цели силы и температуры резания в ряде случаев оказывается неприемлемым или недостаточно информативным и адекватным. Поэтому в последние годы

все большее внимание специалистов привлекает перспектива акустической диагностики процесса резания.

Акустическое излучение всегда сопутствует процессу обработки, его спектр чрезвычайно широк: от десятков герц до сотен килогерц, а многообразие параметров предопределяет успех в выявлении тесных корреляционных связей с технологическими условиями обработки.

Метод акустической эмиссии (АЭ) позволяет проводить контроль различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов, при этом положение и ориентация объекта не влияет на выявляемость дефектов.

Основным источником сигнала АЭ является зона резания, в которой происходят пластическая деформация и разрушение обрабатываемого материала и отрыв слоя металла. Генерируемые упругие волны, порожденные в зоне резания, распространяются по всей технологической системе.

Для регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ), был выбран и сконструирован пьезоэлектрический преобразователь, т.к. пьезоэлектрические датчики обладают высокой чувствительностью, высокой жесткостью устройств, которая позволяет измерять высокочастотные изменения нагрузки, т.е. колебания, кроме того характеризуются простотой конструкции. Применение пьезоэлементов позволяет принимать разнообразные конструктивные решения датчиков.

Датчик для регистрации АЭ представляет собой корпус 1 в котором находится пьезокерамическая пластинка 2 круглой формы, к которой с одной стороны припаяна игла 3, с другой провод 4, соединяющийся с центральным разъемом входного штекера 5. Для фиксирования положения соответствующих элементов в корпусе его внутренняя полость залита эпоксидным компаундом 6 (рис. 1).

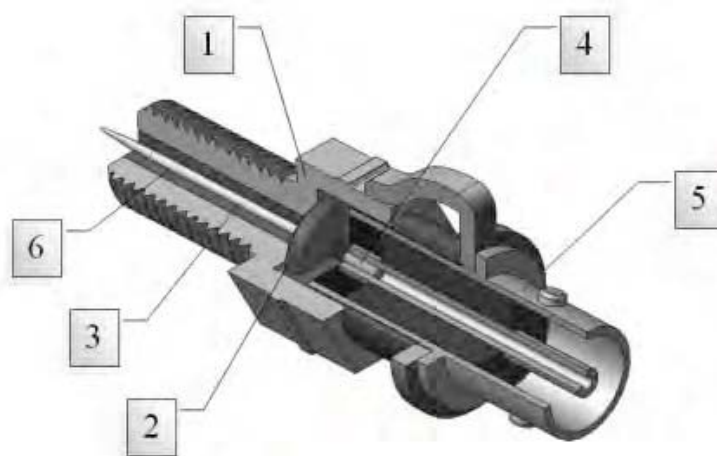


Рис. 1. Модель пьезоэлектрического датчика

При проведении исследований было выявлено, что АЭ распространяется по всему резцу без затухания и поэтому точка крепления датчика АЭ была выбрана с учетом доступности визуального контроля и при этом надежной защиты датчика (рис. 2) и подключенного к нему экранированного кабеля.

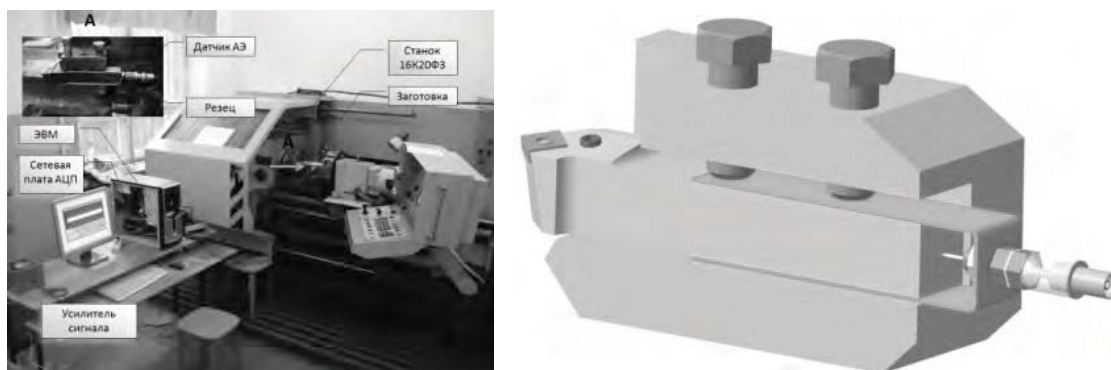


Рис. 2. Экспериментальная установка. Закрепление датчика АЭ на технологическом оборудовании

При проведении экспериментов использовался проходной прямой резец со сменной многогранной пластиной типа SNMM150608 ГОСТ 19052-80 ($\lambda = 0$; $\gamma = -15^\circ$; $\phi = 45^\circ$) из твердого сплава Т15К6, которым велась обработка заготовки из конструкционной стали 45 на станке 16К20Ф3 с системой числового программного управления 2Р22.

Анализ сигнала из зоны резания производился на ЭВМ с использованием специально разработанной для диагностики резания методом акустической эмиссии прикладной программы (рис. 3), написанной на языке программирования LabView. Её применение обеспечивает получение наглядной записи сигнала АЭ, что облегчает обработку сигналов и дает представление об общих тенденциях их изменений при варьировании исследуемого технологического параметра обработки.

В ходе предварительных экспериментов было выяснено, что для анализа записи сигнала АЭ достаточно, чтобы его длительность составляла около 5 секунд. В данном случае часть времени будет затрачена на то чтобы станок вышел на свой заданный режим работы. Затем из записанного сигнала выбирается характерный участок длительностью 1 секунда для его анализа и обработки. Длительность 5 секунд обусловлена более выгодным размером файла записи сигнала АЭ, удобством его обработки. Также в ходе предварительных экспериментов установлено, что длительность обрабатываемого сигнала 1 секунда достаточна для получения объективных данных, при выборе этого диапазона времени как указано выше, ведь во всех опытах,

протекающих с образованием дробленной стружки, значение количества элементов стружки в секунду всегда было больше 1.

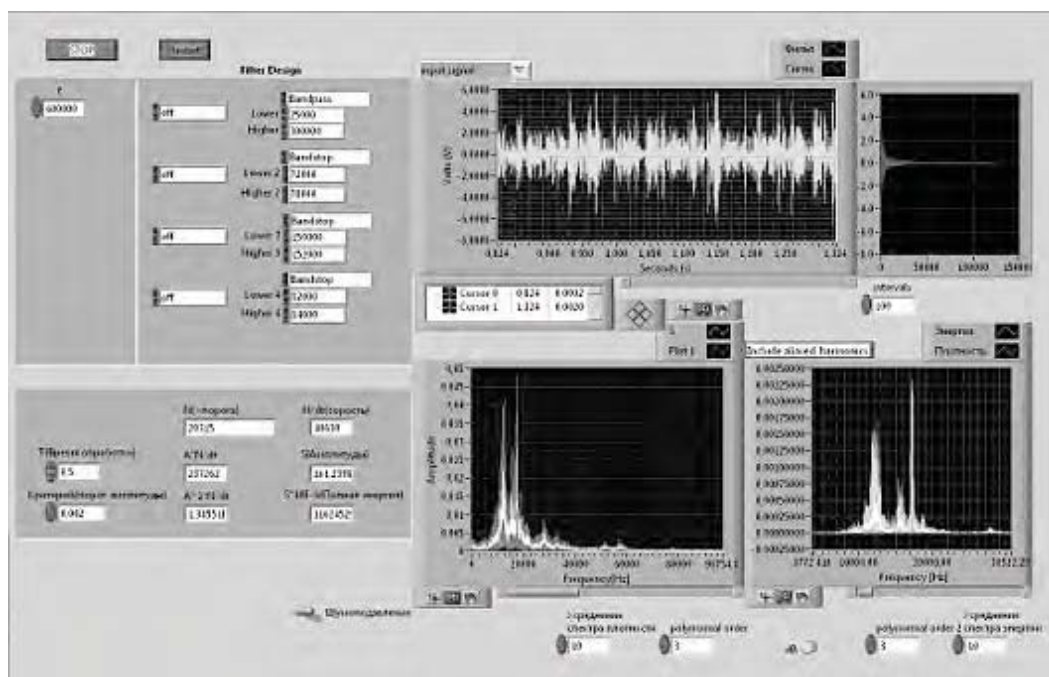


Рис. 3. Интерфейс программы для анализа сигнала АЭ

Измерения шероховатости производились на профилографе-профилометре модели 250.

Исходя из определения понятия «акустическая эмиссия» и исключения неинформативных колебаний, зависящих от нестационарности процесса резания, условий жесткости системы, инерционных характеристик элементов технологической системы, возможностей платы АЦП, был выбран исследуемый диапазон частот от 25 до 300 кГц.

Основное влияние на шероховатость обработанной поверхности оказывают скорость резания и величина подачи, поэтому было принято решения проводить однофакторные эксперименты. Была проведена серия опытов в исследование сигнала АЭ при изменении скорости резания (которая возрастает от 50 до 130 м/мин с шагом 10 м/мин) и с постоянной скоростью резания, но при этом меняется величина подачи 0,1 до 1 мм/об. Глубина резания во всех опытах оставалась постоянной и равной 1 мм.

При проведении эксперимента кроме обработки по составленной программе был также записан сигнал АЭ на станке, работающем на холостом ходу при включенной подаче для выявления чужеродных колебаний технологической системы. Это позволило выяснить степень влияния шумов – неинформативных сигналов – на надежность

диагностики в заданном частотном диапазоне. Уровень шумов составил около 10% от средней амплитуды акустических колебаний и практически исчезал при использовании фильтра низких частот (25кГц).

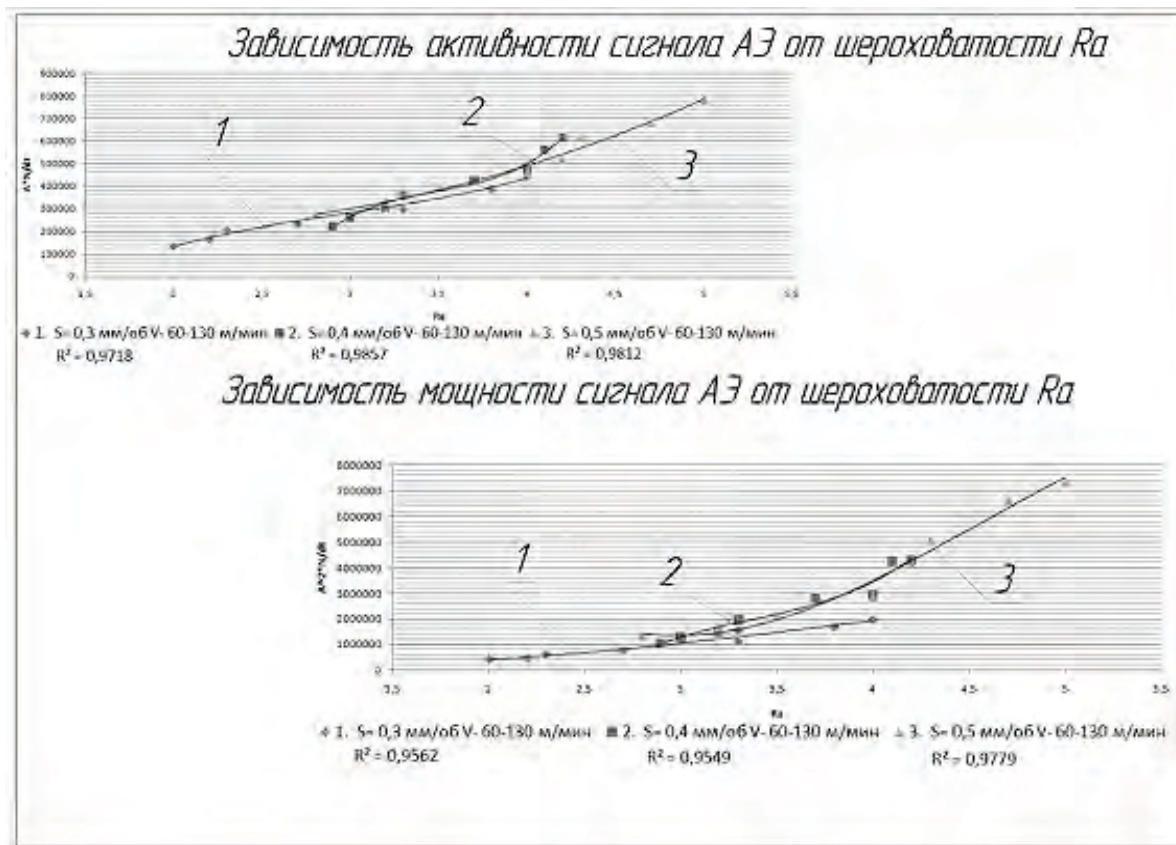


Рис. 4. Зависимость активности сигнала АЭ от шероховатости Ra

После проведения записи сигнал АЭ были проанализированы: количество импульсов сигнала АЭ (N) за время t (активность сигнала АЭ); площадь под АЧХ сигнала АЭ (S_a); площадь под энергетической характеристикой сигнала АЭ (S_s); параметры $A \cdot N / dt$, $A^2 \cdot N / dt$;

амплитуда АЭ (A); а также, совмещенные параметры $W_1 = \frac{A^2 \cdot N}{P_z \cdot V}$, $W_2 = \frac{A \cdot N}{V}$,

где $A^2 \cdot N$ - мощность акустического излучения; $P_z \cdot V$ - мощность резания; P_z - тангенциальная составляющая силы резания; V - скорость резания.

Из всех параметров, было выделено 5 информативных параметров: амплитуда (A), $A^2 \cdot N$ - мощность акустического излучения, количество импульсов сигнала АЭ (N) за время t (активность сигнала

АЭ) (рис. 4) и совмещенные параметры $W_1 = \frac{A^2 \cdot N}{P_z \cdot V}$, $W_2 = \frac{A \cdot N}{V}$ (рис. 5).

В ходе проведенных экспериментов были выявлены зависимости между качеством обработанной поверхности и полученным при этом сигнале АЭ.

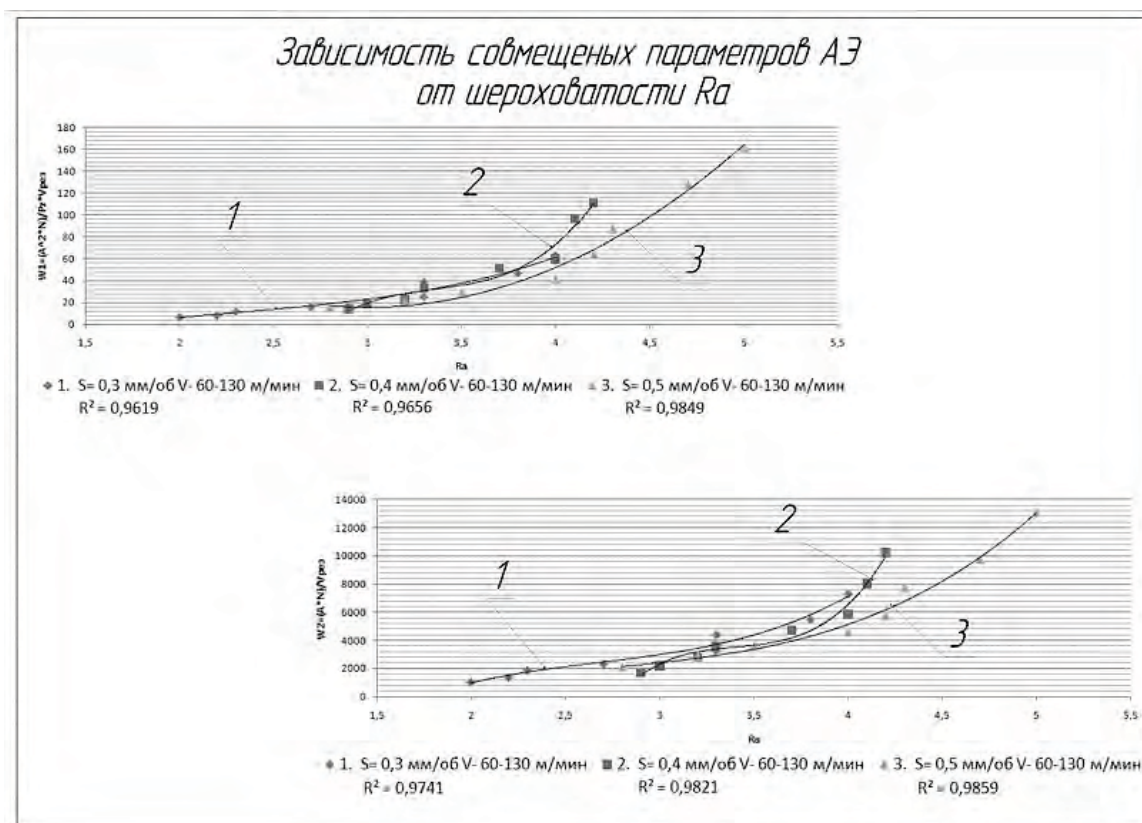


Рис. 5. Зависимость совмещенных параметров АЭ от шероховатости R_a

Ряд исследованных параметров не дают адекватного представления о шероховатости поверхности, это параметры площадь спектра АЧХ, площадь энергетического спектра, а так же количество сигналов АЭ, что подтверждено построенными на графиках полиномиальными линиями тренда, показывающими низкий коэффициент корреляции - ниже 0,95. В тоже время некоторые комбинированные параметры АЭ, таких, как $A \cdot n/dt$, $A^2 \cdot n/dt$ и W_1 и W_2 , позволили описать шероховатость поверхности с высоким коэффициентом корреляции, $R^2 \geq 0,95$, т.е. применения метода акустической эмиссии для контроля шероховатости поверхности в процессе токарной обработки возможно.

Предполагается, что использование более высоких частот (свыше 300 кГц) при использовании метода акустической эмиссии, позволит

получить более достоверные параметры, позволяющие контролировать шероховатость поверхности в процессе обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешин С.А., Белый Г.Ю., Вopilкин А.А. Методы акустического контроля металлов. - М.: Высшая школа, 1988. - 306С.
2. Подураев В.Н., Базаров А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. — М.: Машиностроение, 1988.- 89С
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии / Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. -М: Машиностроение, 2005. - 829 с: ил.

УДК 621.534 (045)

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СТРУЖКОДРОБЛЕНИЯ

А. М. Фирсов, к.т.н., зав. каф. МРСиИ, А.В. Вдовин, аспирант,
В.О. Червинский, студент гр. ТМ-61
Бийский технологический институт (филиал)
ГОУВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»
Бийск, тел. +7(3854) 43-53-02. E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований о возможности применения метода акустической эмиссии для диагностики типа стружки в процессе токарной обработки.

Show the results of experimental studies on the applicability of acoustic emission method to diagnose the type of chips in the process of turning.

Известно, что при точении, когда образуется стружка в виде ленты или винтовой спирали возникают большие трудности в дальнейшей обработке детали. Поэтому необходимо, чтобы стружка, образующаяся в процессе резания на токарных станках, имела форму и размеры, которые обеспечат беспрепятственный ее отвод из зоны резания и на последующих этапах ее транспортирования. По этой причине необходимо исследовать способы контроля и диагностики процесса стружкодробления.

В последние годы все большее внимание специалистов привлекает перспектива диагностики стружкодробления методом акустической эмиссии.

Акустическая эмиссия (АЭ) - физическое явление, связанное с излучением упругих волн исследуемым объектом при нелинейных трансформациях его структуры.

Волны АЭ порождаются доминирующими физическими процессами при обработке резанием (разрушение, трение, пластическое деформирование).

Способ контроля процесса дробления стружки методом акустической эмиссии в перспективе может оказаться более точным и должен выгодно отличаться более удобным размещением оборудования для снятия информации с зоны резания, кроме того, в данном случае появляется возможность одновременно диагностировать другие параметры обработки, такие как износ инструмента, возможность контролировать шероховатость поверхности на том же оборудовании.

Для проведения исследований был выбран и сконструирован пьезоэлектрический преобразователь. Он представляет собой корпус 1 в котором находится пьезокерамическая пластинка 2 круглой формы, к которой с одной стороны припаяна игла 3, с другой провод 4, соединяющийся с центральным разъемом входного штекера 5. Для фиксирования положения соответствующих элементов в корпусе его внутренняя полость залита эпоксидным компаундом 6 (рис. 1).

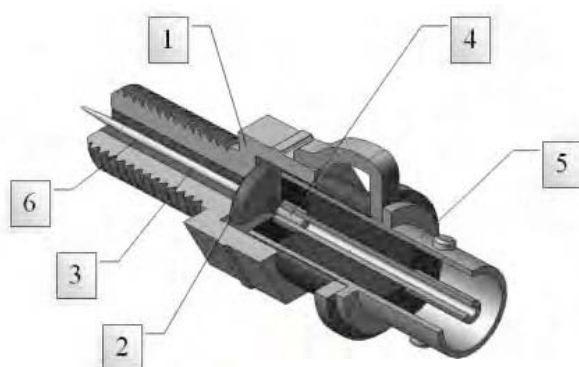


Рис. 1. Модель пьезоэлектрического датчика

При проведении эксперимента было реализовано несколько различных схем установки датчика на технологическом оборудовании (рис. 2).

Аналоговый сигнал из зоны резания, усиленный усилителем, оцифровывается платой АЦП, регистрирующей сигналы в пределах от нескольких герц до 300 кГц, и оцифровывается. Далее сигнал преобразуется и обрабатывается программой, разработанной в программном средстве LabView— это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments.

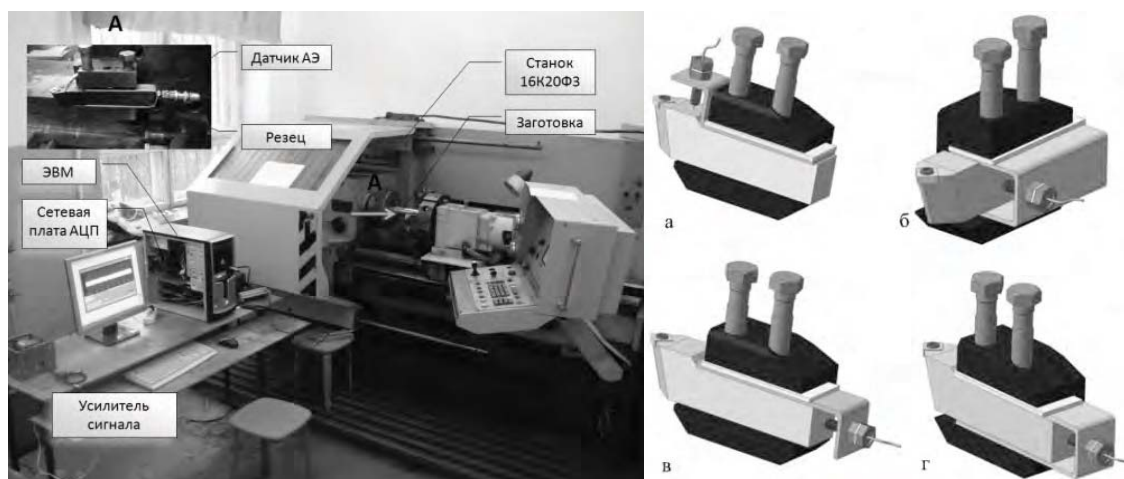
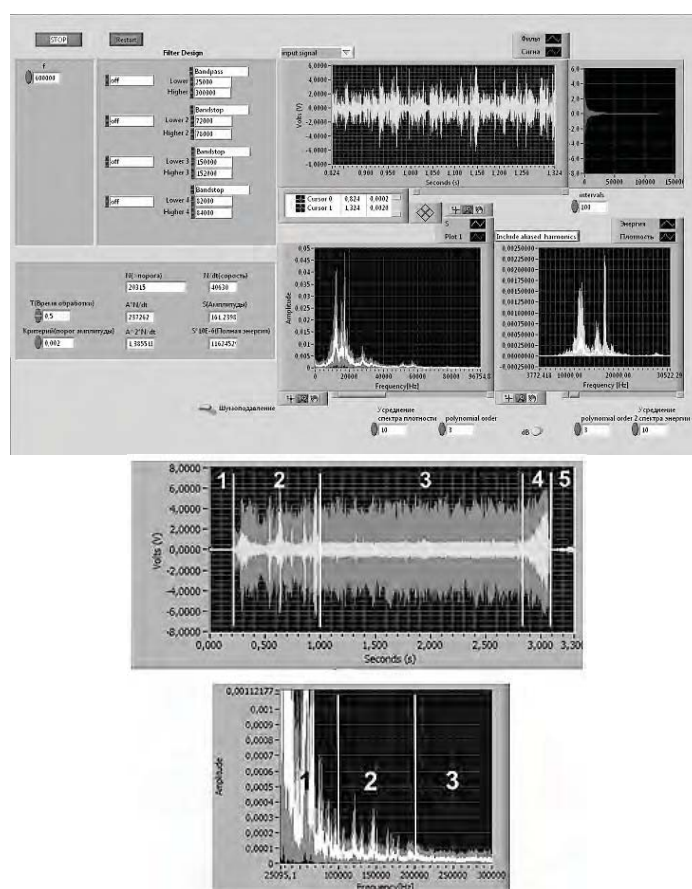


Рис. 2. Экспериментальная установка: 1 - оборудование для проведения эксперимента, 2 - установка датчика на резце

Интерфейс программы для обработки сигнала представлен на рис. 3, а.

Эксперимент проводился на токарно-винторезном станке 16К20Ф3 с системой числового программного управления 2Р22. Обрабатываемая заготовка – круг из стали 45. Режущий инструмент токарный проходной прямой резец 4979-23 со сменной многогранной пластинкой типа SNMM150608 из твердого сплава Т15К6. Обработка производилась с фиксированием сигнала АЭ на различных режимах резания, с изменением параметров, при которых можно зафиксировать и соотнести изменение вида стружки с соответствующим изменением сигнала АЭ.

В ходе предварительных экспериментов было выяснено, что для анализа записи сигнала АЭ достаточно, чтобы его длительность составляла около 5 секунд. В данном случае часть времени будет затрачена на то, чтобы станок вышел на свой заданный режим работы. Затем из записанного сигнала выбирается характерный участок длительностью 1 секунда для его анализа и обработки (рис. 3, б). Длительность 5 секунд обусловлена более выгодным размером файла записи сигнала АЭ, удобством его обработки. Также в ходе предварительных экспериментов установлено, что длительность обрабатываемого сигнала 1 секунда достаточна для получения объективных данных, при выборе этого диапазона времени как указано выше, ведь во всех опытах, протекающих с образованием дробленной стружки, значение количества элементов стружки в секунду всегда было больше 1.



а

б

Рис. 3. Программы для обработки сигнала: а) Интерфейс программы обработки сигнала; б) Участки сигнала АЭ; Сверху: 1 – начало записи, 2 – врезание резца, выход станка на заданный режим резания, 3 – характерный установившийся сигнал АЭ, 4 – выход резца из заготовки, 5 – шум от работы приводов подачи станка; Снизу: Частотные диапазоны: 1 - 25-100 кГц, 2 - 100-200 кГц, 3 - 200-300 кГц

Для того, что бы выявить информативный диапазон частот весь частотный диапазон принимаемого сигнала разбивается при помощи соответствующих фильтров программы на 3 группы (рис. 3, б). Верхняя граница принимаемого сигнала - 300 кГц ограничена возможностями платы АЦП, нижняя выбрана исходя из АЧХ используемого усилителя.

Параметры сигнала АЭ рассматриваемые при исследовании: количество импульсов сигнала АЭ (N) за время t (активность сигнала АЭ); площадь под АЧХ сигнала АЭ (S_a); площадь под энергетической характеристикой сигнала АЭ (S_e); параметры $A \cdot N/dt$, $A^2 \cdot N/dt$;

амплитуда АЭ (A); совмещенные параметры
где $A^2 \cdot N$ - мощность акустического излучения; $P_z \cdot V$ - мощность

$$W_1 = \frac{A^2 \cdot N}{P_z \cdot V}, \quad W_2 = \frac{A \cdot N}{V},$$

резания; P_z - тангенциальная составляющая силы резания; V - скорость резания.

В ходе предварительных экспериментов было выявлено, что сигнал АЭ, записанный при резании с получением дробленой стружки характеризуется наличием характерных всплесков амплитуды (рис. 4).

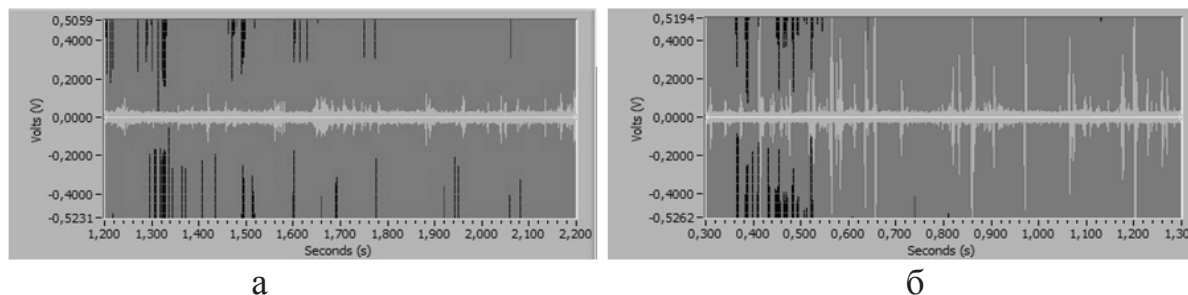


Рис. 4. Сигнал АЭ при получении недробленой (а) и дробленой (б) стружки

Чтобы учесть данный факт было введено понятие пороговой амплитуды колебаний сигнала АЭ $A_{п}$. За пороговое значение амплитуды колебаний АЭ $A_{п}$ примем амплитуду сигналов АЭ выше амплитуды колебаний основных сигналов АЭ $A_{осн}$ на некоторую величину, обеспечивающую четкое разделение сигнала АЭ на информативный (выше порогового значения) и неинформативный (ниже порогового значения) (рис. 5, а).

Основными сигналами АЭ $A_{осн}$ будем называть сигналы АЭ, количество импульсов N постоянной амплитуды которых значительно больше на заданном интервале времени.

Значение параметра $A_{осн}$ целесообразно выбирать, используя диаграмму амплитудного распределения, выбирая пороговую амплитуду колебаний сигнала АЭ с учетом характерного перегиба на диаграмме, который соответствует значению амплитуды, являющемуся границей между информативным и неинформативным сигналом АЭ (рис. 5, б).

Таким образом, дополнительно вводятся параметры: количество импульсов сигнала АЭ через порог ($N_{п}$) за время Δt (пороговое значение активности сигнала АЭ); пороговые значения параметров $A*N/dt$ и A^2*N/dt .

В результате проведения эксперимента выяснилось, что информативными параметрами АЭ для диагностирования стружкодробления оказываются только те, которые снимаются с учетом порогового значения амплитуды колебаний сигнала АЭ: $N_{п}$, $A*N/dt_{п}$, $A^2*N/dt_{п}$. Однако наиболее информативным является параметр АЭ $N_{п}$, зависимости которого от режимов резания представлены на рисунке б. Аналогичные результаты получены и в других частотных диапазонах.

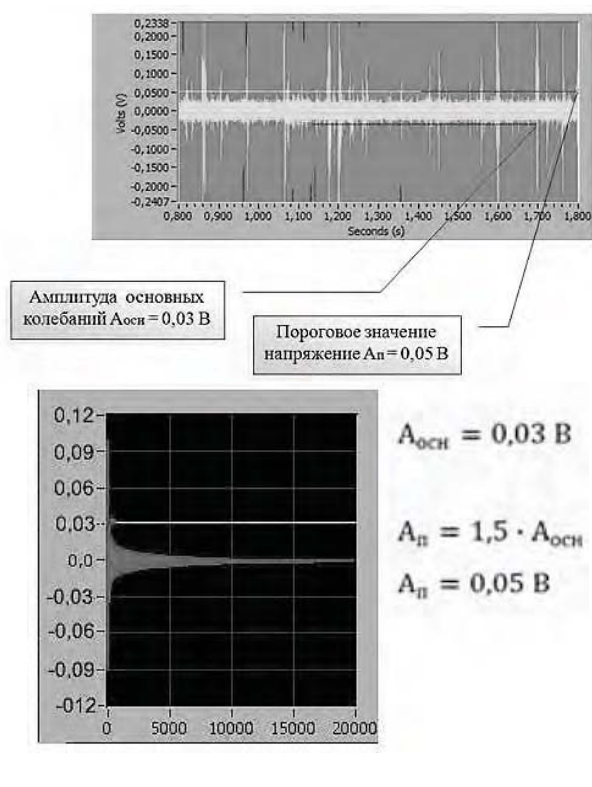


Рис. 5. Пороговое значение амплитуды колебаний сигнала АЭ (а) и амплитудное распределение (б)

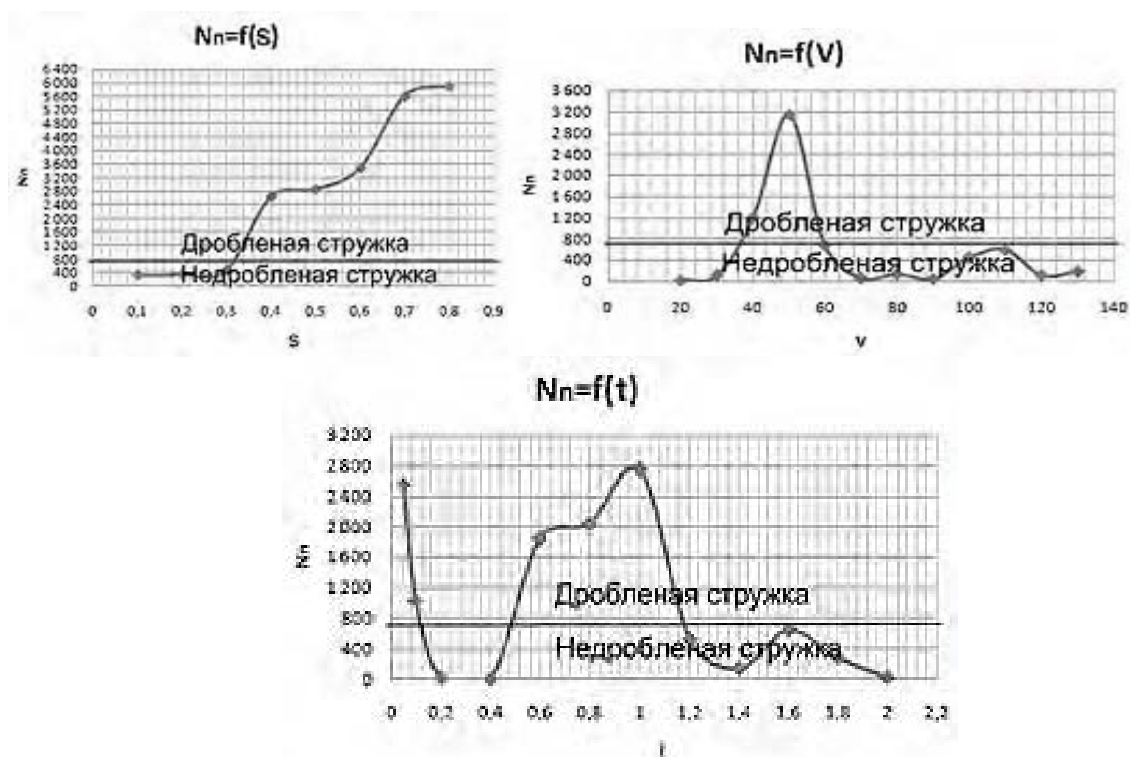


Рис. 6. Зависимости параметра N_n от режимов резания на частотном диапазоне 100-200 кГц

По результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод о возможности применения акустической эмиссии для диагностирования стружкодробления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синопальников В.А., Еременко И.В. Диагностика процесса резания и инструмента: Учебное пособие - М.: МОССТАНКИН, 1991.- 264С.
2. Подураев В.Н., Базаров А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. - М.: Машиностроение, 1988.- 89С.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии / Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. - М: Машиностроение, 2005. - 829 с: ил.

УДК 621.787: 621.91

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ТОРЦОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Черданцев А.О., аспирант, Хоменко В.А. д.т.н., проф.
Алтайский государственный технический университет
Барнаул, тел. +7(3852) 29-08-95. E-mail: ht_astu@mail.ru

Представлено описание математической модели позволяющей прогнозировать геометрические параметры качества обрабатываемых поверхностей при торцовом фрезеровании.

Leaded the description of mathematic model, that predicts geometric parameters of surface quality after face milling.

Развитие вычислительной техники на сегодняшний день открывает широкие просторы для применения математического моделирования в технологии машиностроения. При изучении множества мелких объектов, к которым относятся и отдельные микронеровности, математическое моделирование, по сравнению с экспериментом, позволяет получить большее количество информации, а также сократить время и затраты на исследования. В частности, с помощью моделирования, возможно прогнозировать геометрические параметры качества обработанной поверхности еще на этапе проектирования операции.

Среди важнейших показателей качества поверхности детали одно из первых мест занимает шероховатость. Она определяет контактную жесткость, триботехнические характеристики, коррозионную стойкость,

усталостную прочность при изгибных деформациях и другие параметры при взаимодействии деталей. Обеспечение заданной шероховатости играет первостепенную роль при подготовке поверхностей под напыление покрытий [1].

При технологической подготовке большой интерес представляет вопрос о получении годной продукции с заданной вероятностью. Используемые при проектировании эмпирические и теоретические модели, описывающие процесс торцевого фрезерования, имеют множество существенных недостатков. Они позволяют прогнозировать шероховатость только для какого-то определённого участка поверхности, обработанного фрезой определённой конструкции, к тому же зачастую эти зависимости справедливы только для определённого обрабатываемого материала. Таким образом, диапазон их применимости узок. Возникает необходимость разработки модели позволяющей прогнозировать геометрические параметры качества обрабатываемой поверхности на любом участке, для произвольных материалов, в широком диапазоне изменения режимов резания для инструмента любой конструкции.

Для решения поставленной задачи нами разработана стохастическая имитационная модель. Если процесс фрезерования перед его началом описать набором параметров в виде плотностей распределения входных величин, а сам процесс фрезерования будет носить детерминированный характер, то параметры шероховатости после фрезерования будут иметь некоторую плотность распределения, зависящую как от детерминирующих, так и от стохастических параметров. Для конкретного случая обработки детерминирующими факторами являются заданные режимы резания, конструктивные и геометрические параметры используемого инструмента и механические свойства обрабатываемого материала. К стохастическим можно отнести погрешности базирования элементов инструмента, отклонения размеров режущих пластин в пределах допуска, и другие факторы имеющие вероятностный характер.

При наличии детерминированной модели и плотностей распределения входных параметров, становится возможным создание стохастической имитационной модели (рисунок 1) позволяющей оценивать вероятность получения годных деталей по плотностям распределения выходных параметров.

Из литературных источников [2] известно, что шероховатость поверхности обуславливается геометрическими параметрами инструмента, кинематикой его движения, возникающими вибрациями, упругими и пластическими деформациями в зоне резания, а также микрогеометрией режущих кромок инструмента.



Рис. 1. Стохастическая модель

При правильном подходе к выбору режимов резания и оборудования влияние вибрации на общую картину шероховатости значительно сокращается. Также современные тенденции приводят к применению высокоскоростной обработки [3], которая в свою очередь подразумевает сведение вибраций к минимальным значениям. В таких условиях подавляющее влияние на форму микронеровностей оказывает кинематико-геометрическое копирование профиля режущих кромок инструмента. С другой стороны при наличии зачищающих режущих кромок, параллельных обрабатываемой поверхности, формировалась бы идеальная плоскость, но под влиянием вибраций этого не происходит. Вибрации возникают из-за наличия переменных сил в зонах резания. Величина сил резания обусловлена свойствами обрабатываемого материала и условиями резания.

В соответствии с изложенным выше, центральное место занимает детерминированная модель процесса торцевого фрезерования, позволяющая прогнозировать параметры шероховатости поверхности на любом участке с учетом особенностей конструкции применяемого инструмента, влияния вибраций, свойств обрабатываемого материала и при широких диапазонах варьирования режимов резания. Модель имеет структуру изображенную на рис. 2.

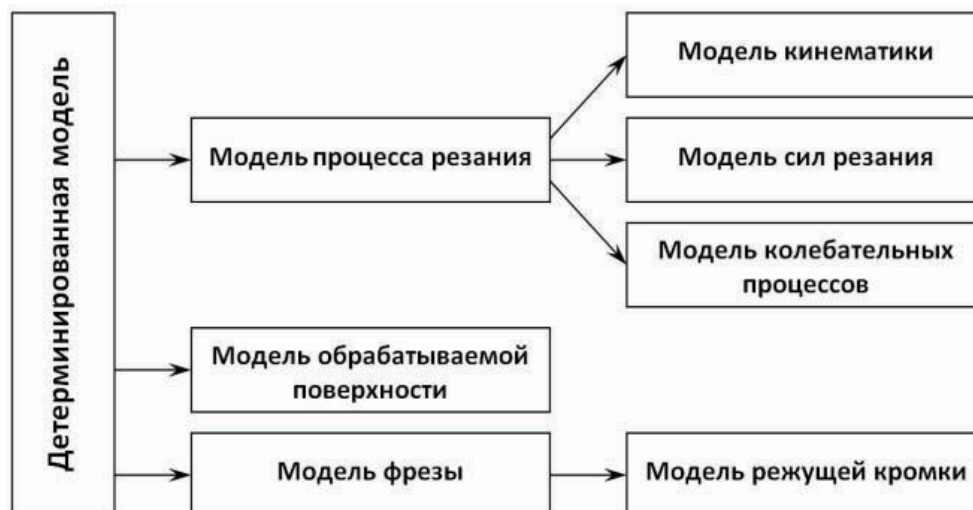


Рис. 2. Детерминированная модель

Детерминированная модель является имитационной, то есть развивается во временном интервале от начала фрезерования до завершения аналогично реальному процессу. Весь временной интервал поделен на достаточно маленькие промежутки времени. Также из достаточно мелких элементов состоят режущие кромки инструмента и обрабатываемая поверхность. Конкретные значения обусловлены требуемой точностью расчета.

Предлагаемая стохастическая модель дает возможность производить расчет плотностей распределения выходных параметров качества поверхности. Дальнейшая работа в этом направлении заключается в детальной разработке подмоделей входящих в общую структуру модели, а так же в реализации в виде программного обеспечения рассчитанного на применение в технологической подготовке производства.

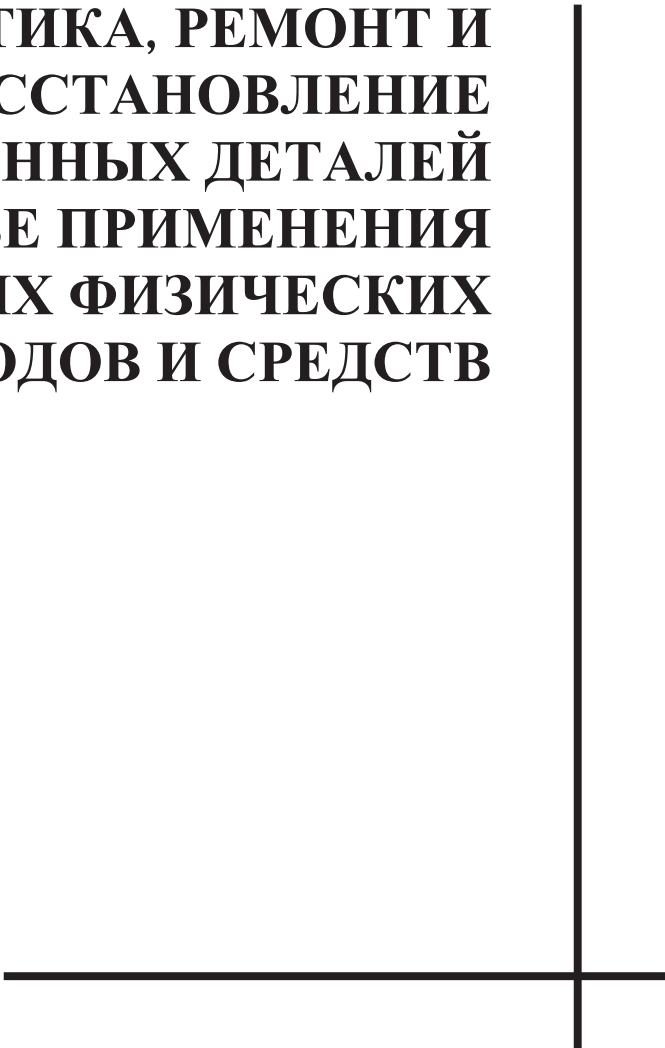
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонов С.Л., Татаркин Е.Ю. Конструирование моделей для расчета шероховатости и топографии обработанных поверхностей, «Ползуновский вестник» № 1-2 20
2. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного деталей. – М: Машиностроение, 1987. – 208 с.
3. Высокопроизводительная обработка металлов резанием. - М.: Издательство «Полиграфия», 2003. – 301с.



СЕКЦИЯ

**ДИАГНОСТИКА, РЕМОНТ И
ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ И СРЕДСТВ**



УДК 621.436

МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАР ТРЕНИЯ

А.В. Баранов, к.т.н. доц.т, В.А. Вагнер, д.т.н. проф.,
С.В. Тарасевич, к.т.н. доц., Ю.А. Баранова
Алтайский государственный технический университет им. И.И.
Ползунова, Барнаул, тел. +7(3852)29-08-74. E-mail: bar_a@mail.ru

Рассмотрен вопрос диагностики состояния трущихся поверхностей кинематических пар методом ультразвуковой акустической эмиссии.

The problem of diagnosing the rubbing surfaces of the kinematic pairs of ultrasonic acoustic emissions.

По статистике, самыми уязвимыми элементами энергонагруженных механизмов являются подвижные сопряжения их деталей. Рост энергонапряженности кинематических пар привел к тому, что многие из них работают на пределе несущей способности. Кроме того, изменение внешних и внутренних условий иногда спонтанно приводят к их необратимому повреждению. С другой стороны, во многих случаях, катастрофические последствия можно предотвратить, диагностируя проблемные пары трения, заранее выявляя относительно резкие или постепенные нарастающие сопутствующие эффекты ухудшения работы уязвимых мест с последующим, возможно автоматическим, принятием мер по предотвращению опасных явлений.

Существующие методы непрерывного контроля подвижных сопряжений, как правило, инертны и оценивают лишь интегральные характеристики фрикционных процессов, информируя о появлении патологических явлений как о свершившемся факте, не предупреждая о начале развития самого процесса заедания. Кроме того, реализовать процедуру контроля на реальных узлах, вне лабораторных условий, за редким исключением невозможно. Этим недостатком лишен метод контроля, основанный на анализе сигналов акустического излучения, поступающих непосредственно из зоны трения.

Цель данной работы – изложить нашу точку зрения в этом вопросе и обосновать сущность подхода к реализации указанного метода.

Экспериментальные исследования проводили на многофункциональной установке, разработанной нами, типа [1].

Физическая картина процесса генерирования и приема сигналов АИ представляется нам следующим образом.

При трении шероховатых поверхностей происходит эпизодическое деформирование контактирующих микронеровностей. Возмущения в виде деформационной волны распространяются по телу со скоростью звука и воспринимаются пьезодатчиком. Принимая во внимание множественность контактов и малое время существования единичных фрикционных связей ($10^{-4} \dots 10^{-6}$ с), а также производя предварительные оценки частоты вхождения микронеровностей в контакт, следует ожидать основную составляющую сигнала АИ в ультразвуковом диапазоне при частоте свыше 30 кГц, принятую нами за нижнюю частоту среза фильтров высокой частоты аппаратуры.

Исследуя экспериментальные графики амплитудно-частотных характеристик сигналов АИ в диапазоне 30 кГц...1 МГц, в условиях трения смазываемых стальных поверхностей, обнаружен значительный подъем амплитуды в области частот 80...100 кГц (рис. 1).

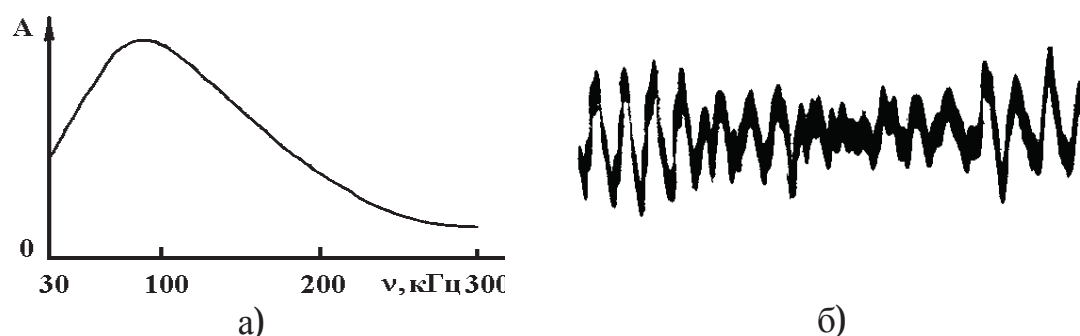


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика (а) и характерный вид (б) осциллограммы сигналов АИ (длительность развертки $2 \cdot 10^{-4}$ с)

Связь между фактическим давлением и уровнем амплитуд АИ непосредственно вытекает из принятой модели генерирования сигналов. Она должна быть линейной. С другой стороны, в поверхностном слое возникают не только нормальные, но и сдвиговые деформации, также создающие звуковые волны, однако иначе воспринимаемые пьездатчиком.

Для отыскания взаимосвязи между амплитудой АИ и фактическим давлением P , представляя взаимодействующие микронеровности сопряженных поверхностей как тела круговой формы, было использовано решение плоской задачи теории упругости о центральном контактировании двух упругих цилиндров по образующей [2]. Компоненты напряжений σ_x и σ_y на поверхности дискретного контакта в плоскости симметрии численно равны P_r , и являются главными. В общем случае главные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{1,2} = 0,5(\sigma_x + \sigma_y) \pm 0,5\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}$$

Учитывая, что $P = \sigma_1 \sigma_2$ и $\tau = \sigma_x$, где μ – коэффициент трения, получим выражение для σ_1 :

$$\sigma_1 = \left(1 + \frac{\tau}{\sigma_2}\right) \quad (1)$$

Так как величина $\frac{\tau}{\sigma_2}$ мала по сравнению с единицей, то можно допустить, что плоскость действия σ_1 параллельна поверхности трения. Относительная деформация согласно закону Гука в плоскости поверхностей трения будет пропорциональна величине σ_1 . При трении сопряженных поверхностей возмущения в виде импульсов деформаций, возникающих на дискретных пятнах контакта микронеровностей, распространяются со скоростью звука по телу трения и воспринимаются пьезопреобразователем. В силу этого должно наблюдаться подобие между амплитудой импульсов деформаций, регистрируемой аппаратурой, и значением величины, получаемой в правой части выражения (1):

$$A \sim P^{1/2}$$

Косвенным подтверждением этого положения могут являться результаты следующих экспериментов.

При установившемся режиме трения без смазочного материала приработанных поверхностей, в целях исключения реорганизации поверхностного слоя, производили быстрое снятие нагрузки с последующим быстрым нагружением сопряжения до прежнего значения (рис. 2, 3).

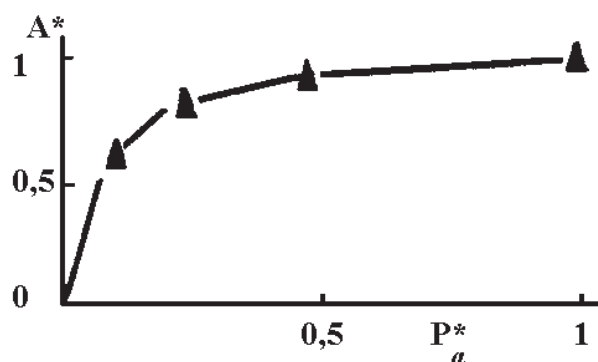


Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды АИ от относительного номинального давления

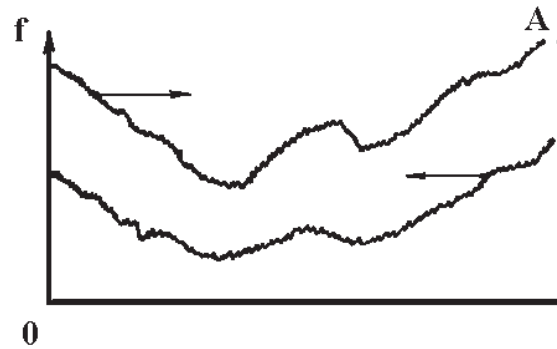


Рис. 3. Изменения амплитуды АИ и коэффициента трения при изменении условий смазывания

Полученные кривые (рис. 2) имеют вид степенной функции $A \sim P_a^{\nu}$, где значение ν по результатам обработки результатов нескольких экспериментов составило величину 0,13...0,16, что примерно

соответствует теоретическим значениям - 0,14 [3], для приработанных поверхностей.

Экспериментальным путем также подтвердилась качественная связь между средней амплитудой АИ и коэффициентом трения (рис. 3).

Таким образом, получая информацию о частоте и амплитуде АИ, используя аналоговую технику, можно фактически мгновенно судить о состоянии процессов на дискретных пятнах контакта.

На рис. 4 показано характерное изменение средней амплитуды АИ в функции времени приработки. Здесь можно выделить два периода. В первом периоде (участок I) при высоком значении амплитуд АИ наблюдаются их значительные колебания. Это вызвано тем, что в зоне фрикционного контактирования из-за больших начальных локальных давлений, протекают процессы упругопластического деформирования. При этом, по мере формирования граничных слоев, временами появляются ювенильные участки поверхностей, которые вызывают микросхватывания, характеризующиеся резкими мгновенными падениями переходного электросопротивления и соответствующими всплесками амплитуд импульсов АИ. По мере упрочнения поверхностного слоя и формирования вторичных структур через некоторое время наступает второй период (участок II), характеризующийся постепенным уменьшением амплитуд с незначительным колебанием их значений. Первый период непродолжителен, но всегда присутствует, даже при исследовании полностью приработанных поверхностей при повторных включениях установки.

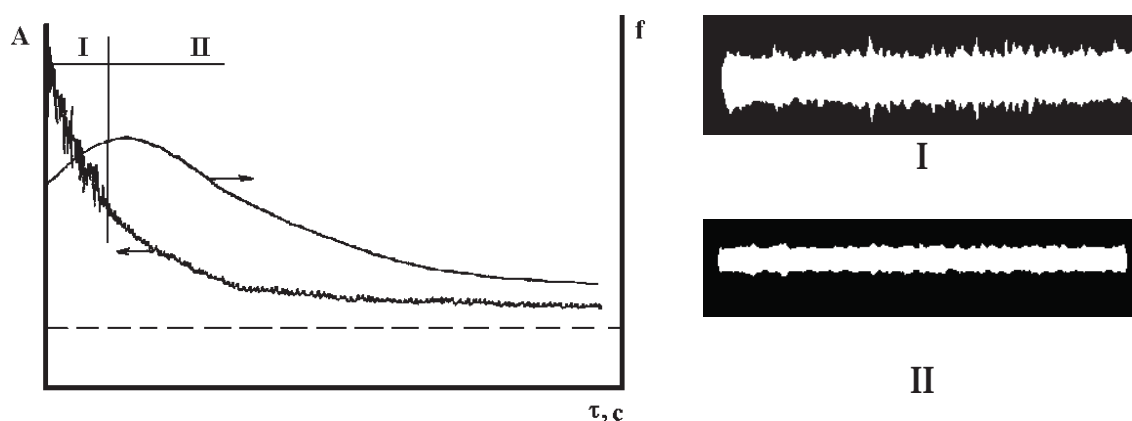


Рис. 4. Зависимость средней амплитуды АИ от времени приработки и внешний вид осциллограмм на соответствующих участках (длительность развертки $2 \cdot 10^{-3}$ с)

В серии экспериментов также исследованы предзадирные состояния сопряжений, близкие к развитию заедания. Они характеризуются возникновением отдельных высокоэнергетических

пиков на осциллограмме (рис. 5, а), частота возникновения которых иногда очень быстро, а иногда постепенно возрастает. Далее наступает необратимый процесс схватывания поверхностей с соответствующим видом осциллограммы (рис. 5, б).

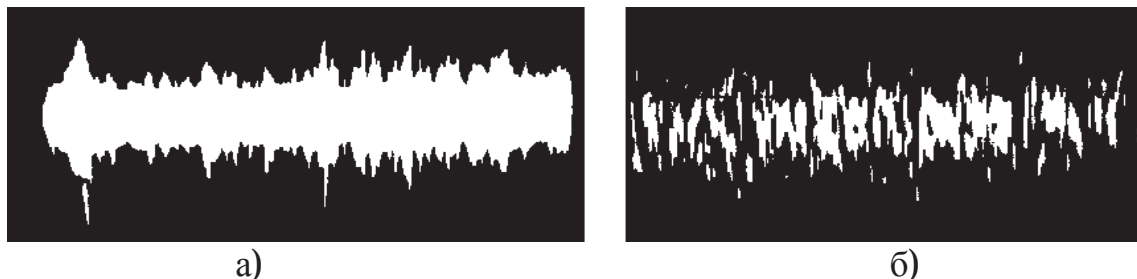


Рис. 5. Осциллограмма, начала, развития (а) и самого процесса (б) заедания

При заедании изменяется также и спектральный состав АИ. Основная часть энергии излучения смещается в низкочастотную область.

В заключении, можно выделить несколько особенностей, открывающих широкую возможность применения метода на практике.

- Используя диапазон ультразвуковых частот, удается полностью отфильтровать сигналы технологических шумов, не связанных с работой пар трения.
- Благодаря значительному поглощению материалами ультразвука, открывается возможность выделять сигналы наиболее интересующей пары трения, располагая датчики в непосредственной близости к фрикционной зоне.
- Установка датчиков, как правило, не вызывает затруднений, связанных с переделкой конструкции узла. Акустическая связь может быть осуществлена даже с движущимися объектами через тонкий слой жидкости (например, масла).
- Имеется возможность автоматического контроля и принятия решения управления режимом, в том числе с применением вычислительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов, А.В. Акустические исследования работы трибосопряжений, смазываемых пластичными смазочными материалами / А.В. Баранов, В.М. Лебедев, // Долговечность трущихся деталей машин. - М: Машиностроение. – 1988.- №3.- С. 234-243.
2. Александров, В.М. Контактные задачи в машиностроении / В.М. Александров, Б.Л. Ромалис. - М.: Машиностроение. – 1986. - 176 с.

3. Криштал, М.М. Спектральные и энергетические характеристики акустической эмиссии при трении и износе / М.М. Криштал, Д.Л. Мерсон, А.В. Чугунов // Тяжелое машиностроение. – 2007.- №12. – С. 14-18.
4. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. -М: Машиностроение. - 1977. -526 с.
5. Баранов, А.В. Высокочастотная акустическая диагностика работы пар трения / А.В. Баранов, В.А. Вагнер // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин. - Барнаул: АГТУ. - 2000. - № 2. - С. 87-89.

УДК 621.983

СПОСОБЫ СТЕСНЕННОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

А.С. Бубнов, к.т.н.

Иркутский государственный технический университет
Иркутск, тел. +7(3952) 40-52-76. E-mail: bubnov@irk.ru

Рассмотрены способы стесненного деформирования, их применение и возможности использования при ремонте и восстановлении ответственных изделий.

Ways of the constrained deformation, their application and use possibilities are considered at repair and restoration of responsible products.

В настоящее время технологическое оборудование машиностроительного, энергетического, металлургического, химико-технологического и других производств эксплуатируется, в основном, по системе плано-предупредительного ремонта. К недостаткам этой системы следует отнести большие эксплуатационные затраты, связанные с необходимостью остановок производств, слабая связь ремонтных работ с фактическим состоянием оборудования, отсутствие оперативного реагирования на возникновение внештатных ситуаций. В этой связи перспективным путем решения данной проблемы является применение и внедрение перспективных методов ремонта, например с использованием стесненного деформирования.

Объемные схемы напряженного состояния имеют место при истечении, осаживании, вдавливании, прокатке, волочении, растяжении (после образования шейки). При истечении наиболее часто используется схема объемного всестороннего сжатия, при этой схеме благоприятно проявляются пластические свойства материала, но значительно повышается сопротивление деформированию. При осаживании схема объемного сжатия реализуется только в центральных областях заготовки, а в периферийных - линейное сжатие (и даже могут возникнуть растягивающие напряжения). В случае открытого вдавливания схема объемного сжатия будет возникать под прошивнем, а

в кольцевом объеме могут возникать растягивающие напряжения. При прокатке, в середине полосы, характерна схема объемного неравномерного сжатия, а боковые кромки подвержены воздействию растягивающих напряжений. Волочение - процесс протягивания, при котором одно главное нормальное напряжение является растягивающим, два других – сжимающими [1].

Экспериментально доказано большое влияние напряженного состояния на пластичность и сопротивление деформированию. На пластичность влияют следующие факторы напряженного состояния:

Шаровой тензор. С увеличением шарового тензора сжатия пластичность сплава увеличивается. Шаровой тензор растяжения приводит к уменьшению пластичности.

Растягивающие напряжения. Приводят к значительному уменьшению пластичности, в особенности при наличии в сплавах дефектов и хрупких фаз, расположенных по границам зерен.

Концентраторы напряжения. Приводят к увеличению неравномерности напряженного состояния, увеличению растягивающих напряжений.

Особые точки. Особые точки образуются в местах перехода контактных зон инструмента и металла при сжатии образца между плоскими бойками (точки пересечения контактной и свободной боковой поверхностей).

Т. Карман исследовал влияние всестороннего давления на пластичность мрамора и песчаника. При простом сжатии они разрушаются без заметной деформации. Однако в случае приложения всестороннего давления обнаруживают пластичность (рис. 1), причем чем выше давление, тем больше пластическая деформация. Одновременно возрастает и сопротивление деформированию [1].

При создании схемы объемного сжатия затрудняются межкристаллические перемещения, которые обуславливают начало разрушения. Объемное неравномерное сжатие имеет место при таких процессах обработки давлением, как: прямое и обратное прессование, листовая и сортовая прокатка, объемная штамповка.

Некоторые кольцевые детали газотурбинных двигателей в основном изготавливают из раскатных кольцевых заготовок. Получение таких деталей из листовых профилей с малыми внутренними радиусами и утолщением материала в зоне сопряжения плоскостных поверхностей позволяет значительно уменьшить трудоемкость и металлоемкость их изготовления.

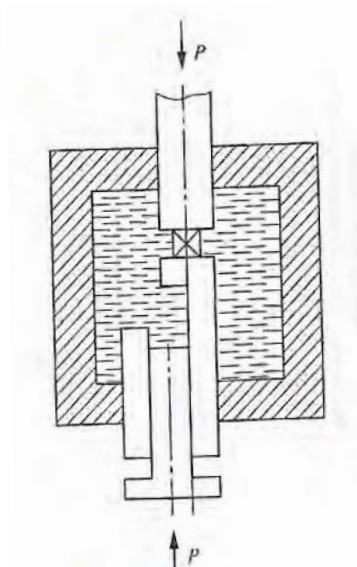


Рис. 1. Схема сжатия мрамора по Т. Карману

Если в зоне деформирования, помимо напряжений и деформаций, связанных с обычным изгибом, будут действовать дополнительные напряжения сжатия, то в сечении этой зоны будет наблюдаться смещение нейтрального слоя напряжений и деформаций в сторону меньшей кривизны (рис. 2). Это приведет к уменьшению величины деформаций и напряжений крайнего наружного волокна. В свою очередь, в зоне тангенциально сжатых волокон возникнут деформации растяжения в радиальном направлении, увеличивающие толщину материала в зоне изгиба, а в зоне тангенциально-растянутых волокон - деформации сжатия, уменьшающие толщину материала в зоне изгиба. Вследствие того, что деформаций растяжения материала в радиальном направлении больше деформаций сжатия, в зоне изгиба будет преобладать увеличение толщины материала [2].

Для создания дополнительных напряжений сжатия в зоне деформирования разработан новый способ, названный стесненным изгибом. Этот способ применяется при сжатии материала в тангенциальном направлении зоны деформирования в процессе формообразования угла на относительный радиус меньше допустимого [2].

Стесненный изгиб выполняется посредством сжатия полок и стенки в процессе формообразования угла на радиус меньше допустимого и после формообразования угла на радиус больше допустимого. Кроме того, его можно осуществлять, создавая оптимальные напряжения сжатия в плоской исходной заготовке с сохранением их величины в процессе изгиба, напряжения сжатия с

увеличением их в процессе изгиба и напряжения сжатия в плоском образце с увеличением их в процессе изгиба.

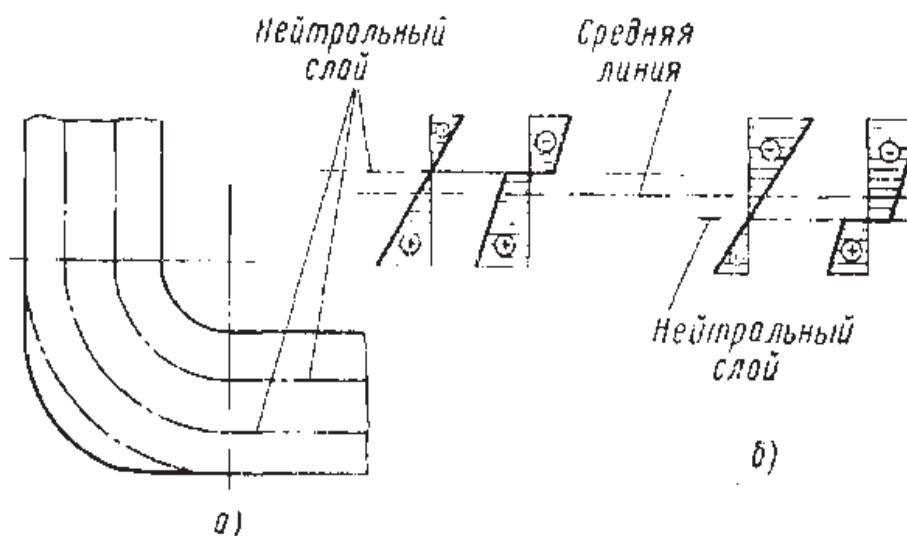


Рис. 2. Распределение напряжений и деформаций: а - при обычном изгибе; б - при изгибе с дополнительными деформациями и напряжениями сжатия

Стесненный изгиб применялся при протягивании, прокатывании, штамповке и деформировании в кромкогибочном устройстве [2]. Проведенные эксперименты свидетельствуют о возможности изгиба малопластичных материалов с радиусом в несколько раз меньше допустимого, с увеличением толщины материала в зоне деформирования.

Производство маложестких цилиндрических деталей, к которым относятся валы, оси, штанги – сложный многооперационный технологический процесс, в котором действуют различные факторы, влияющие на формирование качества продукции. Поэтому для внедрения в производство операции правки стесненным сжатием, определено её влияние на технологические показатели процесса. Главными кинематическими движениями при правке стесненным сжатием является радиальное и осевое сжатие заготовки [3].

Принципиальная схема процесса представлена на рис. 3. Для выправления детали необходимо изогнуть её в радиальном направлении до прямолинейного состояния, а затем создать сжимающее осевое напряжение, которое на 5-7% превышает предел текучести материала.

Экспериментально установлено, что радиальное воздействие при правке стесненным сжатием оказывает слабое влияние на изменение напряженного состояния цилиндрических деталей. Осевое напряжение,

необходимое для правки сжатием, должно быть на 5-7% больше предела текучести материала детали.

В результате экспериментальных исследований определено влияние процесса правки стесненным сжатием на изменение физико-механических свойств материала детали. Установлено, что при правке ударная вязкость уменьшается на 2-4%, пластичность снижается на 20-30%, предел прочности материала увеличивается на 3-10%, а исходные остаточные напряжения снижаются в 40-50 раз.

Внедрение в промышленность способов стесненного деформирования позволяет снизить вес конструкции, выполненной на 10-15%, повысить коэффициент использования материала для маложестких деталей и расширить область применения деталей в конструкциях.

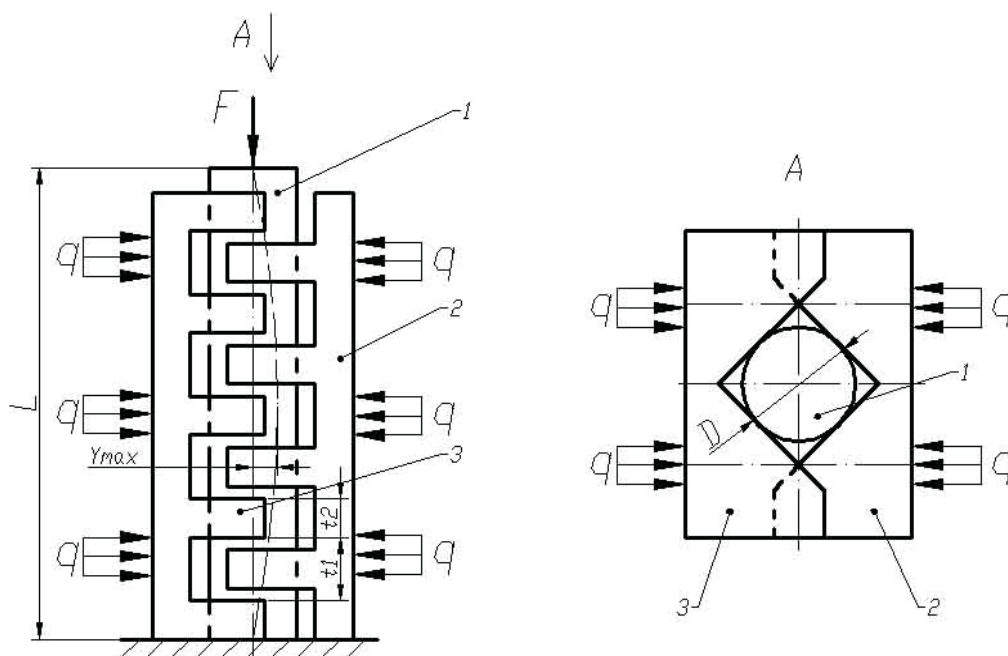


Рис. 3. Схема правки мало жестких цилиндрических деталей стесненным сжатием: 1 - деталь; 2, 3 - призмы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов И.И., Соколов А.В. Основы теории обработки металлов давлением: учебник. – М: Форум: Инфра-М, 2007. - 144 с.
2. Проскуряков Г.В. Стесненный изгиб // Авиационная промышленность. - 1963.- № 12. С. 9-13.
3. Зайдес С. А., Бубнов А. С. Конечно-элементный анализ правки мало жестких стержневых изделий стесненным сжатием // Непрерывные процессы обработки давлением: труды Всероссийской научно-технической конференции. - М: МГТУ. – М., 2004. – С. 407- 411.

УДК 681.5.015:621.431.001.4

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.В. Голикова, к.т.н., Е.Л. Первухина, д.т.н., проф.
Севастопольский национальный технический университет,
Севастополь, тел. (0692) 435161. E-mail golikova.victoria@gmail.com

Для обработки измерительной информации на стадии испытаний предлагается использовать методы многомерного статистического анализа, что позволяет установить динамические зависимости между параметрами.

The methods of multivariate statistic analysis are used to process measuring information during industrial testing. It allows to determine dynamic dependences between the parameters.

Для эффективного решения основных задач приемосдаточных и контрольных испытаний машиностроительных изделий, т.е. оценки их технического состояния, необходимы математические модели, учитывающие, в том числе, статистические или функциональные связи между структурными и диагностическими параметрами [1]. В ходе испытаний экспериментальные данные поступают в виде случайных последовательностей измерений параметров. Однако в научной литературе отсутствуют примеры использования методов анализа получаемых случайных последовательностей, или временных рядов (во временной или частотной областях) для оценки технического состояния машиностроительных изделий.

В работе для обработки измерительной информации на стадии испытаний предлагается использовать современные методы многомерного статистического анализа, которые, в отличие от традиционных методов, менее чувствительны к недостатку априорной и искажениям измерительной информации и учитывают нестационарность исследуемых последовательностей. Для подтверждения возможности использования методы дополняются спектральным анализом. Сочетание методов позволяет установить статистические зависимости между параметрами, которые могут быть использованы в ходе испытаний для повышения их эффективности.

Рассмотрим процесс изменения эффективной мощности $P_{\text{эф}}$, кВт, в зависимости от изменения часового расхода топлива $G_{\text{ч}}$, кг/час при увеличении частоты вращения коленчатого вала с 1500 до 5500 об/мин в ходе контрольных испытаний карбюраторного двигателя внутреннего

сгорания. Эффективная мощность достигает своего максимума при высокой частоте вращения. При неизменном положении дроссельной заслонки с ростом частоты вращения скорость потока воздуха в диффузоре карбюратора увеличивается, и, соответственно, растет часовой расход топлива. Некоторое замедление роста при большой частоте вращения связано с уменьшением коэффициента наполнения. Данные параметры обладают сильной корреляционной зависимостью, коэффициент корреляции между этими параметрами $= 0.978$.

Спектральные функции исследуемых случайных процессов характеризуют разложение их автокорреляционных функций в ряд Фурье. Пики значений и соответствующие им периоды изображены на периодограмме, отражающей распределение дисперсии наблюдаемого случайного процесса между различными гармоническими компонентами. На периодограмме приведенной эффективной мощности виден один четкий пик на частоте около 0.11 Гц , соответствующей значению 9 периода (рис.1). Поскольку измерения снимают каждую минуту, предполагается существование 9-минутного цикла периодичности наблюдаемого процесса.

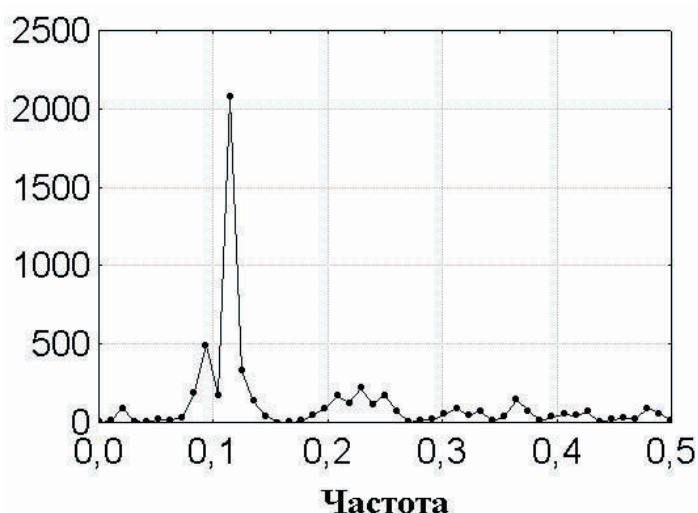


Рис. 1. Периодограмма приведенной эффективной мощности

На периодограмме случайного процесса часового расхода топлива также виден четкий пик на частоте 0.11 Гц , соответствующей значению 9 периода (рис. 2).

Для получения адекватного описания случайных процессов использована методология ARMA (авторегрессии-скользящего среднего) моделирования [1]. По результатам анализа автокорреляционной функции (ACF) и частной автокорреляционной функции (PACF) выбрана периодическая мультипликативная ARMA $(1,1,0) \times (1,1,0)_9$ модель. Параметры в скобках означают порядок модели:

число непериодических и периодических параметров авторегрессии и скользящего среднего, а также порядок используемых разностей, период. Полученная на первом шаге исследования модель имеет структуру:

$$(1 - \Phi_1)(1 - \Phi_9) \nabla_9 = \varepsilon, \quad (1)$$

где ε – наблюдаемая случайная последовательность, ε – стационарный случайный процесс с нормальным распределением, Φ – коэффициенты.

Случайный процесс описывается моделью:

$$(1 + 0.092_{(0.143)})(1 - 0.029_{(0.145)} \nabla_9) \nabla_9 = \hat{\varepsilon}. \quad (2)$$

Для проверки адекватности модели (2) исходным данным рассчитываются функции от случайных величин, или статистики. Значение так называемой статистики Дурбина-Уотсона = 1.8 и статистики Льюнга-Бокса $(19 - 2) = 26.73$ с уровнем значимости, равным 0.06, свидетельствуют об отсутствии автокорреляции ошибок оценивания всех коэффициентов модели (2) [1]. Оценка коэффициентов, -статистика в скобках, $\Phi = -0.092(-0.630)$ и $\Phi = 0.029(0.198)$ значимы (т.е. соизмеримы с табличными значениями).

Модель случайного процесса имеет вид:

$$(1 + 0.270_{(0.138)})(1 - 0.240_{(0.131)} \nabla_9) \nabla_9 = \hat{\varepsilon}. \quad (3)$$

Значение статистики Дурбина-Уотсона = 1.8 и статистики Льюнга-Бокса $(19 - 2) = 26.99$ с уровнем значимости равным 0.06 отражают независимость ошибок оценивания коэффициентов модели (3). Оценка коэффициентов, -статистика в скобках, $\Phi = -0.270(-1.964)$ и $\Phi = 0.240(1.832)$ значимы.

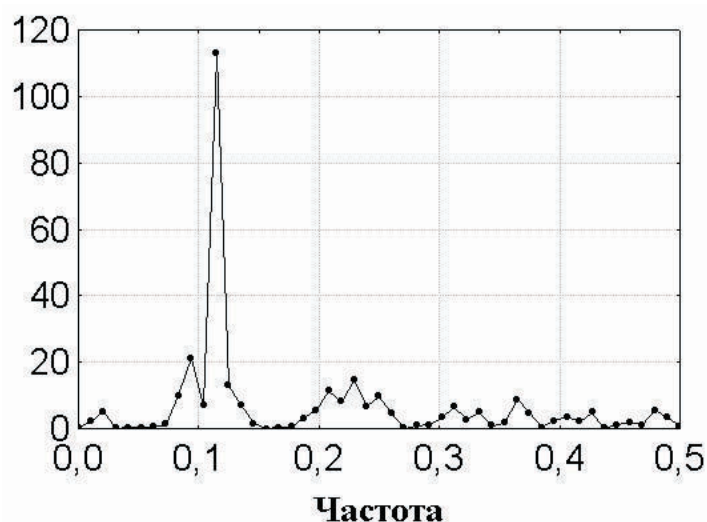


Рис. 2. Периодограмма часового расхода топлива

Формирование значений элементов случайного процесса происходит под воздействием факторов, среди которых выделяют 3 основных типа, другими словами, случайный процесс можно разложить на составляющие:

$$() = TC() + () + (), \quad (4)$$

где $()$ – тренд-циклическая (неслучайная) составляющая, $()$ – периодическая составляющая, $()$ – нерегулярная (случайная) составляющая. Модель (4) аддитивна. Мультипликативная модель имеет вид:

$$() = TC() \cdot () \cdot (). \quad (5)$$

При наличии явной периодичности модели случайных процессов и раскладываются на составляющие компоненты. Для анализа процессов использован метод классической периодической декомпозиции (метод *Census 1* [2]), цель которой состоит в том, чтобы получить оценки периодической, тренд-циклической и нерегулярной составляющих. Периодическая компонента используется для получения процесса с периодической поправкой (без периодической составляющей), т.е. для оценки процесса после того, как из него будут удалены колебания, обоснованные сменой режима работы двигателя. В качестве модели выбрана мультипликативная модель с лагом, определяемым по результатам спектрального анализа, т.е. равным 9.

Методом коинтеграционного анализа, подробно описанного в работе [3], между скалярными скорректированными последовательностями установлена статистическая зависимость

$$\hat{o} = 0.54 + 2.83, \quad (6)$$

(0.621) (0.829)

отличающаяся от обычной регрессионной зависимости тем, что характеризует общую динамику параметров, в том числе при изменении режимов работы двигателя в ходе испытаний.

График рис. 3 иллюстрирует удовлетворительное совпадение результатов моделирования с реальными данными.

Предложенный подход к обработке измерительной информации в ходе приемосдаточных и контрольных испытаний машиностроительных изделий сочетает традиционный спектральный и до сих пор не используемый для решения технических задач коинтеграционный анализ. Установленные статистические взаимосвязи между параметрами представляют основу для решения задач оценки состояния сложных машиностроительных по информативным параметрам при автоматизации производственных испытаний.

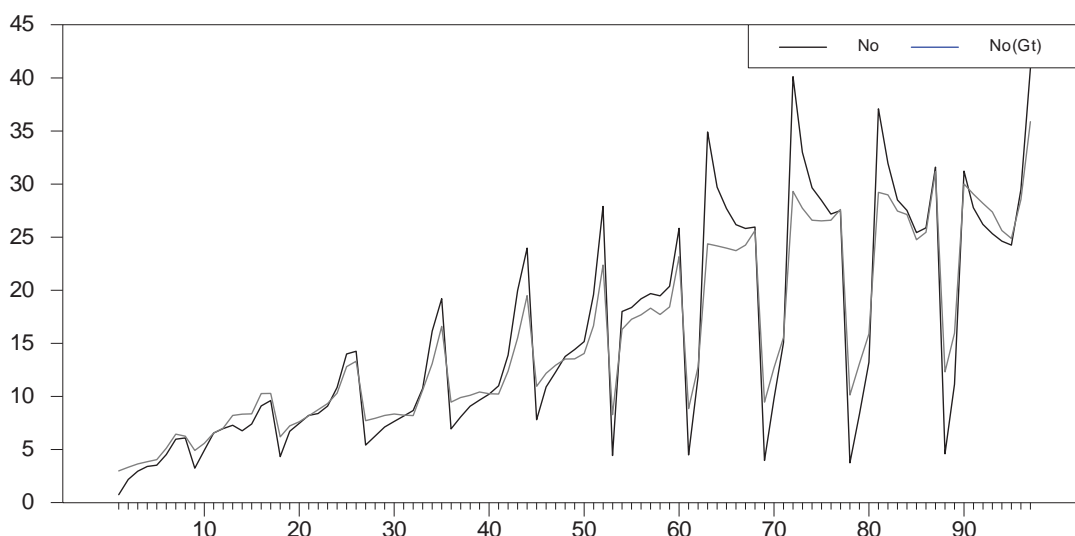


Рис. 3. Измеренные и моделированные значения эффективной мощности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Box G.E. Time Series Analysis, Forecasting and Control / G.E. Box., G.M. Jenkins, G.C. Reinsel. – New Jersey: Prentice Hall, 1994.–598p.
2. Makridakis, S.G., Wheelwright, V., McGee, E. Forecasting: methods and applications. New York ets.: Wiley, 1983.
3. Первухина Е. Л. Анализ нестационарных случайных процессов в задачах автоматизации производственных испытаний машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, В.В. Голикова // Сборка в машиностроении, приборостроении, Москва, 2007. – №8. – С.29 – 35.

УДК 621.9.06

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МАШИН И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЗАДАЧ ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

С.А. Добрынин, д.т.н., проф., В.Н. Суслов, Г.И. Фирсов
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
Москва, тел. +7(495) 624-00-72. E-mail: firsovgi@mail.ru

Рассматриваются задачи экспериментальной динамики машин, решаемые на этапах проектирования, доводки и диагностики машин и машиностроительных конструкций. Выполнен анализ использования метода аналитического сигнала для оценки модальных параметров динамической системы и выявления нелинейных свойств упругой конструкции.

The basic tasks of the dynamic tests of machines at different stages of their design, production, finishing and operation are represented, and the obtained with the aid of the

theory of analytical signal interconnections between the elastic and dissipative parameters of machine parts and their influence on the frequency characteristics are also given.

По мере усложнения объектов машиностроения применение расчетных методов математического описания все более дополняется экспериментальным изучением для получения достаточно точной и полной информации об объекте. Это обусловлено тем, что, во-первых, результаты экспериментальных исследований служат основной исходной информацией для решения задачи идентификации сложных механических систем, априорное построение математических моделей которых весьма трудоемко, недостаточно точно и не всегда возможно. При этом экспериментальное изучение наблюдаемых явлений позволяет оценить результаты исследований с точки зрения проверки методов расчета и математического моделирования.

Во-вторых, на основе экспериментальных исследований получают объективную оценку динамического качества образца и группы образцов, производят сравнение испытываемых машин, а также выявляют эффективность реализованных конструктивных мероприятий, что позволяет рассматривать экспериментальные исследования как важнейшую часть испытаний и контроля качества создаваемой продукции.

Современная экспериментальная динамика машин является теоретической основой тех стадий машиностроительного производства, которые связаны с динамическими испытаниями, аттестацией и контролем машин и их элементов. На начальном этапе проектирования машины в первую очередь представляется важным получение сведений о внешних нагрузках и условиях эксплуатации, что позволяет обосновать расчетные условия и уточнить исходные данные для САПР. На этапе технического проектирования и создания опытного образца (машины-прототипа) удельный вес экспериментальных исследований существенно возрастает, а основная задача сравнительных испытаний с целью совершенствования конструкции может быть сформулирована следующим образом: оценка динамического качества машины. Сюда относятся вопросы объективной оценки кинематических и динамических параметров, внешних воздействий, модальный анализ конструкции, анализ виброактивности, идентификация математической модели объекта и действующих возмущений, анализ взаимосвязи динамических параметров и выходных характеристик машины. На этапе серийного производства и эксплуатации парка машин основная задача испытаний с целью контроля качества и ресурса состоит в аттестации паспортных динамических характеристик; вибродиагностике оборудования с целью проверки качества изготовления, настройки,

ремонта, перехода на обслуживание по техническому состоянию, обеспечения автоматизированной работы оборудования; оценке надежности оборудования и прогнозирования срока службы путем динамических испытаний [1].

Для удовлетворения той или иной потребности человека каждое изделие должно обладать качеством, соответствующим его назначению. Для каждой группы машин соответствующие технические показатели в более конкретной форме, например в виде выходных (паспортных) характеристик, дают оценку качества функционирования объекта. Прямая или косвенная оценка выходных характеристик может выполняться путем измерения различных параметров машины в известных условиях эксплуатации. С точки зрения вредных вибраций, ухудшающих работу техники, можно рассмотреть по отдельности влияние вибраций на технические показатели машины и влияние условий работы машины на проявление динамики. Влияние вибраций на работу машин может быть весьма разносторонним. Так, например, вибрация, сопровождающая работу машины, искажает кинематическое движение механизмов и вызывает циклические кинематические погрешности; дополнительное виброперемещение инструмента относительно заготовки в зоне резания станков вызывает погрешности обработки в виде погрешности формы и шероховатости поверхности; виброперемещение элементов конструкции влияет на их напряженно-деформированное состояние и на условия контактирования, что приводит к поломкам, усталостным повреждениям, интенсификации износа поверхностей, нарушению технологической надежности, развинчиванию резьбовых соединений и т. п. Из-за вредного влияния вибраций для обеспечения заданных показателей качества продукции приходится снижать производительность работы оборудования, что приводит к потерям мощности и экономическим потерям. Вибрация и шум оказывают также вредное влияние на организм человека.

С другой стороны, рассматривая влияние условий работы машины на ее динамическое поведение, в первую очередь можно выделить влияние скоростных кинематических показателей, которые определяют частотный спектр воздействий на систему. Вместе с тем увеличение нагрузок и мощностей приводит к увеличению интенсивности спектра воздействий. Изменение параметров и режимов работы машины и рабочих процессов приводит к соответствующему изменению динамических характеристик, уровня и частотного состава вибраций. Экономия конструкционных материалов при росте требований к точности и надежности машин приводит к повышению роли жесткости и динамических явлений.

Учет динамического поведения машины при оценке качества ее работы в настоящее время приобретает все большее значение. Это связано со сложностью и интенсификацией режимов современных технических объектов, содержащих динамические системы с обратными связями, рабочие процессы в приводах и соединениях, взаимодействующих с окружающей средой. Работа реальной машины всегда сопровождается вибрационными явлениями и случайными возмущениями в широком спектре частот. Создание оптимальной конструкции при противоречивых показателях (критериях) приводит к компромиссу, для которого особое значение имеет объективная оценка предельных с точки зрения динамики состояний машины.

Это значит, что, во-первых, должны применяться четкие понятия о количественных показателях динамического качества машины, позволяющие ответить на вопрос: насколько хорошей или насколько плохой получилась данная модель. Во-вторых, процесс получения этой ценной информации должен быть достаточно простым, чтобы не усложнять и не тормозить основную созидательную деятельность конструктора. Поэтому представляют интерес экспериментальные экспресс-методы автоматизированного исследования динамики (идентификации) систем. В ходе такого экспериментального изучения объекта обычно ставятся и решаются задачи оценки его качества с целью дальнейшего совершенствования конструкции: анализ устойчивости и вынужденных колебаний системы; определение показателей динамического качества; сравнение с требуемыми показателями; разработка рекомендаций по совершенствованию конструкции; оценка эффективности конструктивных рекомендаций. Решение этих задач обычно проводится по следующим этапам экспериментального исследования динамики систем [2].

1. Определение динамической податливости системы, например, в виде амплитудно-фазовой частотной характеристики (АФЧХ), содержащей информацию о собственных частотах, величине жесткости и декрементов колебаний, позволяет оценить запас устойчивости и параметры обратной связи замкнутой динамической системы и дает объективную оценку фактического динамического состояния исследуемого образца машины. Другими словами, это констатация определенных динамических свойств конструкции машины. Для улучшения конструкции необходимо выявить пути уменьшения динамической податливости (повышения динамической жесткости).

2. Построение собственных форм колебаний определяет доминирующий (наиболее податливый) элемент конструкции, показывает баланс виброперемещений различных элементов, а также определяет во многом структуру математической модели исследуемой

колебательной системы. Благодаря графическому построению форм колебаний удастся выявить наиболее слабые элементы и разработать рекомендации по улучшению конструкции. Чтобы принять то или иное решение по изменению конструкции, необходимо оценить величину положительного эффекта в каждом случае с точки зрения повышения показателей динамического качества объекта. Оценка эффективности рекомендаций до их реализации в опытном образце может быть получена только с помощью математической модели колебательной системы.

3. Разработка математической модели динамической системы, отражающей инерционные, упругие, диссипативные свойства системы, взаимосвязь различных движений, а также внешние воздействия, позволяет оценить эффективность конструктивных рекомендаций и выбрать наиболее оптимальный вариант новой конструкции машины.

Использование для решения задач динамики и диагностики машин информации о мгновенных амплитуде и частоте [3], позволяет построить различные алгоритмы восстановления упругих и диссипативных характеристик [4, 5]. В частности, сравнивая решения для моделей частотно-зависимого (вязкого) и частотно-независимого трения [1], можно сделать следующие выводы. В обоих случаях свободные колебания линейных систем затухают по экспоненте, и поэтому различить их не представляется возможным. Частота свободных колебаний при вязком трении на доли процента меньше, а при частотно-независимом трении больше, чем собственная частота системы. Однако ввиду малости этого различия, его не представляется возможным использовать для практического выявления механизмов диссипации колебаний. Чтобы выявить тонкие особенности сил трения необходимо выполнить анализ свободных колебаний с изменением собственной частоты системы, например, за счет вариации массы или упругости, либо за счет собственно нелинейных упругих сил. При этом если с изменением собственной частоты будет наблюдаться пропорциональное изменение коэффициента демпфирования, а декремент останется постоянным, то имеет место частотно-независимое трение. И наоборот, если коэффициент демпфирования не меняется, а декремент обратно пропорционален частоте, то наблюдается частотно-зависимое (вязкое) трение. В соответствии с природой сил трения рассмотренные показатели демпфирования могут более сложным способом зависеть от амплитуды и частоты колебаний. В частности известно, что декремент колебаний деталей машин существенно зависит от амплитуды колебаний. В этом случае уравнение свободных колебаний системы с одной степенью свободы можно записать в виде:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 (\delta^{-1} j / \pi + 1) x = 0, \quad \text{где } \omega_0 - \text{собственная частота, } \delta -$$

логарифмический декремент колебаний, A - мгновенная амплитуда, и в результате его решения получаем нелинейную зависимость мгновенного декремента от амплитуды: $\delta(A) = -\dot{A}/A = \delta^{-1}$, где $\omega = \dot{\psi}/2\pi$ - мгновенная частота свободных колебаний. Итак, благодаря тому, что нелинейные диссипативные и упругие силы совершенно различным способом влияют на собственные колебания: диссипация энергии приводит к своеобразному уменьшению мгновенной амплитуды, а упругость связывает определенной зависимостью частоту и амплитуду колебаний, открываются возможности выявления нелинейных характеристик колебательной системы при импульсном воздействии.

Рассмотренные вопросы экспериментального анализа динамических процессов и систем непрерывно развиваются и успешно применяются при исследовании различных машин, в том числе промышленных роботов, металлорежущих станков, энергетического оборудования и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного анализа вибрации машин. - М.: Машиностроение, 1987. - 221с.
2. Добрынин С.А., Жирнов А.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Развитие и применение методов автоматизированного анализа сигналов в экспериментальной динамике машин // Научные проблемы машиностроения. - М.: Наука, 1988. - С.249-259.
3. Feldman M.S. Hilbert Transform Applications in Mechanical Vibrations. - Chichester: Wiley, 2011. - 292 p.
4. Добрынин С.А., Суслов В.Н., Фирсов Г.И. Проблемы динамических испытаний мехатронных систем привода прецизионного технологического оборудования: Оценка демпфирующих характеристик системы // Прогрессивные технологии в современном машиностроении. - Пенза: Пензенская гос. технол. академия, 2005. - С.3-8.
5. Александрова М.Ю., Добрынин С.А., Фирсов Г.И. Проблемы динамических испытаний мехатронных систем привода прецизионного технологического оборудования: Оценка нелинейных упругих характеристик системы // Прогрессивные технологии в современном машиностроении. - Пенза: Пензенская гос. технол. академия, 2005. - С.8-13.

УДК 621.923.001.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОКРАЩЕНИЯ ЧИСЛА ПРОХОДОВ ПРИ НАРУЖНОМ БЕСЦЕНТРОВОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ С НЕИЗМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

С.А. Добрынин, д.т.н., проф., В.Н. Суслов, Г.И. Фирсов
Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН
Москва, тел. +7(495) 624-00-72. E-mail: firsovgi@mail.ru

В докладе получены приближенные аппроксимационные зависимости для глубины проникновения тепла от величины снимаемого припуска для режимов чернового и чистового бесцентрового шлифования наружных поверхностей колец подшипников, с помощью которых удастся оценить количество проходов и выбрать число станков в автоматической линии.

In the report are obtained the approximate dependences for the heat penetration from the amount of the removed allowance for conditions of the rough and clean centerless grinding of the external surfaces of the rings of the bearings, with the aid of which it is possible to estimate a quantity of passages and to select the number of machine tools in the automation line.

Автоматизация производства, диагностики и управления производственными процессами в машиностроении требует формализации описания технологических переходов с точки зрения достижения требуемых параметров качества как точностных, так и обуславливающих свойства поверхностных слоев детали [1, 2]. При наружном бесцентровом шлифовании колец подшипников обеспечение качества поверхностного слоя в первую очередь зависит от температурных воздействий со стороны режущего круга. Время непрерывного воздействия плоского источника тепла на каждую точку наружной цилиндрической поверхности кольца может быть определено из формулы [3]:

$$\tau_0 = \frac{1}{V_k} = \sqrt{\frac{1}{\dots}} \frac{1}{V_k}. \quad (1)$$

Величина интенсивности теплового импульса может быть вычислена как отношение количества тепла, выделившегося на площадке контакта режущего круга с кольцом, к площади контакта и времени τ_0 :

$$= \frac{0,8}{H \tau_0}. \quad (2)$$

Коэффициент **0,8** учитывает поглощение части тепла, выделившегося в зоне контакта, кругом и стружкой.

Так как основная часть механической работы при шлифовании превращается в тепло, то для процесса бесцентрового наружного круглого шлифования можно записать

$$= \frac{V_k \tau_0}{H}, \quad (3)$$

где τ_0 — тангенциальная составляющая усилия резания; V_k — скорость вращения режущего круга; Q — механический эквивалент теплоты; $Q = 427 \text{ кгм/ккал}$. Подставляя значение Q из (3) в (2), получим $Q = \frac{0,8 V_k}{H}$.

С учетом выражений (1) и (2) после элементарных преобразований и замечая, что $\delta^2 \gg \alpha \tau_0$, формулу для Q_{\max} можно записать так:

$$Q_{\max} = 0,904 \frac{V_k \sqrt{\alpha}}{H \sqrt{\lambda} \sqrt{V_k}}. \quad (4)$$

Опытным путем определить усилие резания, отнесенное к одному кольцу при нахождении в зоне резания нескольких колец, практически невозможно. Поэтому воспользуемся известными частными данными, полученными в результате ранее проведенных исследований. Известно [4], что усилие резания на одном зерне режущего круга можно выразить

как $Q = \frac{\sigma}{2} \cdot b$, где σ — удельное напряжение резания при шлифовании;

b — толщина снимаемого слоя; λ — ширина активной части режущего лезвия зерна. Величина σ может быть найдена из выражения [3]

$\sigma = 2\sqrt{2\rho - \tau^2}$. Здесь ρ — радиус закругления зерна, значения которого для различной зернистости и марок круга приведены в соответствующей литературе [3].

Количество тепла, выделившегося на площадке контакта кольца с кругом, очевидно, будет равно сумме тепловых импульсов от всех зерен, находящихся в зоне контакта. Зная зернистость и номер структуры режущего круга, можно определить число зерен, действующих за время τ_0 на площадке контакта. Число зерен в пределах площадки контакта

будет равно $N = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{2\rho - \tau^2}{\lambda}}$, где H — высота кольца; λ — среднее

расстояние между зернами. Общее усилие, действующее в пределах площади контакта, будет равно;

$$Q = \frac{\sigma}{2} \cdot b \cdot N = \frac{\sigma}{2} \cdot b \cdot \frac{H}{2} \sqrt{\frac{2\rho - \tau^2}{\lambda}}. \quad (5)$$

Подставляя в (4) выражение (5) и произведя некоторые преобразования, получим;

$$t_{\max} = 6,69 \frac{V_k \sqrt{\alpha} \sqrt{2\rho} - \sqrt[2]{\sqrt[4]{\lambda}} \sqrt[4]{\lambda}}{\sqrt[2]{\sqrt[4]{\lambda}} + \lambda \sqrt{V_k}}. \quad (6)$$

Формула (6) позволяет рассчитывать максимальную температуру на поверхности кольца, возникающую в месте контакта режущего круга с изделием. Формула выведена для процесса шлифования, осуществляемого без охлаждающей жидкости. Известные по литературным данным исследования [5] показывают, что охлаждающая жидкость примерно в 1,5 раза снижает температуру t_{\max} . Поскольку кольца шлифуются с охлаждением, в формулу (6) необходимо ввести дополнительный коэффициент $1 / 1,5 = 0,667$. При распределении общей величины припуска на шлифование между проходами (или между станками, объединенными в линию) необходимо исходить из следующих условий.

1. В процессе последнего прохода необходимо удалить поверхностный слой металла с измененной структурой, образовавшийся в результате предпоследнего прохода.

2. Для последнего прохода должны быть выбраны такие режимы обработки, которые исключили бы возможность образования нового слоя с измененной структурой. Очевидно, что эти условия взаимозависимы. Действительно, величина поверхностного слоя с измененной структурой, образовавшегося в процессе предпоследнего прохода, должна быть не больше допустимой глубины резания, рассчитанной для последнего прохода.

Для образования вторично закаленного слоя определенной глубины необходимо, чтобы температура на данной глубине была выше или равна закалочной и скорость охлаждения $\partial T / \partial t$ на этой глубине во время прохождения слоев температуры наименьшей устойчивости аустенита ($T_c = 550^\circ$) должна быть не ниже критической.

При шлифовании закаленных сталей скорости охлаждения достигают значений $800-1000^\circ/\text{с}$, а толщина слоя, в котором концентрируется тепло, составляет несколько микрометров [6]. Следовательно, глубина вторично закаленного слоя, образующегося при шлифовании, может быть определена, если известна глубина проникновения критической температуры за время контакта кольца с режущим кругом. Поверхностные слои металла, нагретые ниже закалочных температур, подвергаются кратковременному высокотемпературному отпуску с последующим быстрым охлаждением.

Увеличение температуры изделия, подвергающегося отпуску, равносильно увеличению выдержки изделия при заданной температуре отпуска. Отсюда следует, что эффективность кратковременного отпуска может быть без выдержки достигнута только при высоких температурах

отпуска $t_{отп} \geq 550^\circ$. Так как температура нагрева не превышает критической точки A_1 , то скорость охлаждения при отпуске не имеет большого значения. Из сказанного следует, что допустимой в процессе последнего прохода является глубина шлифования, которая при заданных прочих параметрах режима обработки, не вызывала бы на поверхности обрабатываемого кольца температуру выше 550° .

Глубина проникновения тепловой волны [7] определяется уравнением:

$$\frac{\delta_1}{v} = -\delta \sqrt{\frac{\pi}{\alpha \tau}}, \quad (7)$$

где δ_1 — глубина, на которую проникает теплота за время τ ; v — доля, которую составляет амплитуда колебаний на глубине δ_1 от ее величины на поверхности; τ — время распространения тепла; α — коэффициент теплопроводности. Примем минимальную температуру отпуска, при которой будет происходить превращение мартенсита в троосто-сорбит, равной 550° , и подсчитаем величину слоя с измененной структурой при различных глубинах шлифования. Выражение (7) запишем в виде

$\delta_1 = \sqrt{\frac{\alpha \tau}{\pi}} \ln v$. Для рассматриваемого случая окончательно получим:

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi}} \sqrt[4]{\frac{1}{V_k}} \left[\ln \frac{v_{max}}{v_{(550^\circ)}} \right]. \quad (8)$$

В правой части выражения (8) величина v_{max} является функцией глубины шлифования v . Значения v_{max} , вычисленные для различных глубин шлифования по формуле (6), приведены ниже.

а) чистовое шлифование. Марка круга СТ. $\rho = 3800 \text{ кг/мм}^2$. $\rho = 0,005 \text{ мм}$. $r_k = 600 \text{ мм}$. $r_k = 90 \text{ мм}$. $V_k = 34,2 \text{ м/с}$. $v = 0,25 \text{ мм}$. $V_k = 0,62 \text{ м/с}$. $\alpha = 0,095 \text{ см}^2/\text{с}$. $\lambda = 0,0877 \text{ кал/смс}^\circ\text{С}$. Число оборотов, которое совершает кольцо за время нахождения в зоне резания в процессе одного прохода, равно 15. Значениям $t_{пр}$ (мкм) соответствуют следующие величины v_{max} ($^\circ\text{С}$): 15 мкм — 70°С ; 30 мкм — 200°С ; 45 мкм — 375°С ; 60 мкм — 600°С ; 75 мкм — 820°С ; 90 мкм — 1000°С ; 105 — 1150°С ; 120 мкм — 1180°С .

б) черновое шлифование. Марка круга МЗ. $\rho = 3800 \text{ кг/мм}^2$. $\rho = 0,010 \text{ мм}$. $r_k = 600 \text{ мм}$. $r_k = 90 \text{ мм}$. $V_k = 34,2 \text{ м/с}$. $v = 0,475 \text{ мм}$. $V_k = 0,62 \text{ м/с}$. $\alpha = 0,095 \text{ см}^2/\text{с}$. $\lambda = 0,0877 \text{ кал/смс}^\circ\text{С}$. Число оборотов, которое совершает кольцо за время нахождения в зоне резания в процессе одного прохода, равно 20. Значениям $t_{пр}$ (мкм) соответствуют следующие величины v_{max} ($^\circ\text{С}$): 20 мкм — 25°С ; 40 мкм — 80°С ; 60 мкм — 165°С ;

80 мкм — 270°C; 100 мкм — 390°C; 120 мкм — 520°C; 140 мкм — 660°C; 160 мкм — 880°C; 180 мкм - 950°C; 200 — 1080°C; 220 мкм — 1200°C; 240 мкм — 1310°C; 260 мкм — 1420°C.

Подставляя в выражение (8) значения δ_{\max} при выбранной глубине шлифования, получим величины δ_1 для различных δ . В результате линейной аппроксимации, выполненной с помощью математического пакета **MATLAB**, для принятых выше параметров процесса шлифования были установлены следующие зависимости глубины слоя с измененной структурой поверхностного слоя от величины припуска, снимаемого за один проход: для чистового шлифования $\delta_1 = 0,8 \cdot \delta$ (мкм) при $50 \leq \delta \leq 100$, для чернового шлифования $\delta_1 = 0,58 \cdot \delta$ (мкм) при $120 \leq \delta \leq 200$. Таким образом, при принятых значениях величин, входящих в (6), допустимая глубина резания в процессе последнего прохода не должна превышать 50 мкм. На практике величина снимаемого припуска на последнем проходе не превышает 10-20 мкм.

Следовательно, на предпоследнем проходе глубина резания не должна превышать 60 мкм. Рассуждая аналогично, находим допустимую величину снимаемого припуска для каждого прохода. Так, если кольца обрабатываются в n проходов, то для $(n - 2)$ -го прохода величина снимаемого припуска не должна превышать 125 мкм.

Полученные результаты, хотя и являются приближенными, позволяют заключить, что температурный фактор не является регламентирующим при выборе числа однотипных станков, объединяемых в автоматическую линию, или при выборе числа проходов шлифования наружных цилиндрических поверхностей колец подшипников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы автоматизации и управления технологическими процессами в машиностроении / Под ред. В.Ц. Зориктуева, Н.С. Буткина. — Уфа: Уфимский гос. авиац. техн. ун-т, 2000. — 406 с.
2. Добрынин С.А., Суслов В.Н., Фирсов Г.И. Проблемы автоматизированного исследования динамики и диагностики металлорежущих станков // Материалы и технологии XXI века. — Пенза: Приволжский Дом знаний, 2005. — С.188-190.
3. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
4. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. — М.: Высшая школа, 1985. — 304 с.
5. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. — М.: Машиностроение, 1978. — 167 с.
6. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. — Киев: Техника, 1970. — 394 с.

7. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.

УДК 621.787: 621.91

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ
ДЕФОРМИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО
КОНТРОЛЯ**

М.С. Махалов, к.т.н., А.А. Зенков, магистрант гр. ТМ-061
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-76, факс 58-30-73.
E-mail: lenivec1989@mail.ru

Представлена постановка задачи определения остаточных напряжений (ОН) пластически деформированного поверхностного слоя с использованием магнитных методов неразрушающего контроля.

The formulation of plastically deformed surface layer residual stresses definition using magnetic non-destructive control methods is proved as being topical.

Одним из ключевых параметров состояния, как поверхностного слоя (ПС), так и сердцевины деталей машин и металлоконструкций являются остаточные напряжения (ОН). При этом, важную роль играют как величина, так и характер распределения ОН по глубине ПС.

На сегодняшний день одной из актуальных проблем в этой области является сложность экспериментального определения знака, величины и распределения компонент тензора ОН по глубине деформированного поверхностного слоя, что в свою очередь затрудняет и сдерживает развитие теории.

К настоящему времени известно и используется значительное число методик экспериментального определения ОН, большая часть которых основана послойном удалении ПС металла детали и измерении остаточных деформаций с последующим расчетом величины ОН. Большинство известных методик имеет ряд недостатков, главными из которых являются трудоемкость, относительно невысокая точность и невозможность оперативного определения ОН.

Эффективное решение этой проблемы возможно за счет развития существующих физических методов неразрушающего контроля и их адаптации к задачам оперативного определения знака, величины и распределения составляющих компонент ОН по глубине ПС контролируемой детали.

В то же время современные методы неразрушающего контроля недостаточно адаптированы для практического определения компонент ОН. К таким методам следует отнести: метод определения структурного и напряженно-деформированного состояния на основе измерения коэрцитивной силы, метод магнитно-шумового анализа основанный на эффекте Баркгаузена, – смещении доменных границ кристаллической решетки под воздействием изменяющегося магнитного поля.

С целью выявления взаимосвязей величины ОН с магнитными характеристиками проводились экспериментальные исследования по обработке образцов деформирующей прокаткой с различными режимами.

Образцы представляли собой пластины размером $50 \times 5 \times 1$ мм, изготовленные из отожженной стали 45 ГОСТ 1050-88 (160-180 HV) одной поставки. Выбор данной стали в качестве основного материала для исследований обусловлен большим количеством имеющихся результатов, что позволит сопоставлять полученные результаты с результатами других исследователей. В то же время сталь 45 является одной из самых распространенных конструкционных сталей в различных отраслях машиностроения.

Деформирующая прокатка пластин осуществлялась между двумя жестко закрепленными валками, имеющими радиус $R = 25$ мм (рис. 1).

Варьируемым параметром режима являлся фактический натяг деформирования, который определялся разностью между фактической толщиной образца и расстоянием между валками.

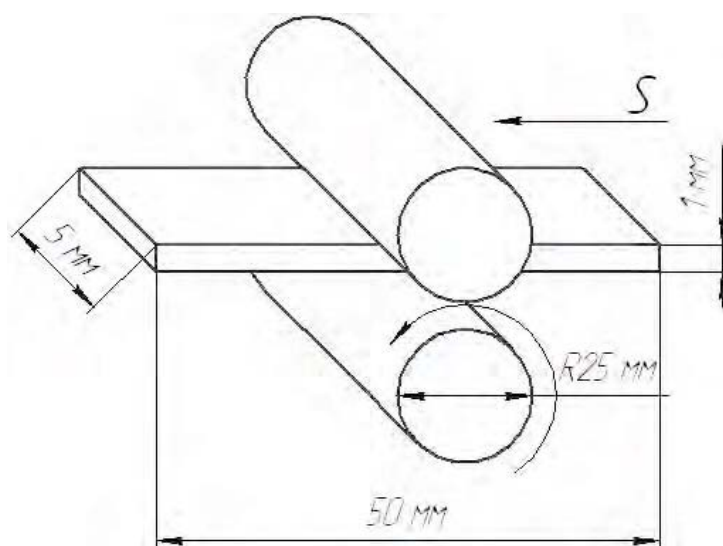


Рис. 1. Схема прокатки образцов

Фактические размеры экспериментальных образцов до и после деформирования определялись с помощью микрометра. Для каждого

образца с учетом его фактической толщины заданные значения натяга валков пересчитывались в фактические.

Измерения коэрцитивной силы осуществлялись с обеих сторон только по длине пластин (рис. 2, а), вследствие значительных по сравнению с размерами образца размеров датчика прибора. Использовался магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М, оснащенный стандартным датчиком. Погрешность измеренной величины коэрцитивной силы при повторных измерениях не превышала 3%.

Измерения ИМШ проводились в продольном и поперечном направлениях образца, с обеих сторон деформированных пластин, в 5-и точках, расположенных соответственно по центру и ближе к краям с двух сторон каждого образца (рис. 2, б). Использовался анализатор Интроскан, оснащенный стандартным датчиком. Таким образом, для каждого образца было сделано 20 измерений с повторностью не менее 3 раз.

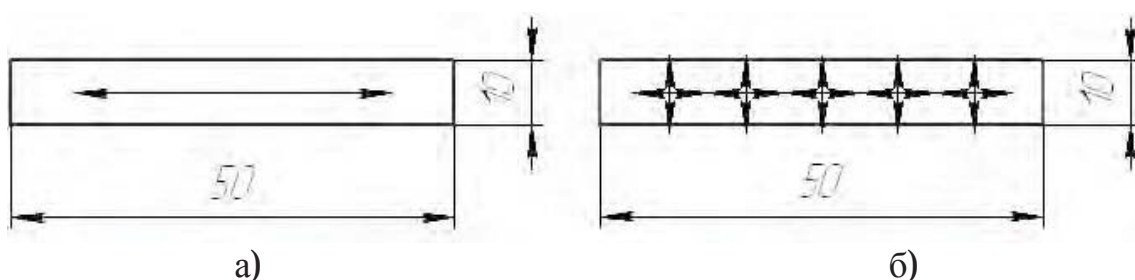


Рис. 2. Схема измерения: коэрцитивной силы (а) и магнитного шума (б)

В результате были получены значения интенсивности магнитного шума и коэрцитивной силы, на основе которых проводится дальнейший анализ и выявление взаимосвязей.

Предварительный анализ показал, что при увеличении натяга деформирующей прокатки происходит увеличение измеренной на образцах коэрцитивной силы (рис. 3).

Наиболее тесную взаимосвязь при наименьшем разбросе экспериментальных данных имеет изменение интенсивности шума, измеренное в поперечном направлении образца (рис. 4). Как видно из рисунка, при увеличении натяга деформирующей прокатки происходит увеличение измеренной интенсивности магнитного шума.

В настоящее время проводится моделирование деформирующей прокатки методом конечных элементов и расчет значений тензора остаточных напряжений с целью дальнейшего сопоставления этих результатов с измеренными магнитными характеристиками.

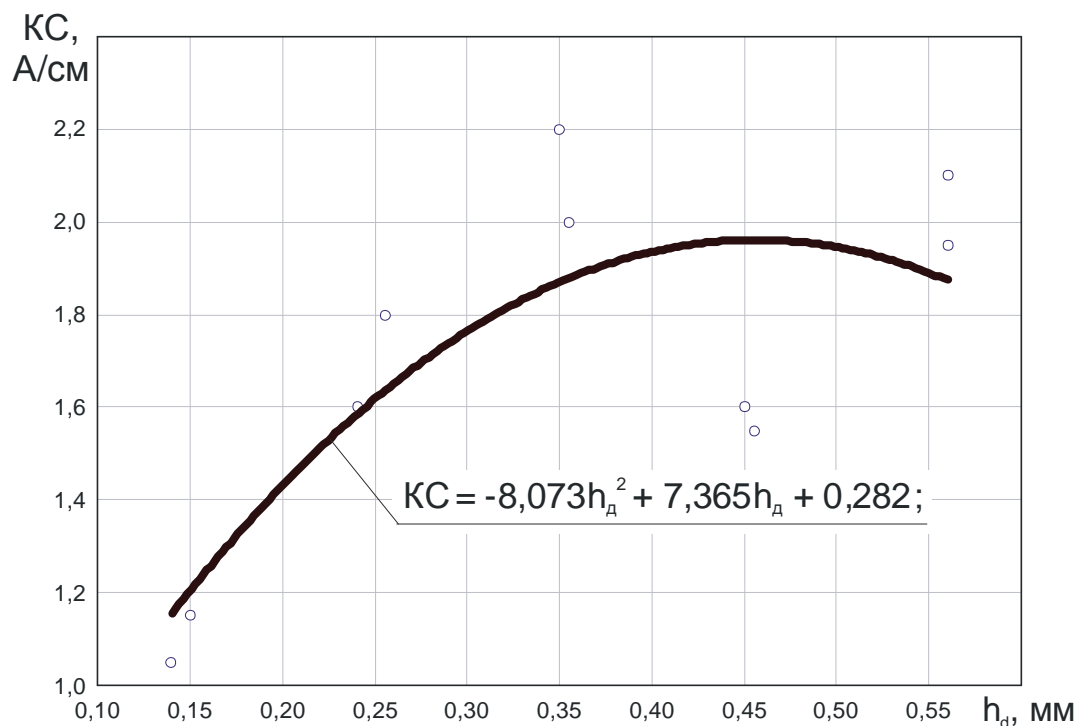


Рис. 3. Зависимость изменения коэрцитивной силы (КС) от натяга на толщину образца при деформирующей прокатке

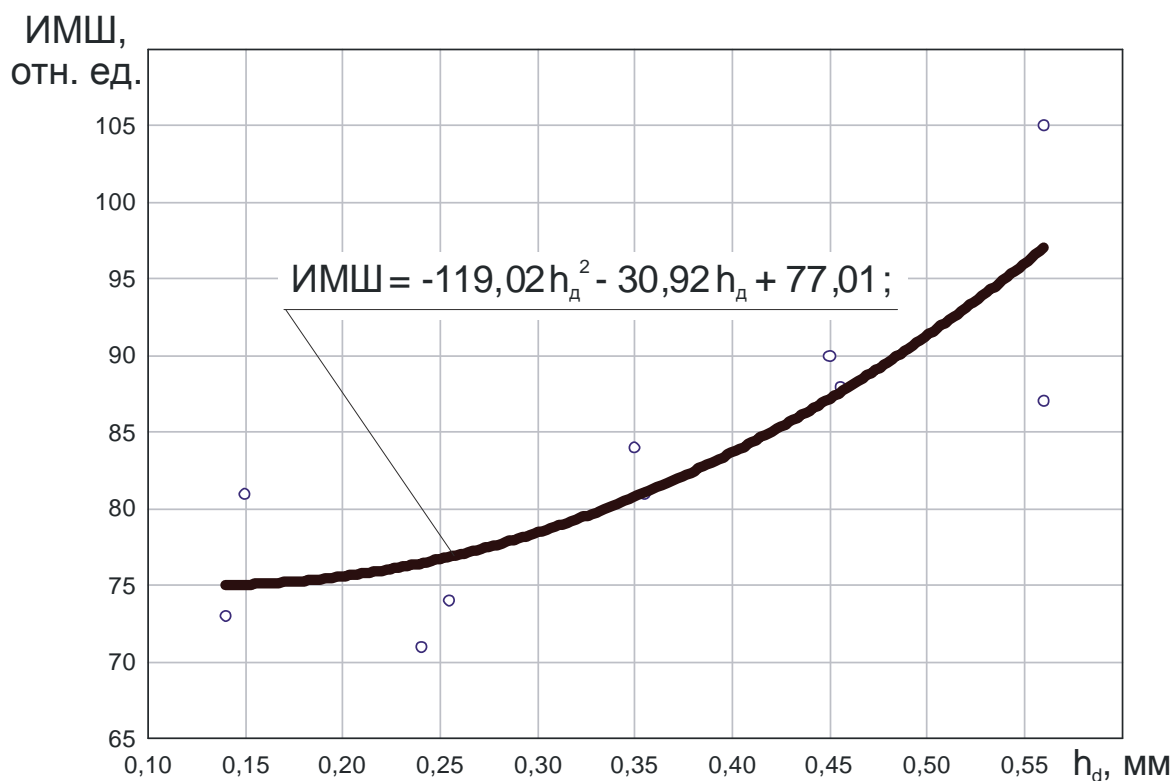


Рис. 4. Зависимость изменения интенсивности магнитного шума (ИМШ), измеренной поперечном направлении образца от натяга на толщину образца при деформирующей прокатке

УДК 621.787:620.179.17:519.688

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ
НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОЧАГА
ДЕФОРМАЦИИ И КОНТРОЛЬ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ
АКУСТИКО ЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ НА СТАДИЯХ
ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ**

И.В. Мирошин, к.т.н. доц., О.А. Останин, ст. преп
Кузбасский государственный технический университет,
Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-76. E-mail: oleg_ostanin@mail.ru

Современные методы контроля формирования свойств поверхностного слоя (ПС) материала при его механической обработке предполагают использование физических закономерностей. Одним из таких методов, реально отражающим характер пластической деформации материалов на микроуровне, является акустическая эмиссия (АЭ). Накопление и трансформация механических свойств ПС деталей машин, как в рамках технологического процесса механической обработки, так и в процессе эксплуатационного усталостного нагружения может быть проконтролировано с использованием метода акустико-эмиссионного контроля.

The contemporary methods of the control of shaping of the properties of the surface layer (SL) of material with its mechanical processing assume the use of physical regularities. Acoustic emission is one of such methods, which actually reflect the nature of the plastic deformation of materials in the microlevel, (AE). Accumulation and the transformation of the mechanical properties SL of machine parts both within the framework the technological process of mechanical processing and in the process of operational fatigue load can be controlled with the use of a method of acoustic emission control.

С целью описания технологического наследования в процессе механической обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД) использована феноменологическая теория, основанная на сквозном описании физического состояния ПС детали на этапах ее жизненного цикла в единых терминах и категориях механики деформирования и разрушения сплошных сред. Основу теории составляют представления о непрерывном накоплении деформаций и исчерпанию запаса пластичности [1]. Оценка состояния металла проводится с использованием таких известных из механики параметров, как степень деформации сдвига Λ , степень исчерпанию запаса пластичности Ψ и др. Для их расчета необходимо знать параметры напряженного и деформированного состояния (НДС) поверхностного слоя в очаге деформации (ОД), где происходит формирование и накопление механических свойств.

Исследования проводились в условиях свободного ортогонального резания и ППД с учетом истории нагружения. Основной целью эксперимента являлось получение визуальной записи пластического течения металла в плоскости главных деформаций при механической обработке. Для этого проводилось наблюдение и фиксирование процесса на видеокамеру через прозрачный экран, препятствующий течению металла в направлении наблюдения. Особенность предлагаемой методики заключалась в использовании современной высокоскоростной съемочной аппаратуры для фиксации картины течения и оцифровке полученной информации для последующей обработки. Расчет параметров НДС выполнялся методом делительных сеток [2].

Для определения параметров НДС целесообразно получение не только качественной картины течения металла в очаге деформации при механической обработке, но и численных значений путем решения задачи механики деформирования расчетным методом. В данной работе был использован метод конечных элементов, при этом форма и геометрические размеры очагов деформации (рис. 1), полученные графически, являлись одним из главных граничных условий для построения конечно-элементной модели. Результатами расчетов явились параметры НДС в узлах конечных элементов, которые с помощью специальной программы пересчитывались в точки линий тока ОД. Вдоль линий тока проводилась оценка мгновенной и накопленной степени деформации сдвига и степени исчерпания запаса пластичности. Наследуемые свойства поверхностного слоя на предшествующей стадии являлись начальными на последующих стадиях нагружения.

В рамках проводимых исследований была произведена запись сигналов акустической эмиссии непосредственно из зоны механической обработки экспериментальных образцов с целью выявления взаимосвязей между феноменологическими параметрами качества ПС и параметрами сигналов акустической эмиссии. Акустико-эмиссионный контроль образцов проводили с помощью системы DiSP16L фирмы PAC (США).

План проведения исследований и полученные результаты приведены в табл. 1.

Проведенный анализ позволил установить, что наибольшей информативностью в процессах резания и ППД для оценки накопления деформации в поверхностном слое обладают энергия сигнала акустической эмиссии E и его мощность W . Поэтому в дальнейшем данные параметры были использованы для определения степени исчерпания запаса пластичности в ПС металла при его механической обработке.

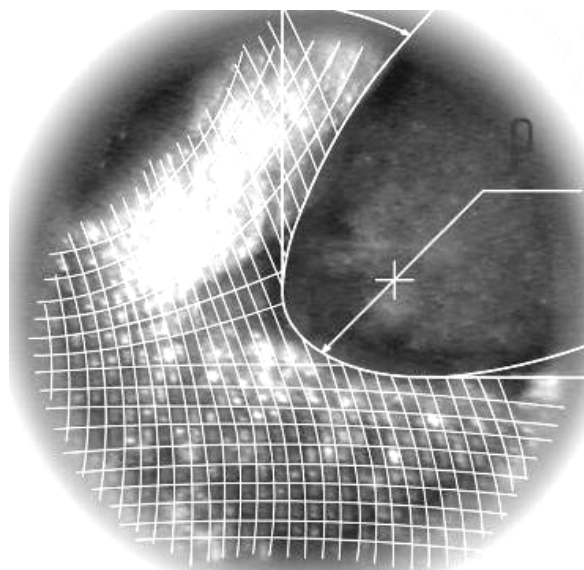


Рис. 1. Линии тока металла в очаге деформации при резании

Таблица 1

Резание ($\gamma = \text{ }^\circ$, $\alpha = \text{ }^\circ$, $\rho = \text{ } \text{мм}$)						
№ обр.	Вид эксперимента	$a, \text{мм}$	$S, \text{м мин}$	Ψ	$W, \text{Дж}$ ($/3,91 \cdot 10^{16}$)	
15	РЕЗ	0,36	0,07	0,5225	508000	
16	РЕЗ1+РЕЗ2	0,3-0,4	0,05	0,3871	171942	
19	РЕЗ1+РЕЗ2	0,36	0,1	0,6147	920036	
20	РЕЗ1+РЕЗ2	0,24-0,3	0,1	0,4699	345253	
ППД ($\rho = \text{ } \text{мм}$)						
№ обр.	Вид эксперимента	$h, \text{мм}$	$h_\delta, \text{мм}$	$S, \text{м мин}$	Ψ	$W, \text{Дж}$ ($/3,91 \cdot 10^{16}$)
23	ППД	0,4	0,06	0,0335	0,4245	44268
24	ППД+ППД	0,5	0,072	0,0335	0,5227	52873
25	ППД+ППД+ППД	0,5	0,06	0,05	0,6681	31020
26	ППД	0,5	0,04	0,05	0,3189	53609
27	ППД+ППД	0,7	0,055	0,07	0,4021	46026
28	ППД+ППД+ППД	0,7	0,06	0,025	0,4718	12166

Примечание. В таблице обозначены различные программы нагружения, в том числе: РЕЗ – резание; РЕЗ1+РЕЗ2 – последовательная обработка резанием в 2 рабочих хода; ППД – однократное деформирование, ППД+ППД – последовательная обработка в 2 рабочих хода и ППД+ППД+ППД – последовательная обработка в 3 рабочих хода.

Было определено, что излучение сигнала акустической эмиссии, как при резании, так и при ППД происходит из области очага деформации; при этом было установлено, что «звучит» весь очаг деформации одновременно, а импульсы с разной глубины приходят в случайном порядке. Для того чтобы получить распределение импульсов по глубине поверхностного слоя, было проведено ранжирование сигналов по энергии (рис. 2 и 3).

Анализ распределения импульсов показал, что форма кривой не зависит от временного интервала, на котором производилась выборка. Поэтому в дальнейшем был рассмотрен промежуток времени, за который материальная точка проходит очаг деформации, что имеет не только физический (полный цикл исчерпания запаса пластичности), но и технологический смысл – связь с подачей инструмента и глубиной резания.

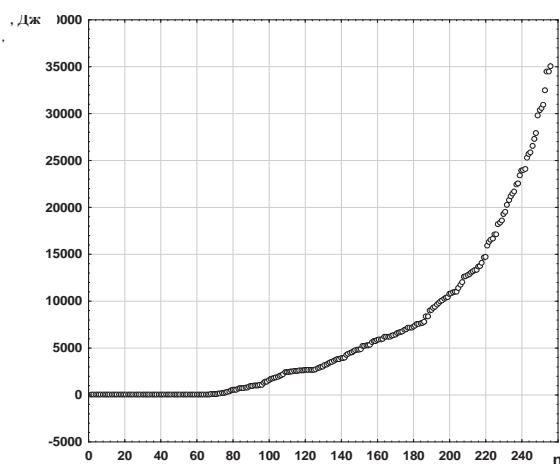


Рис. 2. Ранжированное распределение импульсов по энергии АЭ из очага деформации за 2 с обработки резанием: n – количество импульсов

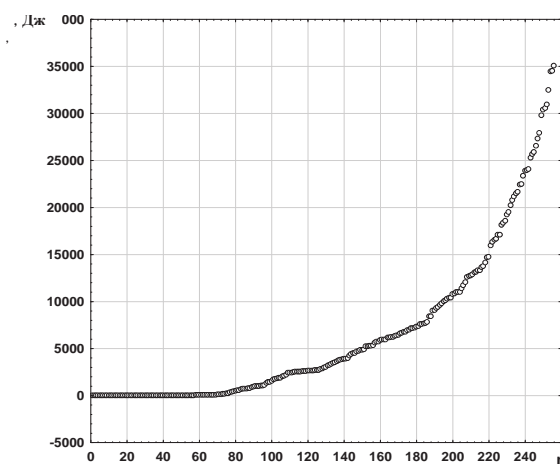


Рис. 3. Ранжированное распределение импульсов по энергии АЭ из очага деформации за 0,2 с обработки резанием: n – количество импульсов

Расчеты параметров НДС методом конечных элементов проводились с использованием программной системы ANSYS 5.1. При решении задачи известными считались механические свойства материала: кривая течения, диаграмма пластичности, твердость, параметры прочности и другие [3].

В соответствии с методикой в очаге деформации были построены линии тока ниже и выше критической. Наибольший интерес представляет определение исчерпания запаса пластичности вдоль линий тока, формирующих свойства поверхностного слоя. На рисунке 4 показан очаг деформации с линиями тока 1-9, при этом вдоль линии 1

происходит разделение потоков металла – в стружку и под инструмент. Линия тока **0** показывает течение металла в стружку вдоль передней поверхности режущего инструмента.

Параметры напряженно-деформированного состояния, полученные моделированием, приведены для ряда образцов в таблице 2.

Таблица 2

Параметры НДС, полученные моделированием

№ обр.	$x, мм$	$y, мм$	Π	μ	Λ_p	Λ	Ψ	$\Lambda_{кор}$	$\Psi_{кор}$
15	0,795	-0,064	1,854	-0,252	0,774	0,378	0,5129	0,4034	0,5209
16	0,075	-0,085	0,290	-0,317	1,006	0,342	0,3400	0,3822	0,3798
19	0,929	-0,083	0,555	-0,366	0,755	0,399	0,5355	0,4466	0,5909
20	0,846	-0,085	0,522	-0,392	0,856	0,371	0,3822	0,4161	0,4861

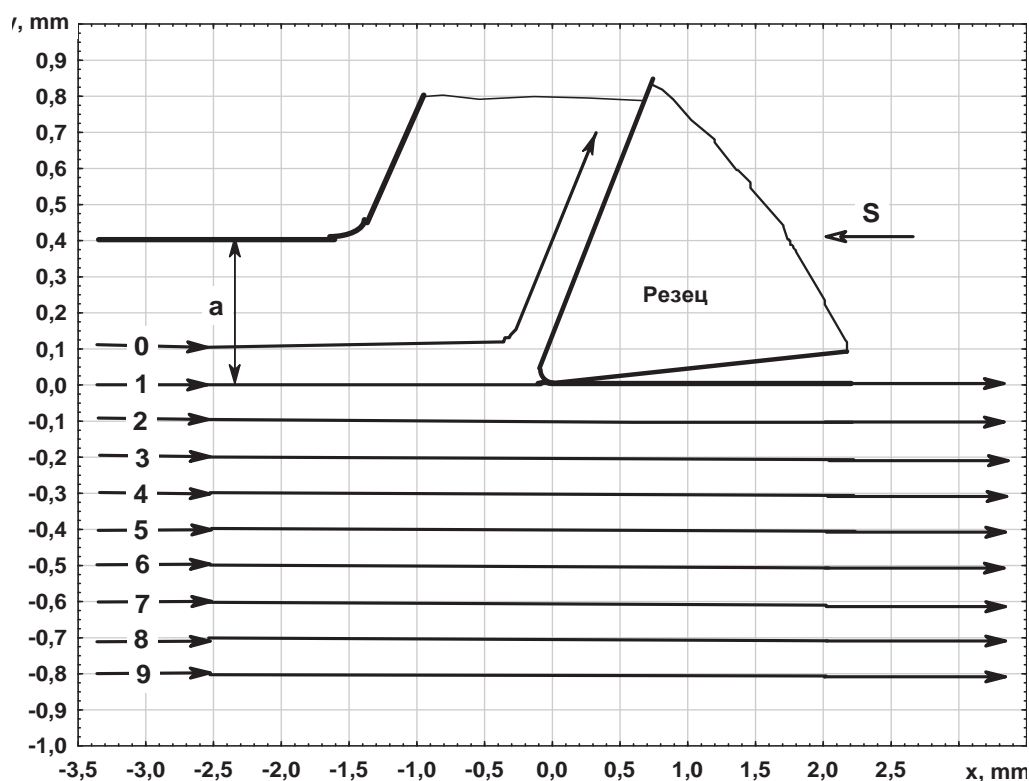


Рис. 4. Схема очага деформации при резании с линиями тока для образца №15

Ввиду особенности методики пересчета результатов моделирования с помощью специальной программы, заключающейся в смещении линий тока на некоторую глубину от поверхности (координата y , табл. 1), значения Ψ отличаются от полученных расчетом вдоль критической линии тока методом делительных сеток [4].

Для получения корректных значений Λ и Ψ был произведен их пересчет по формуле 1 (см. табл. 2), поскольку по мере удаления от поверхности степень деформации сдвига уменьшается, подчиняясь экспоненциальному закону:

$$\Lambda_{\text{мех}} h = \Lambda_{\text{мех}} - , h' + , \quad (1)$$

где h – заданная глубина.

Результаты значений Ψ , полученные для ряда образцов методами делительных сеток и МКЭ, приведены на рисунке 5. На рисунке 6 показано исчерпание запаса пластичности вдоль критической линии тока, полученное методами делительных сеток и МКЭ для образца № 20.

Полученные значения находятся в рамках 5-ти процентного доверительного интервала, что подтверждает адекватность принятой модели и свидетельствует о корректности полученных экспериментальных данных. Аналогичные результаты получены при моделировании процесса поверхностного пластического деформирования.

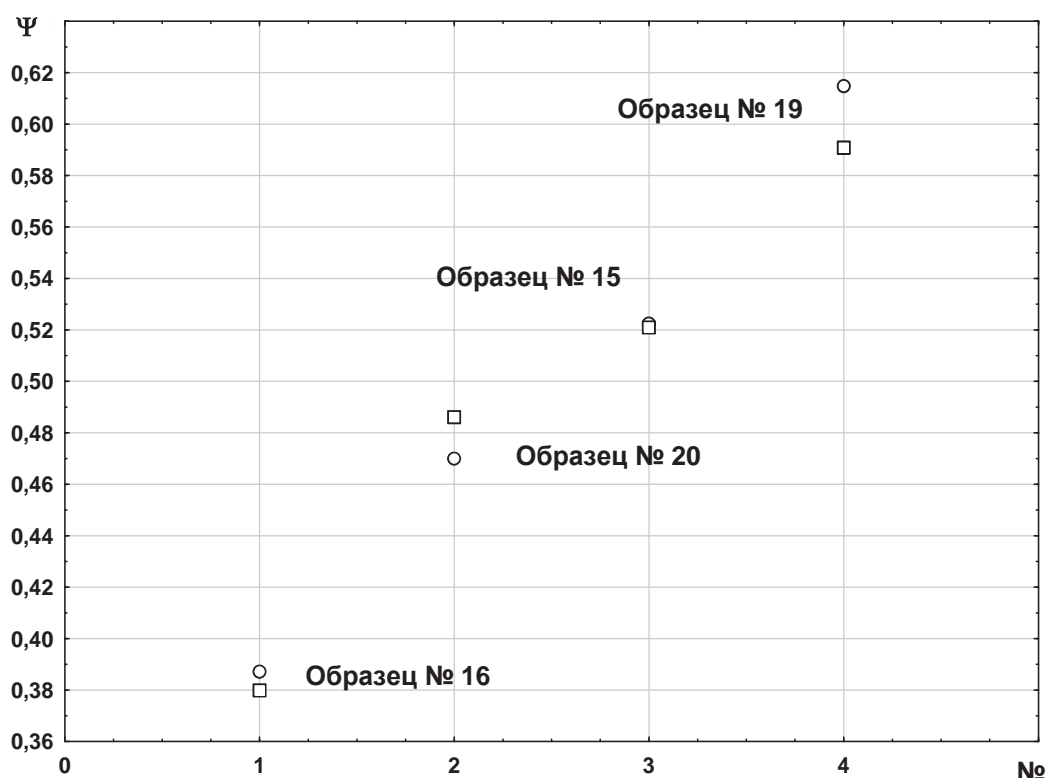


Рис. 5. Значения Ψ , полученные методами делительных сеток (○) и МКЭ (□). (Значения расположены в порядке их увеличения)

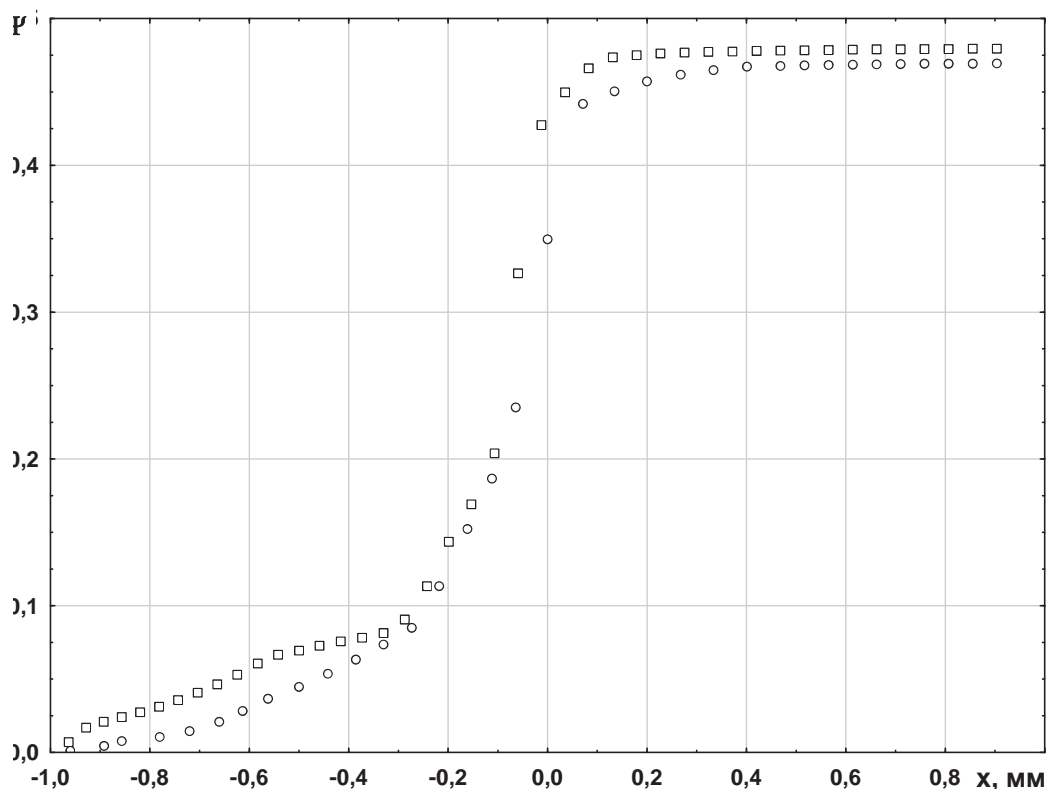


Рис. 6. Значения Ψ , полученные вдоль критической линии тока, методами делительных сеток (○) и МКЭ (□) для образца № 20

Основное отличие при моделировании процесса ППД заключалось в том, что при многоэтапном нагружении исходными были свойства, накопленные на предыдущем этапе. При пересчете результатов моделирования в параметры НДС было учтено, что глубина упрочнения при ППД больше чем при резании, поэтому использовалось большее число линий тока.

Параметры напряженно-деформированного состояния для стадии ППД, полученные по очагу деформации, приведены в табл. 3, результаты моделирования (с учетом корректирования в зависимости от глубины первой линии тока) – в табл. 4. Относительная погрешность значений Ψ , полученных методами делительных сеток и МКЭ, не превышает 7%.

Расчет параметров напряженно-деформированного состояния в очаге деформации позволил определить интегральные показатели качества поверхностного слоя Λ и Ψ .

Обработка экспериментальных данных позволила получить зависимость степени использования запаса пластичности Ψ от мощности сигнала акустической эмиссии – W как на стадии резания, так и на стадии ППД (рис. 7 и 9 соответственно).

Таблица 3
Результаты экспериментальных значений параметров НДС
и мощности сигналов АЭ

№ обр.	Вид эксперимента	$S, \text{ м мин}$	$t, \text{ сек}$	$h_0, \text{ мм}$	Ψ_Σ	$\Delta\Psi$	$W, \text{ Дж}$ *	$\Delta\Psi_{кор}$
23	ППД	0,0335	1,5	0,05	0,2446	0,2446	44268	0,2137
24	ППД1+ППД2	0,0335	2,15	0,072	0,5227	0,2781	52873	0,2746
25	ППД1+ППД2+ППД3	0,05	1,58	0,06	0,6681	0,1454	31020	0,1204
26	ППД	0,05	1	0,04	0,2991	0,2991	53609	0,2798
27	ППД1+ППД2	0,07	1,05	0,055	0,4021	0,1030	46026	0,2276
28	ППД1+ППД2+ППД3	0,025	3,12	0,06	0,4718	0,0697	12166	0,0709

Таблица 4
Результаты значений параметров НДС, полученные моделированием

№ обр.	$x, \text{ мм}$	$y, \text{ мм}$	Π	μ	Λ_p	Λ	Ψ	$\Lambda_{кор}$	$\Psi_{кор}$
23	1,3301	- 0,0548	0,5867	- 0,4324	0,8150	0,1716	0,2105	0,1742	0,2137
24	1,3117	- 0,0749	0,4511	- 0,5158	0,8996	0,4014	0,4462	0,4395	0,4885
25	1,2969	- 0,0804	0,4674	- 0,4451	0,8030	0,4399	0,5478	0,4889	0,6089
26	1,2985	- 0,0736	0,4295	- 0,4298	0,9133	0,2379	0,2605	0,2556	0,2798
27	1,2672	- 0,0691	0,4012	- 0,4455	0,9315	0,4366	0,4687	0,4726	0,5074
28	1,2021	- 0,0707	0,4025	- 0,4222	0,9306	0,4942	0,5311	0,5382	0,5783

Анализ показал, что координаты точек накопления механических свойств и сигналов АЭ на стадии резания могут быть описаны логарифмической зависимостью вида

$$\Psi = - , + , \cdot \cdot + \quad (2)$$

Исключение составила точка, которая принадлежит образцу № 14. Это объясняется тем, что в данном случае глубина упрочнения, рассчитанная по зависимости \approx , \cdot [5], превысила толщину срезаемого слоя на следующем этапе, в отличие от остальных образцов, когда упрочненный слой удалялся при последующем резании.

Рассмотрим характер накопления и переноса механических свойств и его влияние на мощность сигнала АЭ для образца № 14 (рис. 8).

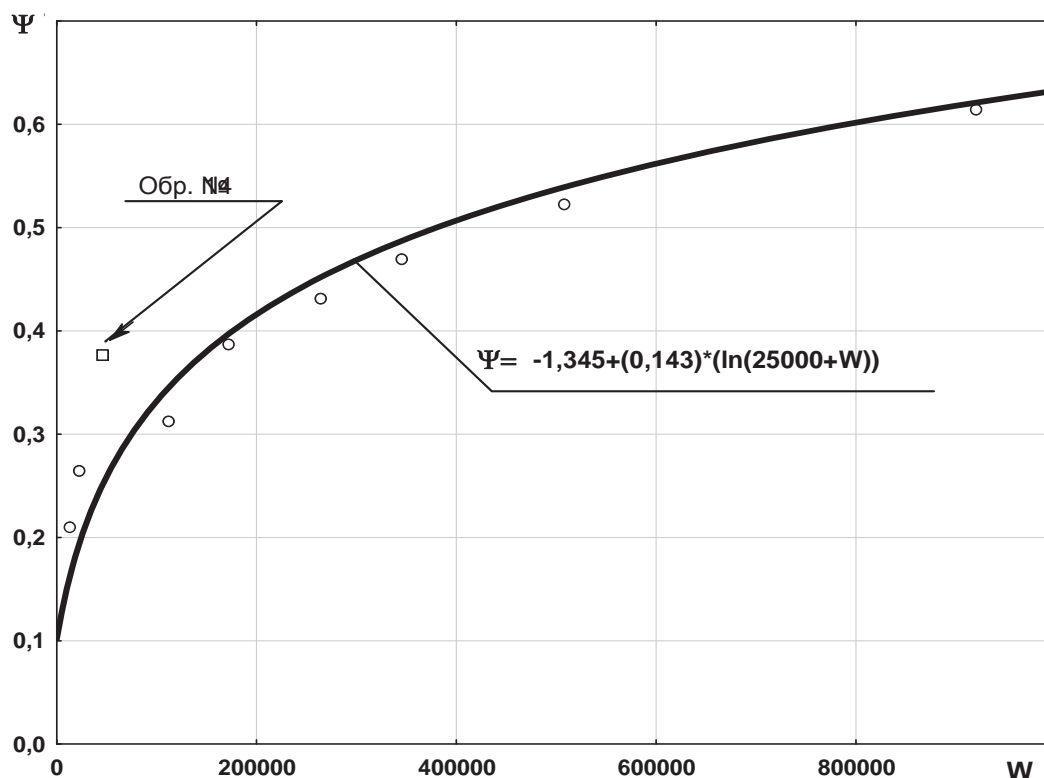


Рис. 7. Зависимость Ψ от мощности сигналов АЭ – W для процесса резания

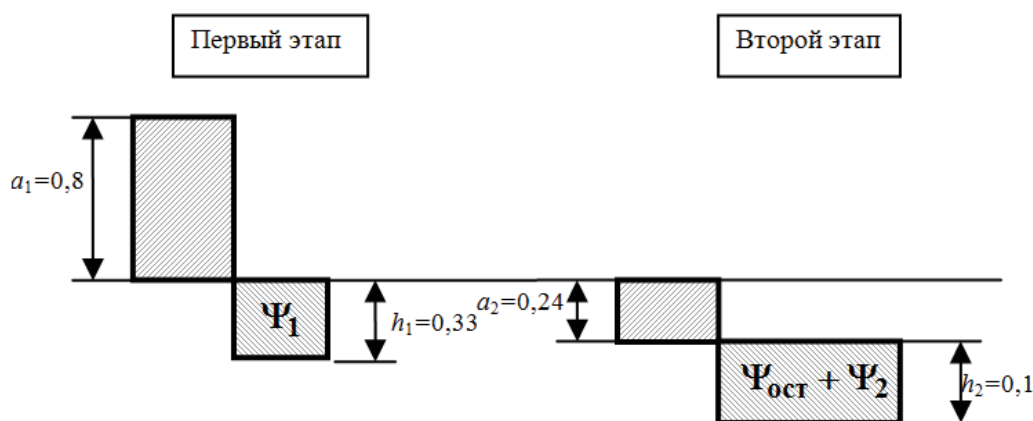


Рис. 8. Наложение зон упрочнения при двухэтапном нагружении

Глубина упрочнения после первого этапа резания для данного образца составила \approx , * , \approx , мм при значении $\Psi =$, на поверхности. На глубине 0,24 мм – равной толщине срезаемого слоя на втором этапе нагружения – значение $\Psi =$, . В данном случае для двухэтапного нагружения суммарное значение было определено, как $\Psi_{\Sigma} = \Psi_{ост} + \Psi =$, + , = , , что показано на рис. 7. Штриховой линией нанесено вероятное расположение кривой,

связывающей накопление поврежденности с мощностью сигнала АЭ для поверхности, имеющей исходное значение $\Psi = \dots$.

Можно отметить, что наследуемое значение Ψ изменяет характер накопления сигналов АЭ, полученных при последующем нагружении. Наблюдается снижение мощности сигнала W , что подтверждает результаты теоретических исследований.

Исследования показали, что на стадии резания технологическое наследование проявляется при последовательной обработке со снятием припуска, величина которого не превышает глубины упрочненного на предшествующем технологическом переходе поверхностного слоя.

Таким образом, установлено влияние истории нагружения на сигналы АЭ в условиях сложного немонотонного нагружения при обработке металлов резанием. Данное влияние заключается в изменении (в данном случае – снижении) мощности сигналов акустической эмиссии, накопленной в процессе последующего нагружения.

На стадии ППД зависимость $\Psi - W$ была определена для значений Ψ , полученных в приращениях на каждой последующей стадии нагружения по отношению к предшествующей (см. табл. 3), в отличие от стадии резания, где использовали значения Ψ после однократного нагружения. Установлено, что зависимость $\Psi = \Psi W$ при ППД с учетом ТН может быть описана выражением:

$$\Psi = \dots * \dots * \dots - * W . \quad (3)$$

Характер данной зависимости отличается от полученной при резании (формула 2), что объясняется учетом истории нагружения – для двух- и трехэтапного поверхностного пластического деформирования.

Значение мощности сигнала АЭ, полученное для образца №6, не может быть описано данной зависимостью, что объясняется отличной от остальных образцов исходной шероховатостью поверхности $Ra = \dots - \dots$, *мкм* вместо $Ra = \dots - \dots$, *мкм*.

Таким образом, при контроле Ψ с помощью акустико-эмиссионных исследований на операциях ППД исходная шероховатость поверхностей деталей должна быть близкой по значению.

Установлено, что обработка ППД по предварительно упрочненному поверхностному слою привела к тому же эффекту, что и поверхностное пластическое деформирование материала с большей твердостью, а именно: уменьшились размеры очага деформации, и уменьшилась глубина упрочнения в сравнении с обработкой по неупрочненному материалу. Однако при деформировании более твердых материалов наблюдается увеличение излучаемой энергии сигналов АЭ. При ППД упрочненной поверхности наоборот, было отмечено снижение выделяющейся энергии сигналов акустической эмиссии.

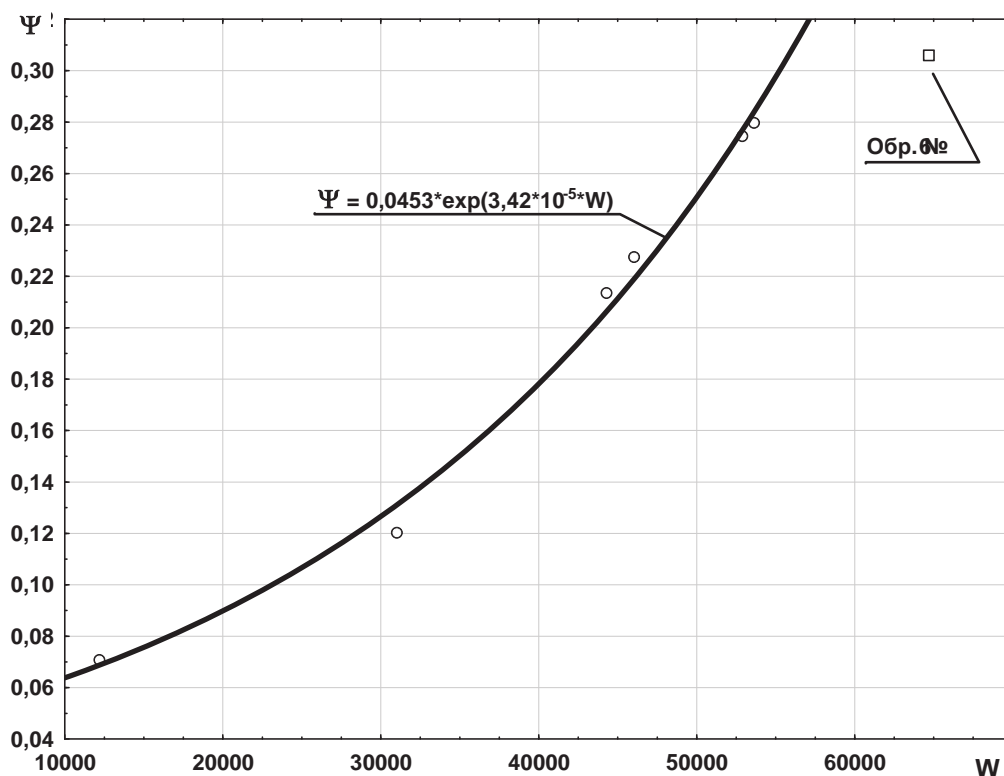


Рис. 9. Зависимость Ψ от мощности сигналов АЭ – W для процесса ППД

Полученные результаты были использованы при создании методики проектирования упрочняющего технологического процесса с использованием метода акустико-эмиссионного контроля и специальной программы для автоматизации расчетов [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн, В.Ю., Смелянский, В.М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин [Текст] / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
2. Мирошин, И.В. Технологическое обеспечение наследуемых параметров качества при упрочняющей обработке на основе выбора рациональных режимов методом акустической эмиссии [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / И.В. Мирошин – Барнаул, 2008.
3. Кречетов, А.А. Методика расчета параметров механического состояния поверхностного слоя деталей машин [Текст] / А.А. Кречетов // Вестник КузГТУ. – 2001. – № 5. – С. 27-31.
4. Программа для ЭВМ № 2002611073 Российская Федерация. Расчет параметров напряженно-деформированного состояния (RNDS_MDS) [Электронный ресурс] / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов; заявитель и правообладатель А. А. Кречетов. – № 2002610824; заявл. 13.05.02; рег. 27.06.02.
5. Блюменштейн В.Ю. Механика технологического наследования как научная основа проектирования процессов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием [Текст] : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.08 / В. Ю.

Блюменштейн. – М., 2002. – 595 с.

6. Программа для ЭВМ № 2008610463 Российская Федерация. Расчет циклической долговечности по сигналам акустической эмиссии [Электронный ресурс] / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов, И. В. Мирошин ; заявитель и правообладатель И. В. Мирошин. – № 2007614816; заявл. 30.11.07; рег. 24.01.08.

УДК 621.791.05:620.179

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ И ЛОКАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛА БАРАБАНА КОТЛА ПК ДО И ПОСЛЕ РЕМОНТА

А.Н. Смирнов, д.т.н., проф., Н.В. Абабков, асп.

Кузбасский Государственный Технический Университет
г. Кемерово, тел. 8-904-994-31-54, e-mail: n.ababkov@rambler.ru

В статье описано исследование основного и наплавленного металла барабана котла высокого давления до и после ремонта с применением методов электронной микроскопии и акустической структуроскопии. Выявлено, что акустические характеристики достигают наибольших значений в зонах, где амплитуды локальных полей внутренних напряжений максимальны.

The analysis of high-pressure boiler drum's matrix metal and added metal after continuous service with using electron microscopy methods and acoustic structure investigation is described in the paper. Discovered, that acoustics reach a largest value in zone where amplitudes of local fields of internal pressure are maximum.

При длительной эксплуатации котлов высокого давления в металле барабанов возможно зарождение трещин, развитие которых может привести к авариям и техногенным катастрофам с человеческими жертвами. Поэтому техническое диагностирование и прогнозирование срока дальнейшей эксплуатации такого оборудования является актуальнейшей задачей.

Цель работы заключается в исследовании структурно-фазового состояния металла барабана в зоне трещины до и после ремонта сваркой и выявлении закономерностей влияния параметров структуры и полей внутренних напряжений на акустические характеристики металла барабана до и после ремонта (в зоне наплавки).

В работе исследовали длительно-работающий поврежденный металл барабана котла ПК-10 № 1 ЮК ГРЭС. Барабан изготовлен в 1950 году из специальной молибденовой стали, время эксплуатации составляет более 320 тыс. часов. Повреждение представляет собой трещину, расположенную на поперечном мостике между первым и вторым рядом

водоопускных труб на нижней образующей барабана. Был исследован участок металла, вырезанный из поврежденной зоны с трещиной.

Изучение фазового состава и структуры выполнялось тремя методами. 1) рентгеноструктурный анализ (метод РСА); 2) метод исследования поверхности (после травления) при увеличениях 100-2000 крат (метод РЭМ). 3) метод просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (ПЭМ – метод был использован для качественного и количественного изучения тонкой структуры и фазового состава исследуемых сталей).

Акустические исследования проводили с применением портативной многофункциональной акустической системы "АСТРОН".

На первом этапе исследовали основной металл барабана в зоне трещины. Методами РЭМ и ПЭМ на кромках разрыва и на расстоянии 0,2, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 и 5,0 мм от трещины измерялись следующие параметры: 1) объемные доли феррита, перлита и цементита; 2) внутренние напряжения; 3) параметры кристаллической решетки α -фазы; 4) скалярная плотность дислокаций в среднем по материалу и в каждой структурной составляющей; 5) размер зерен α -фазы.

Установлено, что в составе исследуемого материала представлена α -фаза – феррит (твердый раствор углерода в α -Fe) и карбид железа (цементит Fe_3C). Морфологически присутствует три компонента: феррит, карбид железа и перлит, состоящий из смеси α -фазы и карбида железа. Микротрещины обнаружены на кромках разрыва и на расстоянии до 1,0 мм от берегов магистральной трещины. Микротрещины расположены, преимущественно: 1) по границам фрагментов, 2) перерезают карбидные частицы, 3) по границам зерен.

Средний размер фрагментов вблизи зоны разрыва имеет минимальное значение (~2,5 мкм). Во всех остальных точках его величина почти в 2 раза выше и практически не меняется (рис. 1, кривая 1). Все фрагменты содержат дислокации [1, 2]. Наивысшее значение скалярной плотности дислокаций определены вблизи зоны разрыва (рис 1, кривая 2). Локальные поля сдвига и кручения рядом с разрывом весьма велики (рис. 1, кривая 3). Они значительно превосходят предел прочности, локальные источники полей напряжения привели к зарождению микротрещин [3].

Видно (рис. 1), что величина локальных полей внутренних напряжений максимальна на расстоянии 1,0 мм от кромок разрыва. Снижение локальных полей сдвига и кручения ближе к основной трещине связано с релаксацией напряжений при разрушении.

Акустические характеристики (время задержки поверхностных акустических волн) измеряли в зонах исследования структурно-фазового состояния (рис. 1, кривая 4). Из графика видно, что по мере удаления от

магистральной трещины (кромки разрыва) происходит монотонное снижение времени задержки ПАВ.

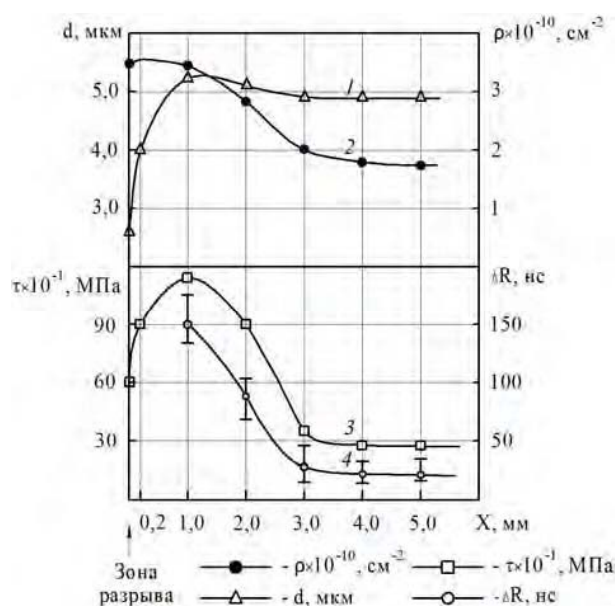


Рис. 1. Изменение структурных и акустических характеристик молибденовой стали (типа 20М) по мере удаления от макротрещины: среднего размера фрагментов (1); скалярной плотности дислокаций средней по материалу (2); локальных полей внутренних напряжений, измеренных методом ПЭМ (3); времени задержки ПАВ (4)

На втором этапе исследований выполняли изучение структурно-фазового состояния, локальных полей внутренних напряжений и акустических характеристик наплавленного металла, зоны термического влияния сварки (ЗТВ) и основного металла (после ремонта).

Микротрещин в основном и наплавленном металле, а также в ЗТВ не обнаружено. Локальные поля внутренних напряжений (сдвига и кручения) на участке рядом с линией сплавления достигают 400–500 МПа (рис. 2, кривая 1). По мере удаления от линии сплавления в ЗТВ и в основной металл, а также в наплавку – локальные поля уменьшаются и достигают 200–300 МПа. Максимальное время задержки ПАВ зарегистрировано рядом с линией сплавления (рис. 2, кривая 2).

Анализ результатов исследования показывает высокую чувствительность метода акустической структуроскопии к определению изменений параметров микроструктуры специальной молибденовой стали (типа 20М). Однотипность кривых изменения времени задержки ПАВ и локальных полей сдвига и кручения свидетельствует о преобладающей роли локальных полей внутренних напряжений в изменении акустических характеристик у исследованной молибденовой стали (типа 20М).

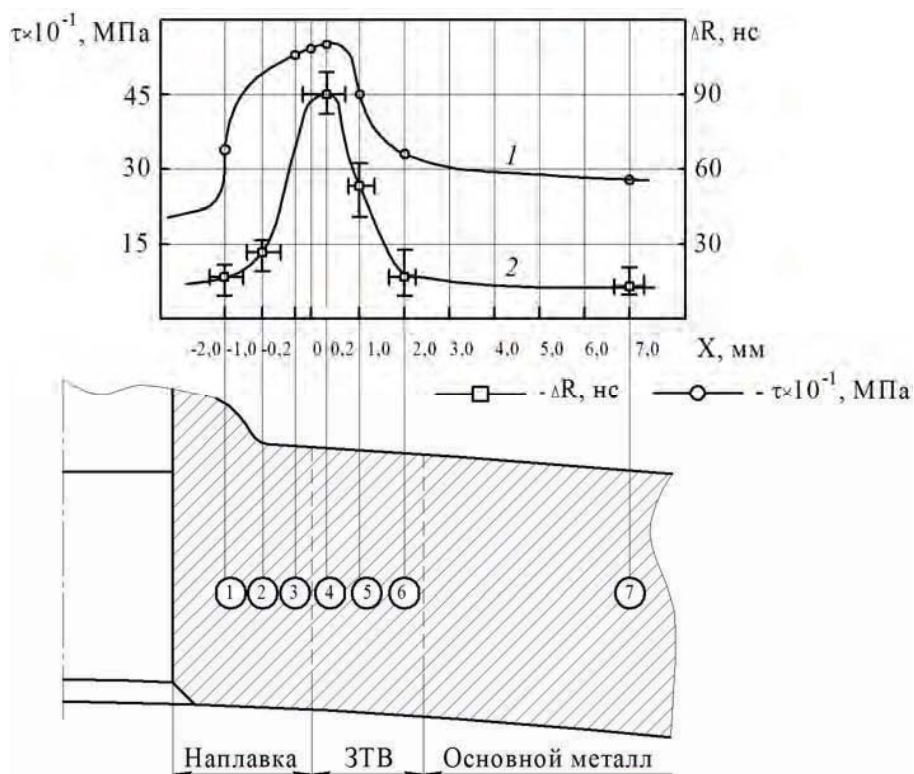


Рис. 2. Изменение локальных полей внутренних напряжений, измеренных методом ПЭМ (1) и времени задержки ПАВ (2) специальной молибденовой стали по мере удаления от центра шва к основному металлу

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбин, В.В. Большие пластические деформации и разрушение металлов. – М.: Металлургия, 1986. – 224с.
2. Козлов, Э.В. Стадии пластической деформации, эволюция субструктуры и картина скольжения в сплавах с дисперсным упрочнением / Э.В. Козлов, Н.А. Попова, Н.А. Григорьева, и др. // Изв. вузов. Физика. – 1991. – №3. – С. 112–128.
3. Смирнов, А. Н. Субструктура, внутренние поля напряжений и проблема разрушения паропроводов из стали 12Х1МФ / А. Н. Смирнов, Э. В. Козлов. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004. – 163 с.

УДК 621.791.05:620.179

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТРУКТУРЫ СТАЛИ КАК
ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ИЗДЕЛИЯ ПОСЛЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ**

А.Н. Смирнов, д.т.н., А.С. Глинка

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-75. E-mail: alexandrar@inbox.ru

Представлены результаты исследования структурно-фазового состояния стали 35ХГС, рассмотрены зеренная структура, скалярная плотность дислокаций, уровень локальных полей внутренних напряжений в зависимости от режима обработки.

The research of a structurally-phase condition of steel 35ХГС is presented, grain structure, scalar dislocation density and local fields of internal pressure depending on processing mode are shown.

В настоящее время процесс резания является наиболее распространенным способом изготовления деталей. Несмотря на развитие и широкое внедрение методов получения точных заготовок литьем, обработкой давлением, порошковой металлургией и т. д., объем применения резания остается очень высоким: 80...85 % заготовок деталей подвергаются обработке резанием. Трудоемкость операций резания достигает 50...60 % и более от общей трудоемкости изготовления машиностроительных изделий [1].

В процессе изготовления и эксплуатации детали на ее поверхности образуются неровности, в детали возникают остаточные напряжения. Поверхностный слой детали после обработки резанием получает измененную структуру, фазовый и химический состав по сравнению с основным материалом [2].

В условиях фазовых превращений важной характеристикой определения параметров структуры металла является размер зерна. Фазовые превращения протекают по-разному в крупных и мелких зернах [3].

Проведенные методом растровой электронной микроскопии исследования [4] показали, что сталь 35ХГС на поверхности изделия после каждого этапа изготовления имеет феррито-перлитную структуру. Зерна перлита и феррита после различных этапов изготовления изделия располагаются друг относительно друга случайным образом, при этом

размеры зерен соизмеримы, зеренная структура довольно однородна (рис. 1).

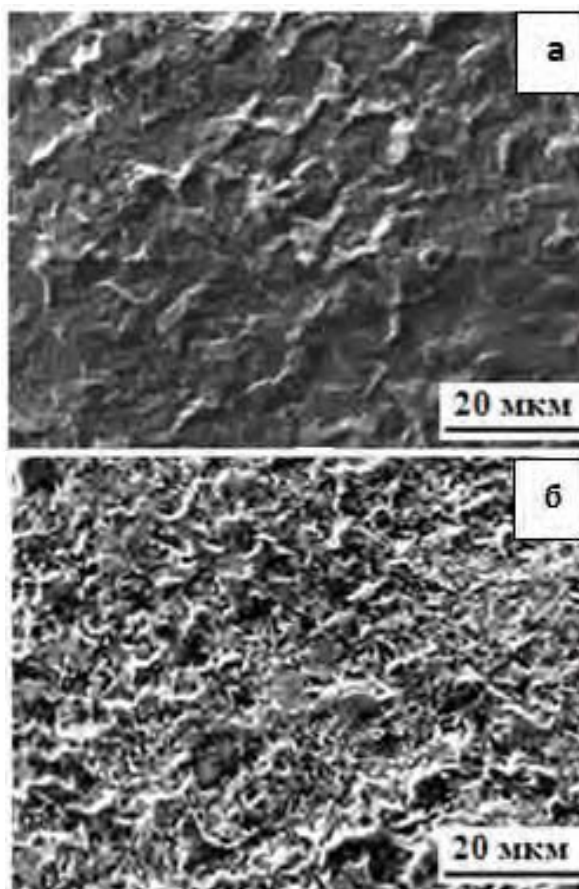


Рис. 1. Изображения зеренной структуры в стали 35ХГС, полученные методом растровой электронной микроскопии: в образце 1 на черновом этапе обработки (а) и в образце 2 на чистовом этапе обработки (б)

Перлитные зерна дефектны вследствие значительной дефектности пластин цементита, находящегося в этих зернах. Был измерен средний размер всех присутствующих в материале зерен. Распределения зерен по размерам с указанием их средних значений для образцов после различных этапов механической обработки представлены на рис. 2.

Средний размер зерен после чистового режима (образец №2) существенно меньше, чем средний размер зерен после чернового (образец №1) режима обработки. Это связано с тем, что чистовая обработка приводит к интенсивному развитию фрагментации материала, вследствие чего происходит образование большеугловых границ фрагментов, которые по строению близки к границам зерен.

На изображениях микроструктуры кроме границ зерен явно становятся видны субграницы (границы фрагментов). В образце № 1 размеры зерен находятся в интервале от 5 мкм до 45 мкм, в образце №2

– от 0 до 20 мкм. Средний размер зерна для образца № 1 составляет 20 мкм, для образца № 2 – 9 мкм.

Средний размер зерна является важной характеристикой, от него зависят некоторые количественные параметры структуры, такие как, например, скалярная плотность дислокаций [5].

Рис. 3 показывает распределение дислокационной структуры. Средняя по материалу скалярная плотность дислокаций ρ постепенно уменьшается при переходе от одного этапа изготовления изделия к другому. Величина скалярной плотности дислокаций определяется внешним силовым воздействием, что позволяет судить об уровне внутренних напряжений, возникающих в заготовке в процессе обработки с использованием различных режимов резания.

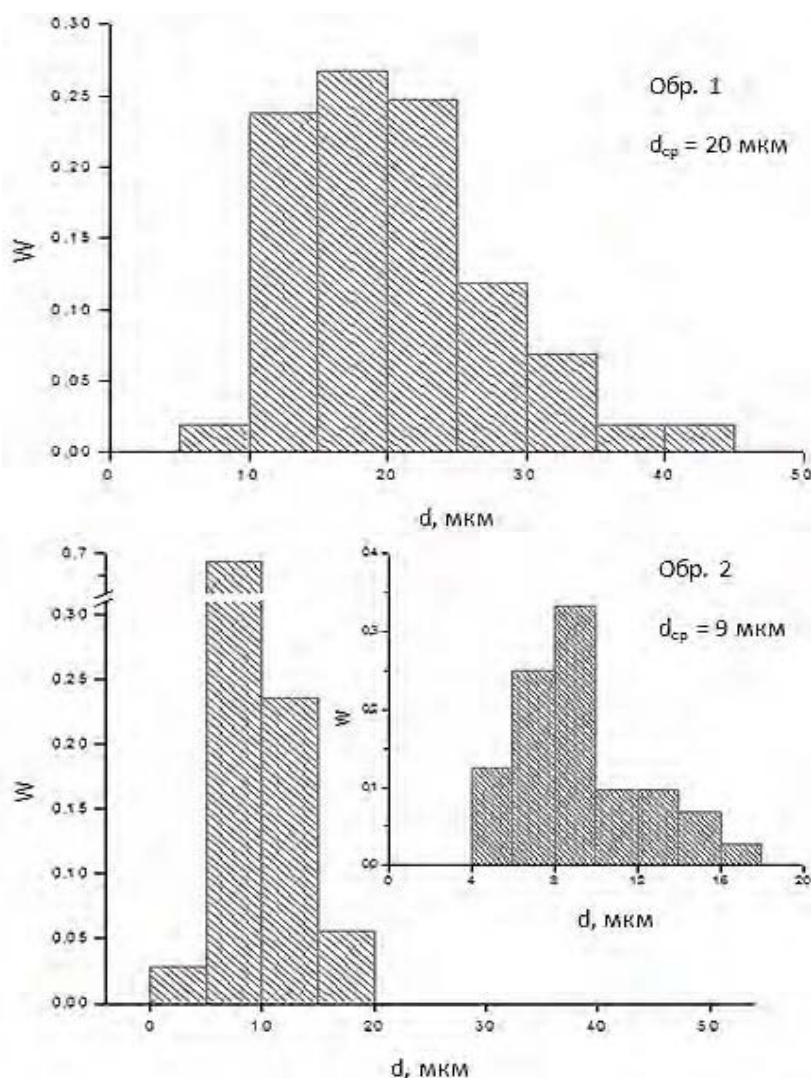


Рис. 2. Распределение зерен по размерам в стали 35ХГС на разных этапах механической обработки: в образце 1 на черновом этапе обработки $d_{cp}=20$ мкм (обр. 1) и в образце 2 на чистовом этапе обработки $d_{cp}=9$ мкм (обр. 2)

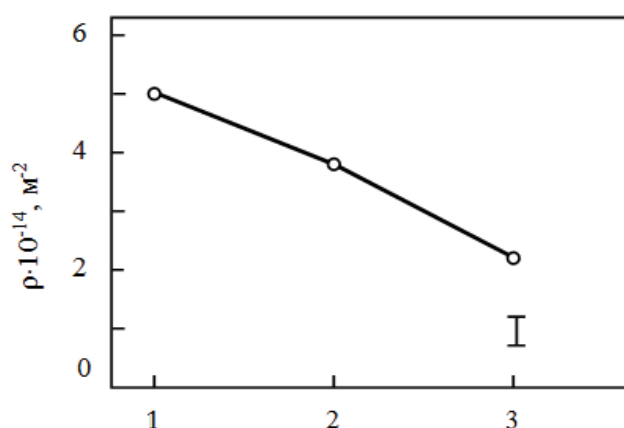


Рис. 3. Изменение скалярной плотности дислокаций ρ в стали 35ХГС на различных (1 – черновой, 2 – получистовой, 3 – чистовой) этапах изготовления изделия в среднем по материалу

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Чистовой режим механической обработки стали приводит к интенсивному развитию фрагментации материала, приводящей к образованию большеугловых границ. Средний размер зерна меньше, чем на черновом этапе обработки.

2. Изменение величины скалярной плотности дислокаций позволяет ориентировочно судить об уровне локальных полей внутренних напряжений, возникающих в заготовке в процессе обработки с использованием различных режимов резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. – М.: Машиностроение, 2009. 640 с.
2. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей – резерв в повышении конкурентоспособности машин // Инженерия поверхности. Приложение к журналу "Справочник. Инженерный журнал". – М.: Машиностроение, 2001. - №4. – с. 3-9.
3. Козлов Э.В., Попова Н.А., Кабанина О.В. и др. Эволюция фазового состава, дефектной структуры, внутренних напряжений и перераспределение углерода при отпуске литой конструкционной стали. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 177 с.
4. Смирнов А.Н. Структурно-фазовое состояние стали 35ХГС после механотермической обработки / А.Н. Смирнов, А.А. Кречетов, А.С. Глинка // Вестн. Кузбасского гос. техн. унив., 2010, №6. С. 47-51.
5. Конева Н.А. Природа стадий пластической деформации // Соросовский образовательный журнал, 1998, №10, с. 99-105.

УДК 621:681.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КОНЦЕНТРИРОВАННЫЕ ПОТОКИ ЭНЕРГИИ

д.т.н., проф. М.Л. Хейфец, В.С. Крутько, к.т.н., доц. В.А. Гайко,
Н.М. Позылова, к.т.н., доц. Е.З. Зевелева

ГНПО «Центр» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Рассмотрена модель процессов формирования изделия. Показано, что использование критериев переноса для анализа процессов формирования структур и фаз многократно уменьшает объем экспериментальных исследований в технологиях создания поверхности комбинированными методами электрофизической обработки. Анализ обобщенных схем процессов электрофизической обработки позволил выделить главные принципы организации обратных связей в открытой технологической системе.

The model of processes of formation of products is considered. It is shown, that use of criteria of carrying over for the analysis of processes of formation of structures and phases repeatedly reduces volume of experimental researches of technology of formation of a blanket at the combined methods of electrophysical processing. It is shown, that the analysis of the generalised schemes of processes of electrophysical processing allows to allocate main principles of the organisation of a feedback in open technological system.

На современном этапе научно-технического прогресса требования, предъявляемые к прочности, твердости, вязкости, износостойкости поверхности, столь высоки, что традиционные методы обработки в ряде случаев не позволяют достаточно эффективно получить необходимые параметры качества поверхностных слоев изделий [1].

В связи с этим на машиностроительных предприятиях все чаще используются совмещенные и комбинированные методы электрофизической обработки, использующие плазменные, электродуговые, ионные, электроннолучевые, лазерные и другие источники энергии [2].

Классификация технологических источников энергии Изучение потоков энергии с различной плотностью мощности показало возможность реализации в производственных условиях разнообразных комбинированных методов электрофизической обработки, незначительное число которых, если практически и не воспроизводимо, то в то же время их существование возможно в качестве побочных явлений и эффектов при других электрофизических методах

формирования поверхностей [2]. Анализ эффективности обработки показал целесообразность применения методов, совмещающих как электрофизические, так и термомеханические воздействия [3].

Процесс изготовления машины при электрофизической комбинированной обработке сопровождается взаимодействиями различных технологических объектов технологического комплекса.

Под технологическим объектом (ТО) понимают любой из объектов, в результате взаимодействия которых происходит определение или изменения состояния предмета производства при изготовлении изделия. Множества ТО, взаимодействующих в процессе изготовления изделия, образуют технологические системы [1].

Технологическая среда представляет собой совокупность технологических объектов, взаимодействующих с выделенным технологическим объектом на отдельном этапе изготовления изделия. Выделенным технологическим объектом могут быть: предмет производства (заготовка, сборочная единица); отдельная технологическая операция; процесс и т.д. Средой является все, что не принадлежит выделенному технологическому объекту, но с чем у него имеется связь.

Если в технологической системе уровня операции механической обработки выделяют технологический объект – заготовку, то технологическую среду уровня операции по отношению к ней образуют инструмент и приспособление. Оборудование здесь не входит в состав среды прямо, но, приводя в движение приспособление и инструмент, опосредованно участвует в формировании среды.

Для технологических комплексов, использующих комбинированные методы электрофизической и термомеханической обработки поверхностей деталей машин и применяющих для технологических воздействий источники энергии, оборудование прямо входит в состав технологической среды (рис.1).

Выбор технологических сред и любого из технологических источников, обладающих рациональными резервами и требующих определенных условий для проведения технологических воздействий, может эффективно осуществляться на базе предлагаемой конструкторско-технологической классификации источников энергии (табл. 1).

Конструкторско-технологическая классификация в зависимости от состояния технологической среды предлагает выбор источников энергии как по уровню концентрации энергии на обрабатываемой поверхности, так и по ее распределению в рабочей зоне.

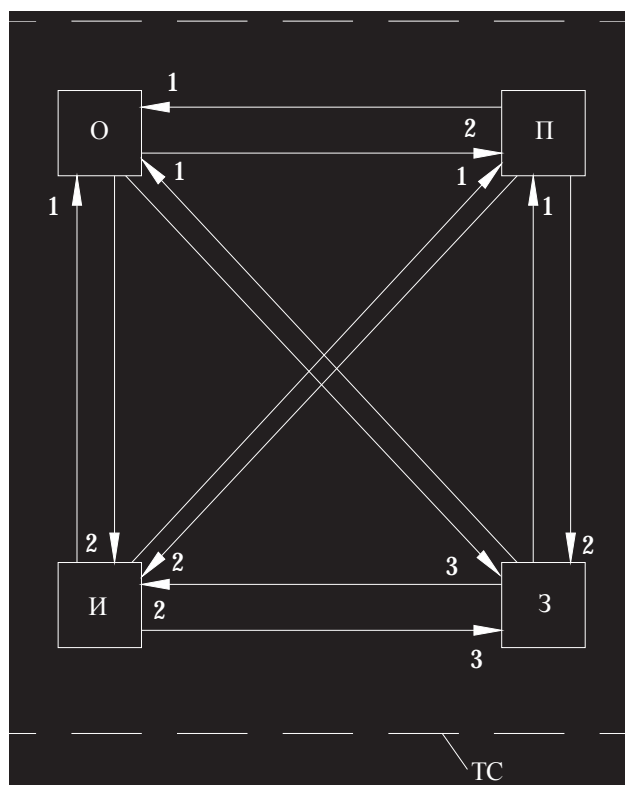


Рис. 1. Структура комбинированных электрофизических и термомеханических воздействий технологической среды, осуществляющей: установку (1); закрепление, движение (2); обработку изделия (3), включающей: оборудование (О); инструмент (И); приспособление (П); заготовку (З)

Таблица 1

Конструкторско-технологическая классификация источников энергии

Технологические источники	Технологическая среда	Вид источника энергии	Плотность мощности потоков энергии, q , Вт/см ²
Распределенные потоки энергии			
1. Поле (распределенный поток)	Не требует изменений рабочей зоны	Электрохимический	$(10^2) \dots 10^2 \dots 10^3$
		Индукционный	$(10^2) \dots 10^3 \dots 10^4$
		Электромагнитный	$10^3 \dots 10^5 \dots (10^6)$
Концентрированные потоки энергии			
2. Поток (концентрированная струя)	Требует изменения участков рабочей зоны	Газопламенный	$10^2 \dots 10^3 \dots (3 \cdot 10^3)$
		Плазменный	$5 \cdot 10^2 \dots 3 \cdot 10^3$
		Электродуговой	$10^3 \dots 10^5 \dots (10^7)$
3. Луч (сфокусированный пучок)	Требует изменений (изоляции) рабочей зоны	Ионный	$(10^2) \dots 10^3 \dots 10^5$
		Электронный	$(10^3) \dots 10^5 \dots 8 \cdot 10^8$
		Лазерный	$(5 \cdot 10^3) \dots 10^6 \dots 10^9$

Анализ обратных связей в технологической системе При управлении источниками энергии целесообразно использовать соотношения, пропорциональные критериям тепломассопереноса, для оптимизации геометрических характеристик рельефа поверхности [4, 5]:

$$\sim \frac{v [/ (1 - H_\varepsilon)]}{(/) \cdot (v /)} = \frac{v}{v (1 - H_\varepsilon)} \quad (1)$$

и для оптимизации физико-технических параметров относительного упрочнения материала поверхностного слоя [4, 6]:

$$H_\varepsilon \sim 1 - \frac{v}{v} \quad (2)$$

в которых $\vec{v} = \vec{v} + \vec{v}$ – результирующая скорость движений формирования поверхности, главного \vec{v} и подачи \vec{v} ; m – масса формируемого слоя, пропорциональная увеличению или снижению его толщины, I – сила тока и B – магнитная индукция.

Соотношения (1) и (2) показывают положительную обратную связь рельефа и отрицательную обратную связь упрочнения H_ε с производительностью обработки v , а также с регулируемыми характеристиками оборудования (I/B) и мощности источника энергии (I).

Анализ обобщенных схем процессов электрофизической обработки позволяет выделить основные принципы организации обратной связи в открытой технологической системе.

В случае, когда в первую очередь необходимо сформировать поверхность (1), а затем ее упрочнить (2), как, например, при деформировании и резании, в технологической системе при термомеханических воздействиях создается положительная обратная связь. Избыточные степени свободы инструмента и технологической среды, подавляя рассеяние потоков энергии и вещества в формоизменяемом припуске, создают упрочняющие структуры в поверхностном слое и повышают производительность обработки.

В том случае, когда сначала требуется упрочнить (2), а в завершение сформировать рельеф поверхности (1), как, например, при нанесении покрытий, в технологической системе при электрофизических воздействиях организуется отрицательная обратная связь. Дополнительные воздействия источниками энергии и веществами, формируя упрочняющие структуры в поверхностном слое, не допускают развития неустойчивости процесса при образовании рельефа

поверхности и при стабилизации не позволяют поднять производительность обработки.

Конструкторско-технологическая классификация источников энергии позволяет дать рекомендации по их целенаправленному использованию в технологических комплексах электрофизической обработки, основываясь на состоянии технологической среды в рабочей зоне.

Организация обратных связей в технологическом комплексе электрофизической обработки через избыточные степени свободы инструментов, частиц наносимого материала и удаляемого слоя, а также посредством дополнительных воздействий потоками поля и источниками энергии, позволяет управлять устойчивостью процессов формирования поверхностного слоя путем их самоорганизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологические основы управления качеством машин: Библиотека технолога / А.С.Васильев, А.М.Дальский, М.Л.Хейфец и др. – Москва: Машиностроение, 2003. – 256 с.
2. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки / М.Л.Хейфец – Москва: Машиностроение, 2005. – 272 с.
3. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Л.М..Акулович. – Полоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
4. Хейфец, М.Л. Самоорганизация процессов при высокоэффективных методах обработки деталей / М.Л.Хейфец. – Новополоцк: ПГУ, 1997. – 268 с.
5. Телегин, А.С. Тепломассоперенос / А.С. Телегин, В.С. Швыдкий, Ю.Г.Ярошенко. – М.: Металлургия, 1995. – 400 с.
6. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / под ред. В.А.Григорьева и В.М.Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с.



СЕКЦИЯ

**УПРОЧНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ,
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ
ПОКРЫТИЯ И НАНОТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**



УДК 621.791.75

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА МИНИМИЗАЦИЮ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ ТОНКИХ ПЛАСТИН

Хейдари Монфаред Афшин, А.Ф. Пантелеенко
Белорусский национальный технический университет
Тел. +375-295-763-640. E-mail: afshin_rommel@yahoo.com

Представлены методика и результаты исследования влияния различных параметров для минимизации искривлений, вызванных сваркой тонких пластин из аустенитных нержавеющей сталей. В методике используется трехмерный структурный анализ с раздельным (по температуре, напряжениям, деформациям) подходом. Численный анализ позволяет прогнозировать, формы и величины деформации после сварки. Для контроля и минимизации искривления использован метод термического натяжения, являющийся основным. Ширина, температура и время нагрева - главные параметры, в этом методе. Однако теплоотвод имеет другую технику для минимизации искривления. С использованием программы SYSWELD были определены в окончательной форме деформации после сварки. Верификация результатов численного анализа проводилась экспериментальным путем.

This paper presents influence of various parameters for minimization of welding-induced distortion in welding of thin plates from austenitic stainless steels. The technique uses three-dimensional structural analyses in a decoupled approach. The numerical analysis can predict shape and amount of deformation after welding and so may be utilized either as a design evaluation or manufacturing analysis tool. ne of the main method for control and minimization of buckling distortion is thermal tensioning method. Width, temperature and time of heating are very critical parameters in this method. n the other hand heat sink method is another technique for minimization of buckling distortion. With the use of SYSWELD program influences of these techniques were determined in the final of shape of deformation after welding. For verification of numerical analysis a simplified empirical bead on plate test also was done and compared with numerical analysis.

Тонколистовые сварные конструкции часто используются в судостроении, железнодорожном транспорте, аэрокосмической и автомобильной промышленности и потеря их устойчивости является распространенным типом искажения. В работе [1] рассматриваются различные типы деформаций, их причины и методы минимизации при сварке в тонколистовых конструкциях. Ранее эти деформации определяли только экспериментальным путем, что является очень дорогостоящим и требует много времени. С начала 1990-х годов был достигнут значительный прогресс в определении остаточных сварочных напряжений и деформаций [2-3]. Выполнение методов численного моделирования сварки было успешным благодаря бурному росту компьютерных технологий и, в то же время, быстрому развитию

методов. В последние 20 лет, как правило, для расчета деформаций и остаточных напряжений при сварке используется метод конечных элементов (МКЭ) [4-10]. В большинстве примеров моделирования сварки в 1970-х и 1980-х годах применена двумерная (2D) моделей по сечению, которая предполагает, что тепловой поток в направлении сварки равен нулю. В отношении вычислительных мощностей, эта модель является одной из самых дешевых моделей, поскольку она дает устойчивый анализ состояния. Если температуропроводность достаточно низка и скорость сварки достаточно высока, модель может быть достаточно точной. Следующая наиболее популярная модель в плоскости предполагает, что тепловой поток по нормали к свариваемой пластине равен нулю. Ограничением теплового потока по плоскости пластины можно добиться точности моделирования для тонких пластин, в частности, с глубоким проникновением плазмы, электронного и лазерного луча при сварке. Преимуществом второй модели по сравнению с первой является возможность для вычисления начальной и конечной точки сварки. Поэтому она требует гораздо больше элементов и шагов по времени, а вычислительные затраты выше. Так как градиент температуры в нормальном к линии сварки направлении в 2D-модели равен нулю, эти модели не способны предсказать угловые и продольные деформации. 3D-модели позволяют прогнозировать все деформации. Тем не менее, их использование в промышленных приложениях экономически неэффективно. Однако с ростом быстродействия компьютеров они будут использоваться в различных отраслях промышленности. В настоящее время известно несколько коммерчески доступных программ, использующих метод конечных элементов, таких как ANSYS, ABAQUS, MSC MARC, FEMLAB, MSC MARC, LSDYNA и SYSWELD, и т.д., которые могут быть использованы для проведения процессов моделирования сварки. Но среди них SYSWELD является наиболее эффективным специальным программным обеспечением для моделирования металлургических процессов. Таким образом, в данной работе, был использован программный продукт SYSWELD для моделирования сварки тонкой пластины из высоколегированной стали аустенитного класса толщиной 1 мм.

Для верификации результатов моделирования использовали дуговую сварку (MIG) в среде инертного газа. Пластина имеет размеры 160×110×1 мм. Длина сварочной линии составляет около 140 мм. Пластины сварены без внешнего закрепления. Это необходимо для получения всех деформаций, которые включают угловой выгиб и продольный изгиб. Материал, используемый при сварке 05X18H10 – высоколегированная сталь аустенитного класса. Все свойства этой

стали, в том числе физико-механические, были взяты из стандартной библиотеки **SYSWELD**.

Скорость сварки - **1,8** мм/с, общее время сварки – **77** с, сварочный ток – **30** А, и напряжение дуги – **10В**. Потребляемая мощность определяется в соответствии с работой [3] для распределения тепла по эллипсоиде. Предполагается, что ширина и глубина расплавленной зоны составляет **1** мм. После завершения сварки пластины, охлаждения ее до комнатной температуры при помощи индикатора часового типа (верньер) были определены продольный изгиб и угловые деформации (рис. 2).

При моделировании сварочных процессов модель должна быть зафиксирована таким образом, что движение твердого тела не представлялось возможным. С точки зрения вычислений, фиксации всех углов пластины во всех направлениях не должно быть из-за высоких искажений элементов в этих углах и увеличения времени вычислений. Поэтому в настоящей работе один угол пластины фиксировали во всех направлениях, второй угол пластины закрепляли в направлениях осей **x** и **z**, а другие углы пластины были зафиксированы только в направлении **z**. В соответствии с методикой МКЭ общее число узлов модели составило **32205** для точек, **25088** элементов **3D** сеток, **3008** видов элементов, **13888** элементов термического анализа для передачи тепла и сварочная зона содержит **112** элементов для траектории линии сварки. При моделировании толщины пластины были использованы четыре элемента. Средний размер **3D** элемента **1,5 × 1,05 × 0.25mm³**.

Температура поля **T** является функцией времени и пространственных координат (**x, y, z**) и определяется **3D** нелинейным уравнением теплопередачи:

$$\rho \frac{\partial}{\partial t} (, , ,) = \frac{\partial}{\partial x} (\mathbf{k} \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mathbf{k} \frac{\partial}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z}) + (, , ,)$$

где ρ – плотность материалов [г/мм³], – удельная теплоемкость [Дж / (г °С)], **T** – текущая температура [°С], – внутренний запас тепла [Ватт], – время [секунд]. Анализ тепловой конвекции и излучения на поверхности пластины показывает, что потери теплового потока описываются следующим уравнением:

$$= \beta (-) + \varepsilon (^4 - ^4)$$

Где – комнатная температура, = **30** / ² – коэффициент теплопроводности, $\varepsilon = 0.8$ – излучательная способность поверхностей пластины и = **5.67 × 10⁻¹²** / ² – постоянная Стефана-Больцмана.

При термомеханическом анализе, данные термического анализа принимаются в качестве термической нагрузки. Они запрашиваются при каждом увеличении параметров в течение термомеханического анализа.

Принимаем, что пластическая деформация материалов протекает согласно критерию пластичности Мизеса и соответствующему закону текучести. Соотношение между термическими напряжениями σ_j , и деформациями ε_j , описывается следующим уравнением:

$$\varepsilon_j = \frac{1+\nu}{E} \sigma_j - \frac{\nu}{E} \sigma_{kk} \delta_j + \lambda_j + [\alpha + \frac{\partial \alpha}{\partial T} (T - T_0)]$$

где E – это модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, α – коэффициент теплового расширения; $\delta_j = \sigma_j - 1/3 \sigma_{kk} \sigma_j$ – составляющие девиаторических напряжений, λ – коэффициент пластической деформации. $\lambda = 0$ для упругой деформации или $\sigma < \sigma_s$ и $\lambda > 0$ для пластической деформации или $\sigma \geq \sigma_s$ здесь σ_s – предел текучести, а $\sigma_s = (2/3 \sigma_{eff})^2$ – эффективное напряжение Мизеса.

Направление сварки находится в прямой оси Y . Сварка начиналась в середине плиты и на расстоянии 15 мм от края пластины и была завершена на расстоянии 5 мм от конца пластины. Картина температурного поля во время сварки показана на рисунке 1. Из рисунка видно, что максимальной температурой сварочной ванны является 2194

С, что подтверждается экспериментальными сведениями. Из рисунка мы можем наблюдать оба пика температуры и распределение тепловой энергии в каждой точке дуги.

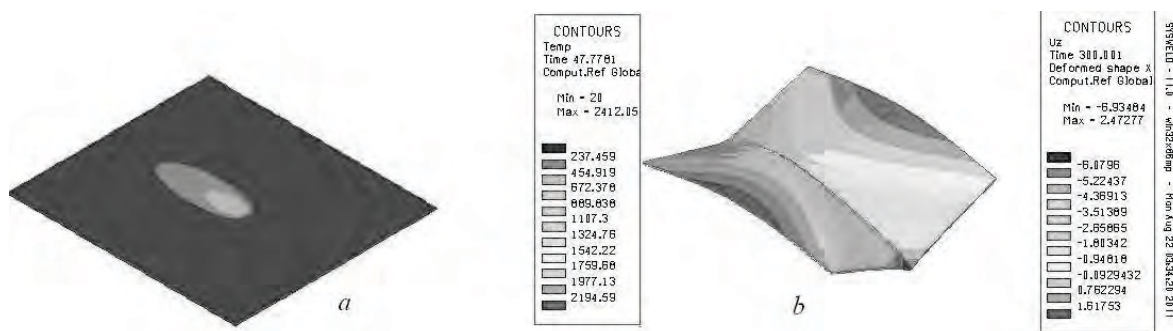


Рис. 1. Распределение температурных полей во время сварки (а),
распределение перемещения узлов в направлении (б)

Рис. 1, б показывает окончательный вид деформаций. Для проверки результатов численного моделирования были проведены эксперименты. Пластины были сварены без внешнего закрепления. Как видно, максимальное отклонение расчетных и экспериментальных величина составляет около 21% в середине пластины. Но на краю плиты, максимальное отклонение составляет 17,3%. Так среднее отклонение составляет около 19,5% в общей пластине, поэтому результат

численного моделирования хорошо согласуется с эмпирической проверкой.

Одной из основных целей при численном моделировании сварки является реализация различных граничных условий тепла для минимизации деформации. В этом разделе изучается влияние двух термических методов натяжения и натяжения с теплоотводом. Рис 3, а показывает окончательные деформации после сварки двух пластин. Длина и толщина каждой пластины такие же, как и в предыдущем случае, только ширина каждой пластины составляет половину от предыдущей. На рис. 3, а – результаты, полученные только методом термического натяжения. Температура нагрева – 185°C , время нагрева – 74 с и ширина зоны нагрева – $14,8$ мм. Как видно из рис. 3, а, угловая деформация и продольный изгиб уменьшаются. На рис. 3, б очевидна большая минимизация деформации. По сравнению с предыдущими методом (рис. 3, а) деформации были уменьшены на 50% .

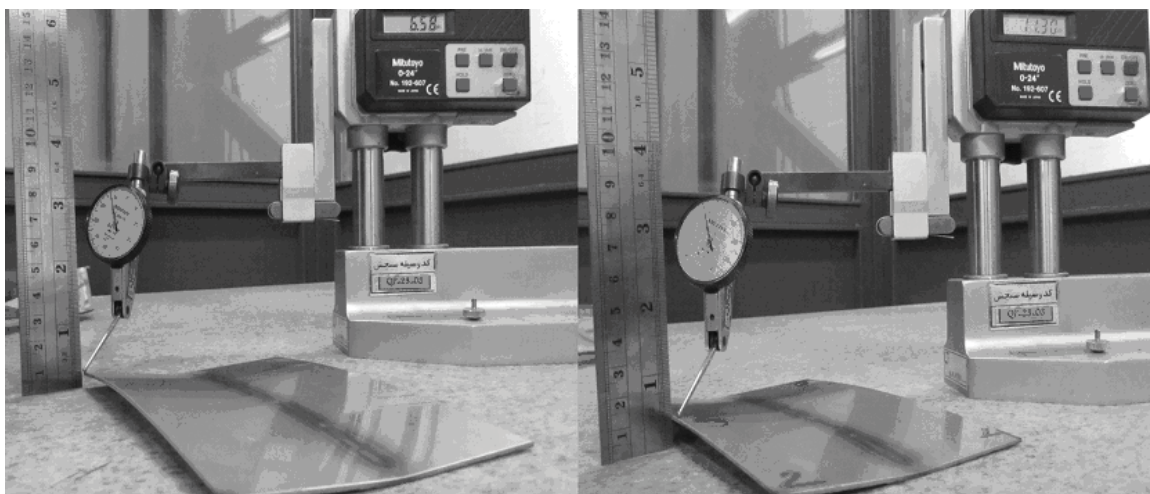


Рис. 2. Проход и плавление электрода на поверхности пластины

Таким образом, в данной работе приведены результаты численного моделирования с применением метода конечных элементов и программного продукта **SYSWELD** тепловых процессов, напряжений и деформаций, протекающих при сварке листа толщиной 1 мм из высоколегированной хромоникелевой стали аустенитного класса. Результаты численного моделирования и практической проверки показали отклонения $19,5\%$. Кроме этого по изложенной методологии ведется численного моделирование температурных полей напряжений и деформаций возникающих при лазерном оплавлении плазменно напыленных на сталь аустенитного класса покрытий.

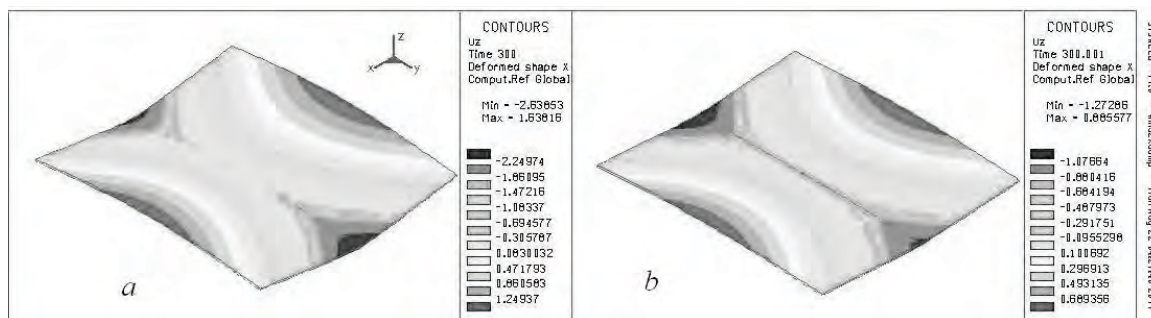


Рис. 3. Распределение деформаций

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. James R. Dydo, guidelines for control of distortion in thin ship structures, Journal of computational, 1999.
2. hili Feng, Processes and mechanisms of welding residual stress and distortion, Published by Woodhead, 2005.
3. John A. Goldak, Computational welding mechanics, Published by Springer, 2005.
4. Panteleenko Fedor Ivanovich, Afshin Heidari Monfared. Temperature and stress in a CT3 steel plate during air-arc cutting and welding processes, ournal of engineering physics and thermo physics, Vol83, No3(2010).
5. Пантелеенко Федор Иванович, Афшин Хейдари Монфаред, Снижение поверхностных деформаций путем термической обработки в процессе стыковой сварки, Вестник В, ПГУ(2010).
6. Y. eda, . Nakacho. Simplifying methods for analysis of transient and residual stresses and deformations due to multipass welding. Trans. JWRI (saka. Japan) 11 (1) (1982) 95-103.
7. M. Nasstrom, L. Wikander, L. arlsson, L.E. Lindgren, J. Goldak. Combined 3-D and shell element modelling of welding, in: I TAM Symposium on the Mechanical Effects of Welding. Lulea. Sweden, 1991. pp. 10-14. pp. 197-206.
8. D. Deng, H. Murakawa, Numerical simulation of temperature and residual stress in multi-pass welds in stainless steel pipe and comparison with experimental measurement, Journal of computational material science 37(2006) 269-277.
9. P. Mollicone, D. Camilleri , Simple thermo-elastic-plastic models for welding distortion simulation, Journal of Materials Processing Technology 176(2006)77-86.
10. J. Goldak, A. Chakravarti, M. Bibby, A new finite element model for welding heat sources, Metall. Trans. B 15B (1984) 299-305.
11. SYSWELD 2008, Welding Simulation - ser's Guide.

УДК 621.35

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ДЕТАЛИ-КАТОДА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

В.Н. Беляев, к.т.н., доц., А.В. Лобунец
Бийский технологический институт (филиал)
АлтГТУ им. И.И. Ползунова
Бийск, тел./факс +7(3854)455302, E-mail: mrsl@bti.secna.ru

Показано положительное влияние механоактивационного воздействия потока электролита на структуру и твердость никелевых и медных покрытия. Получены данные о режимах механоактивации для улучшения характеристик покрытий.

Positive influence mehanaoactivated influences of a stream of electrolyte on structure and hardness nickel and copper coatings is shown. The data about modes mehanaoactivation for improvement of characteristics of coatings is obtained.

Возможность управления структурой и свойствами осадков, включая шероховатость поверхности, размер зерен, твердость, а также интенсификации процессов осаждения определяют интерес к применению методов механоактивации при электроосаждении металлов.

С целью определения эффективности влияния механоактивации на качество и структуру покрытий проводились исследования структура и твердость никелевых и медных электрохимических покрытий, осаждаемых при гидропневматическом воздействии потока электролита на поверхность катода. Покрытия наносились из сульфатного электролита никелирования и пирофосфатного электролита меднения на образцы диаметром 25 мм из стали 45 (таблица 1).

Таблица 1

Режимы осаждения покрытий

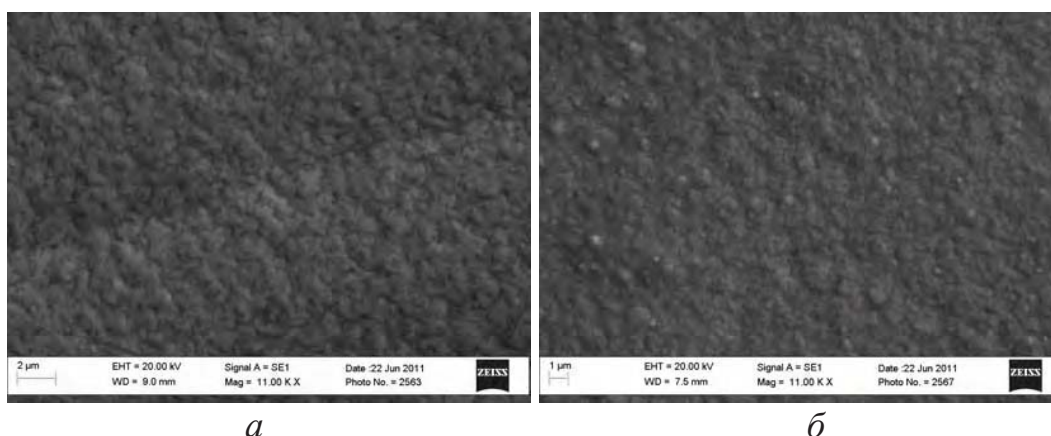
	Медь	Никель
Плотность тока	1 А/дм ²	8,6 А/дм ²
Температура	50 °С	50 °С
рН	7,8-8,5	2,5-3,5
Время осаждения	90 мин	30 мин

Покрытия наносились в гальванической ванне при обеспечении гидравлического воздействия электролита на поверхность детали-катода и возможности насыщения потока пузырьками воздуха.

В результате проведенных экспериментов были получены

электрохимические никелевые и медные покрытия, осажденные при различном воздействии потока электролита на поверхность катода (давление, доля воздуха в потоке) (рисунок 2, 3).

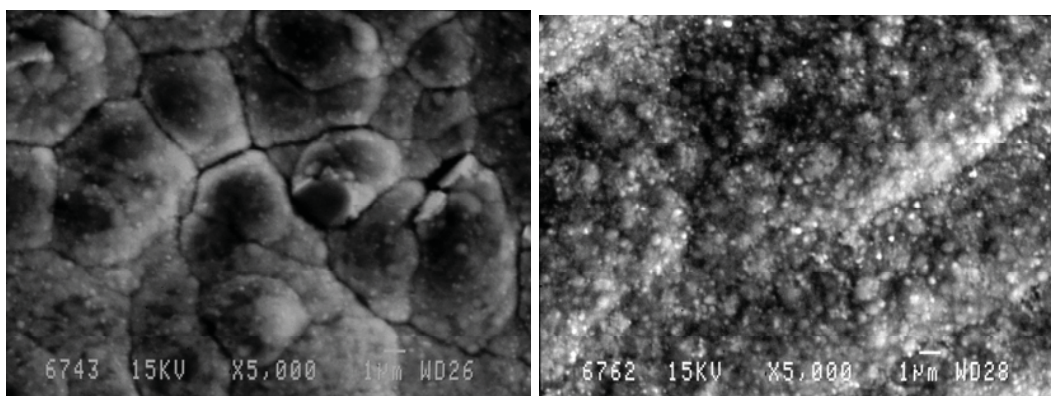
На первом этапе экспериментальных исследований была проведена оценка влияния насыщения механоактивационного потока электролита пузырями воздуха на структуру и твердость покрытий. На представленных графиках (рисунок 4) продемонстрировано, что увеличение доли воздуха в потоке приводит, первоначально, к уменьшению размера зерна и повышению твердости медных покрытий, что объясняется ингибированием кислородом и комплексообразованию в электролите, т.е. изменения состава раствора [2]. Дальнейшее увеличения воздуха, а следовательно, и количества пузырьков в растворе приводит к перенасыщению его газом, вследствие чего затрудняется подвод новых порций электролита к подложке, увеличению напряжения протекания процесса, и ухудшению характеристик покрытий.



а

б

Рис. 2. Структура никелевых покрытий:
а – давление потока 100 КПа; *б* – давление потока 120 КПа



а

б

Рис. 3. Структура медных покрытий при давлении потока 130 КПа:
а – доля воздуха 0; *б* – доля воздуха 0,4

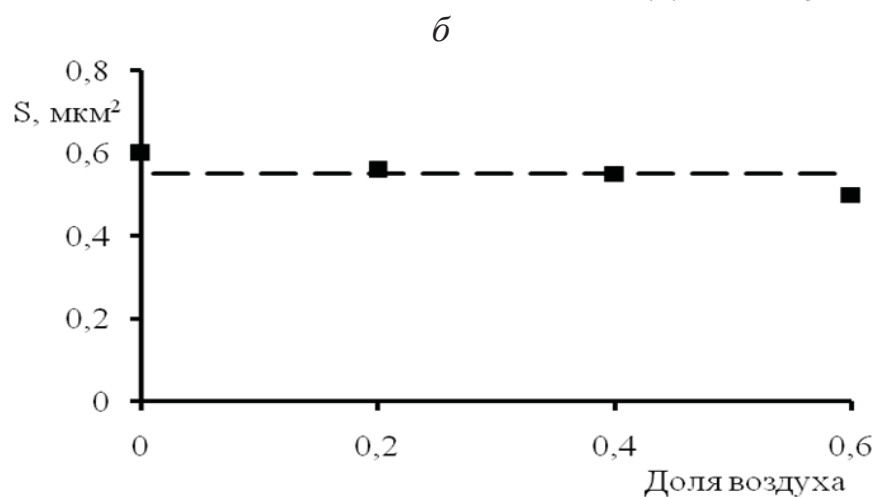
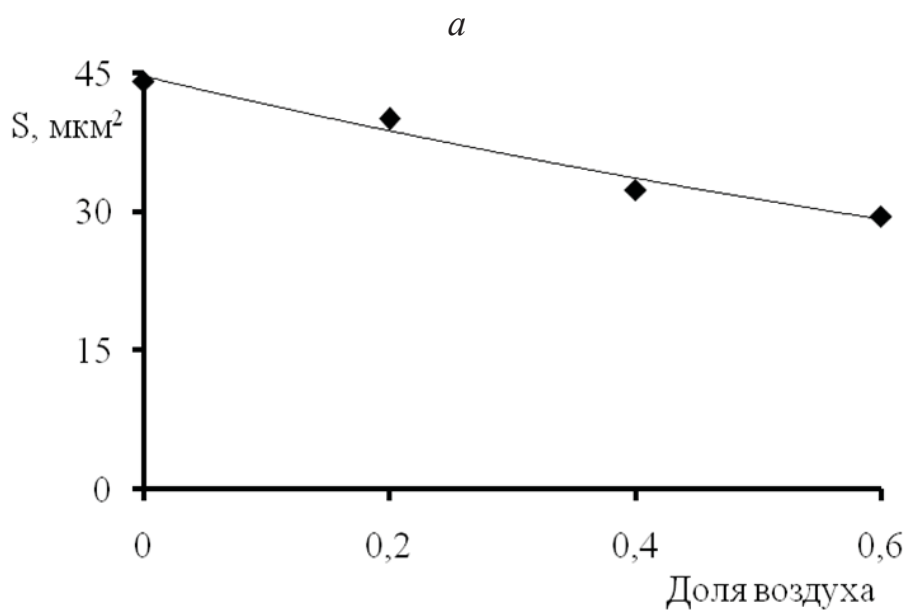
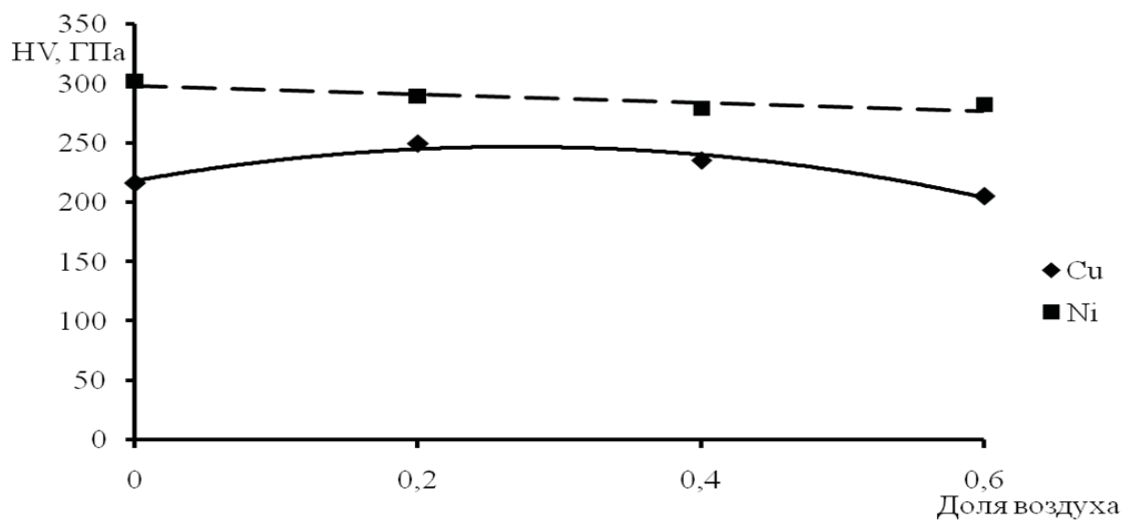


Рис. 4. Зависимости характеристик электрохимических покрытий от доли воздуха в потоке электролита: *а* – твердость покрытий; *б* – размер зерен медных покрытий; *в* – размер зерна никелевых покрытий

При исследовании никелирования позитивного влияния насыщения потока электролита пузырями воздуха выявлено не было (рисунок 3). Как и при меднении с возрастанием доли воздуха характеристики никелевых покрытий снижались. Полученные данные определяют нецелесообразность применения воздушного потока при механоактивации катода в ваннах для никелирования.

Таким образом, в результате проведенной работы экспериментально было доказано положительное влияние процесса механоактивации барботированием на структуру и свойства медных покрытия. Получены данные о режимах нанесения для получения положительного эффекта. Для никелевых покрытий была выявлена нецелесообразность применения при механоактивации воздушного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Н.Т. Электролитические покрытия металлами / Н.Т. Кудрявцев. – М.: Химия, 1979 г. – 352 с.

УДК 621.9.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБКАТЫВАНИЯ С ГИДРОПРИВОДОМ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

В.Н. Беляев, к.т.н., доцент, А.В. Лобунец

Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ им. И.И.
Ползунова, Бийск, тел./факс +7(3854)455302, E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Представлены результаты исследования совмещенной обработки деталей точением и накатыванием с гидроприводом. Показана возможность одновременно с размерной и упрочняющей обработками наносить покрытия металлов.

Results of research of the combined processing of details turning and surface deformation with a hydraulic actuator are presented. Possibility simultaneously with dimensional and strengthening processings is shown to put coatings of metals

Одним из методов поверхностно-пластического деформирования деталей является накатывание, при котором усилие деформирования обеспечивается подачей жидкости под давлением от гидростанции к деформирующему шару – накатывание с гидроприводом. При данном методе разделение поверхности деформирующего шара и обрабатываемой детали слоем рабочей жидкости может позволить изменить процесс деформации металла при проявлении эффектов Ребиндера, Киркендала, модифицировать поверхностный слой [2-4]. В

работах [4-5] представлены результаты исследования шероховатости поверхностного слоя при накатывании с гидроприводом стальных и алюминиевых образцов.

Дальнейшим направлением работы автора являлось исследование накатывания с гидроприводом, где в качестве рабочей жидкости применялся водный раствор глицерина с пятиводным сульфатом меди $4\text{H}_2\text{SO}_4$. Цель работы – определить возможность одновременно с упрочняющей обработкой формировать дополнительно медное покрытие на поверхности детали. Материал экспериментальных образцов сталь 45, алюминиевый сплав АК-12.

Исследование поверхности полученных образцов методами растровой электронной микроскопии и рентгеновской дифрактометрии подтвердили наличие на обработанной поверхности стального образца медного покрытия (рис. 1).

На алюминиевых образцах медное покрытие отсутствовало, что можно объяснить наличием плотных окисных пленок препятствующих прохождению химических реакций. Таким образом, одним из путей формирования покрытий на алюминиевых сплавах является удаление окисных пленок.

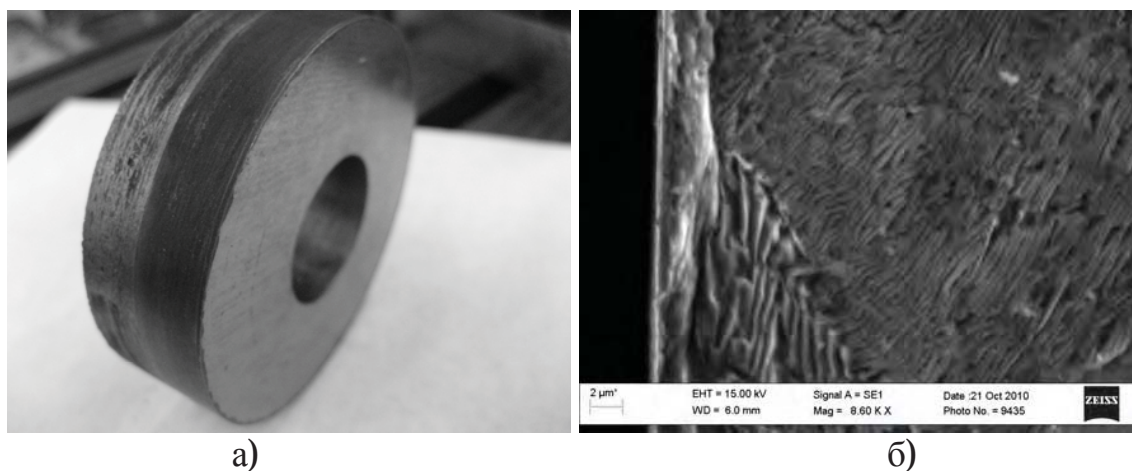


Рис. 1. Образец с нанесенным медным покрытием:
а – общий вид; б – поперечный шлиф

В гальванотехнике для формирования чистых поверхностей перед нанесением покрытий применяют процессы химического и электрохимического обезжиривания и травления, активацию поверхности различными облучениями, механическое удаление поверхностного слоя детали и др. [6]. Анализ существующих методов обработки поверхностного слоя по критериям возможности удаления окисных пленок, минимуму времени взаимодействия чистой «ювенильной» поверхности с окружающей атмосферой перед

нанесением покрытия позволил разработать способ совмещенной обработки деталей [7], для реализации которого был спроектирован и изготовлен инструмент (рис. 2).

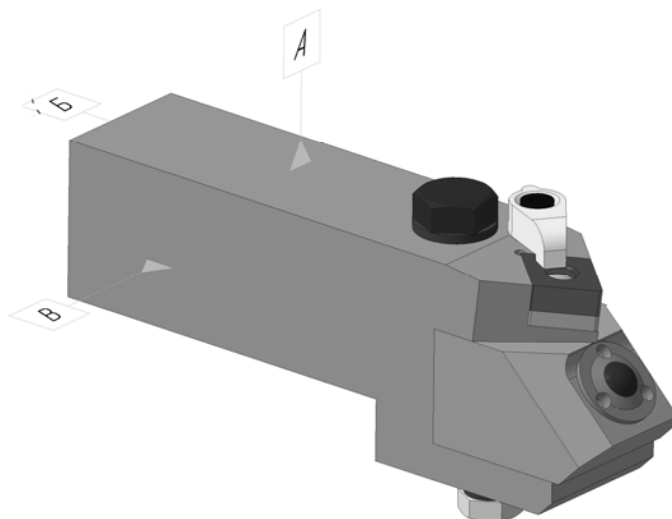


Рис. 2. Инструмент для совмещенной обработки деталей точением и накатыванием с гидроприводом

Исследования совмещенной обработки экспериментальных роликов точением и накатыванием с гидроприводом выявили возможность формировать медное покрытие на алюминиевых образцах (рис. 3).

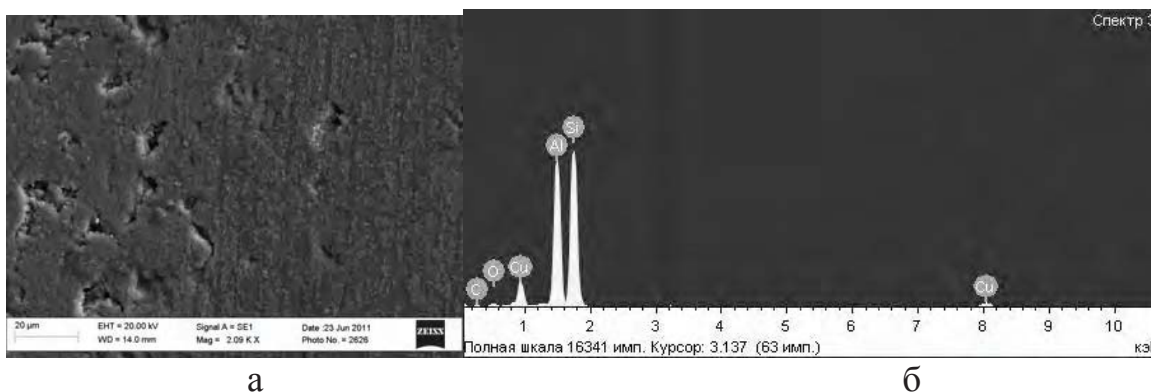


Рис. 3. Алюминиевый образец после совмещенной обработки
а – поверхность образца; б – энерго-дисперсионный анализ

Таким образом, проведенные исследования показали возможность применения совмещенной обработки деталей точением и накатыванием с гидроприводом не только с целью размерной и упрочняющей обработки, но и с целью нанесения покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прозоров Л.В., Костава А.А. Прессование металлов жидкостью высокого давления. «Машиностроение». 1972, с. 152
2. Ребиндер П.А., Шукин Е.Д. Поверхностные явления в твердых телах и в процессах их деформации и разрушения. Успехи физических наук, т. 108, вып. 1, 1972.
3. Берсудский А.Л. Технологическое обеспечение долговечности деталей машин на основе упрочняющей обработки с одновременным нанесением антифрикционных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. – Саратов, 2008. – 294 с.
4. Фирсов А.М., Беляев В.Н. Обработка отверстий в деталях из алюминиевого сплава поверхностно-пластическим деформированием / Обработка металлов. - 2006. - №1. – С. 16-18.
5. Беляев В.Н., Воробьев А.К. Исследование влияния режимов гидравлического накатывания на шероховатость поверхности детали / Инновации в машиностроении: материалы I Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – С. 189-191
6. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник. В 2-х томах / под ред. М.А. Шлугера – М.: Машиностроение, 1985 – Т. 1. 1985. – 240 с.
7. Беляев В.Н., Овчинников М.В. и др. Способ совмещенной обработки деталей / патент РФ № 2423219.

УДК 621.787

ОЧАГ ДЕФОРМАЦИИ КАК ОСНОВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФОРМИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н., проф.

Кузбасский государственный технический университет

Кемерово, т./факс +7(3842) 58-30-73. E-mail: blumenstein@rambler.ru

Приведены результаты исследований механики технологического наследования. Исследованы процессы пластического течения металла в очаге деформации, свойства поверхностного слоя при ППД рассматриваются как результат этого пластического течения.

The research findings of the technological inheritance mechanics are set forth. The processes of the plastic yielding of metal at the deformation site are investigated. The surface layer properties during surface plastic deformation are studied as a result of the above plastic yielding.

В настоящее время не вызывает сомнения необходимость учета технологического наследования при исследовании существующих и проектировании новых технологических процессов. Технологическое наследование – это совокупность сложных явлений переноса всего

комплекса параметров качества детали, причем зависимых друг от друга.

В большинстве известных исследований рассматривается технологическое наследование единичных показателей качества поверхностного слоя, хотя и во взаимосвязи с другими показателями (формирование шероховатости зависит как от шероховатости на данной операции, так и от микроструктуры, твердости и остаточных напряжений, сформированных на предшествующей операции и т.д.).

При рассмотрении наследственных закономерностей упрочнения и остаточных напряжений часто используется линейное суммирование соответствующих эпюр. Описание закономерностей технологического наследования проводится в категориях линейных и степенных моделей на уровне установленных регрессионных зависимостей; при этом не установлена физическая природа наследственных явлений на стадиях механической обработки и последующей эксплуатации.

По ряду причин указывается, что на формирование свойств при обработке поверхностным пластическим деформированием (ППД) предшествующие токарные операции не оказывают сколько-нибудь существенного влияния; делается вывод о том, что ППД является «технологическим барьером». Аналогично считается, что термическая обработка снижает до нуля накопленные (наследственные) механические свойства поверхностного слоя детали.

В то же время показано, что технологическое наследование не может быть описано простыми одномерными моделями, а рассмотрение технологической цепочки «режим – состояние поверхностного слоя – эксплуатационные свойства» предполагает наличие более сложных связей в виде функционалов. Разработка моделей технологического наследования в виде системы функционалов требует знания физических закономерностей формирования поверхностного слоя деталей машин.

Известно, что любой технологический процесс состоит из ряда операций; например, традиционный технологический процесс упрочняющей обработки, ориентированный на повышение долговечности деталей машин, включает в себя ряд операций чернового, получистового и чистового резания и последующее ППД. В совокупности это требует рассмотрения процессов механической обработки и эксплуатации во времени и явлений, свойственных этим процессам, благодаря которым они и осуществляются – явлений протекания пластической деформации. Подобное возможно, если исследуется процесс пластического течения металла в некотором очаге деформации, свойства поверхностного слоя рассматриваются как результат этого пластического течения, а процесс эксплуатации – как продолжающийся процесс изменения этих свойств.

Такой научный подход предполагает, с одной стороны, наличие базовых (онтологических) представлений о непрерывном формировании качества поверхностного слоя и, соответственно, эксплуатационных свойств на всем протяжении изготовления детали, и, с другой стороны, о влиянии состояния (накопленных свойств) поверхностного слоя на долговечность деталей машин.

В качестве базовой модели при решении задач механики технологического наследования (ТН) качества поверхностного слоя на стадиях механической обработки использована феноменологическая модель формирования поверхностного слоя при ППД, предложенная проф. В.М. Смелянским [1].

Воздействие на поверхностный слой инструментом на операции механической обработки приводит к возникновению очага деформации *ABCDEFG*, в котором протекает пластическое течение материала в условиях определенного напряженно-деформированного состояния (НДС) (рис. 1).

Форма и размеры очага деформации (ОД) зависят от технологических параметров обработки – режимов, формы инструмента, свойств материала, кинематики обработки и др. Следуя основным положениям механики деформируемых сред, введем понятие частицы поверхностного слоя.

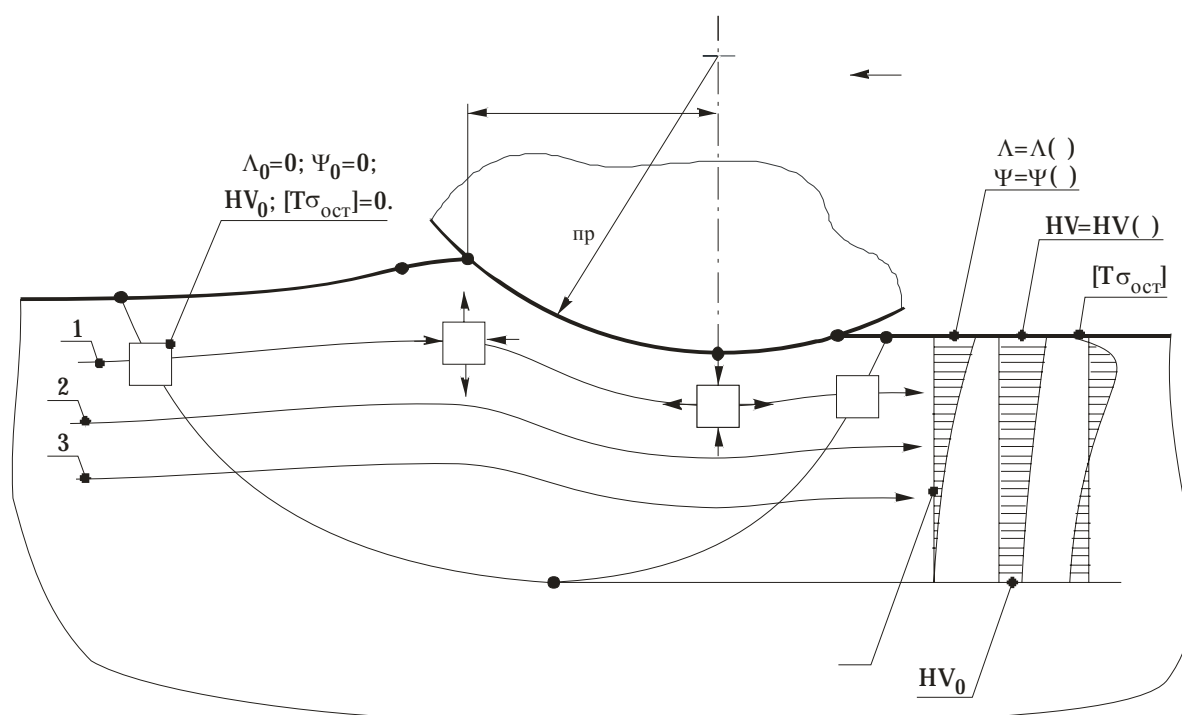


Рис. 1. Модель формирования поверхностного слоя при ППД

Формирование поверхностного слоя происходит в результате перемещения частиц поверхностного слоя в ОД по линиям тока, например, линиям 1, 2, 3, определяемым из решения соответствующей задачи механики. Перемещаясь вдоль траектории, частица проходит через три состояния: начальное, текущее и конечное. Смещение частицы до встречи с передней границей очага деформации AG не сопровождается деформацией, поэтому её свойства соответствуют начальным (исходным) свойствам заготовки. Они могут быть постоянными по толщине поверхностного слоя h , если материал не подвергался предварительному нагружению, или переменными.

Текущее состояние частицы внутри ОД зависит от его НДС. Движение частиц поверхностного слоя внутри ОД сопровождается накоплением вдоль линий тока пластических деформаций, а, следовательно, изменением их свойств. Конечное состояние частиц возникает при выходе её из ОД. Перемещение частицы после пересечения ею задней границы ОД уже не сопровождается накоплением пластических деформаций, однако её состояние может измениться в результате упругой разгрузки или остывания.

В итоге, из-за неравномерной интенсивности пластического течения металла и разгрузки по глубине ОД, формируется поверхностный слой с неравномерными параметрами состояния.

Установлено, что если известен профиль очага деформации $ABCDEFG$, то, используя его в качестве граничного условия, можно рассчитать параметры пластического течения металла и определить режимы обработки.

Особенностью модели является то, что состояние поверхностного слоя детали рассматривается не как результат «застывшей» картины напряженно-деформированного состояния, а как результат истории пластического течения металла, протекающего под влиянием программы нагружения. В этом проявляется наследственный характер модели. Численный анализ модели позволяет не только установить коэффициенты наследования тех или иных параметров состояния поверхностного слоя, но и раскрыть физические закономерности (механизм) наследования, что является основной задачей теории технологического наследования.

Решение задачи выполнено с использованием аппарата механики деформируемых сред.

Для решения задачи механики формирования поверхностного слоя необходимо установить форму очага деформации, наследственные модели, описывающие фундаментальные свойства в зависимости от режима нагружения с использованием единых категорий и терминов.

Далее из решения задачи определяются траектории движения материальных частиц металла в очаге деформации и вдоль них – характеристики поля напряжений и поля скоростей.

Завершается решение установлением этапов монотонной деформации, оценкой программ нагружения и определением степени исчерпания запаса пластичности.

При решении задач механики в качестве исходных характеристик металла используется кривая упрочнения $\sigma_s = \sigma_s(\Lambda)$, кривая предельной пластичности $\Lambda_p = \Lambda_p(\Psi)$ и диаграмма циклической трещиностойкости $V = V(K)$ в координатах «коэффициент интенсивности напряжений K – скорость роста усталостной трещины V ».

Можно выделить следующие закономерности формирования и трансформации состояния поверхностного слоя.

1. По ходу технологического процесса механической обработки и последующей эксплуатации происходит постепенное накопление деформаций Λ и исчерпание запаса пластичности Ψ в очаге деформации, которые являются наследуемыми параметрами поверхностного слоя.

2. Формирование ОД на каждой последующей операции (стадии нагружения) происходит под влиянием этих наследуемых свойств.

3. Формирование программы нагружения в ОД на каждой последующей стадии происходит под влиянием наследственной информации.

4. Каждая последующая ПН стартует с накопленного (наследуемого) значения степени деформации сдвига и степени исчерпания запаса пластичности.

5. Формирование тензора остаточных напряжений $[\Gamma\sigma_{ост}]$ на каждой последующей стадии определяется накопленной деформацией и ее распределением по глубине упрочненного слоя.

6. Полную картину упрочнения дает описание в категориях деформационных параметров, дополненное описанием распределения твердости (микротвердости) по глубине упрочненного поверхностного слоя.

7. Параметры микрогеометрии – шероховатости и волнистости – зависят не только от условий нагружения, но и от характера накопления деформаций и исчерпания запаса пластичности.

В процессе эксплуатационного циклического нагружения накопление деформаций продолжается до предельного уровня Λ_p , которому соответствует степень исчерпания запаса пластичности $\Psi = \dots$

Этому моменту соответствует зарождение начальной трещины и окончание стадии циклической долговечности.

Программы нагружения (ПН) представлены в координатах «показатель схемы напряженного состояния II - степень деформации сдвига A » и описывают сложный немонотонный характер накопления деформаций в условиях изменяющегося напряженного состояния.

Степень исчерпания запаса пластичности (СИЗП) оценивается по критерию Калпина-Филиппова, характеризующего упрочнение в связи с накопленной деформацией в соответствии с кривой течения, и накопление дефектов, приводящее к снижению пластичности металла [3]:

$$\Psi = n\varphi \int^{\Lambda_k} \Lambda_i^n d\Lambda + \int^{\Lambda_k} \frac{d\Lambda}{\Lambda_p} - \varphi \int^{\Lambda_k} \Lambda_p^n d\Lambda,$$

где φ – коэффициент, определяемый на основе испытаний на пластичность; n – показатель деформационного упрочнения.

Анализ исчерпания запаса пластичности металла по операциям (стадиям нагружения) позволил сформулировать основные положения механики технологического наследования.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили установить закономерности технологического наследования в терминах и категориях очагов деформации и программ нагружения. Использование этих закономерностей позволяет уже на технологическом уровне составить новые представления о наследовании качества поверхностного слоя по операциям механической обработки и последующего усталостного нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.
2. Блюменштейн В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.: ил.
3. Филиппов Ю.К. Критерий оценки качества деталей, получаемых холодной объемной штамповкой//Кузнечно-штамповочное производство. 1999. № 2. С. 3-9.

УДК 627.357

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ РАСТВОРОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ С КЕРАМИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Д.И. Боровик, аспирант; В.Ю. Красавин, аспирант
Ф.И. Пантелеенко, д.т.н.

Белорусский национальный технический университет
Республика Беларусь, г. Минск, тел./факс: +(37517)2939371,
E-mail: bntu_mtf@mail.ru

Приведены результаты исследования свойств композиционных покрытий, сформированных при электрохимическом осаждении из растворов-электролитов с керамическими наполнителями. Установлено, что введение наполнителя при электролитическом осаждении изменяет как структуру, так и свойства композиционных покрытий.

In the paper, the properties of composite coatings obtained by electrochemical deposition from electrolytic solution with ceramic fillers are examined. It is found that the use of a filler during electrochemical deposition changes both the structure and properties of composite coatings.

Каждый виток развития техники увеличивает потребность в материалах, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками в экстремальных условиях: износостойкостью, жаропрочностью, химической стойкостью при контакте с агрессивными жидкостями и газами при высоких температурах и др. Одновременно возрастает значение восстановления работоспособности изношенных деталей. Общая потеря материала при эксплуатации объектов, изготовленных из металлов и сплавов, распределяется следующим образом: на моральный износ приходится 15 %, на поломки 15 %. остальные 70 % — на повреждение поверхности, из которых 55 % — износ и 5% коррозия [1]. Нанесение покрытий с улучшенными физико-механическими свойствами на поверхности деталей, подверженных износу, коррозии или температурным воздействиям, является, как правило, экономически оправданным решением. Давно известный метод электрохимического (гальванического) осаждения покрытий позволяет создавать покрытия на поверхностях со сложной геометрией поверхности. Электрохимический способ осаждения удобен тем, что позволяет управлять толщиной слоя покрытия на стадии формирования покрытий. Однако у всех гальванических процессов имеется ряд ограничений,

среди которых следует выделить вредность паров электролита, длительность процесса подготовки деталей и осаждения покрытий.

Для восстановления износившихся деталей машин и упрочнения их рабочей поверхности применяют широко известный процесс железнения, как более производительный по сравнению с никелированием и хромированием. Твердость и износостойкость электрохимических (гальванических) железных покрытий напрямую зависит от режимов осаждения и состава электролита, может варьироваться в широких пределах. Тем не менее, физико-технические параметры вышеназванных покрытий не удовлетворяют в достаточной мере требованиям современной промышленности, что вызывает применение более совершенных методов получения электрохимических покрытий.

Существует два пути усовершенствования физико-технических характеристик электрохимических железных покрытий. В первом случае изменяются параметры подаваемого электрического тока, т.е. постоянный электрический ток заменяется импульсным либо асинхронным. Во втором случае в покрытие вводят упрочняющие добавки в виде порошков либо волокон. Таким образом, получают композиционные электрохимические покрытия на железной основе.

Многочисленные исследования композиционных электрохимических покрытий показали целесообразность введения керамических наполнителей в состав гальванического осадка [2, 3].

Цель данной работы - изучение свойств *композиционных электрохимических покрытий (КЭП)* с наполнителем из гексагонального нитрида бора ($\text{BN}_{\text{гекс}}$), полученных гальваническим осаждением.

Исследовали электрохимические железные покрытия с керамическим наполнителем, в качестве которого использовали ультрадисперсный порошок гексагонального нитрида бора с размером частиц **1..10** мкм.

Образцы для нанесения покрытий выполняли из низкоуглеродистой стали в виде пластин.

В качестве электролита использовали хлористый электролит железнения со следующим составом: FeCl_2 - **350 10** г/дм³, HCl – **1** г/дм³ (рН = **0,8**).

Технологические параметры нанесения покрытий: катодная плотность тока (I_k) - **15, 30, 45** А/дм²; температура электролита **60 5** С; время осаждения **60 - 120** мин.

Стоит отметить, что данный порошок $\text{BN}_{\text{гекс}}$ обладает высокой гидрофобностью и без предварительной обработки образует на поверхности электролита устойчивую пену, которая не взаимодействует

с электролитом. Для приготовления электролита-суспензии порошок $BN_{гекс}$ предварительно смачивали в небольшом количестве исходного электролита и подвергали воздействию ультразвуковых колебаний (частота 22 кГц, интенсивность 40 Вт/дм²) на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-2Т для разделения слипшихся частиц порошка и эффективного смачивания частиц электролитом. Полученную таким образом концентрированную суспензию добавляли в электролит при постоянном перемешивании.

Шероховатость покрытия исследовали с помощью профилографа - профилометра 252А в соответствии с ГОСТ 2789-73. Используется следующий режим съемки: длина трассы ошупывания 1,5 мм, отсечка шага 0,25 мм, скорость движения ленты 60 мм/мин, вертикальное увеличение $\times 50000$, горизонтальное увеличение $\times 100$. Максимальное горизонтальное увеличение при съемке профиля линии $\times 2000$, вертикальное - $\times 100000$. В свою очередь изменение коэффициента трения - скольжения покрытий осуществлялось в режиме возвратно-поступательного движения по схеме «шарик- плоскость» в условиях трения без смазки. Скорость движения индентора составляет 5 мм/с, длина единичного прохода по поверхности - 10 мм, общая длина пути 20 – 50 м, применяемые нормальные нагрузки 10 – 50 г. Контртелом является шарик из ШХ-15 диаметром 3,18 мм. Перед каждым определением коэффициента трения устанавливают неповрежденную поверхность шарика.

Композиционные электролитические покрытия (КЭП) с $BN_{гекс}$ в качестве упрочняющей добавки получали по типовой технологии железнения. Анодную подготовку проводили в 30%-м растворе серной кислоты (H_2S_4) в течение 5 мин с плотностью тока 80 А/дм². Осаждение вели при постоянном турбулентном перемешивании электролита. Время осаждения выбирали в зависимости от эффективной толщины покрытия, т.е. при режиме 15 А/дм² – 2ч, а остальные два режима (30 А/дм² и 45 А/дм²) в течение 1 ч. Как следствие, покрытия имеют примерно одинаковую толщину (300 – 500 мкм).

В результате проведенных исследований, были получены данные (рисунок 1, 2) о влиянии дисперсного наполнителя ($BN_{гекс}$) на шероховатость и коэффициент трения КЭП (Fe - $BN_{гекс}$). Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что наибольшее значение шероховатости имеют покрытия, полученные при режиме нанесения 45 А/дм², что является закономерным, т.к. при увеличении плотности тока количество дендритов резко возрастает. Максимальную шероховатость данные покрытия получают при концентрации 5 г/л порошка $BN_{гекс}$ в электролите, что отчетливо видно из рисунка 1.

Однако в случае с покрытиями, полученными при режимах 30 А/дм^2 и 45 А/дм^2 , максимальные значения шероховатости достигаются при концентрации 7 г/л . Как правило, при увеличении плотностей тока увеличивается и количество дендритов на поверхности покрытий, а следовательно и шероховатость, но кривая 1 является исключением, т.к. данные покрытия наносились в течение 2 ч .

Как видно из рисунка 2, коэффициента трения уменьшается во всех трех случаях с увеличением концентрации порошка, что дает основания утверждать, что с уменьшением коэффициента трения повышается износостойкость покрытий.

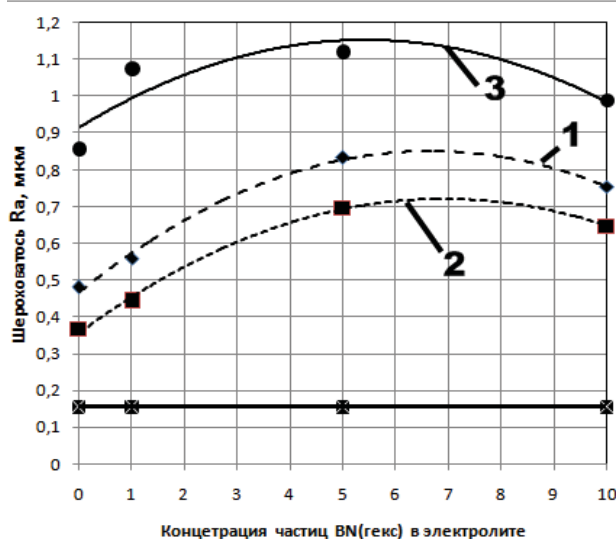


Рис. 1. Зависимость шероховатости покрытия КЭП (Fe - BN_{гекс}) от режима и концентрации частиц в электролите: 1- 15 А/дм^2 ; 2- 30 А/дм^2 ; 3- 45 А/дм^2 ; 4 – исходная шероховатость подложки

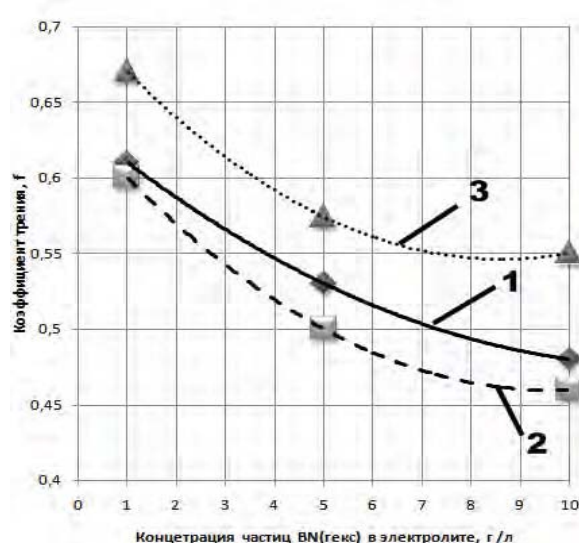


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения КЭП (Fe - BN_{гекс}) от режима и концентрации частиц в электролите: 1- 15 А/дм^2 ; 2- 30 А/дм^2 ; 3- 45 А/дм^2

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Введение частиц гексагонального нитрида бора действительно влияет на шероховатость и коэффициент трения композиционных электрохимических покрытий Fe - BN_{гекс}

2. Покрытия полученные, при плотности тока 30 А/дм^2 и концентрации частиц 10 г/л обеспечивают наименьшие значения коэффициента трения и шероховатости.

3. Можно предположить, что дальнейшее увеличение концентрации порошка гексагонального нитрида бора снизит коэффициент трения и уменьшит шероховатость покрытий, однако это требует последующих исследований.

Работа выполнена в рамках НИР по заданию № 3.1.7 ГПНИ
«Механика, техническая диагностика, металлургия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейман, Е. Л. Абразивный износ: обзор американской печати. Абразивная стойкость материалов / Е. Л. Шейман // Трение и износ. - 2006. - №1. - С. 110-122
2. Восстановление деталей машин: Справочник / Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П., Константинов В.М., под ред. Иванов В.П. . - М: Машиностроение, 2003. - 672 с.
3. Электролитическое осаждение железа / под ред. Г. Н. Зайдмана. - Кишинев: Штиинца, 1990. - 195.

УДК 621.822-192

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКА

Д. А. Бородин, магистрант
Кузбасский государственный технический ун-т
Кемерово, тел. +7-923-615-6403. E-mail: master-mj@yandex.ru

Представлено моделирование и анализ напряженно-деформированного состояния подшипника на примере подшипника 310.

Modelling and the analysis of the intense-deformed condition of the bearing 310 are presented.

Одним из основных свойств фрикционного контакта, возникающего при взаимодействии твердых тел под нагрузкой, является его дискретность (несплошность). Поскольку геометрия поверхностей в результате различных видов их обработки отличается от правильной геометрической формы (макроформы), при сближении тел под нагрузкой, их контакт происходит по отдельным пятнам с высоким давлением, оказывающим существенное влияние на все процессы контактного взаимодействия и изнашивания поверхностей. Объем межконтактного пространства определяет максимальное количество смазочного материала, удерживаемого в контакте, при отсутствии гидростатических и гидродинамических эффектов [1].

Очевидна необходимость изучения напряженно-деформированного состояния контактирующих тел в зависимости от их механических и геометрических характеристик, свойств взаимодействующих поверхностей (наличия на них пленок, покрытий, смазочного материала), от условий взаимодействия (вида трения,

протекания тепловых и физико-химических процессов и т.д.), от уровня нагрузок и др.

Для расчета напряженно-деформированного состояния подшипника в условиях действия внутренних и внешних нагрузок был использован широко распространенный метод конечных элементов (МКЭ) [2].

Целью моделирования было определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и дорожек качения подшипников в зависимости от их механических и геометрических характеристик.

Для анализа напряженно-деформированного состояния контактирующих тел с помощью программного комплекса ANSYS v13.0 была разработана и решена модель контактного взаимодействия участка дорожек качения и шарика подшипника. При разработке модели использовались геометрические и механические характеристики шарикоподшипника №310.

Модель была выполнена максимально приближенной геометрически к реальному подшипнику. Затем модель была разбита на конечные элементы (рис. 1).

К посадочной поверхности внутреннего кольца было приложено распределенное давление эквивалентное динамической грузоподъемности подшипника (60 кН), а посадочные поверхности наружного кольца закреплены по осям X и Y.

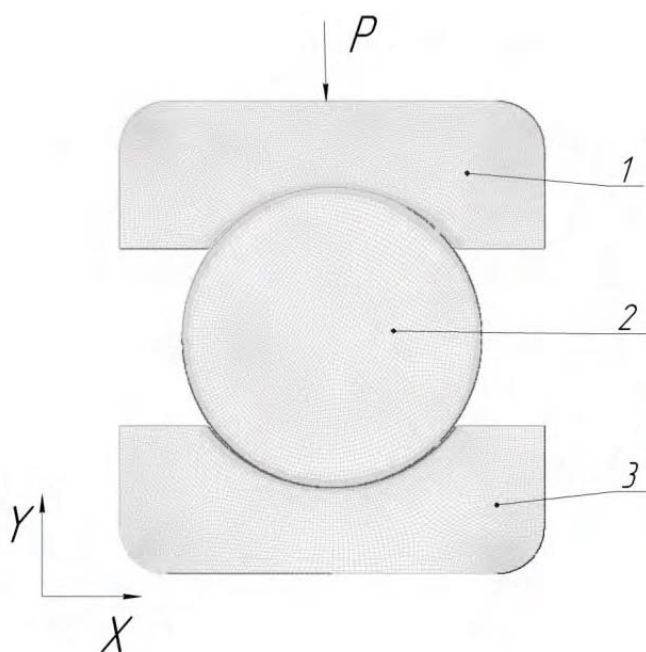
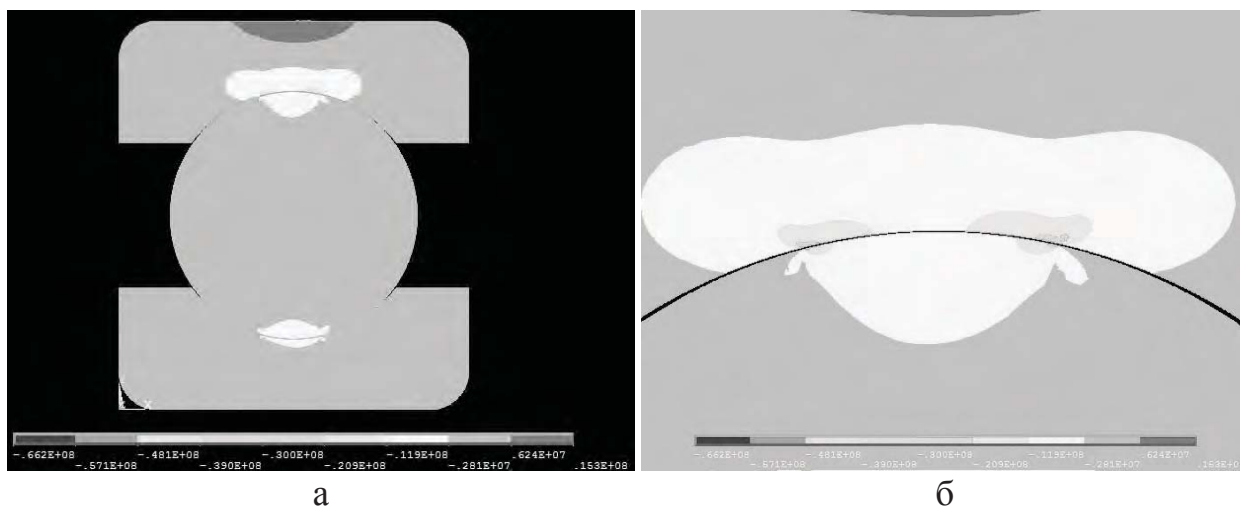
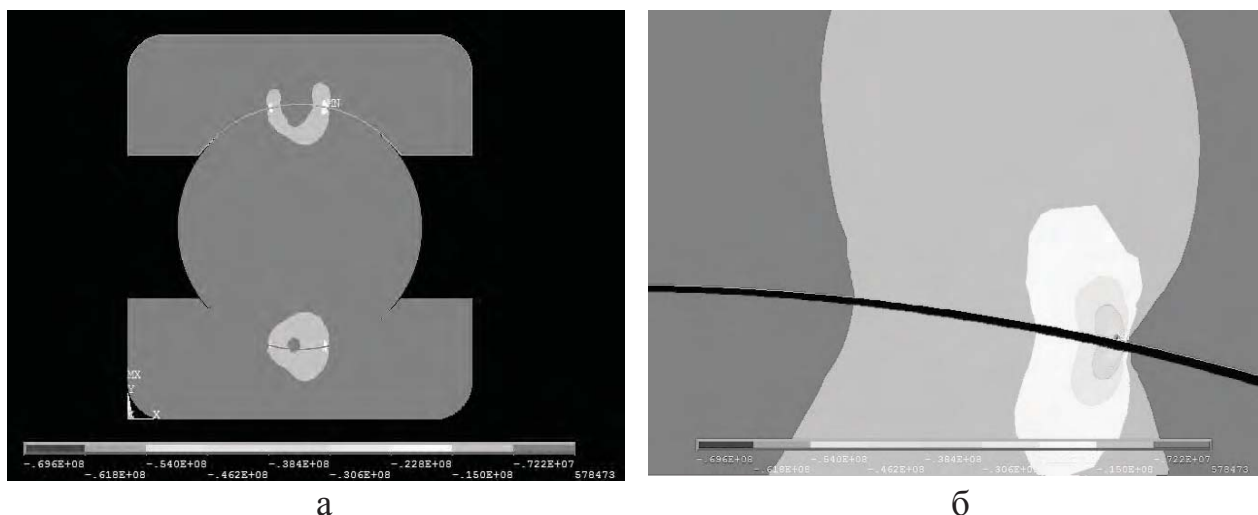


Рис. 1. Исследуемая модель: 1 – внутреннее кольцо, 2 – шарик, 3 – наружное кольцо, P – давление



а б
Рис. 2. Распределение напряжений по оси X:
а – общий вид; б – увеличенная область контакта

Как показано на рис. 2, а и 2, б, в модели присутствуют растягивающие и сжимающие напряжения. Растягивающие напряжения отмечены на рисунках 2, а и 2, б красным цветом и имеют максимальные значения, которые равны $15,3 \text{ кгс/мм}^2$. Сжимающие напряжения показаны на рисунке синим цветом и имеют минимальные значения напряжений в модели равно $-66,2 \text{ кгс/мм}^2$. То же самое можно сказать и о рисунок 3, а и 3, б, растягивающие напряжения равны $0,578 \text{ кгс/мм}^2$, а сжимающие – $-9,6 \text{ кгс/мм}^2$.



а б
Рис. 3. Распределение напряжений по оси Y:
а – общий вид; б – увеличенная область контакта

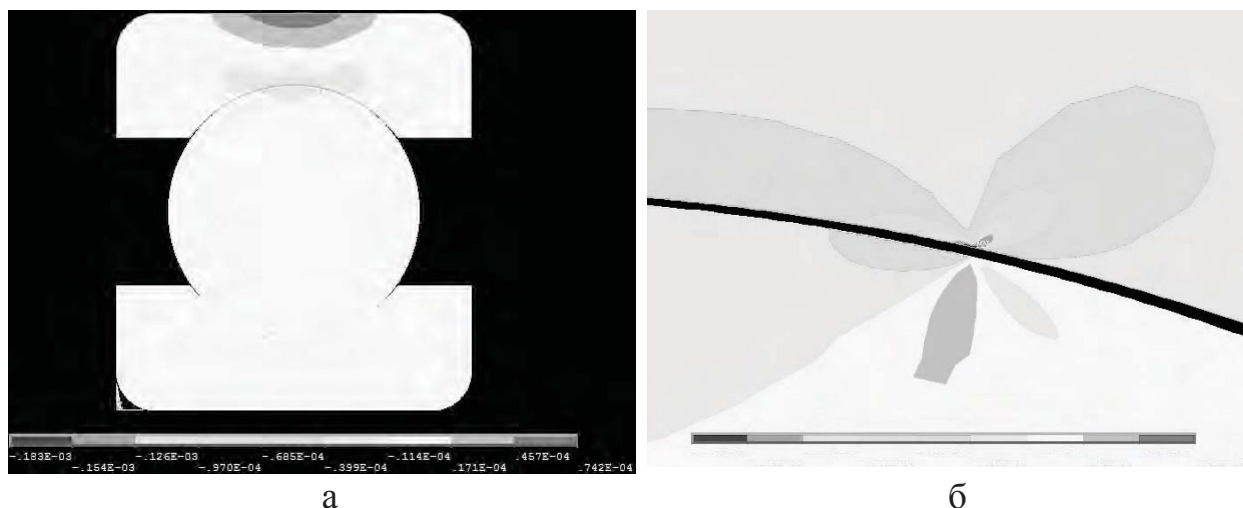


Рис. 4. Упругая деформация по оси X:
а – общий вид; б – увеличенная область контакта

На рис. 3, а и 3, б указано распределение упругой деформации, где синим цветом отмечены зоны наименьшей упругой деформации, а красным – наибольшей. Максимальная упругая деформация по оси X (рис. 4, а и 4, б) составляет $\epsilon_{X_{\max}} = 0,0000742$, минимальная упругая деформация - $\epsilon_{X_{\min}} = -0,000183$; максимальная упругая деформация по оси Y (рис. 5, а и 5, б) - $\epsilon_{Y_{\max}} = 0,0000589$, минимальная упругая деформация - $\epsilon_{Y_{\min}} = -0,000207$. $\epsilon_{Y_{\max}} \quad \epsilon_{X_{\max}}$.

Максимальная пластическая деформация (рис. 6, а и 6, б) составляет $\epsilon_{X_{\max}} = 0,0000163$, минимальная общая деформация - $\epsilon_{X_{\min}} = -0,0000361$.

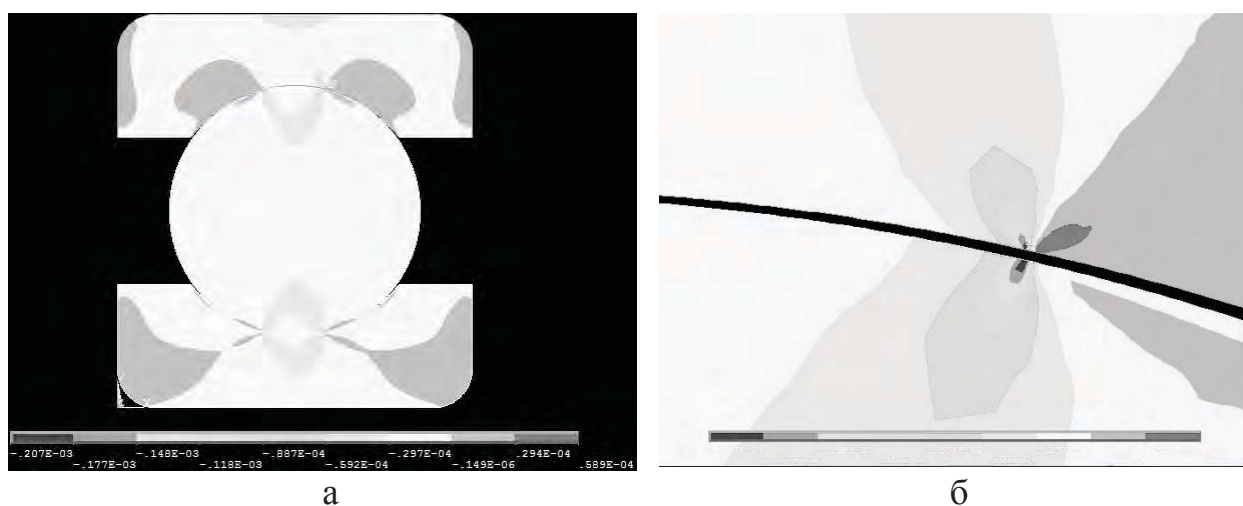


Рис. 5. Упругая деформация по оси Y:
а – общий вид; б – увеличенная область контакта

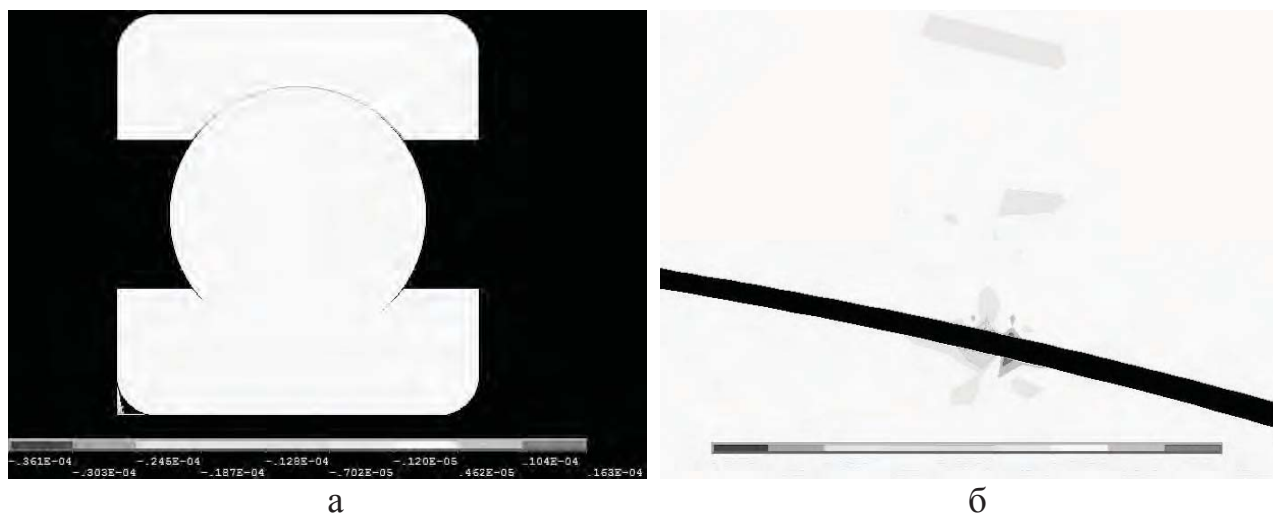


Рис. 6. Пластическая деформация:
а – общий вид; б – увеличенная область контакта

Анализ показал, что:

1. Деформации и напряжения, возникающие при статическом нагружении подшипника, не могут вызвать контактных разрушений. Однако при циклическом нагружении упруго-пластические деформации, а также возникающие при этом зоны относительно высоких напряжений приведут к усталостному разрушению поверхностного слоя дорожек и тел качения.

2. Следует отметить, что основные деформации и напряжения сосредоточены в 4-х небольших зонах. Нет точного объяснения данному феномену. Однако можно предположить, что это связано с особенностями распределения напряжений внутри кольца, форма которого является достаточно сложной.

3. Наибольшие деформации и напряжения находятся на внутреннем кольце. Однако в действительности это не так: ввиду того, что наиболее частым типом посадки в корпус является посадка с зазором или переходная, наружное кольцо более подвержено проскальзыванию и, как следствие, дополнительному нагреву и нестабильности циклов нагружения. Это приводит к большим контактным разрушениям, чем на внутреннем кольце. Проявление больших деформаций и напряжений в модели связано со схемой нагружения.

4. В точках, где напряжения, как растягивающие, так и сжимающие, достигают своих максимумов, упругие и пластические деформации также достигают максимальных значений. Стоит отметить, что величина деформаций зависит от величины напряжений прямо пропорционально.

5. Основные осевые напряжения сконцентрированы в 4-х точках, указанных выше, а также в зоне приложения нагрузки.

Несколько иное распределение радиальных напряжений: в зоне нагружения они отсутствуют. Аналогичные выводы можно сделать и по распределению упругих деформаций. Распределение пластических деформаций происходит только в 4 точках.

На основе вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. В первом приближении можно говорить, что значительная концентрация напряжений и деформаций на внутреннем кольце связана со схемой нагружения.

2. Опираясь на модель можно говорить о том, что в реальных условиях пятно контакта имеет наиболее напряженные зоны не в центре, а в районе полюсов (если рассматривать пятно овальной формы).

3. В условиях вращения подшипника вследствие упругопластических деформаций происходит явление упрочнения поверхности дорожек качения.

4. Несмотря на эффект упрочнения в ходе каждого цикла происходит накопление неупругих деформаций, которые в последствии приводят к возникновению контактного выкрашивания и разрушению подшипника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леликов, О. П. Валы и опоры с подшипниками качения. Конструирование и расчет / О. П. Леликов. - М: Машиностроение, 2006. – 640 с.
2. Басков, В. А. ANSYS в примерах и задачах / В. А. Басков – М.: КомпьютерПресс, 2002 – 224 с. : ил.

УДК 621.78

МНОГОКОМПОНЕНТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЕЙ БОРОМ СОВМЕСТНО С ТИТАНОМ, ХРОМОМ И ВОЛЬФРАМОМ

В.В. Зобнев, аспирант, А.М. Гурьев, д.т.н., проф.,
А.М. Марков, д.т.н., проф.

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова
Барнаул, тел. + 7(3852)29-08-63. E-mail: gurievam@mail.ru

В настоящее время технический прогресс во многих областях науки и техники неразрывно связан с разработкой и внедрением эффективных упрочняющих и защитных покрытий, в том числе и диффузионных. Эта тенденция обусловлена проблемой экономии стратегических металлов (хром, кобальт, вольфрам, марганец, ванадий,

молибден, ниобий, металлы платиновой группы) и перехода к массовому потреблению экономно-легированных сталей.

Методы улучшения эксплуатационных свойств за счет объемного легирования сталей дают возможность получать стали с заданными свойствами, позволяют в значительной степени повысить эксплуатационные свойства деталей машин и инструмента. Однако, объемное легирование, как правило, является не экономичным, а во многих случаях неосуществимым из-за почти полной потери сталями таких свойств, как пластичность и вязкость. Поэтому в последнее время все большее внимание уделяется методам поверхностного упрочнения сталей. В процессе эксплуатации деталей машин и инструмента наиболее интенсивным внешним воздействиям подвергаются их поверхностные слои, поэтому нередко структура и свойства именно поверхностных слоев оказывают определяющее влияние на работоспособность изделий в целом.

Существует множество способов упрочнения поверхности: напыление, лазерное упрочнение, наплавка, накатка, применение различных технологий нанесения покрытий. Однако применение данных технологий требует использования сложного, часто уникального, дорогостоящего и энергоёмкого оборудования, дорогостоящих упрочняющих сплавов, высококвалифицированного персонала. Поэтому особый интерес представляет разработка новых высокоэффективных методов упрочнения деталей машин и инструмента за счет диффузионного насыщения поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами, метод химико-термической обработки (ХТО). Одним из наиболее перспективных методов ХТО является процесс диффузионного борирования, которому принадлежит лидерство в плане повышения таких параметров как износостойкость, теплостойкость и поверхностная твердость.

Широко используемая традиционная химико-термическая обработка (ХТО) хотя и повышает износостойкость инструмента, но кроме выше перечисленных достоинств, требует большого расхода электроэнергии в связи с длительностью высокотемпературных диффузионных процессов. Всё это приводит к повышению стоимости изделия.

Исследования воздействия насыщающих сред в виде обмазок при ХТО показали, что использование соединений бора с хромом в качестве добавки к карбиду бора, значительно увеличивает срок службы инструмента. Борирование, хромирование, титанирование и совмещенные процессы (борохромирование, боротитанирование и боровольфрамирование) эффективнее, чем традиционно используемые цементация, азотирование и др. практически по всем параметрам

свойств поверхностных слоев материала. Боридные слои на сталях отличаются высокой износостойкостью, хромирование придает жаростойкость, а комбинированные покрытия совмещают в себе исходные свойства однокомпонентных. Работоспособность борохромированных слоев почти в два раза выше, чем борированных. Однако, известные методы получения таких упрочняющих покрытий несовершенны и достаточно трудоемки.

В работе изучали стали различного состава, а также чугун СЧ15 и СЧ20. Химико-термическую обработку проводили из насыщающих обмазок (паст), нанесенных на поверхность упрочняемых деталей и образцов. Проведены комплексные исследования структуры и свойств образцов после процессов совместного насыщения бором и другими элементами из насыщающей обмазки на основе карбида бора. В качестве добавок использовались как соединения данных элементов (оксиды, карбиды, бориды), так и чистые металлы.

После проведения процессов диффузионного насыщения изучали структуру, фазовый и химический состав диффузионных слоев. Металлографическое исследование проводили на оптических микроскопах: МИМ-10 и Neophot-21 и методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на электронном растровом микроскопе JSM-6510 LV JE L с системой микроанализа INCA Energy 350, xford Instruments, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) на электронном микроскопе ЭМ-125К и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на микроскопе «FEMT S AN» в режиме сканирования рельефа поверхности. Механические свойства определяли по стандартным методикам. Износостойкость определяли в лабораторных условиях на машине Амслера по ГОСТ 47421-73. ДюрOMETрические исследования производили на твердомере Роквелла ТР 5005 согласно ГОСТ 9013-82 и на приборе ПМТ-3М по ГОСТ 9450-76.

Проведен процесс борохромирования быстрорежущей стали Р6М5 из насыщающей обмазки на основе карбида бора. В результате анализа поперечных микрошлифов исследуемых образцов была показана принципиальная возможность упрочнения вольфрам и молибденсодержащих быстрорежущих сталей из насыщающих обмазок на основе карбида бора.

При насыщении поверхности бором и хромом по разработанной авторами технологии на стали образуется диффузионный слой толщиной 20 – 50 мкм. Слой имеет характерное для боридных слоев игольчатое строение. В силу того, что сталь Р6М5 является высоколегированной быстрорежущей сталью и имеет сложный химический состав, боридные иглы имеют закругленные концы и значительный диаметр. Между иглами заметно выделение различных

фаз, преимущественно карбоборидов сложного состава на основе хрома, молибдена и вольфрама.

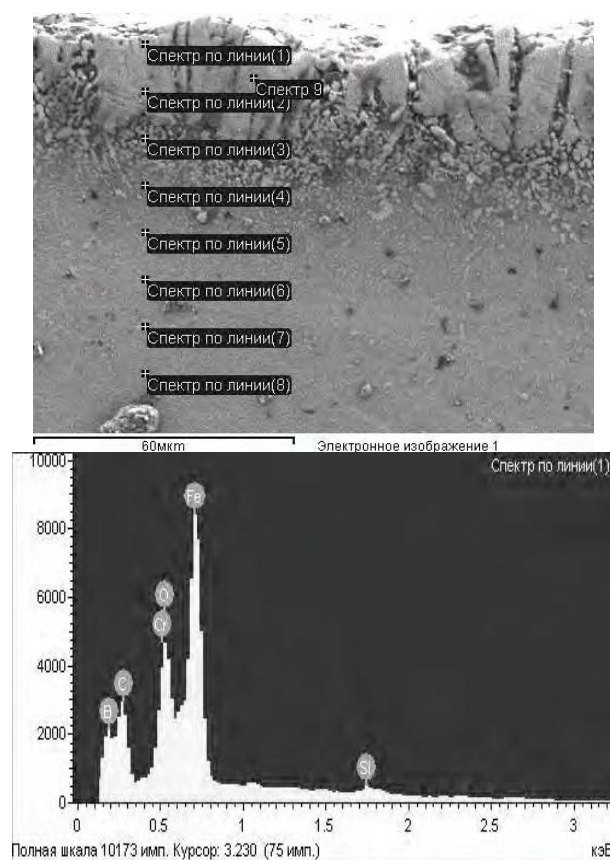


Рис. 1. Микроструктура борохромированного слоя на стали Р6М5

При борохромировании химический состав претерпевает значительные изменения в направлении от поверхности вглубь. Так, содержание бора изменяется от **22,67** на поверхности слоя до **7,35** на глубине **80** мкм. Содержание вольфрама, молибдена, хрома и углерода – соответственно от **6,68** до **6,41**; **5,10** – **5,32**; **7,25** – **4,27** и **0,12** – **0,84**. Причем на глубине около **30** мкм, где проходит граница между непосредственно диффузионным слоем и переходной зоной химический состав изменяется наиболее кардинально - содержание таких элементов как **В**, **С**, **W**, **Mo**, **V**, **Cr** находится соответственно на уровне **16,49**; **1,83**; **5,63**; **4,81**; **1,86**; **4,68** %.

Проведенные испытания на износостойкость в лабораторных условиях показали **2,5** кратный рост ресурса работы упрочненного изделия по сравнению с неупрочненным при нагрузке вплоть до **40** МПа/мм². Однако при нагрузках, превышающих эту величину происходит продавливание упрочненного слоя и снижение износостойкости упрочненного изделия до значений в **1,5** – **2** раза меньших, чем у неупрочненной детали. Данный эффект объясняется

тем, что в процессе диффузионного насыщения деталь подвергается отпуску, в результате чего под упрочненным слоем находится мягкий металл. Это приводит к продавливанию слоя, а мелкие осколки слоя, образовавшиеся в результате продавливания значительно ускоряют износ. Поэтому для деталей испытывающих при работе нагрузки, превышающие 40 МПа/мм^2 необходимо проводить закалку изделия непосредственно от температуры диффузионного насыщения. В этом случае продавливания боридного слоя не наблюдается. По результатам проводимых в настоящее время промышленных испытаний технология диффузионного упрочнения будет оптимизирована.

При введении в смесь для борирования вольфрама, либо его соединений (карбидов или оксидов) структура диффузионного слоя по сравнению с борированием изменяется: боридные иглы становятся толще и по большей части закругляются. Часть игл при этом начинает расти под углом к поверхности образца, по границам бывших зерен. Количество высокобористой фазы незначительно возрастает, так как вольфрам способствует ее образованию. Наряду с этим добавка вольфрама в насыщающую смесь увеличивает хрупкость низкобористой фазы Fe_2B . Усредненная толщина образующегося боридного слоя в случае борвольфрамирания составляет порядка 20 мкм , что $3\text{--}3,5$ раза меньше, чем при однокомпонентном борировании. Существенные изменения в случае борвольфрамирания с применением в качестве инертной добавки углерода претерпевают переходная зона и сердцевина образца. Исчезает видманштеттова структура, количество перлита увеличено по сравнению с количеством, характерным для равновесной структуры этой стали.

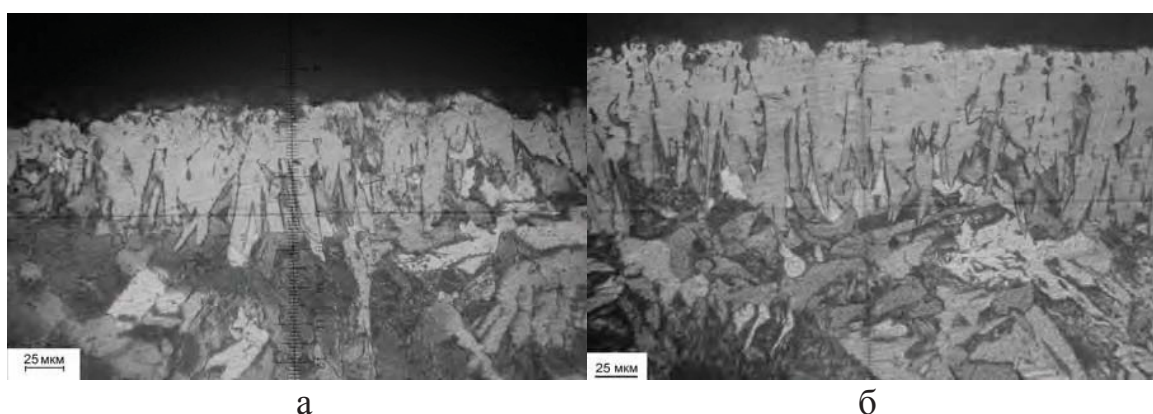


Рис. 2. Микроструктура диффузионного слоя на стали Ст3:
а) борвольфрамирание, б) борирование

При испытаниях на износостойкость при абразивном износе при удельной нагрузке 40 МПа/мм^2 оба покрытия на стали Ст3 показывают

примерно одинаковый результат, при нагрузке выше 40 МПа/мм² лучший результат показывает бороникелевое покрытие, за счет преобладающей толщины. Характер износа бороникелевого покрытия – микровыкрашивание, аналогичный характер износа наблюдается при испытании борвольфрамового покрытия, однако в силу его более высокой хрупкости микротрещины формируются задолго до выкрашивания. При адгезионном износе лучший результат показало борвольфрамовое покрытие, очагов схватывания на нем обнаружено не было. Данный факт можно объяснить тем, что в месте контакта покрытия и контртела повышения температуры было достаточно для окисления покрытия и образовавшиеся окислы выступили в роли твердой смазки.

Также были проведены испытания борвольфрамового и бороникелевого покрытия на стали Ст3 на коррозионную стойкость. Стойкость обоих покрытий в 20% растворе NaCl оказалась одинаковой, следов коррозии не обнаружено при выдержке образцов в течение 3 суток. При замене раствора поваренной соли на 10% раствор NaHCO₃ на борвольфрамовом покрытии были обнаружены незначительные следы питтинговой коррозии, однако зафиксировать потерю массы не удалось, на бороникелевом покрытии следов коррозии не обнаружено. При испытании данных покрытий в 15% водных растворах кислородсодержащих минеральных кислот (H₂SO₄ и HNO₃) наибольшую стойкость показало борвольфрамовое покрытие – потеря массы на нем составила в среднем в 1,5 раза меньше. Однако в растворе соляной кислоты наибольшую стойкость показало покрытие на основе бора и никеля – следов коррозии на нем не было обнаружено при изменении концентрации в пределах 3–15%.

Совместное насыщение бором и титаном показано, что в первоначальный период насыщения наблюдается активная диффузия бора в глубь металла, а в последующем идет рост диффузионного слоя за счет наращивания атомами титана. В промежутке между этими слоями, согласно дюрOMETрических измерений, обнаруживается подслой с достаточно низкой микротвердостью. Установлено, что это обезуглероженные соединения железа с титаном. Бор оттесняет углерод в глубь металла, а титан, наоборот, вытягивает его, поэтому происходит образование мягкой «сердцевины», которая способствует лучшей притирке сопряженных поверхностей.

В связи с этим можно заключить, что комплексное насыщение бором и титаном на основе карбида бора и окиси титана является перспективным методом повышения эксплуатационных свойств поверхности деталей машин, при этом особую роль играет мягкая сердцевина диффузионного слоя.

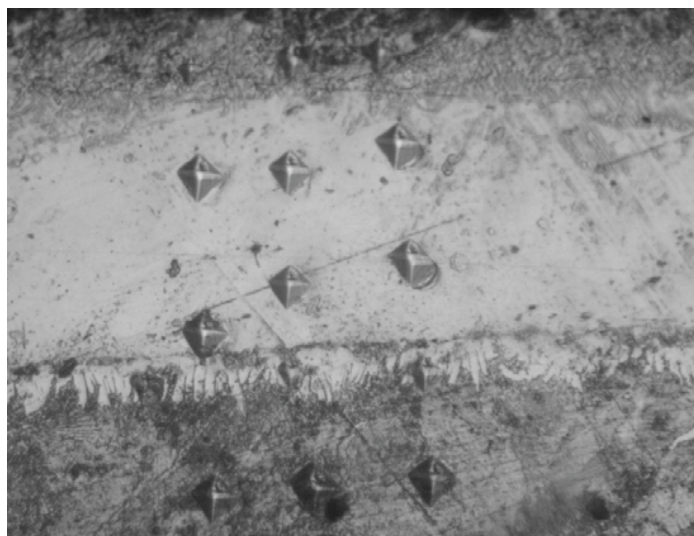


Рис. 3. Микроструктура боротитанированного слоя на стали У8 при температуре насыщения 1000°C. Толщина слоя 120 мкм (x 400)

Процессы многокомпонентного насыщения позволяют сформировать многофазную структуру поверхностного слоя, обладающего комплексом полезных свойств. В ряде случаев ХТО является единственно возможным средством получения требуемых эксплуатационных свойств не только поверхности, но и изделия в целом. Более того, химико-термической обработкой можно получать такое сочетание свойств упрочненного изделия, которое другими методами получить невозможно. В этом случае ХТО можно рассматривать не как определенную операцию изготовления детали, а как метод получения принципиально нового конструкционного материала. Многокомпонентное насыщение разными элементами или насыщение ими наружной и внутренней поверхности изделия дает возможность создавать многослойные композиционные материалы с уникальными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворошнин, Л. Г. Борирование промышленных сталей и чугунов. - Минск: Беларусь, 1981. - 205 с.
2. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. - 216 с.
3. Гурьев А.М., Лыгденов Б.Д., // Изв. Вузов. Физика, №11. - 2000.- Т.43.- С. 269 - 270.
4. Transition zone forming By different diffusion techniques in borating process of ferrite - pearlite steels under the thermocyclic conditions A.M. Guriev, E.V. Kozlov, B.D. Lygdenov, A.M. Ignatenko, E.V. Chernykh // Фундаментальные проблемы современного материаловедения, №2.- 2004.- С.54 - 60.

5. Гурьев А.М., Лыгденев Б.Д., Мосоров В.И., Инхеев Б.С. Распределение атомов бора и углерода в диффузионном слое после борирования стали 08кп // Современные наукоёмкие технологии. – №5, 2006, С. 35 - 36.
6. Ворошнин Л.Г. Перспективы развития химико-термической обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. №1. С. 5 - 8.
7. Гурьев А. М., Лыгденев Б. Д., Попова Н. А., Козлов Э. В. Физические основы химико-термоциклической обработки сталей. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - 250 с.
8. Власова О.А., Иванов С.Г., Гурьев А.М., Кошелева Е.А., Чех С.А. Оптимизация многокомпонентной химико-термической обработки стали 30Х // Современные наукоёмкие технологии.- №3, 2008, С 54 - 55.
9. Гурьев А.М.,Грешилов А.Д., Кошелева Е.А.,Иванов С.Г., Гурьев М.А.,Иванов А.Г.,Долгоров А.А.Многокомпонентное диффузионное упрочнение поверхности деталей машин и инструмента из смесей на основе карбида бора // Обработка металлов.- №2.- 2010.- С. 19-23.

УДК 621.7.04

ПОВЫШЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ППД

А.А. Зуров, аспирант, А.М. Фирсов, к.т.н., доцент
Бийский технологический институт АлтГТУ
Бийск, тел. +7(3854)435302, факс +7(3854)435302.
E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Рассмотрены результаты исследования по упрочнению поверхностей отверстий корпусных деталей из алюминиевых сплавов при помощи поверхностно-пластического деформирования

The results of studies on the hardening of surface holes of body parts from aluminum alloys by surface plastic deformation

Одним из путей повышения качества поверхностей деталей является отделочно-упрочняющая обработка, осуществляемая методами поверхностно-пластического деформирования. Являясь завершающей стадией в технологическом цикле изготовления деталей, в большинстве случаев ППД способно заменить традиционные способы финишной обработки. Вместе с тем, удорожание металлов и их сплавов приводит к повышенному интересу к безотходным технологическим процессам и методам обработки. Кроме того, при ППД помимо отделочно-упрочняющей обработки производится упрочнение поверхностного слоя деталей. В результате упрочнения эксплуатационные свойства деталей значительно улучшаются, повышается их надежность. В результате

поверхностного деформирования изменяется микроструктура и физико-механические свойства верхнего слоя металла: повышается его твердость и прочность, возникают благоприятные сжимающие остаточные напряжения. Однако, несмотря на все перспективы и большое число публикаций в области ППД, правильного подбора методик, позволяющих по чертежу детали и техническим условиям назначить режимы обработки алюминиевых деталей, не достаточно. Отливки из алюминия имеют неоднородную структуру, и как следствие – нестабильное качество поверхности. В каждом конкретном случае применение ППД связано в той или иной степени с экспериментальным определением условий ведения процесса, удовлетворяющих производство. Одним из важнейших эксплуатационных показателей качества поверхности является твердость[1]. Твердость – свойство материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого тела (индентора). Эта работа посвящена оптимизации параметров выглаживания, таких, как сила выглаживания (F , H), и подача выглаживания (S , мм/об). Одним из методов измерения твердости является метод ультразвукового контактного импеданса (CI - **ltrasonic Contact Impedance**). Суть метода заключается в следующем: при калиброванной нагрузке алмазная пирамидка, закрепленная на металлическом стержне, колеблющемся на резонансной частоте, внедряется в материал изделия. Частота колебаний стержня пропорциональна площади отпечатка на объекте контроля, то есть твердости материала. Согласно рекомендациям по проведению измерений твердости легких и тонких образцов, паразитные колебания устранялись путем зажатия изделий в тиски, а также была проведена двухточечная коррекция пользовательской калибровки на образцах изделий. Глубина проведения измерений составляет **0,031**мм для головки УЗДТ-10Н и **0,98** мм для головки УЗДТ-100Н.

Выглаживание образцов производилось на токарно-винторезном станке **16К20Ф3**. В качестве инструмента для поверхностно-пластического деформирования был спроектирован и изготовлен выглаживатель с индентором, выполненным в виде стального тора. Индентор при помощи оправки крепится к концентратору, на который поступают ультразвуковые колебания. Материал индентора – сталь ШХ15, концентратора – титановый сплав ВТ5. Для создания постоянной силы прижатия инструмента к детали используется -образный упругий элемент (рис 2). Индикаторная головка предназначена для определения силы прижатия инструмента к детали.



Рис. 1. Блок обработки информации КОНСТАНТА ТУ (слева) и преобразователь в комплекте с насадкой и без нее (справа)

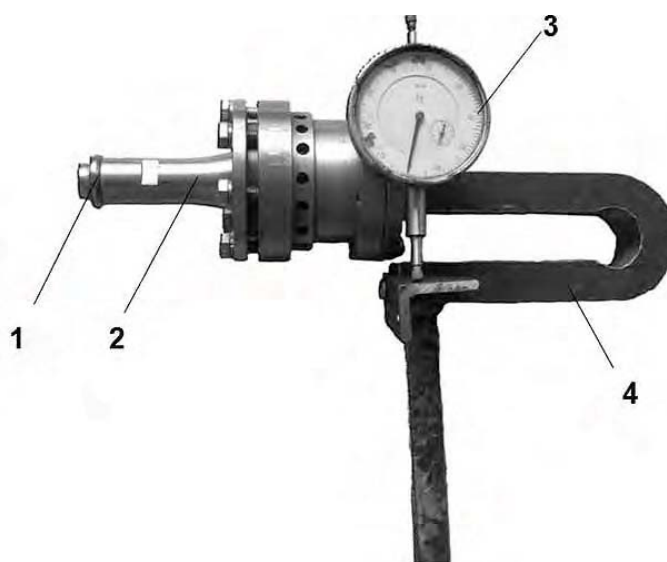


Рис. 2. Выглаживатель -образным упругим элементом: 1 – индентор, 2 – концентратор, 3 – индикаторная головка, 4 – -образный упругий элемент

В качестве заготовки для исследования выбрана втулка (рисунок 3). Данная заготовка была выбрана по причине ее доступности, к тому же она подходила к условиям проведения исследований. Материал заготовки – алюминиевый сплав АК12, изготовлена методом литья под давлением.

Обработка проводилась следующему алгоритму: в начале резцом обрабатывался внутренний диаметр заготовки. Затем, заготовка условно делилась на три равные части: одна часть оставалась без изменений, другая часть выглаживалась без применения ультразвука,

третья часть выглаживалась с применением ультразвука. После чего проводился распил заготовок и измерялась твердость на их внутренней поверхности. Визуальные различия между поверхностями приведены на рис 1, а и рис 1, б, где а – граница между расточенным участком(слева) и выглаженным без применения ультразвука (справа); б – граница между выглаженным без применения ультразвука участком (слева)и выглаженным с применением ультразвука (справа).

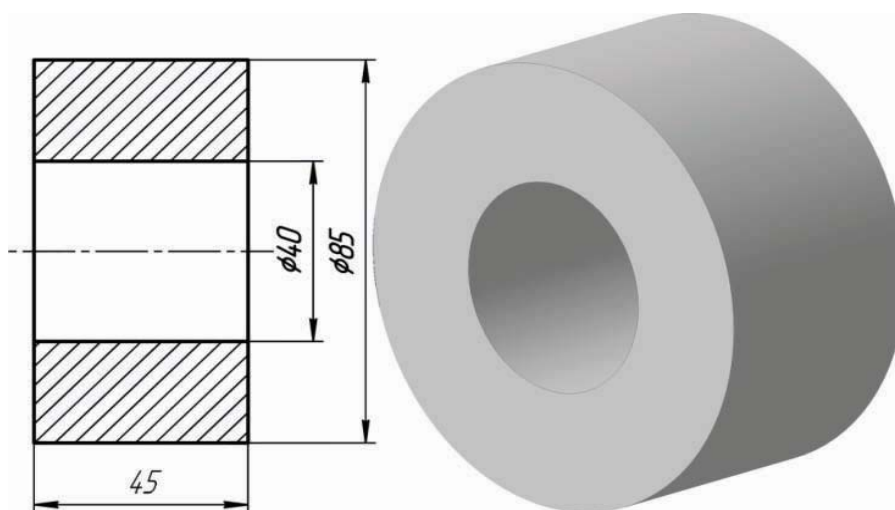


Рис. 3. Образец для проведения испытаний

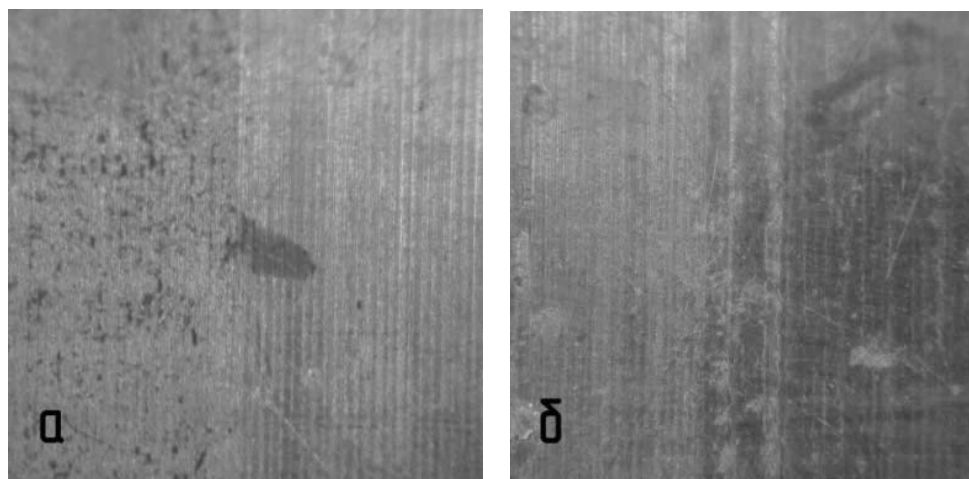


Рис. 4. Фотографические снимки обработанных поверхностей с 50-кратным увеличением

В результате исследования были получены следующие данные:

На графике рисунка 5 видно, что при скорости выглаживания $V = 20,6$ м/мин и подаче $S = 0,1$ мм/об, график зависимости твердости от силы при выглаживании с ультразвуком имеет тот же характер, что при выглаживании без ультразвука, с наилучшими показателями твердости при $F = 150$ Н, при этом прирост твердости выглаженной поверхности

относительно расточенной составляет **6-29%**, а прирост твердости выглаженной с ультразвуком поверхности относительно расточенной составляет **20-80%**.

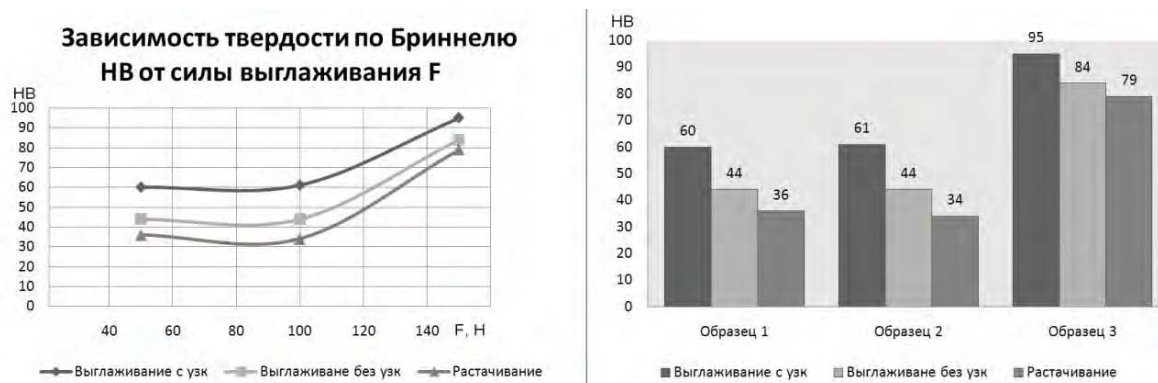


Рис. 5. Зависимость твердости по Бриннелю **HB** от силы выглаживания **F** при скорости выглаживания **V=20,6** м/мин, и подаче **S=0,1** мм/об

На графике рисунка **6** видно, что при силе **F = 150Н** и скорости подачи **V = 18,6** м/мин, на участке, где подача **S** изменятся в промежутке от **0,1** до **0,8** мм/об, происходит постепенное повышение твердости, с максимальными показателями при **S = 0,8** мм/об, при этом прирост твердости выглаженной поверхности относительно расточенной составляет, **22-143%** а прирост твердости выглаженной с ультразвуком поверхности относительно расточенной составляет **68-300%**.

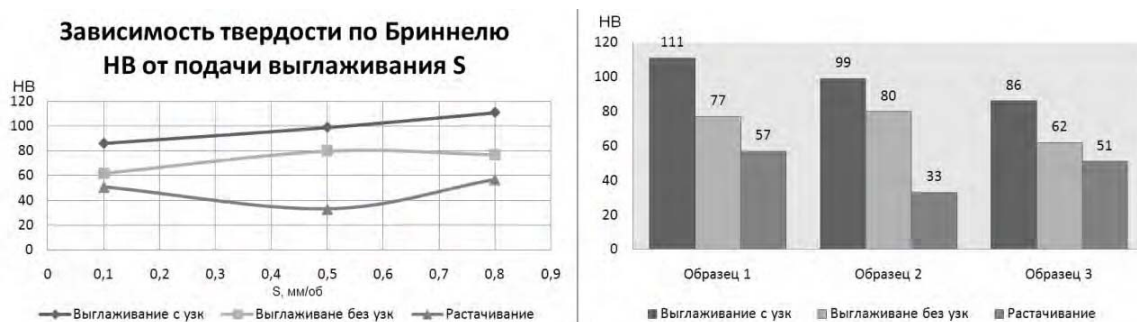


Рис. 6. Зависимость твердости по Бриннелю **HB** от подачи выглаживания **S** при скорости выглаживания **V = 18,6** м/мин и силе **F = 150Н**

На графике рис. **7** видно, что при скорости выглаживания **V = 20,6** м/мин и силе **F = 200Н** оптимальный режим для выглаживания с ультразвуком находится при **S = 0,02** и **S = 0,1** мм/об, при этом прирост твердости выглаженной поверхности относительно расточенной составляет, **19-69%** а прирост твердости выглаженной с ультразвуком поверхности относительно расточенной составляет **40-108%**.

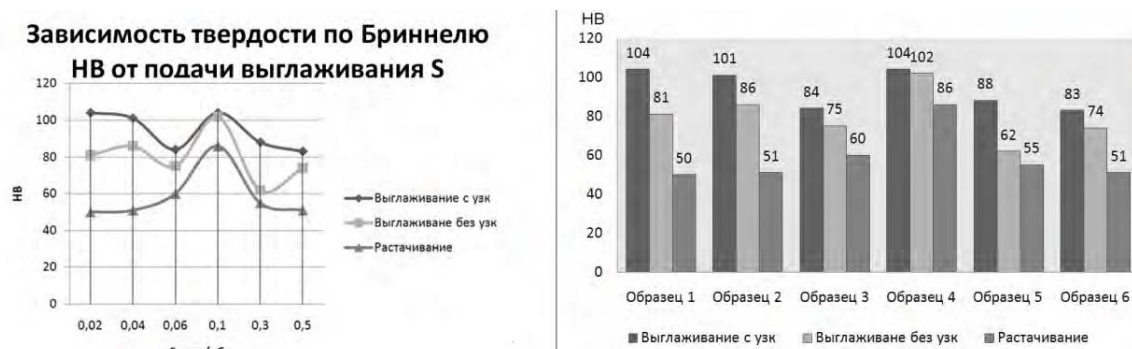


Рис. 7. Зависимость твердости по Бриннелю HB от подачи выглаживания S при скорости выглаживания $V = 20,6$ м/мин и силе $F = 200Н$

В работе [2] получены результаты, которые показывают снижение контактной жесткости при выглаживании с применением ультразвуковых колебаний, однако полученные результаты не подтверждают этого. Это связано с тем, что измерения контактной жесткости производилось с большим усилием, что приводило к внедрению шарика на большую глубину, где упрочнение отсутствовало. Данное исследование изменения твердости производилось на малых глубинах (0,031-0,098 мм), что позволило оценить увеличение жесткости.

Также было установлено, что:

- Увеличение твердости выглаженной без применения ультразвука поверхности относительно исходной составляет 6-143%, увеличение твердости выглаженной с применением ультразвука составляет 20-300%
- Выбор неправильных режимов выглаживания может привести к разупрочнению обрабатываемой поверхности, что требует непосредственных рекомендаций к выбору режимов выглаживания еще больше актуализирует исследования данной области
- При определенных режимах наблюдается снижение поверхностной твердости на 2-16%, что подтверждает теорию о разупрочнении пластических материалов при неправильных режимах обработки [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968.
2. Фирсов А.М., Хамрителев С.С., Зуров А.А. Повышение контактной жесткости поверхностей отверстий корпусных деталей из алюминиевых сплавов // Материалы 8-ой всероссийской научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе». – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010 – с. 137-139.
3. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. — М.: «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1995.

УДК 621.9.048.6:621.794

ТВЕРДОСМАЗОЧНОЕ ПОКРЫТИЕ ПОЛУЧЕННОЕ В УСЛОВИЯХ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Иванов В.В., к.т.н.

Донской государственный технический университет
Ростов-на Дону, тел. +7(8635)26-10-43. E-mail: vivanov_dstu@mail.ru

В статье рассмотрены перспективы применения вибрационных механохимических твердосмазочных покрытий. Примеры практического применения твердой смазки на основе дисульфида молибдена образованные в условиях виброобработки. Приведена схема модели формирования покрытия дисульфид молибдена.

The brief review of vibration mechano-chemical covering and samples of practical application of the solid oil on the basis of disulphureous molybdenum, made up under conditions of vibrotritment is given in the article.

Развитие современной техники, внедрение нанотехнологий в создание новых машин и агрегатов требует разработки новых технологических процессов, обеспечивающих качество, высокие эксплуатационные свойства и товарный вид выпускаемой продукции, способной конкурировать в условиях рыночной экономики.

Важным условием решения этих задач является совершенствование и развитие финишной обработки, в частности нанесения покрытий.

Одним из эффективных способов обработки, позволяющих комбинировать методы механической обработки с одновременным нанесением покрытий, являются вибрационная обработка деталей в различных технологических средах с использованием колебаний различного спектра. При этом используется эффект совместного воздействия механической энергии и химических процессов в различном их сочетании.

Вибрационная обработка обеспечивает изменение физико-химических свойств поверхностных слоёв обрабатываемых деталей и характеризуется высокой производительностью. В качестве основных методов нанесения вибрационных механохимических покрытий на сегодня получивших практическое применение можно выделить: вибрационное механохимическое цинкование, (ВиМХЦ), вибрационное механохимическое окисление (ВиМХО), вибрационное механохимическое нанесение твердой смазки дисульфида молибдена (ВиМХТС М S) и др. Особо следует отметить роль твердых смазок в

общей проблеме повышения надежности и долговечности машин и механизмов. Твердые смазки исключительно широко применяются в различных отраслях промышленности, однако их возможности далеко еще не исчерпаны.

Публикации о применении дисульфидов, селенидов, теллуридов, молибдена, дисульфидов вольфрама, тантала, титана и других металлов в качестве твердых смазок появились давно. Однако дисульфид молибдена (MS) вопросы его применения, до сих пор вызывают наибольший интерес, подверглись всестороннему изучению и вот почему.

По классификации предложенной Кемпбелом дисульфид молибдена как и графит, слюда, тальк, нитрид бора, стеарат-цинка относится к группе твердых смазок кристаллическая решетка которых имеет слоистую структуру. Атомы каждого слоя связаны между собой прочными химическими связями, отдельные слои связаны между собой слабыми молекулярными силами, что обеспечивает легкость скольжения по плоскости спайности. Толщина одного элементарного слоя MS равна $6,25 \text{ \AA}$ Пленка дисульфида молибдена толщиной $0,025 \text{ мкм}$ состоит из 40 слоев с 38 плоскостями скольжения между ними. Высокая адгезия дисульфида молибдена к металлам обусловлена прочными молекулярными связями, образуемыми атомами серы с металлом; строение кристаллической решетки обеспечивает наличие важных для смазочных материалов высоких адгезионных свойств. Дисульфид молибдена имеет гексагональную слоистую решетку в форме призматического шестигранника представленного на (рис. 1).

Параметры кристаллической решетки ширина $3,26$ высота $12,3$ толщина одного элементарного слоя равна 6.25

Его молекулярный вес- $160,7$; удельный вес- $4,8$; твердость по Моосу $1-1,5$. Дисульфид молибдена устойчив к температуре минус 80°C до плюс 450°C , температура плавления- 1185°C . Допустимая динамическая нагрузка более 1500 кг/см^2 , а статическая - свыше $30\ 000 \text{ кг/см}^2$. Пленка дисульфида молибдена толщиной 1 мкм . содержит 1630 слоев или 1631 скользящую поверхность. Наличие слоев двух различных атомов в структуре дисульфида молибдена создает условия легкого скольжения пластинок [3].

Кристаллы дисульфида молибдена жирные на ощупь, имеют голубовато-серый цвет, металлический блеск.

Коэффициент трения уменьшается при увеличении нагрузки, что связано с увеличением параллельности слоев. После приработки коэффициент трения стабилизируется. Соединение между атомами молибдена и серы очень прочное, чем объясняется повышенная устойчивость этого соединения к деформации и его исключительная

химическая и термическая стабильность. Дисульфид молибдена устойчив почти против всех растворителей. Также он обладает антикоррозионными свойствами, препятствует окислению деталей под воздействием влаги, паров, газов.

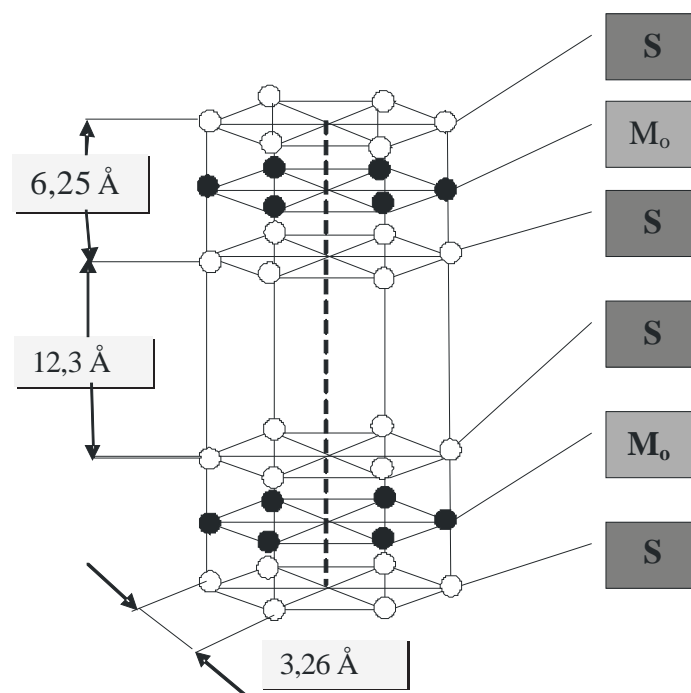


Рис.1. Кристаллическая решетка дисульфида молибдена

Совокупность исключительных свойств дисульфида молибдена позволяют применять его как основу самосвязующего средства при формировании вибрационных механохимических покрытий. Об этом свидетельствуют исследования проводимые в ДГТУ. В качестве оборудования применялась вибрационная установка УВГ 4-10 с частотой колебания 15-33 гц и амплитудой колебания 1-5 мм. С целью обеспечения равномерного распределения порошка в объеме камеры применялась рабочая среда стальные шары диаметром от 2 до 5 мм. и тонкодисперсный дисульфид молибдена марки МВЧ-1, размер частицы 1-7 мкм. Полученные результаты показали значительное повышении износостойкости трущихся пар, от 4 до 20 раз в зависимости от условий эксплуатации. В процессе исследований отмечалось упругое и пластическое деформирование поверхностного слоя в зоне контакта рабочей среды с поверхностью обрабатываемой детали. Также имеет место физическая адсорбция частиц М S к металлической поверхности за счет сил Ван-дер Вальса, и механического внедрения в результате воздействия рабочей среды.

На основе проведенных исследований предложена следующая модель формирования ВиМХП на основе дисульфид молибдена (рис. 2, а-в) [1-2,4].

1. Механический контакт и адсорбция частиц Mo_2 . В момент приложения внешней нагрузки, благодаря силе соударения шара с поверхностного обрабатываемого материала, происходит упругая, пластическая и упруго-пластическая деформация в зоне контакта. За счет сближения наносимого покрытия с деталью происходит адсорбции частиц на поверхности металла (рис. 2, а).

2. Активация поверхностного слоя металла. Активация поверхности осуществляется в результате пластического деформирования и увеличения плотности дислокаций, разрушения окислых пленок и образования участков поверхности, увеличения площади поверхности. (рис. 2, а).

3. Образование граничного слоя. Этот этап осуществляется вследствие размельчения кристаллов Mo_2 разрушения ими окислых пленок во впадинах микрорельефа, внедрения частиц порошка и адсорбции их к поверхностному слою активизирующего металла (рис. 2, б).

4. Образование слоя смазки. Этот этап характеризуется утолщением частиц нанесенного покрытия, размельчением кристаллов, слипанием их друг с другом, образованием сплошного слоя смазки (рис. 2, в).

5. Формирование поверхностного слоя покрытия. В результате скольжения частиц рабочей среды относительно образуемой поверхности частиц порошка ориентируется базовыми плоскостями параллельно поверхности трения (рис. 2, в).

Кроме того, в результате проведенных исследований установлено, что образуемый в процессе вибрационной обработки слой твердой смазки дисульфида молибдена, покрывается тонкой пленкой имеющей ориентацию частиц базовыми плоскостями параллельно поверхности трения. Такое строение пленки как показал анализ дает возможность включения в нее наноразмерных структур.

Внедрение наноразмерных структур в вибрационные механохимические покрытия эффективности твердых смазок установлено, что с уменьшением размера зерна от 1 мкм до 2 нм объемная доля межзеренного вещества увеличится до 88%, это позволит получать покрытия с уникально высокими свойствами. Например, их микротвердость в 2-7 раз выше, чем твердость крупнозернистых покрытий, прочность в 1.5-2 раза выше, а при уменьшении размера зерна от 10 мкм до 10 нм скорость износа покрытия уменьшается в 10 раз.

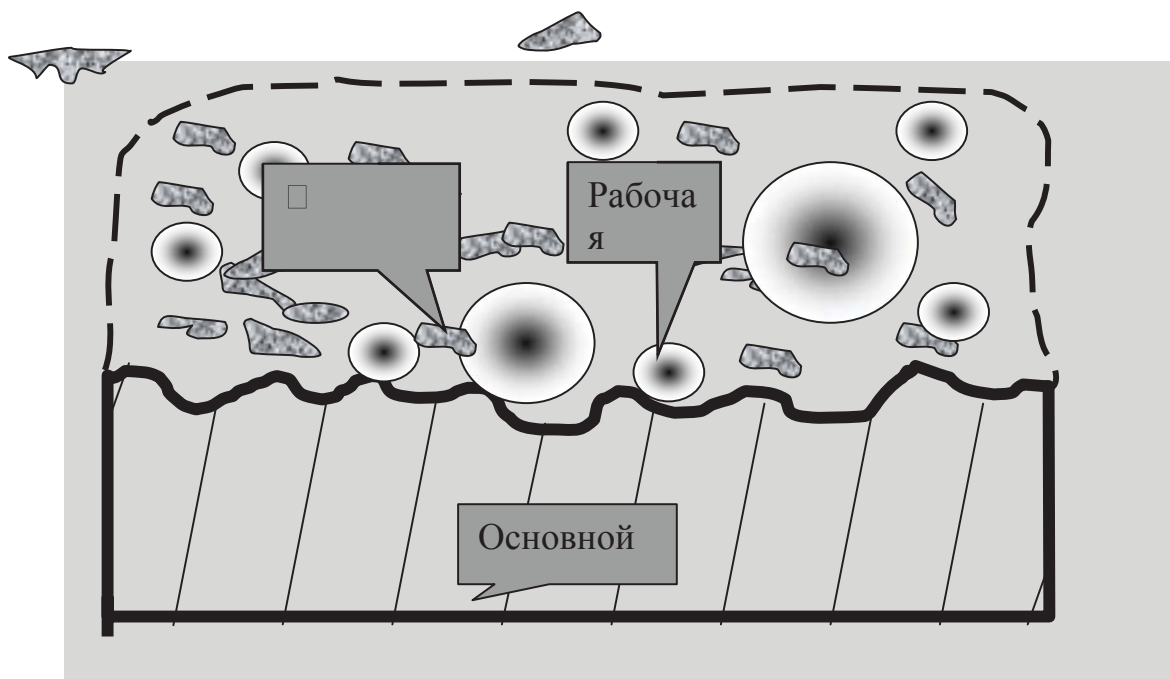


Рис. 2, а

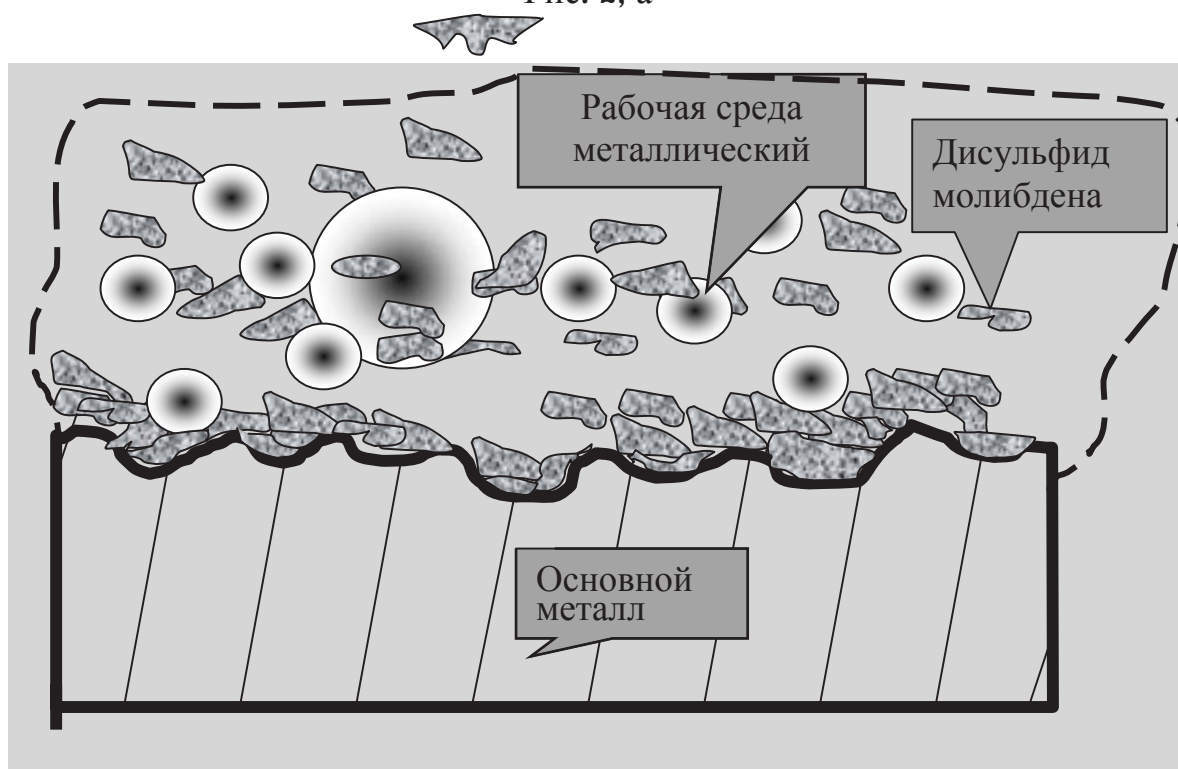


Рис. 2, б.

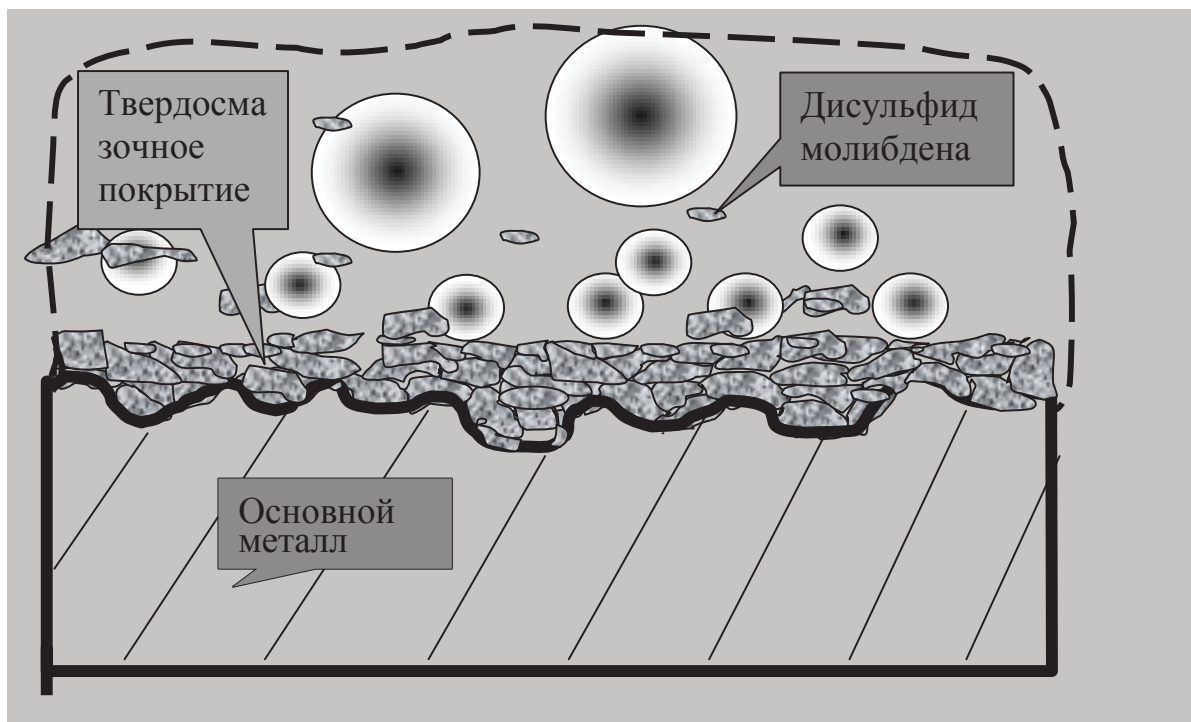


Рис. 2, в.

Выводы

Таким образом можно сделать вывод, что вибрационные механохимические покрытия на основе дисульфида молибдена с внедренными наноразмерными структурами открывают уникальные возможности для получения нового уровня свойств: высокой прочности, твердости, износостойкости, коррозионной стойкости, достаточной высокой пластичности, сохраняя при этом высокие эксплуатационные свойства изделий, и могут быть положены в основу одного из научных направлений – вибрационные многокомпонентные композиционные механохимические покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии. Часть I, Ростов-на-Дону, 1993.
2. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии. Часть 2. Ростов-на-Дону, 1994.
3. Иванов В.В. Формирование вибрационных механохимических твердосмазочных покрытий на основе дисульфида молибдена / В.В. Иванов, М.Ф. Селеменев, Ю.В. Марченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. - № 2 (286). – 2011.
4. Рысевой Т.Н. «Повышение износостойкости пар трения путем совмещения процессов вибрационного упрочнения и нанесения твердосмазочного покрытия дисульфида молибдена». Кандидатская диссертация. Ростов, РИСХМ, 1975 г.

УДК 621.7

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ПРИ ВАКУУМНО ПЛАЗМЕННОМ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ

В.С. Ивашко, д.т.н. проф., В.А. Лойко, к.т.н. доц.,
В.В. Саранцев, к.т.н. доц.

Белорусский национальный технический университет
Белорусский государственный аграрный технический университет

Работа посвящена изучению технологии нанесения вакуумно-плазменных покрытий. Определено влияние ионной очистки на свойства покрытий. Установлен механизм формирования вакуумно-плазменных покрытий. Изучены структурные и физические свойства покрытий

2 .

The work is devoted to studying the coatings to create by vacuum-plasma. Influence of ion clearing on properties of coatings is defined. The action of formation vacuum-plasma coatings is fixed. The structural and physical properties of coatings TiN-Cr₂N studied.

Вакуумно-плазменный процесс нанесения покрытия включает два этапа – ионную очистку поверхности и конденсацию покрытия. Характер взаимодействия плазменного потока с поверхностью твердого тела и протекание физико-химических процессов определяются в первую очередь энергией ионов, а также соотношением атомных масс ионов осаждаемого плазменного потока и атомов детали или образца, на которые осаждается покрытие, теплофизических констант, дозы ионов, угла падения потока, заряда (степень ионизации) ионов.

Скорость распыления достигает максимального значения при углах падения ионов **60-70** . Основная часть ионов затрачивается на дефектообразование и создание активных центров, возбуждение упругих колебаний и переходит в тепло.

Покрытие конденсируется при энергиях ионов $\sim 10^{-5} \times 10^2$ эВ при уменьшении потенциала смещения подложки в условиях конкурирующего, но более слабого распыления конденсата ионами. При большей подвижности адсорбируемых атомов и малой плотности зародышей происходит агломерация, пленка состоит из крупных зерен, которые содержат меньше дефектов и становится сплошной при большей толщине. При ионной очистке энергия ионов достигает $10 \cdot 10^3$ эВ.

С увеличением времени экспозиции ионной очистки интегральная температура подложки экспоненциально возрастает, достигая насыщения. Аналогичным образом увеличивается толщина

насыщенного титаном слоя. В случае однозарядных ионов, которые составляют до 50% ионной компоненты плазменного потока, сообщенная в двойном электрическом слое вблизи подложки под действием отрицательного потенциала, составит 800-2500 эВ. При таких значениях энергии возможно травление зерен подложки, выявление ее структурных особенностей, внедрение на некоторую глубину и создание насыщенного слоя.

С увеличением времени горения дуги поверхность катода прогревается достаточно равномерно процессы «нагрев – теплоотвод» уравниваются и поддерживается постоянной интегральная температура мишени 100-300 С. С увеличением времени горения дуги генерирование твердых частиц прекращается и осуществляется бомбардировка поверхности только ионами и мелкокапельными частицами которые, в зависимости от состояния частицы и температуры поверхности, осаждаются на ней, либо упруго отражаются, оставляя на поверхности дефекты в виде лунок, кратеров.

Конденсированная на начальной стадии ионной очистки капля металла имеет малую площадь контакта с подложкой, что связано с низкой температурой подложки, высокой скоростью охлаждения и неэффективностью диффузионных процессов.

Осажденная капельная частица при размере 5-10 мкм имеет мелкокристаллическую структуру (рисунок 1), а зерна – неправильную угловатую форму, содержит большое количество дефектов, что связано с высокой скоростью охлаждения при кристаллизации и ударным взаимодействием при столкновении с поверхностью (рисунок 2) и частицами примесей, присутствующими на поверхности [1]. При достижении интегральной температуры подложки (400-500 С) изменяется характер взаимодействия плазменного потока с поверхностью: наблюдается ярко светящийся ореол из вторичных ионов металлов и адсорбированных атомов, окружающие бомбардируемые поверхности подложки.

С увеличением времени ионной очистки и при росте температуры подложки свыше 573 К поверхность приобретает характерный микробугристый рельеф с многочисленными гребнями (рис. 3) с сильно размытыми очертаниями, расположенными хаотически либо ориентированными по отношению к осям плазменного потока. Благодаря интенсивному притоку энергии при бомбардировке ионами с энергией 1-3 кэВ, температура тончайшего поверхностного слоя подложки ($\delta = 0,25-1,0$ мкм) может приближаться на определенных локализованных участках к температуре плавления, обнаружение значительной концентрации внедренных атомов титана в слое позволяет предполагать полиморфное превращение и образование новых фаз с β -

структурой [2]. Формирование β - структуры связано с переходом к менее плотной упаковке, а следовательно, с увеличением объема.

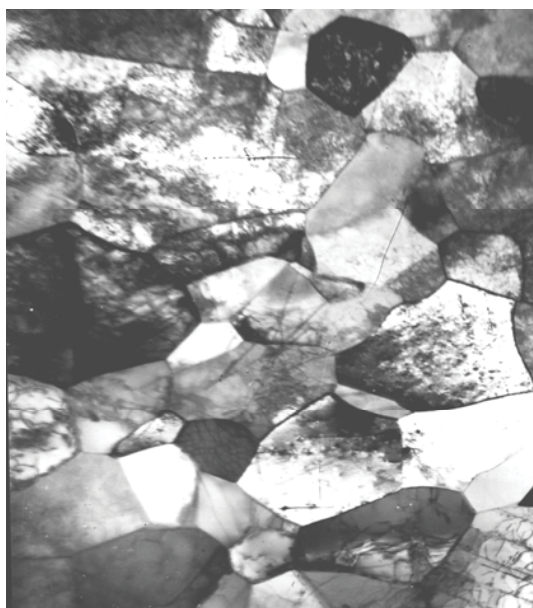


Рис. 1. Микроструктура осажденной при ионной очистке частицы, $\times 60\,000$

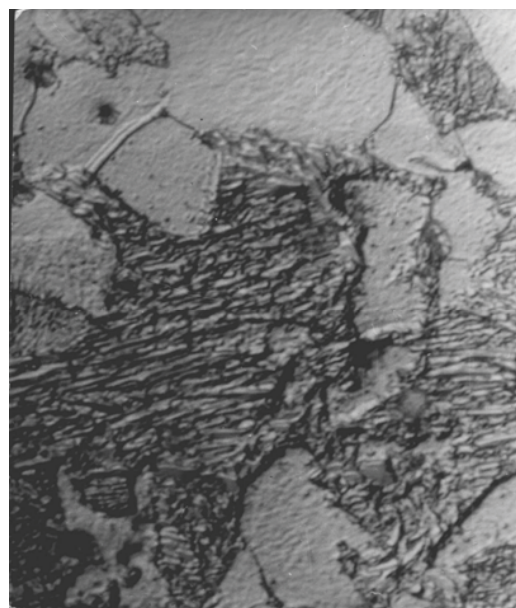


Рис. 2. Структура поверхности, обработанной ионами, $\times 1000$. Травление 5% HF

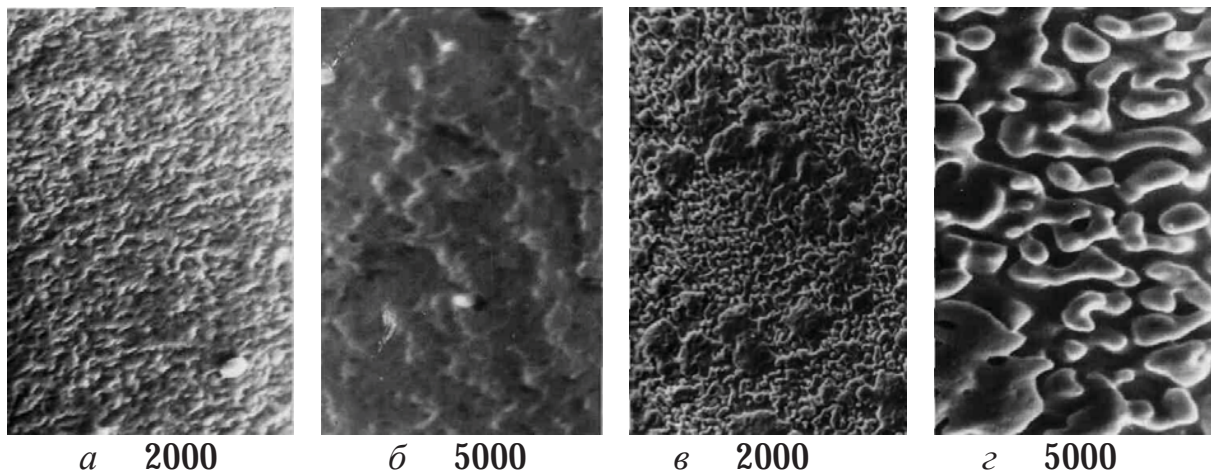


Рис. 3. Топография поверхности подложки после ионной бомбардировки, SEM, $\times 5000$: (а, б $\tau_{оч} = 150$ с, $T = 500$ C), (в, г $\tau_{оч} = 300$ с, $T \geq 600$ C)

Насыщение поверхностных областей и образование центров кристаллизации происходит вблизи дефектов поверхности, в том числе сформированных конденсированными частицами микро-капельной фазы. При увеличении времени ионной очистки возможно разрастание

зоны насыщения вширь с образованием характерной структуры, напоминающей «лабиринтную».

Формирование такого рельефа на свободных от конденсированной капельной фазы участках можно связать также и с возникновением в тонком поверхностном слое локальных очагов оплавления, последующим отталкиванием одноименно заряженных частиц. С дальнейшим увеличением времени ионной очистки ($\tau \geq 300$ с) и повышением температуры ($T > 600$ С) заметно изменяется топография поверхности подложки вследствие оплавления выступающих элементов конденсированных частиц с образованием обширных зон диффузии и с образованием интерметаллидов.

В центре этих фрагментов зачастую находится лунка либо частица титана, осажденная при бомбардировке подложки капельной фазой. Возможно, капельные частицы, конденсированные на поздней стадии ионной очистки на нагретую поверхность подложки, не кристаллизуются сразу, а растекаются по поверхности с образованием следов в виде брызг и при дальнейшем притоке энергии в виде потока ионов, стимулируются диффузионные процессы, которые приводят к образованию твердых растворов и интерметаллидов. Так как температура подложки в течение ионной очистки монотонно возрастает, возможность образования твердых растворов или интерметаллидов на различных этапах процесса различна. С увеличением времени ионной очистки (рис. 4) интенсивность линий α уменьшается, возрастает интенсивность линий α , что может быть связано с большим насыщением поверхности ионами титана и конденсацией капельной фазы. Механические свойства поверхностного слоя на первом этапе обработки определяются температурой подложки, временем ионной очистки и связанной с ним толщиной слоя, насыщенного атомами титана. В зависимости от этих параметров адгезионная прочность покрытия может изменяться от 20 до 320 МПа, а микротвердость от 1500 МПа до 9300 МПа, соответствующей микротвердости интерметаллидных фаз.

Активные центры поверхности в процессах плазменно-вакуумного осаждения покрытий играют значительную роль. Если реакция образования протекает вдали от равновесия, создаются условия для образования новых зародышей, с момента их зарождения роль активных центров уменьшается.

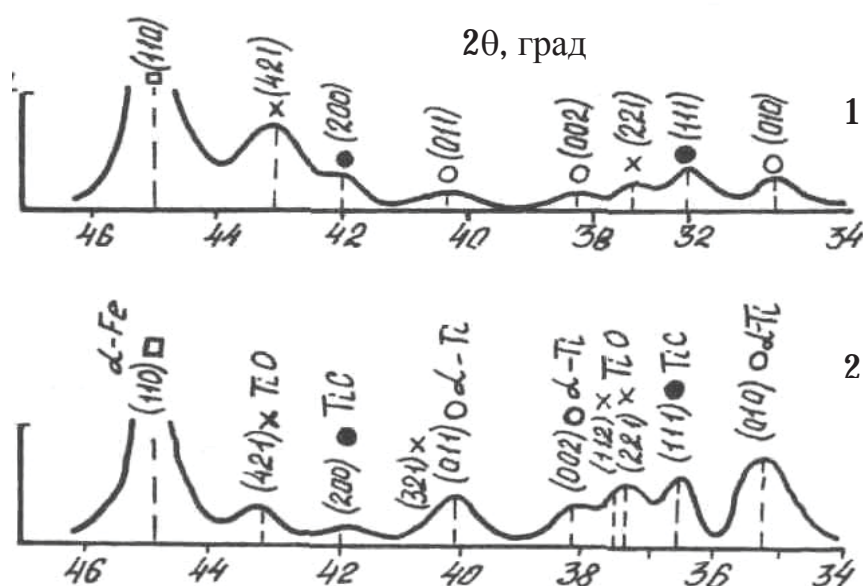
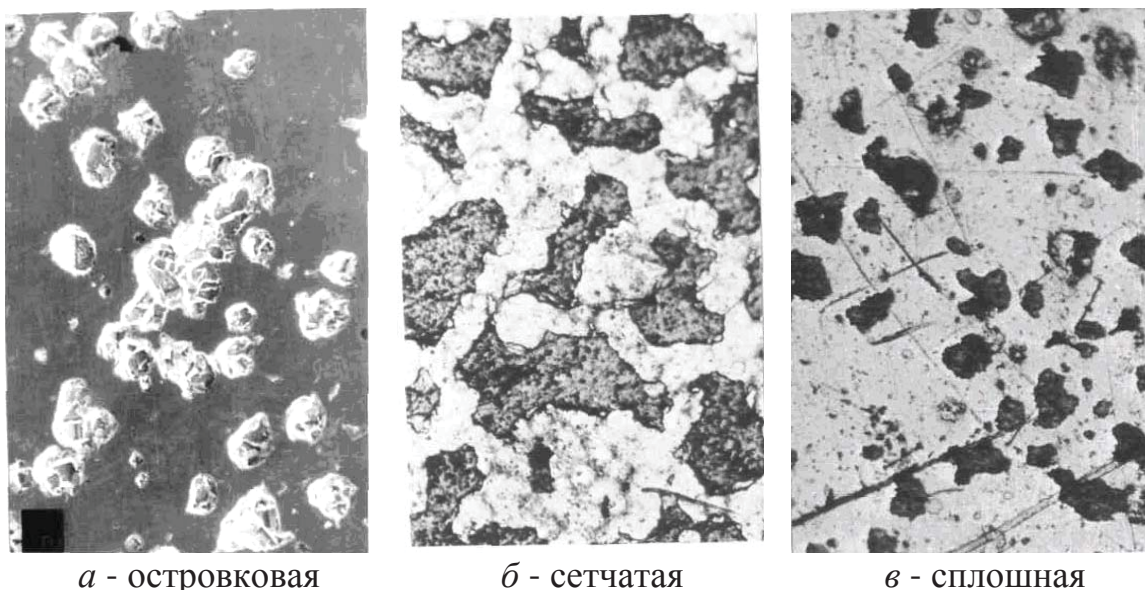


Рис. 4. Диффрактограммы поверхности после ионной очистки
1 – продолжительность очистки 60 с; 2 – продолжительность очистки 120 с

Формирование и рост вакуумно-плазменных покрытий протекает по механизму кристаллизации, т.е. происходит зарождение единичных центров (рисунок 5 а), постепенное слияние центров кристаллизации с образованием "сотовой" структуры (рисунок 5 б) дальнейший рост и наслаивание покрытия на вторичных центрах кристаллизации с образованием сплошного, плотного слоя покрытия (рисунок 5 в).

В островковый период увеличивается нестабильность парогазовой смеси, возникают активные начальные центры на поверхности в виде активированных комплектов агрегатов молекул, обладающих максимальной потенциальной энергией. Время перехода активных центров в частицы твердой фазы связано с наличием энергетического барьера, который необходимо преодолеть для создания новой фазовой поверхности в соответствии с уравнением Гиббса. Рост и образование первичных адсорбированных комплексов сопровождается выделением энергии при создании элементов кристаллической решетки, что ведет к уменьшению свободной энергии системы. Скорость построения решетки новой фазы определяется природой образующегося соединения, условиями массопереноса, конвективной диффузией, концентрацией парогазовой смеси. В результате первичные адсорбированные комплексы способны к самопроизвольному росту и срастанию в агрегаты – это и будут частицы новой твердой фазы. Кинетика дальнейшего роста новой фазы определяется скоростью химического взаимодействия парогазовой смеси в системе в определенном температурном интервале. Наличие активных центров на твердой поверхности

или частиц новой фазы приводит к самовозбуждению реакции образования покрытия.



a - островковая

б - сетчатая

в - сплошная

Рис. 5. Стадии формирования слоя покрытия, $\times 5000$

Участие атомов легких элементов в процессе образования α_2 активизирует и направляет процесс, т.е. приводит систему к энергетически более стабильному состоянию. Формирующаяся структура на начальной стадии – мелкозернистая, плотная, кристаллографическая текстура отсутствует до толщины покрытия 2-4 мкм. В дальнейшем, когда компоненты поверхностного слоя не участвуют в реакциях восстановления и образования покрытия, процесс осаждения постепенно изменяется в сторону образования игольчатых и столбчатых структур (рисунок 6, *a, б*).

Дефекты структуры (дислокации, границы зерен) изменяют химический потенциал поверхности, поэтому в начальный момент зародышеобразование происходит избирательно. Образование зародыша вызывает искажение фазы которое способствует образованию и росту новых центров зародышей. С течением времени скорость реакции возрастает за счет увеличения реакционной поверхности вследствие роста зародышей, которые реализуются в сплошное тонкое покрытие.

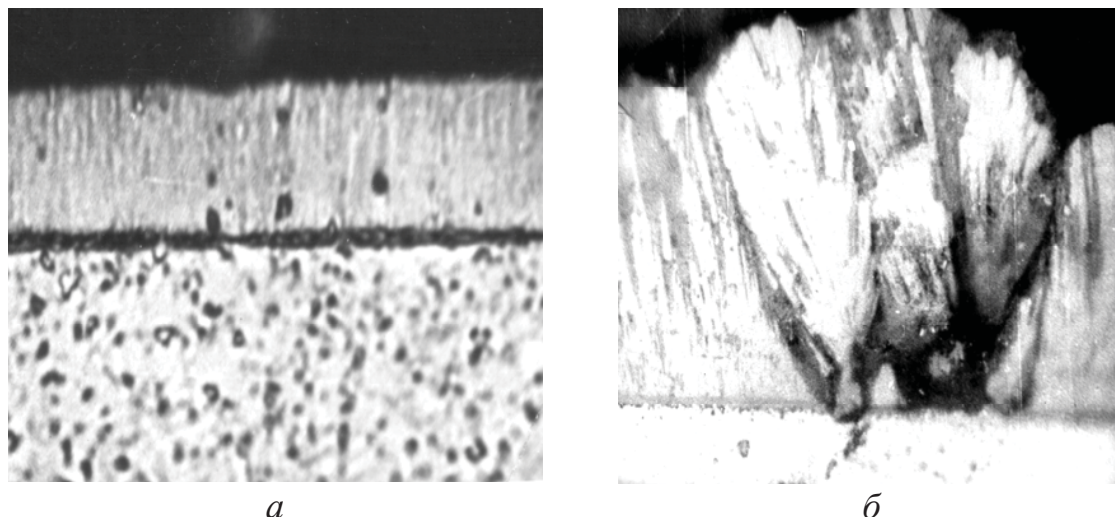


Рис. 6. Структура слоя на стадии формирования в результате конденсации (прямой шлиф $\times 1500$): *а* – столбчато-текстурированный; *б* – игольчато-структурированный

При формировании покрытий 2 на стали в зависимости от времени осаждения вследствие высокой скорости кристаллизация на активных центрах поверхности возникают и растут зерна покрытия, в то время как остальные участки практически не реагируют, а заметны лишь отдельные точки, где прошла реакция осаждения. Изолированные зародыши новой фазы постепенно растут, образуют законченные цепочки, а потом – сплошной слой 2 . На формирование покрытий влияют не только бомбардировка ионами металла катода, но и микрочастицами. Характер взаимодействия частиц с поверхностью в значительной мере определяется температурой основы. В процессе ионной чистки в основе формируется слой, насыщенный металлом катода, с убывающей вглубь основы концентрацией металла катода. В насыщенном поверхностном слое вероятно протекание химических реакций с образованием химических (интерметаллидных) соединений переменного состава. В зависимости от условий конденсации и плотности структурных дефектов поверхности покрытие может приобретать различные поперечные ориентации кристаллитов, в том числе столбчатого или игольчатого характера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуумно-плазменные технологии в ремонтном производстве. / В.А. Лойко [и др.] – Минск: Издательство УО «БГАТУ», 2007. – 192 с.
2. Исследование структуры и свойств плазменно-вакуумных покрытий на основе карбонитридов T . / В.А.Лойко, Б.Э.Хармач / В кн. «Материалы, технологии, инструмент». Ассоциация «НОМАТЕХ». Гомель: «ИНФОТРИБО», – 1996.

УДК: 62/002:539.3(075.8)

ОБОБЩАЮЩИЙ КРИТЕРИЙ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ППД СВОБОДНОДВИЖУЩИМИСЯ ПОТОКАМИ ИНДЕНТОРОВ

В.А. Лебедев, к.т.н., профессор
Донской государственной технической университет
г. Ростов-на-Дону, (863) 2738 – 360, E-mail: va.lebidev@yandex.ru

Используя аналогию между процессами механического и термического упрочнения, предложен критерий эффективности ППД деталей свободнодвижущимися потоками инденторов.

Taking into consideration analogy of the mechanical and thermal processes of strengthening, criterion of the efficiency of the dynamic methods of surface plastic deformation of parts by means of free followed streams of indentors is given.

Установлено(1), что в зависимости от условий, в которых протекает процесс ППД, изменение плотности внутренней энергии Δ может происходить с преобладанием потенциальной составляющей Δ_c или тепловой ΔE_T . Применительно к динамическим методам ППД и методам упрочнения концентрированными потоками энергии изменение Δ обусловлено в основном потенциально-составляющей Δ_c обеспечивающей деформационное упрочнение по причине быстрого отвода тепла из зоны обработки и ввиду малости величины упрочненного слоя по сравнению с размерами детали. В связи с этим условие предельной упрочняемости поверхностного слоя (ПС) этими методами ППД можно представить в виде:

$$(\) = \rho_0(0) + \Delta (\) = \rho^* = \dots, \quad (1)$$

где ρ_0 -внутренняя энергия, запасённая в деформируемом элементе ПС, на предшествующих ППД операциях механической обработки.

Для количественной оценки изменения предельной плотности ΔE^* внутренней энергии, при которой в процессе ППД достигается максимальное, с точки зрения эффективного влияния на эксплуатационные свойства детали, упрочнение ПС, воспользуемся аналогией между процессами поглощения энергии кристаллической решеткой при механическом нагружении и при нагреве [2]. И в том, и в другом случае нарушение межатомных связей наступает в результате поглощения предельной для данной кристаллической решетки величины энергии. Так в случае нагрева металла от заданной температуры T до

температуры T плавления, поглощаемая предельная удельная энергия составит:

$$= \int_{T_0}^{T_{пл}} c_{пл} dT + q_{пл} \quad (2)$$

где $c_{пл}$ - удельная теплоемкость, $q_{пл}$ - скрытая теплота плавления.

Величина $\int_{T_0}^{T_{пл}} c_{пл} dT$ характеризует изменение теплосодержания металла при нагреве от заданной температуры до температуры плавления и расходуется на возбуждение атомных колебаний критической величины без нарушения межатомных связей. Эти нарушения возникают, когда кристаллическая решетка поглощает дополнительную энергию, равную скрытой теплоте плавления. При механическом нагружении, как и при плавлении, процессу нарушения межатомных связей предшествует искажение кристаллической решетки до критической величины. Однако при механическом нагружении предельное искажение кристаллической решетки обусловлено скоплением в деформируемых локальных объемах ПС критической плотности дислокаций, при которой дальнейшее поглощение энергии кристаллической решеткой приводит к нарушению межатомных связей.

Если принять, что удельная энергия, затрачиваемая на предельное искажение кристаллической решетки, не зависит от вида подводимой энергии (тепловая или механическая), то предельная удельная энергия, согласно [3] которую способна поглотить кристаллическая решетка, должна соответствовать величине равной разности теплосодержания (энтальпии) материала в твердом состоянии, при температуре плавления N и энтальпии при 293^0K : $\Delta H^* = H - H_{298^0}$. Ниже приведены значения

ΔH^* для металлов наиболее часто применяемых в качестве основы сплавов:

Металл	ΔH^* , МДж / м ³
железо	10500
алюминий	1800
титан	5250
медь	4150

Отсюда следует, что критическая плотность E^* внутренней энергии, накапливаемая в деформируемом элементе ПС после ППД, количественно может быть оценена посредством термодинамической константы:

$$E^* = E_0 + \Delta E^* = \Delta H^* ; \Delta H^* = \int_{298}^N c_{пл} dT \quad (3)$$

где ΔH^* - изменение энтальпии металла в процессе ППД.

Тогда выражение удельной работы, затрачиваемой на предельное упрочнение элемента ПС при ППД для конкретных условий силового нагружения, можно записать так:

$$A_{nl}^*(\sigma, \epsilon) = \Delta H^* + \epsilon - \epsilon_0, \quad (4)$$

где ϵ_0 - часть тепловой энергии накапливаемой в деформируемом элементе ПС, повышающая его внутреннюю энергию на величину ΔT .

Следует отметить очень важное обстоятельство, что подобная аналогия правомерна только на уровне локальных объемов металла, которые насыщены удельной энергией предельной величины. Перенос же её на уровень больших объемов не правомерен по следующей причине: в процессе нагрева энергия поглощается кристаллической решеткой практически равномерно по всему объему металла, а при пластической деформации вследствие анизотропности и несовершенства кристаллической решетки происходит неоднородное поглощение энергии.

С целью учета этого фактора рассмотрим объемы, принимающие участие в поглощении энергии в процессе ППД с момента начала силового нагружения до момента максимального упрочнения ПС. Предположим, что при подведении механической энергии к детали объемом V процессом пластической деформации к моменту максимального упрочнения охватывается ПС объемом $V_S < V$ (рис. 1). В процессе нагружения в локальных объемах, находящихся на границе контакта поверхности с инденторами, искажения кристаллической решетки достигаются предельно возможной величины. Обозначим объем поверхностного слоя детали в котором образуются искажения критической величины через V_{II} . Величина удельной энергии предельного искажения, поглощенная единичным локальным объемом ΔV_{II} , согласно рассмотренной выше энергетической интерпретации процесса ППД должна соответствовать изменению ΔH^* энтальпии. Тогда предельная энергия искажения будет равна

$$E_{II} = V_{II} \Delta H^*. \quad (5)$$

Каждый единичный локальный объем в охватываемом пластической деформацией объеме V , за исключением критического объема искажения, накапливает в процессе механического воздействия какую-то энергию искажения, численно равную ΔH^* , где ϵ зависит от глубины залегания локального объема в пределах объема V и изменяется от 1 при $\epsilon = 0$ до 0 при $\epsilon = \epsilon_0$, где ϵ_0 - глубина упрочненного слоя. Приняв $\epsilon = \left(\frac{z}{V}\right)$, получим величину энергии, поглощенной объемом $V - V_{II}$,

$$-(V - V_{II}) \Delta H \int_0^{\bar{r}} (\bar{r}) . \quad (6)$$

Суммируя выражения 5 и 6, получим выражение для определения общей энергии, поглощаемой ПС детали в процессе ППД,

$$= \quad + \quad_{II} = (V - V_{II}) \Delta H \int_0^{\bar{r}} (\bar{r}) = V_{II} \Delta H . \quad (7)$$

Величина V_{II} характеризует общую энергоемкость предельно упрочненного ПС детали с учетом неоднородности поглощения энергии по глубине. Современные представления о механизме пластической деформации и упрочнения материалов и его дислокационный характер свидетельствуют, что величина V_{II} , охватывающая предельно искаженный объем ПС, будет определяться в основном типом кристаллической решетки материала и не зависит от способа силового нагружения.

В работе [3] показано, что глубина залегания предельно искаженного объема $_{II}$ находится в пределах среднего размера зерна. Способ силового нагружения, как и структурное состояние материала, отражается величинами V и V_{II} . Значения этих величин зависят от исходного состояния материала (способа изготовления, режима термообработки, наличия концентраторов напряжения), вида и способа деформирования. Разделив обе части уравнения 7 на V , получим выражение, позволяющее оценить величину плотности внутренней энергии, накапливаемой локальным микрообъемом ПС, в зависимости от глубины его расположения от наружной поверхности детали в пределах ПС:

$$\Delta E(\bar{r}) = \Delta H (\bar{r}), \quad (8)$$

где (\bar{r}) - энергетический коэффициент, учитывающий структурное состояние материала, вид и способ ППД и изменяющийся от 1 до 0.

С учетом исходного (до ППД) состояния ПС выражение 8 записывается в виде:

$$E(\bar{r}) = E_0 + \Delta H^* (\bar{r}) \quad (9)$$

Многочисленные экспериментальные исследования физико-механических характеристик ПС после ППД позволяют с достаточной для практики точностью принять линейный закон изменения энергетического коэффициента $(\bar{r}) = 1 - \bar{r}_0 / \bar{r}$. Тогда удельная работа, затрачиваемая на пластическую деформацию локального объема, находящегося на расстоянии \bar{r} от поверхности в пределах предельно упрочненного ПС, составит:

$$(\sigma, \epsilon) = (\Delta H^* + \epsilon) \cdot (1 - \epsilon / \epsilon_0) - \epsilon_0$$

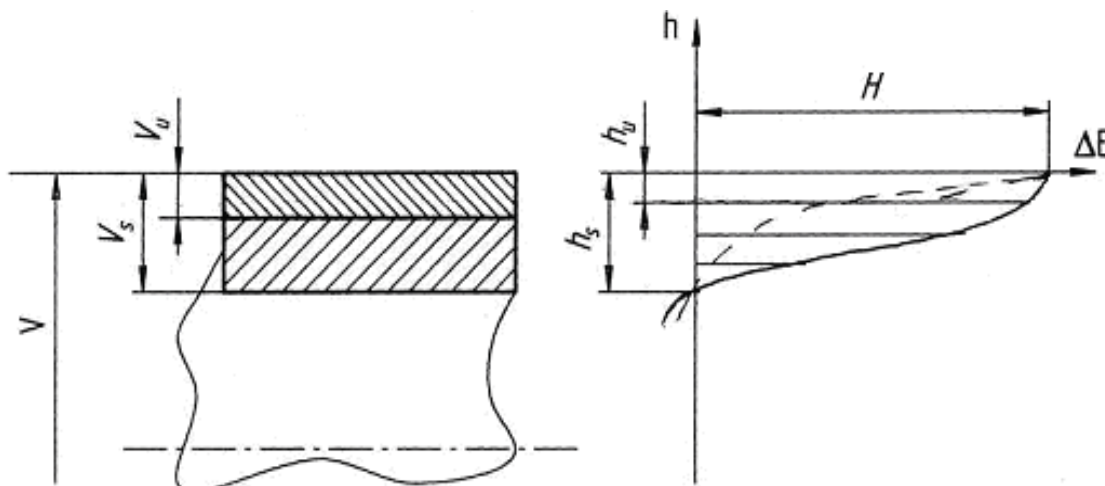


Рис 1. Энергетическое состояние поверхностного слоя после ППД

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев В.А. Технология динамических методов поверхностного пластического деформирования/ В.А.Лебедев: науч. издание.- Ростов н /Д: Издательский центр ДГТУ, 2006.-183с.
2. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов / Иванова В.С. М: Металлургиздат, 1963-272 с.
3. Федоров В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел / Федоров В.В. – Ташкент: Издательство ФАН, 1979. -168 с.

УДК 621.785.5

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ НОЖЕЙ КУТТЕРОВ

А.Н. Шаталов, Л.И. Маркус, к.т.н.

Московский государственный университет прикладной биотехнологии

E-mail: begarar@rambler.ru; leomar@rambler.ru

Представлен метод комбинированного упрочнения ножей высокоскоростных куттеров, до 2,3 раз повышающий их стойкость. Его суть заключается в нанесении на непerezатачиваемую поверхность ножей износостойкого твердого сплава твердостью 82 – 84 HRC с последующей магнитно-импульсной обработкой и эпиламинированием.

This is the method of the integrated strengthening of high-speed cutters that increases their lifetime 2,3 times. Its essence is to put cutters made of attrition-resistant hard alloy metal with the solidity 82 – 84 HRC on the unresharpened surface with the subsequent pulse-magnetic processing of materials and epilamination.

Одной из основных технологических операций при производстве колбасных изделий является измельчение. Наибольшее распространение среди измельчающих машин, получили куттеры непрерывного и периодического действия. Их надежная работа, качество получаемого продукта в значительной мере зависят от работоспособности режущего инструмента.

На кафедре "Детали машин и теория механизмов" МГУПБ разработан метод комбинированного упрочнения ножей куттеров **ramer Grebe PBS-Form 260-1**, изготовленных из коррозионностойкой стали типа **55X14МФ**, до **2,3** раза повышающих их стойкость.

Суть метода заключается в нанесении на неперетачиваемую поверхность ножа электроискровым способом (ЭИО) слоя износостойкого твердого сплава толщиной до **20** мкм и твердостью **82-84 HRC**, с последующей магнитно-импульсной обработкой (МИО) и эпиламинированием.

Твердосплавное покрытие наносили с помощью специального высокочастотного преобразователя, использование которого существенно повышало адгезию покрытия к основе.

Исследования микротвердости металла вблизи режущего лезвия показали, что подобранные экспериментально режимы нанесения покрытия обеспечили равномерное распределение микротвердости по всей длине режущей кромки и минимизировали зону термического влияния процесса электроэрозии.

Покрытие неперетачиваемой поверхности ножей износостойким сплавом обеспечивает:

- повышение износостойкости режущего лезвия из-за снижения скорости округления режущей кромки;
- существенное улучшение режущей способности за счет формирования специфической микрогеометрии режущей кромки, от которой зависит качество разработки фарша, сохраняющейся при работе и после переточки;
- получение эффекта самозатачивания, позволяющего дольше сохранять высокие режущие свойства лезвия.

Исследованиями установлено, что воздействие сильного магнитного поля при МИО приводит к существенным изменениям физико-механических свойств и структурного состояния металла ножей.

Результаты исследований распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя образцов рабочей части ножей куттеров, показали, что после заточки вблизи режущей кромки лезвия ножа образуется зона вторичной закалки. Эта зона имеет повышенную до **8000** МПа микротвердость и залегает на глубину до **100** мкм. Глубже

располагается зона вторичного отпуска, имеющая микротвердость ниже микротвердости основного металла (матрицы), составляющей **6500 МПа**. Общая глубина измененного (дефектного) слоя составляет до **200 мкм**.

Режущие лезвия, имеющие в поверхностном слое выраженную зону вторичной закалки (рис.1), при эксплуатации быстро подвергаются хрупкому разрушению. Твердый вторично-закаленный слой, лежащий на более мягком основании, быстро выкрашивается, образуя выщербленные участки на режущей кромке, снижающие остроту и режущую способность лезвия.

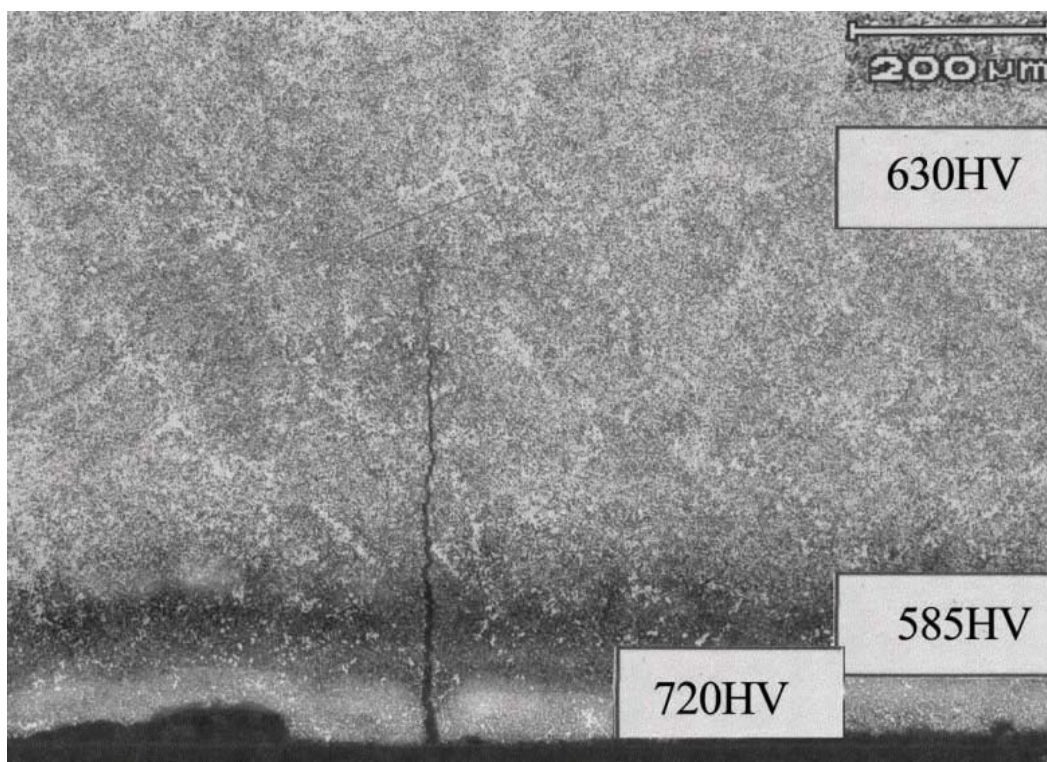


Рис. 1. Зона вторичной закалки на лезвии после заточки

При ручной заточке (переточке ножей в производственных условиях) режущая кромка часто подвергается вторичному отпуску, при котором лезвие ножа имеет пониженную до **5500 – 5700 МПа** по сравнению с матрицей микротвердость. Глубина распространения зоны вторичного отпуска составляет до **150 мкм**. Механизм изнашивания режущих лезвий с зоной вторичной закалки, выходящей на поверхность, отличается от механизма изнашивания лезвий с зоной вторичной закалки быстрым округлением режущей кромки из-за ее более низкой твердости по сравнению с основным металлом.

Высокий градиент физико-механических свойств по глубине поверхностного слоя приводит к появлению в зонах со структурными

изменениями первичных микротрещин.

МИО, проведенная после заточки, существенно уменьшает структурную неоднородность в дефектных зонах. Это приводит к некоторому выравниванию микротвердости по глубине поверхностного слоя, как в зоне вторичной закалки, так и в зоне вторичного отпуска. Так, например, в зоне вторичной закалки поверхностная микротвердость снижается до **7000 МПа**, а микротвердость лежащей под ней области вторичного отпуска повышается до значений, характерных для основного металла (**6500 МПа**).

В зоне вторичной закалки, расположенной на поверхности, после МИО также наблюдается некоторый прирост микротвердости. Это свидетельствует о том, что МИО вызывает снижение градиента распределения физико-механических свойств по глубине поверхностного слоя, что должно приводить к повышению запаса пластичности металла и уменьшению вероятности зарождения первичных микротрещин в режущем лезвии. Действительно, наши наблюдения над ножами во время эксплуатации показали, что в ножах, подвергнутых МИО, практически никогда не возникают повреждения, связанные с образованием и развитием микротрещин в режущем лезвии и последнее не подвергается хрупкому разрушению с образованием выкрашивания (зазубрин).

Следует также отметить, что МИО приводит к заметному уменьшению карбидной неоднородности в структуре стали (рис.2). Этот факт подтверждается металлографическими исследованиями. После МИО уменьшается карбидная полосчатость, ответственная за анизотропию свойств стали.

Уменьшение карбидной неоднородности способствует повышению эксплуатационной надежности ножей. Скопления крупных карбидов, попадающих на острие режущей кромки, выламываются под действием сил резания, образуя зазубрины, снижающие остроту лезвия и ухудшающие качество разработки фарша.

Наши исследования также показали, что при заточке ножей, даже на сравнительно "мягких" режимах, в поверхностных слоях, прилегающих к режущей кромке, наблюдается повышенное содержание остаточного аустенита, которое сохраняется до глубины **150 – 200 мкм**, достигая на поверхности **22 – 25%**. При больших контактных нагрузках, действующих на режущее лезвие, аустенит, имеющий пластичность выше, чем другие структурные составляющие закаленной стали, легче подвергается деформации. Это обуславливает появление в зонах с максимальным количеством остаточного аустенита первичных микротрещин, которые, являясь концентраторами напряжений, вызывают ускоренное усталостное разрушение, также

приводящее к образованию вырывов и зазубрин на режущей кромке.

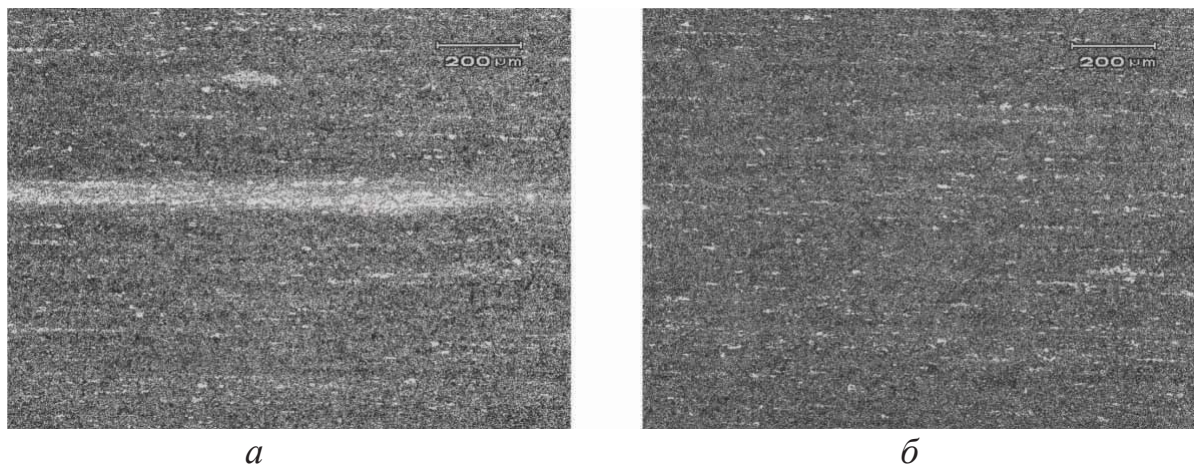


Рис. 2. Микроструктура стали 55X14МФ: *а* – после термообработки, *б* – после термообработки и МИО

При МИО наблюдается распад остаточного аустенита и уменьшение его количества в поверхностном слое до 10 – 12 %. Известно, что распад остаточного аустенита как метастабильной структурной составляющей стали и переход его в мартенсит происходит с увеличением удельного объема. Следовательно, этот процесс должен инициировать снижение уровня неблагоприятных остаточных растягивающих макронапряжений в поверхностном слое режущего лезвия, что и подтверждается нашими исследованиями.

После заточки в слое вторичной закалки формируются остаточные напряжения растяжения величиной до 400 МПа и глубиной залегания до 200 мкм, имеющие спад к поверхности. Этот спад, и даже переход на поверхности к напряжениям сжатия, характерен при применении после шлифования доводки режущей части ножа на абразивной ленте или лепестковых кругах с малой силой прижатия. Однако доводка, снимая некоторый припуск, не удаляет полностью дефектный слой, полученный при формообразующей лезвие заточке.

После МИО уровень максимальных напряжений растяжения уменьшается до 200 МПа, что должно замедлять развитие усталостных трещин в дефектном слое.

МИО приводит также к выравниванию величины микронапряжений по глубине поверхностных слоев, Снижение градиента микронапряжений приводит к уменьшению структурной неоднородности и анизотропии физико-механических свойств в микрообъемах металла и по данным некоторых исследователей положительно влияет на свойства сталей сопротивляться различным видам изнашивания.

Подытоживая сказанное, отметим, что обработка МИО позволяет:

- повысить адгезию (сцепляемость) покрытия с основой;
- стабилизировать микроструктуру и снизить величину неблагоприятных остаточных напряжений, возникающих при заточке;
- устранить структурные концентраторы напряжений в зонах, прилегающих к режущему лезвию;
- уменьшить вероятность развития усталостных трещин и предотвратить разрушение тела ножа от действия переменных напряжений.

Эпиламирование ножей проводили через 24 часа после МИО на специальной установке при температуре 40...43⁰ С. Эксплуатационные испытания показали, что покрытие ножей куттеров фторсодержащей пленкой позволило:

- уменьшить трение между боковыми поверхностями ножа и перерабатываемым продуктом, снизить температуру процесса измельчения и повысить качество разработки фарша;
- устранить очаги фреттинг-коррозии на участках ножа, прилегающих к планшайбе крепления к ножевой головке, и повысить сопротивление усталости в зонах коррозионного повреждения.

Сравнительные испытания стойкости ножей проводили на вакуумных высокоскоростных промышленных куттерах емкостью от 330 до 550 литров.

В процессе испытаний был выявлен эффект самозатачивания лезвий упрочненных комбинированным способом ножей, что дольше сохраняло их режущие свойства. Данный эффект проявлялся только после некоторого износа ножей. Даже после снятия упрочненных ножей на переточку лезвие имело меньший радиус округления, чем у штатных ножей, что, в свою очередь, сокращало время переточки на 20%. При восстановлении режущих свойств упрочненных ножей при переточке требовалось снимать меньший слой металла. Это приводило к увеличению общего ресурса ножей.

Сравнительная стойкость штатных и упрочненных ножей при производстве различных видов фарша приведена в табл. 1.

Из данных, приведенных в таблице, можно видеть, что средняя стойкость ножей при комбинированном упрочнении возрастает в среднем в 2,3 раза.

Таблица 1

Сравнительная стойкость ножей куттеров

Вид ножей	Количество замесов до переточки при производстве		
	фарша вареной колбасы	фарша п/к и в/к колбас	эмульсии свиной шкурки
Штатные	16	18	2
Упрочненные	33	40	6

УДК 621.785

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСИОННО ТВЕРДЕЮЩИХ СТАЛЕЙ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАВНОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ
ИНСТРУМЕНТОВ МЯСОРЕЗАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Л.И. Маркус, к. т. н., А.Н. Шаталов

Московский государственный университет прикладной биотехнологии
Москва. E-mail: leomar@rambler.ru; begarat@rambler.ru

Изложен принципиальный подход и показана возможность изготовления ножей куттеров из дисперсионно-твердеющих (мартенситостареющих) сталей, обладающих эффектом равноизнашиваемости по длине режущего лезвия.

A basic approach to the development of cutting knives, having different wear resistance over the length of the cutting blade is described. A possibility of manufacture of working mechanisms of meat-cutting machines from precipitation-hardening steels, having equal wearing effect over the length of the cutting blade is shown. A mathematical model, establishing the relationship between the conditions of hardening, strain hardening and wear resistance of precipitation-hardening corrosion-resistant steels has been developed.

Неравномерное изнашивание режущих лезвий ножей куттеров в плоскости вращения приводит к существенному увеличению припуска под заточку, вызывает технологические сложности при ее осуществлении и снижает общий ресурс инструментов.

Представляет значительный практический интерес создание ножей, имеющих переменную износостойкость по длине режущего лезвия, способствующую его равноизнашиваемости.

В качестве материала для создания таких инструментов использовали дисперсионно-твердеющие (мартенситостареющие) коррозионностойкие стали (ДТС).

Если в обычных сталях, например, 40X13, 55X14МФ и др., используемых для изготовления куттерных ножей, упрочнение

достигают за счет мартенситного превращения, то в ДТС высокие механические свойства при сохранении достаточной пластичности и вязкости получают за счет выделения интерметаллидных фаз, создающих местные искажения, затрудняющие движение дислокаций и вызывающие упрочнение. Обычно эти стали, содержащие $\approx 18\% \text{Ni}$, дополнительно легируют элементами, необходимыми для образования интерметаллидных фаз, вызывающих старение (упрочнение). Содержание углерода в этих сталях обычно не превышает $0,03\%$, что объясняет их чрезвычайно высокую коррозионную стойкость. Это особенно важно для ножей куттеров, работающих в весьма агрессивной среде. Полученный при закалке таких сталей мартенсит обладает малой твердостью и высокой пластичностью. В таком состоянии ДТС легко поддаются пластическому деформированию. Последующее старение приводит к значительному упрочнению с увеличением прочностных свойств и твердости стали, причем твердость можно изменять в широком диапазоне за счет различной степени пластической деформации. Эти свойства ДТС и позволяют получить режущее лезвие с переменной твердостью по длине режущей кромки.

Идея создания равноизнашивающихся ножей куттеров заключается в том, чтобы с помощью определенных технологических методов термической и механической обработки обеспечить распределение твердости режущего лезвия по длине по такому же закону, по какому происходит его линейное или объемное изнашивание.

На основании анализа исследований различных авторов и проведенными нами экспериментами установлена общая зависимость относительной износостойкости и величины линейного износа лезвия ножа от расстояния до центра вращения (рис. 1, 2).

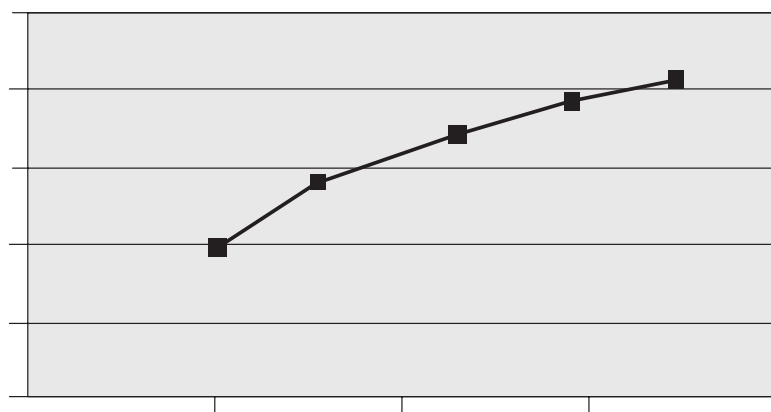


Рис. 1. Зависимость относительной износостойкости лезвия от расстояния до центра вращения ножа

Затем были проведены исследования влияния режимов упрочнения на структурно-механические свойства ДТС ЭП 679, которые позволили установить зависимость между режимами термической обработки, степенью пластической деформации и получаемой твердостью (рис. 2).

Можно видеть, что после закалки с нагревом до 1000° , последующей деформации со степенью 50% и старения при 450°C достигали твердости 52 – 54 HRC.

Еще больший прирост твердости (до 58...62 HRC) получали при использовании многократной (дробной) деформации. При этом сталь ЭП 679 сохраняла значительно более высокий запас пластичности (ударную вязкость), чем сталь 55X14МФ, термообработанная на ту же твердость.

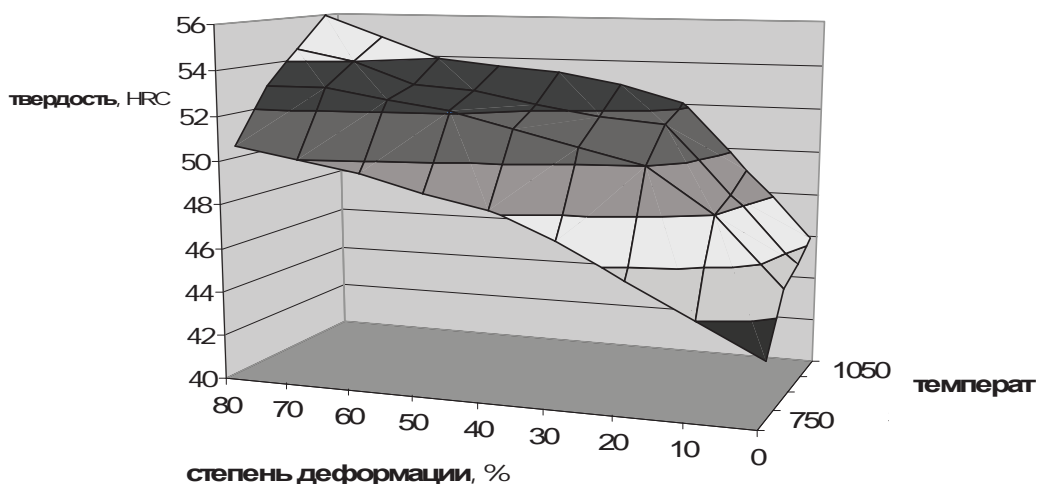


Рис. 2. Зависимость твердости стали ЭП 679, (после старения при 450 C) от температуры закалки и степени деформации

На основании проведенных исследований нами разработана математическая модель, устанавливающая связь между режимами закалки, деформационного упрочнения и износостойкостью дисперсионно-твердеющих коррозионноустойчивых сталей. На основании предложенной модели для реализации принципа равнозначиваемости рассчитаны: требуемая твердость (рис. 3) и необходимая степень деформации (рис. 4) элементов режущей кромки в зависимости от их удаления от центра вращения куттерного ножа.

Данные проведенных исследований могут лечь в основу создания ножей высокопроизводительных куттеров, изготавливаемых из ДТС и обладающих оптимальной износостойкостью по длине режущей кромки с учетом их геометрических параметров и условий эксплуатации.

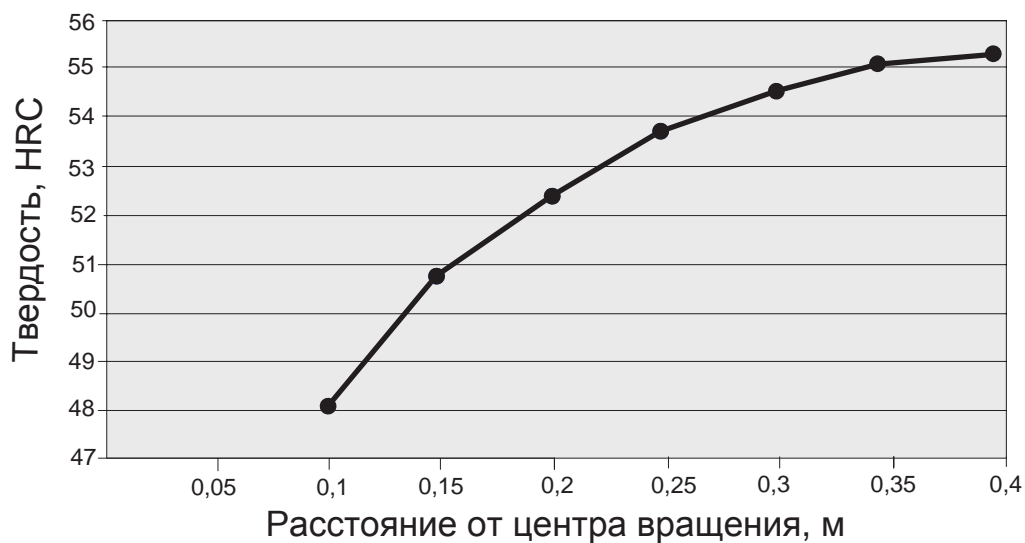


Рис. 3. Требуемая твердость элементов режущей кромки в зависимости от их удаления от центра вращения куттерного ножа

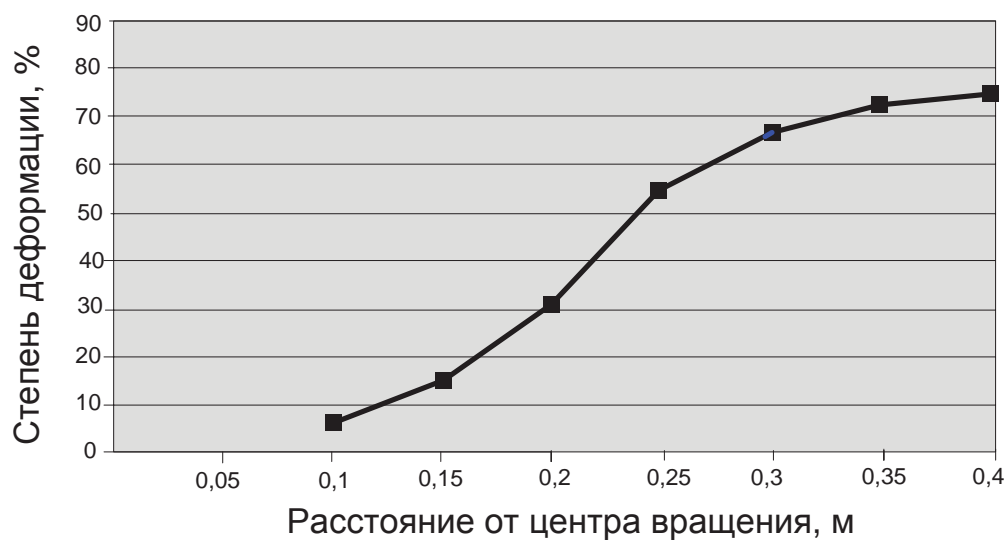


Рис. 4. Расчетная степень деформации элементов режущей кромки в зависимости от их удаления от центра вращения куттерного ножа

УДК 621.787: 621.9

МОДЕЛЬ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

М.С. Махалов, к.т.н.

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-76, факс +7(3842) 58-30-73.

E-mail: maxim_ste@mail.ru

Представлена модель прогнозирования распределения тензора остаточных напряжений (ОН) по глубине поверхностного слоя (ПС) после упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД), основанный на результатах моделирования методом конечных элементов (МКЭ). Выявлены взаимосвязи величины и распределения компонент тензора ОН по глубине ПС с основными технологическими параметрами упрочняющей обработки ППД.

The prediction model of residual stresses tensor allocation after surface layer plastic deformation hardening, founded on results of finite element analysis simulation, is proved as being topical. The residual stresses tensor components value and surface layer depth allocation correlations with the basic technological hardening parameters are detected.

Известно, что остаточные напряжения (ОН) являются одним из ключевых параметров качества поверхностного слоя (ПС) ответственных деталей машин при различных видах знакопеременных эксплуатационных нагрузок, при этом важную роль играет как величина, так и характер распределения сжимающих ОН по глубине ПС.

Широкими возможностями по созданию в ПС благоприятных сжимающих ОН близких по величине к пределу текучести металла обладают способы упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) [1].

К настоящему времени известно и используется значительное число методик исследования остаточных напряжений, большая часть из которых предполагает экспериментальное определение путем послойного удаления поверхностного слоя металла детали и измерение остаточных деформаций с последующим расчетом величины ОН. При этом большинство методик являются трудоемкими и не позволяют оперативно определять распределение ОН по глубине упрочненного ПС деталей машин.

Учитывая сказанное, перспективным направлением является разработка расчетного аппарата, позволяющего прогнозировать формирование ОН после упрочняющей обработки без проведения этих трудоемких экспериментальных исследований.

Для разработки расчетного аппарата было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) очага деформации (ОД) методом конечных элементов (МКЭ) и выполнены расчеты ОН упрочненного ПС детали после обработки ППД.

Моделирование осуществлялось в плоско-деформированной постановке, в соответствии с которой в упруго-пластическое тело в виде пластины (обрабатываемая деталь) внедрялся абсолютно жесткий индентор – ролик с профильным радиусом (рис. 1). Использование такой постановки предполагает, что деформационные процессы в ОД происходят только в рассматриваемой плоскости, проходящей через ось вращения обрабатываемой заготовки (плоскости подачи), а тензор напряжений является условно объемным [2].

Согласно теореме о разгрузке, тензор остаточных напряжений представляет собой разность напряжений, возникающих в реальном упругопластическом теле при приложении нагрузки $[\sigma_{\text{деф}}]$, и напряжений, которые возникали бы в идеально-упругом теле при идентичном нагружении $[\sigma_{\text{раз}}]$. Таким образом, для плоско-деформированной постановки имеем:

$$[\sigma_{\text{ост}}] = [\sigma_{\text{деф}}] - [\sigma_{\text{раз}}] = \begin{pmatrix} \sigma^{\text{деф}} - \sigma^{\text{раз}} & \sigma^{\text{деф}} - \sigma^{\text{раз}} & 0 \\ \sigma^{\text{деф}} - \sigma^{\text{раз}} & \sigma^{\text{деф}} - \sigma^{\text{раз}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(\sigma^{\text{деф}} + \sigma^{\text{деф}}) - (\sigma^{\text{раз}} + \sigma^{\text{раз}})}{2} \end{pmatrix}.$$

Моделирование ОН осуществлялось поэтапно в соответствии с теоремой о разгрузке, что предполагало создание для каждой составляющей тензора геометрически идентичных конечно-элементных моделей, состоящих из обрабатываемой детали и инструментов.

Для выявления взаимосвязей полученного тензора ОН с технологическими режимами ППД было проведено описание компонент тензора в категориях координат характерных точек, абсциссы которых являлись собственно значениями соответствующих компонент, а ординаты – глубинами расположения точки от поверхности детали (рис. 1). В качестве характерных точек для каждой компоненты ОН были приняты:

1. Напряжения на поверхности детали (точка) - σ ;
2. Напряжения в первом экстремуме (точка) - σ ;
3. Глубина расположения первого экстремума (точка) - σ ;
4. Глубина распространения сжимающих напряжений (точка) - σ_0 ;
5. Напряжения во втором экстремуме (точка) - σ ;

6. Глубина расположения второго экстремума (точка) - σ ;
7. Глубина затухания (точка) - $\sigma_{ост}$.

Известно, что при обработке ППД наибольшее влияние на эксплуатационную долговечность имеет распределение напряжений в ПС толщиной 1 – 2 мм [3]. Поэтому выявление взаимосвязей значений компонент напряжений и глубин их залегания с режимами осуществлялось в характерных точках , и (рис. 1).

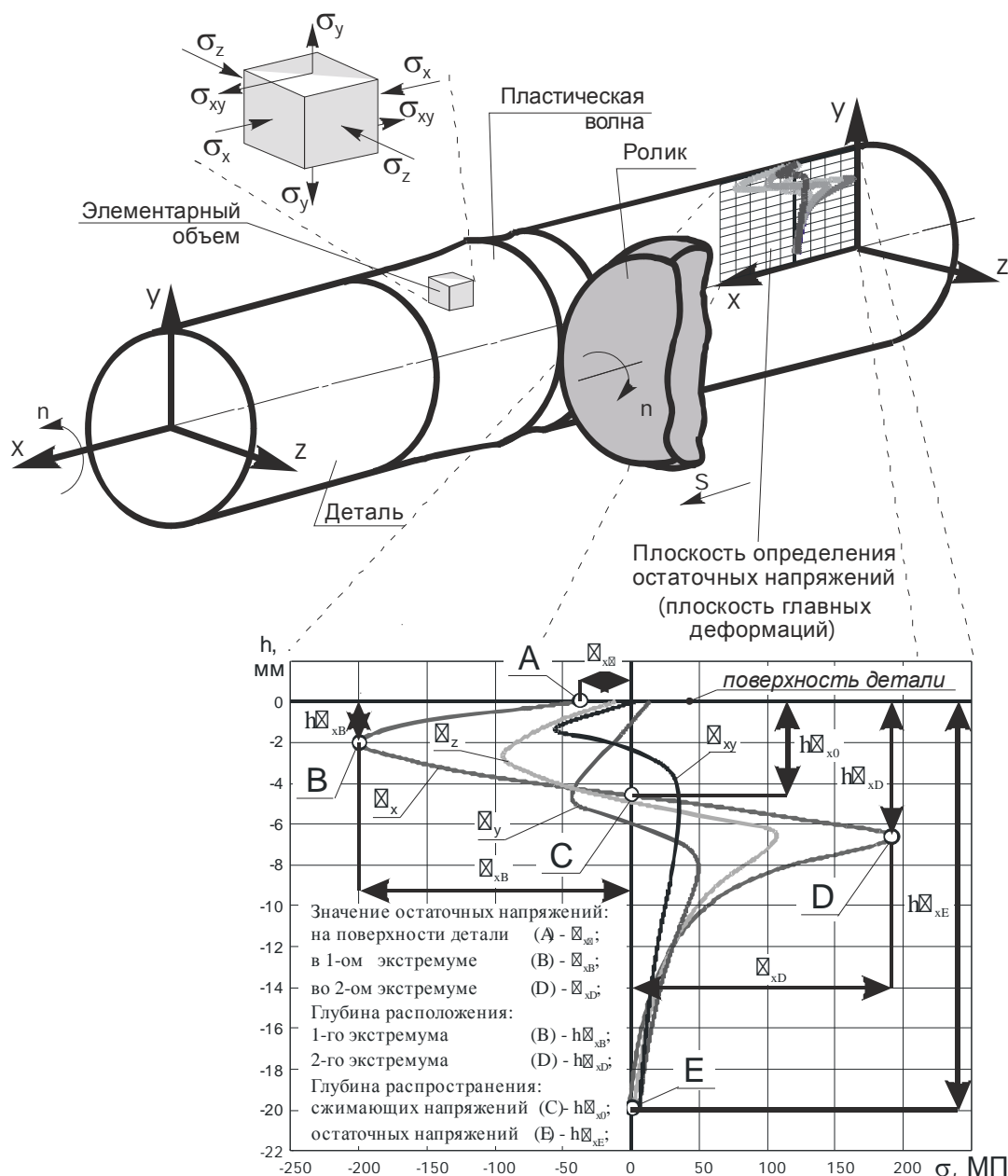


Рис. 1. Постановка задачи моделирования остаточных напряжений (ОН).
 Схема расположения характерных точек и распределения компонент тензора ОН по глубине поверхностного слоя

По данным В.Ю. Блюменштейна, основное влияние на величину и глубину распространения остаточных напряжений оказывают действительный натяг δ , профильный радиус r_{np} ролика. Эти факторы и были выбраны в качестве варьируемых при определении взаимосвязей.

Полученные взаимосвязи объясняют не менее 90% дисперсии результатов при относительной погрешности определения не более 6%.

Выявлено, что сжимающие осевые остаточные напряжения на поверхности детали увеличиваются с увеличением действительного натяга ролика. Наибольшие абсолютные значения сжимающих напряжений на поверхности наблюдаются при максимально возможных значениях действительного натяга и значениях профильного радиуса ролика $r_{np} = 3..5$ мм (рис. 2). Установлено также, что с увеличением действительного натяга усиливается влияние r_{np} на осевые напряжения на поверхности.

Это хорошо согласуется с результатами работ В.М. Смелянского и его учеников, согласно которым, увеличение усилия обкатывания при ППД по упругой схеме или натяга ролика при обработке по жесткой схеме приводит к росту сжимающих ОН [3].

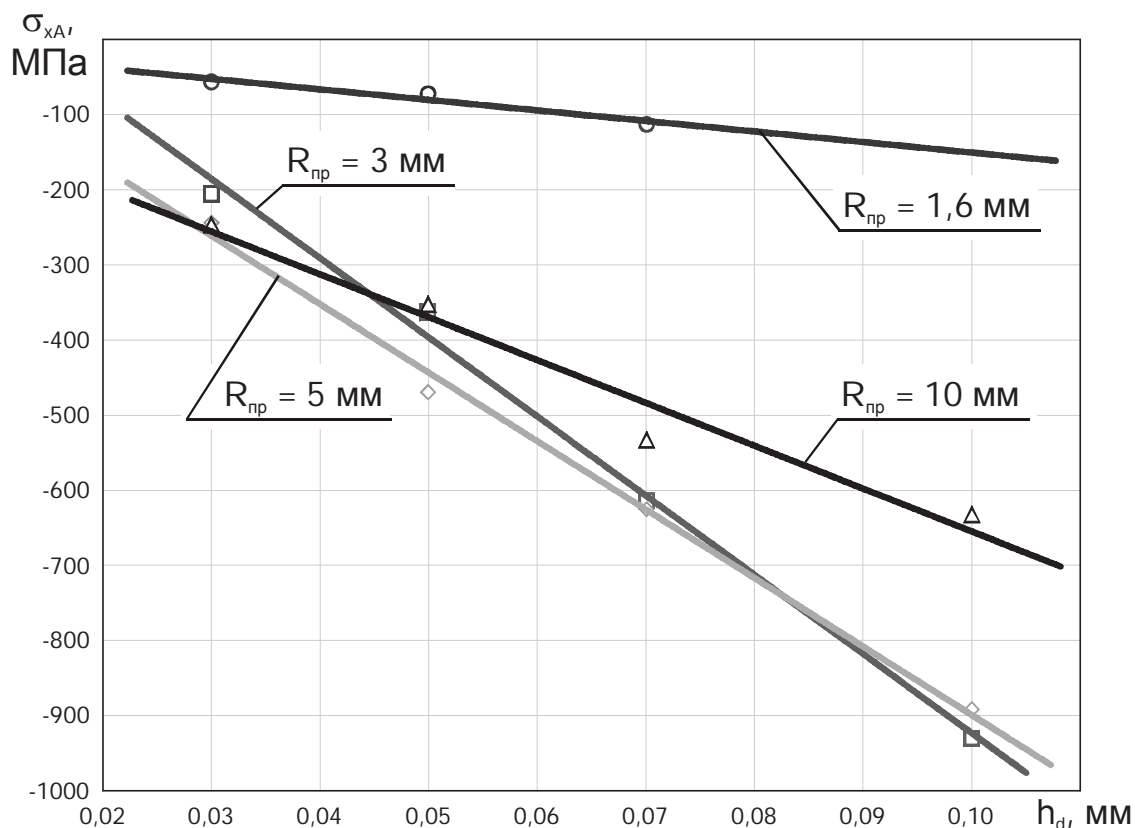


Рис. 2. Зависимость осевых остаточных напряжений на поверхности детали (σ) от действительного натяга (δ) при различных значениях профильного радиуса ролика ($r_{п}$) при обработке ППД

С увеличением действительного натяга, глубина распространения осевых сжимающих ОН (σ_0) практически не изменяется, однако при увеличении профильного радиуса ролика глубина распространения осевых сжимающих ОН увеличивается, достигая значений **0,6...0,8** мм при $n_p = 10$ мм.

Анализируя полученные взаимосвязи и сравнивая их с результатами, полученными для способа размерного совмещенного обкатывания (PCO), который является развитием ППД роликом, можно отметить, что увеличение натяга ролика при обработке обоими способами приводит к увеличению сжимающих остаточных напряжений на поверхности детали, что соответствует экспериментальным данным, которые получены для ППД другими авторами (рис. 3). Однако при PCO, увеличение не является столь интенсивным, несмотря на значительно большие величины натяга роликов, свойственные этому способу.

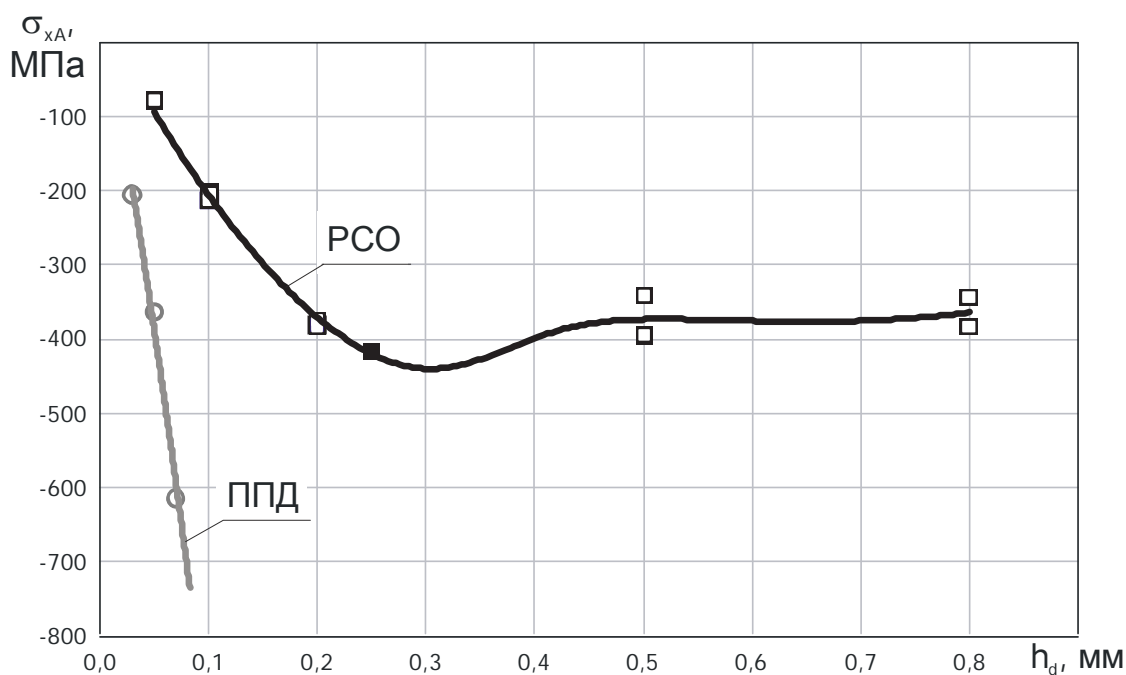


Рис. 3. Зависимости напряжений σ на поверхности детали от действительного натяга ролика δ при ППД и PCO ($n_p = 3$ мм)

При изменении профильного радиуса ролика при обработки обоими способами обнаруживается некоторый экстремум – значения, при которых сжимающие осевые ОН на поверхности имеют максимальные значения (рис. 4).

В сравнении с известной моделью ОН при упрочняющей обработке PCO, тензор ОН при ППД в целом имеет место похожий характер распределения, однако характеризуется:

- меньшими (до 1-2 мм) глубинами распространения сжимающих напряжений (при РСО до 10 мм);
- большими (до -600 МПа) значениями сжимающих остаточных напряжений на поверхности (до -450 МПа при РСО).

Представленный расчетный аппарат требует сопоставления с результатами, полученными экспериментальными методами определения ОН, в том числе и современными методами неразрушающего контроля.

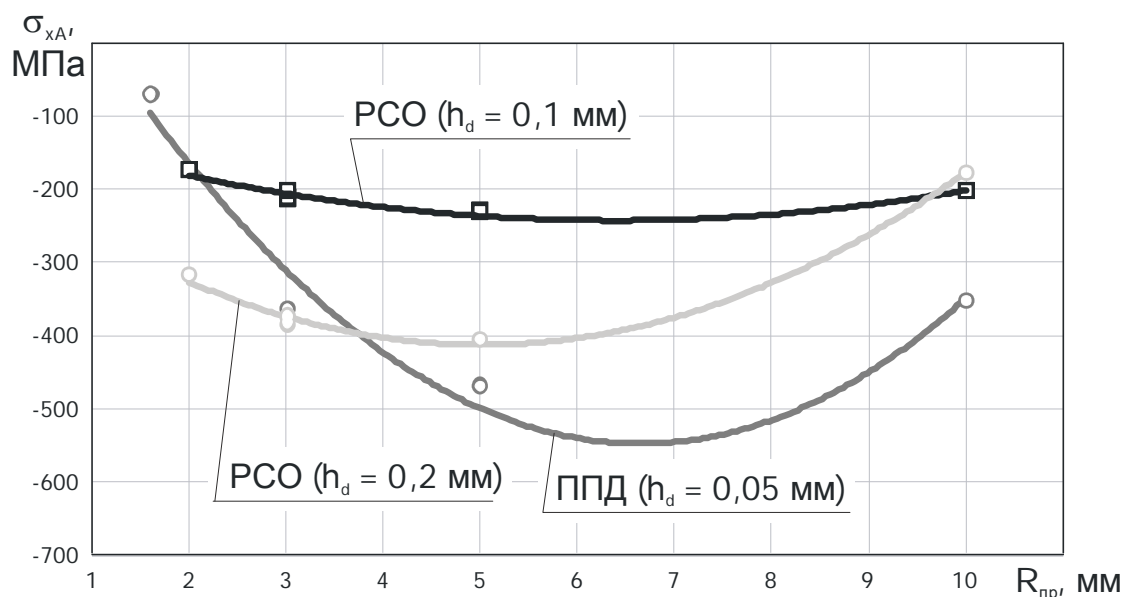


Рис. 4. Зависимости напряжений σ на поверхности от профильного радиуса ролика r_{np} при ППД и РСО

Представленный расчетный аппарат требует сопоставления с результатами, полученными экспериментальными методами определения ОН, в том числе и современными методами неразрушающего контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюменштейн В. Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин / В. Ю. Блюменштейн, В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.: ил.
2. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
3. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В. М. Смелянский. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.: ил.

МЕТОДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЫШЕНИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК ДЛЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Е.О. Ольховик , доц.,к.т.н.
Санкт-Петербургский институт машиностроения (ВТУЗ-ЛМЗ)
E-mail: olhovick@gmail.com

Разработан комплекс моделей для оптимизации технологических решений, направленный на обеспечение конструктивной прочности стальных литых деталей. Выполненные исследования позволили построить взаимосвязи технологических параметров производства (литейные технологии) с функциональными свойствами металла в стальных заготовках.

A set of models for optimization of technological solutions aimed at ensuring the structural strength of steel castings. The research is allowed to build a relationship of technological parameters of production(casting technology) with the functional properties of the metal in steel parts.

Решение задач технологического проектирования стальных отливок ответственного назначения представляет собой комплексную задачу расчета и описания технологических параметров, прежде всего направленных на обеспечение заданных эксплуатационных характеристик будущей детали.

При проектировании и конструировании литых деталей, для оценки и расчета напряженно-деформированного состояния применяются численные модели, основанные на применении метода конечных элементов. Такой подход предполагает, что исследуемая конструкция имеет однородные во всем своем объеме механические свойства и не имеет внутренних технологических напряжений. На практике, стальные детали, изготовленные методом литья, практически всегда имеют уже внесенные технологические дефекты в виде неоднородности структуры, прочностных свойств и остаточных напряжений. Тогда, возникает ситуация, при которой необходим дополнительный комплекс мер, направленный на обеспечение конструктивной прочности, в условиях неоднородности распределения механических свойств литого металла детали.

Предлагаемая в работе схема, направлена на проектирование литейных технологий изготовления стальных отливок машиностроения, испытывающих значительные силовые (длительные и циклические) нагрузки. Отличительной особенностью предлагаемой методики(по сравнению с традиционными) является возможность учета будущих силовых эксплуатационных нагрузок, которые воспринимают на себя литые детали. Новый подход основан на совместном анализе

результатов моделирования литейной технологии и моделировании процесса сопротивления усталости детали в процессе ее эксплуатации.

Моделирование процесса затвердевания конкретной отливки может дать прогноз образования пористости, связанной с процессом усадки затвердевающего металла, что в результате дает информацию о точной объемной локализации дефектов литого металла в отливке. Такая информация, используется в дальнейшем для внесения исправлений в литейную технологию, однако технологическими приемами в большинстве случаев удается только снизить объем дефектов. Направленное формирование механических свойств, при этом не применяется, как основной фактор оценки качества литейной технологии, речь идет только о недопустимости критического образования дефектов.

Полностью избежать образования усадочной пористости, как правило, не удастся, и инженеры-конструкторы вынуждены это учитывать. Взаимосвязь технологических факторов с качеством литой стали в отливках очевидна, но является сложной даже для описания, поскольку требует необходимой информационной поддержки для всего жизненного цикла детали, от начального производства до окончания эксплуатации.

Предлагаемый метод технологического повышения надежности литых деталей схематически представлен на рис.1. Совместный учет неоднородности механических свойств литого металла и распределения действующих напряжений позволяет провести оптимизацию конструктивно-технологических параметров, направленную на повышение технического ресурса работы, за счет повышения прочности в наиболее нагруженных областях отливки.



Рис.1. Методика разработки литейной технологии, учитывающая внесенные технологические дефекты

Согласно схеме на рис.1 расчет изменения параметров механических свойств металла в отливке выполняется на основе

разработанной нами методики [1,2], основанной на использовании набора расчетных критериев оценки качества литейной технологии, в т.ч. локального параметра направленности затвердевания, определяющего условия питания для каждого элементарного объема отливки. Выявленные взаимосвязи изменения механических свойств ($\sigma_{np}, \sigma_m, \delta(\%)$) литой стали от локального параметра направленности затвердевания позволяют получить расчетное распределение механических свойств литого металла непосредственно во всем объеме отливки. В дальнейшем эта информация используется в прочностных расчетах детали.

В качестве объекта для исследования была выбрана отливка (рис.2) корпуса запорной арматуры, используемая при эксплуатации нефте- и газопроводов. При расчете напряженно-деформируемого состояния корпуса распределительно-запорной арматуры использовался метод конечных элементов, для оценки опасности НДС в качестве параметра была выбрана интенсивность напряжений. Наиболее высокие значения были выявлены внутри радиусных переходов в местах сочленения фланцев корпуса и доходили до **140 МПа**. Стенки корпуса равномерно испытывают напряжения в пределах **90 МПа**. Конечно-элементная модель для расчета НДС предполагает континуальную концепцию, когда свойства упругости равномерно распределены в детали и не имеют изменений. При длительной эксплуатации накопление повреждений в конечных элементах происходит неравномерно, что усиливает упругую неоднородность в системе в целом и приведет к разрушению тела в самом податливом месте. Внести изменения в расчет НДС возможно за счет изменения начальных модулей упругости для набора конечных элементов.

Поскольку главной причиной изменений механических свойств литой стали является усадочная пористость, для выявления зависимости изменения модуля упругости от объема усадочной пористости была выполнена серия специальных экспериментов, в которых испытывались образцы, вырезанные из специальных литых проб, полученных в различных технологических условиях. Оценка изменения модуля нормальной упругости для литой стали при наличии усадочной пористости показала следующее : в условиях хорошей подпитки жидким металлом из прибыли показатели объема усадочной пористости не превышают значения в **1-2%**, что практически не влияет на изменение модуля нормальной упругости, значения составляли **200-210 ГПа**. При объеме усадочной пористости в **3-5%** (соответствует стенкам отливки с толщиной более **50 мм**) происходит значительное снижение уровня механических свойств, для кратковременных показателей ($\sigma_m, \delta(\%)$) это

снижение составляет до **20%**, а по вязкости разрушения () до **30%**. При значительном поражении литого металла усадочной пористостью (более **15%**) происходит более серьезное снижение механических свойств, и такие отливки должны быть отбракованы по техническим требованиям.

Для проведения сравнительного анализа НДС корпуса задвижки, полученные данные были приведены к запасам по прочности.

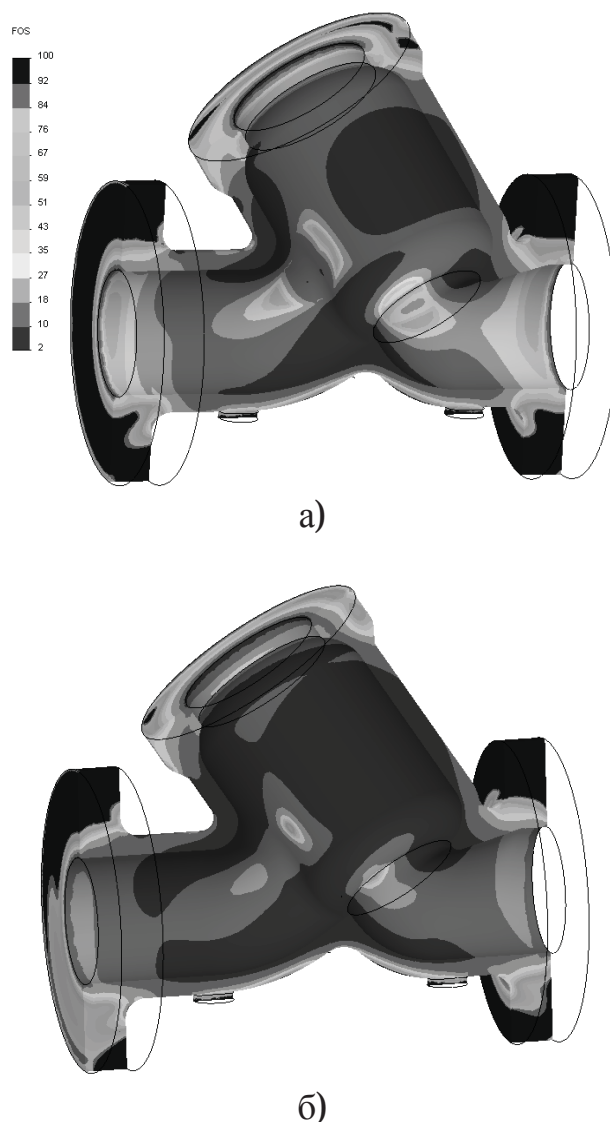


Рис.2. Распределение коэффициента запаса прочности в отливке корпуса арматуры (сталь 25Л, нагрузка - внутренне давление 50атм.):
а) расчет при условии однородности механических свойств
б) расчет с учетом неоднородности механических свойств

Структурная неоднородность металла также всегда присутствует в литых деталях, что связано с наличием мощного температурного градиента затвердевающего металла, определяющего размеры

дендритной структуры и аустенитного зерна, учет такой неоднородности также возможен за счет проведения специальных исследований.

В работе [2] нами была предложена методика, позволяющая автоматизировать проектирование литейной технологии, такое проектирование выполняется методом последовательного изменения параметров питания отливки и направленности затвердевания металла. В качестве критерия оценки качества разрабатываемой технологии использовалось соответствие расчетного распределения набора механических свойств литого металла техническим требованиям.

При проектировании технологии учитывается принцип опасности слабого или уязвимого звена, которыми являются наиболее нагруженные области детали, здесь применялся стандартный расчет с условием однородности механических свойств металла, или локальные участки отливки с пониженными механическими свойствами (по критерию модуля нормальной упругости в зависимости от объема усадочной пористости или размера аустенитного зерна, тогда вся задача сводится к направленному формированию высоких механических свойств в более нагруженных узлах, за счет улучшения условий питания и снижения объема усадочной пористости.

Выводы В работе предложена расчетная модель для обеспечения эксплуатационной надежности литых деталей для машиностроения, основанная на учете неоднородности механических свойств литой стали, полученной в различных технологических условиях. Расчеты и экспериментальные исследования показали, что если неоднородность механических характеристик литой стали лежит в пределах 2-5%, то это приводит к увеличению предельных напряжений на 20-30% в одинаковых условиях эксплуатации. Предложенная методика позволяет разрабатывать литейные технологии с направленным формированием высоких механических свойств в локальных областях литой детали, подверженных наиболее высокой силовой нагрузке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Десницкая Л.В., Ольховик Е.О., Кратович Л.Ф., Десницкий В.В. Структурообразование и свойства стали в отливках // Монография, Изд.С.-Петербургского института машиностроения, 2004. – 184стр.
2. Ольховик Е.О., Десницкий В.В. Разработка методов автоматизированного проектирования литейной технологии стальных отливок арматуры нефтегазопроводов. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. №12, 2006г. стр. 37-40.

УДК 621.98:539.37

ОБ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ДАВЛЕНИЕМ В СОСТОЯНИИ ПОЛЗУЧЕСТИ

В.А. Панамарев, к. ф.-м. н., доцент

Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, тел. +7(3843) 46-22-77, факс +7(3843) 46-57-92.

E-mail: rector@sibsiu.ru

Рассмотрено горячее деформирование металлов в состоянии ползучести. Приведены примеры расчётов верхней границы скоростей такого деформирования для материалов, удовлетворяющих двум различным законам ползучести.

The hot deformation of metals in a creep condition is considered. The examples of calculations of the top border of speeds of such deformation for the materials, satisfying to two various laws of creep, are resulted.

С точки зрения современного машиностроения важнейшими качествами металлоизделий является их механическая прочность и геометрическая точность. Для повышения прочностных свойств изделий в промышленности широкое применение находят новые высокопрочные конструкционные сплавы на основе алюминия, магния и титана. Однако, обработка таких материалов давлением связана со значительными трудностями. Во – первых, высокопрочные заготовки требуют для своего формоизменения значительных внешних усилий; во – вторых, они обладают малой деформационной способностью – разрушаются уже при небольших деформациях. Таким образом, высокие эксплуатационные характеристики прочных материалов порождают их низкие технологические свойства.

Улучшить деформационные свойства металлических заготовок можно температурным воздействием, используя горячую обработку. Традиционно такая обработка осуществляется при достаточно высоких скоростях деформирования, при которых не успевают развиваться во времени эффекты вязкости или ползучести заготовки. Формоизменение при этом происходит только за счёт деформаций пластичности, деформации ползучести будут пренебрежительно малы. Такое формоизменение будем называть формоизменением в режиме или в состоянии пластичности. Но даже горячее деформирование в состоянии пластичности не всегда позволяет осуществить заданную операцию. Во – первых, многие высокопрочные конструкционные сплавы даже при высоких температурах обладают довольно высоким пределом текучести и малой деформационной способностью; во – вторых, в ряде случаев, по

технологии изготовления детали запрещается нагревать её заготовку выше заданной, «разрешённой» температуры.

Имеющиеся в литературе экспериментально – теоретические исследования показывают, что улучшить технологические свойства металлических заготовок (снизить их сопротивление формоизменению и увеличить деформационную способность) в нагретом состоянии можно не только за счёт дальнейшего повышения температуры, но и за счёт снижения скорости их деформирования. Следовательно, наряду с традиционно быстрой горячей обработкой в состоянии пластичности можно использовать медленную обработку, при которой успевают развиваться эффекты ползучести заготовки. При достаточно медленной скорости деформирования за счёт ползучести можно достигнуть заданного формоизменения при малых напряжениях, не достигающих предела текучести заготовки. В этом случае формоизменение будет осуществляться только за счёт деформаций ползучести, деформации пластичности будут пренебрежительно малы. Такое формоизменение будем называть формоизменением в режиме или в состоянии ползучести [1]. Таким образом, одно и то же формоизменение заготовки при фиксированной температуре «быстрым» деформированием можно осуществить в состоянии пластичности, а «медленным» деформированием – в состоянии ползучести. Ниже рассмотрим критерии, по которым можно определить скорость «медленного» деформирования в состоянии ползучести.

В механике деформируемого твёрдого тела при повышенной температуре общую деформацию металлического материала ε принято представлять в виде суммы её составляющих деформаций упругости ε_u , пластичности ε_p и ползучести ε_c :

$$\varepsilon = \varepsilon_u + \varepsilon_p + \varepsilon_c . \quad (1)$$

Деформация ползучести составляет ту часть деформации тела, которая зависит от скорости деформирования и развивается во времени, а деформация пластичности, подобно деформации упругости, от скорости деформирования не зависит. Экспериментально установлено, что для многих металлов и сплавов при высокой температуре деформации ползучести являются необратимыми, их частичная обратимость наблюдается только при невысоких температурах [2]. При обработке металлов давлением деформации достигают нескольких процентов и даже десятков процентов. Деформации упругости составляют их пренебрежительно малую часть, которую можно не учитывать. Общую деформацию (1) при этом можно представлять в виде

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_c . \quad (2)$$

Если напряжения не достигают предела текучести $\sigma_{0,2}$ материала заготовки при температуре формоизменения, то в соотношении (2) можно отбросить и ничтожно малую деформацию пластичности. При этом получим соотношения для деформации:

$$\begin{cases} \varepsilon = \varepsilon , \\ \sigma < \sigma_{0,2} \end{cases} \quad (3)$$

и для скорости деформации

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon} , \\ \sigma < \sigma_{0,2} , \end{cases} \quad (4)$$

где точка обозначает производную по времени .

Для многих конструкционных сплавов высокотемпературная ползучесть при растяжении подчиняется закону установившегося течения

$$\dot{\varepsilon} = \sigma , \quad (5)$$

где ξ_0 и n – экспериментально определённые числовые параметры ползучести, зависящие от температуры. При постоянной скорости деформации $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 = \xi_0$ напряжение, исходя из закона (5), также остаётся постоянным:

$$\sigma = (\xi_0 / n)^{1/n} . \quad (6)$$

Отсюда следует, что напряжение не превысит условный предел текучести при выполнении условия $\sigma = (\xi_0 / n)^{1/n} < \sigma_{0,2}$ или

$$\xi_0 < (\sigma_{0,2})^n \equiv \xi^* . \quad (7)$$

Например, для материала заготовки с числовыми параметрами ползучести $\xi_0 = 8,85 \cdot 10^{-11} (\text{МПа})^{-4,65} \cdot \text{с}^{-1}$, $n = 4,65$ и условным пределом текучести $\sigma_{0,2} = 83 \text{ МПа}$ скорость деформации в состоянии ползучести по закону (5) должна будет удовлетворять неравенству $\xi_0 < 8,85 \cdot 10^{-11} (83)^{4,65} = \xi^* = 0,074 \text{ с}^{-1}$.

При сжатии высокотемпературная ползучесть многих сплавов подчиняется закону упрочнения

$$\dot{\varepsilon} = \sigma / \varepsilon^\alpha , \quad (8)$$

где ξ_0 и α – экспериментально определённые числовые параметры ползучести, зависящие от температуры. При постоянной скорости деформации $\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 = \xi_0$ напряжение, исходя из закона (8), можно определить как функцию деформации ε :

$$\sigma = (\xi_0 \cdot \varepsilon^\alpha / \dot{\varepsilon})^{1/\alpha} . \quad (9)$$

Отсюда следует, что напряжение не превысит условный предел текучести при выполнении условия $\sigma = (\xi_0 \cdot \varepsilon^\alpha /)^{1/} \sigma_{0,2}$ или

$$\xi_0 (\sigma_{0,2}) / \varepsilon^\alpha \equiv \xi_*. \quad (10)$$

В отличие от неравенства (7), где ограничение скорости деформации зависит только от предела текучести $\sigma_{0,2}$, в неравенстве (10) это ограничение зависит ещё и от деформации. С ростом деформации предельная скорость ξ_* в неравенстве (10) снижается. Например, для материала заготовки с числовыми параметрами ползучести $\xi_0 = 8,85 \cdot 10^{-11} (\text{МПа})^{-4,65} \cdot \text{с}^{-1}$, $\sigma_{0,2} = 4,65$, $\alpha = 0,77$ и условным пределом текучести $\sigma_{0,2} = 83 \text{ МПа}$ скорость деформации в состоянии ползучести по закону (8) должна будет удовлетворять неравенству $\xi_0 \cdot 8,85 \cdot 10^{-11} (83)^{4,65} / \varepsilon^{0,77} = \xi_*$. Ниже приведены значения предельной скорости деформирования ξ_* подобной заготовки в состоянии ползучести при различных значениях величины деформации ε :

$\varepsilon, \%$	5	10	15	20	25	30
$\xi_*, 1/\text{с}$	0,75	0,44	0,32	0,26	0,22	0,19

Следует отметить, что обработка в состоянии ползучести близка по своей сути к обработке в состоянии сверхпластичности. Но состояние сверхпластичности требует выполнения определённых условий: материал должен иметь специально подготовленную мелкозернистую структуру; деформирование заготовки должно осуществляться в определённом интервале высоких температур; скорость деформации должна принадлежать определённому диапазону малых скоростей [1]. Обработка в состоянии ползучести не требует особой подготовки структуры материала, используется материал в состоянии поставки. В разрешённом по техническим условиям интервале температур экспериментально определяется та скорость деформирования, при которой можно добиться снижения сопротивления материала в сочетании с повышением его пластичности.

Выводы. В работе рассмотрено формоизменение в состоянии ползучести, которое осуществляется медленным деформированием горячих металлов, при котором напряжения не достигают предела текучести. Приведены примеры расчётов верхней границы скоростей такого деформирования для материалов, удовлетворяющих двум различным законам ползучести: закону установившейся ползучести и закону упрочнения при ползучести.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горев Б.В., Клопотов И.Д., Раевская Г.А., Соснин О.В. К вопросу обработки металлов давлением в режиме ползучести. ПМТФ. 1980, № 5, с. 185-191.
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. - 744 с.

УДК 621.791

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ДРОБИ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ТВЧ

Е.Ф. Пантелеенко, к.т.н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, тел. +37529-712-67-08. E-mail: panteleyenko@inbox.ru

В данной работе обсуждаются результаты микроструктурного и микродюрOMETрического анализа покрытий, полученных методом наплавки ТВЧ с использованием самофлюсующихся диффузионно-легированных порошков из отходов производства сферической чугунной дроби.

The results of microstructure and microdureometrical analysis of coatings which are obtained via high frequency current welding are discussed. Coatings reviewed are made of self-fluxing diffusion-alloyed powders on the cast-iron fraction waste products base.

Одним из побочных продуктов промышленности являются дисперсные и крупногабаритные отходы. Это остатки сырья, материалов или полуфабрикатов, образовавшихся при изготовлении продукции и полностью или частично утратившие свои потребительские свойства, а также продукты физико-химической или механической переработки сырья, получение которых не являлось целью производственного процесса, и которые в дальнейшем могут быть использованы в народном хозяйстве как готовая продукция после соответствующей обработки или в качестве сырья для переработки [1]. Отходы, пригодные для переработки в товарную продукцию, относятся к вторичным материальным ресурсам.

Значительную долю среди дисперсных металлических отходов, годных для дальнейшей переработки и использования составляют отходы производства дроби. Ранее был предложен метод получения самофлюсующихся диффузионно-легированных бором порошков (СДЛП) из отходов производства дроби, и разработаны новые самофлюсующиеся диффузионно-легированные бором порошки, содержащие от 4,4 до 13,4 масс.% бора [2].

Диапазон применения новых материалов широк: самофлюсующиеся диффузионно-борированные порошки можно использовать как в

технологиях восстановления и упрочнения деталей машин, так и для механической, в том числе финишной, обработки. В данной работе изучены покрытия, полученные методом наплавки токами высокой частоты с использованием указанных порошков.

Покрытия ТВЧ получали на образцах из стали 45 с применением порошков дисперсностью 200-315 мкм (№1а) и дисперсностью 400 – 630 мкм (№ 2б, 3б, 4б). Объемное и массовое содержание бора в использованных порошках указано в таблице 1.

Источник тока – высокочастотный генератор ВЧГ2-100/0,066, мощностью 100 кВт, число фаз – 3, частота 66 кГц. Параметры режима нанесения: накат – 13.5 В, ток на сетке 1 – 1.5 А, анод 2.5 - 5 А, анодное напряжение 7 - 10 кВ.

Таблица 1

Покрытия из порошков, содержащих различное количество боридной фазы

Номер покрытия	Фракция, мкм, материал порошка	Объемное содержание боридной фазы в порошке, %	Массовое содержание бора в порошке, %
1а	200 – 315 чугун	99,96	13,1
2б	400 – 630 чугун	40,2	4,4
3б		55,4	6,1
4б		64,9	7,3

Результаты визуального и микроскопического анализа полученных покрытий показали, что степень проплавления и качество покрытий зависит от фракции наплавляемого порошка - чем больше фракция, тем более сплошным и однородным является получаемое покрытие. Покрытия из порошка фракции 200 – 315 мкм характеризуются меньшей сплошностью, и в них не произошло полное расплавление ядер частиц, имеющих большую температуру плавления по сравнению с борсодержащими оболочками (рис. 1). Поверхность полученных наплавкой ТВЧ слоев более гладкая, чем у покрытий, полученных методом магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) [5] и не зависит от размера частиц порошка, поскольку в данном случае происходит одновременное проплавление всех частиц и флюсование покрытия. Метод получения и обуславливает особенности рассматриваемых покрытий по сравнению с магнитно-электрическими.

Данное покрытие кроме нерасплавившихся ядер частиц и матрицы, состоящей из веерообразной боридной эвтектики (1 на рис. 1, б),

содержит игольчатые боридные включения, примыкающие к поверхности указанных округлых ядер и ромбообразные бориды (2 на рис. 1, б), которые характеризуются микротвердостью от 17 880 до 22 360 МПа, что соответствует твердости фазы FeB и также свидетельствует о том, что при наплавке не произошло полного проплавления порошка, его самофлюсования и перемешивания образовавшегося расплава.

Граница между покрытием и подложкой во всех случаях отличается минимальной пористостью, дефекты отсутствуют, что свидетельствует о высоком качестве зоны сплавления. В покрытиях, за исключением описанного выше покрытия из порошка 1а, границ между наплавленными частицами не выявлено, что, одновременно с однородной структурой, свидетельствует о полном их расплавлении и перемешивании материала.

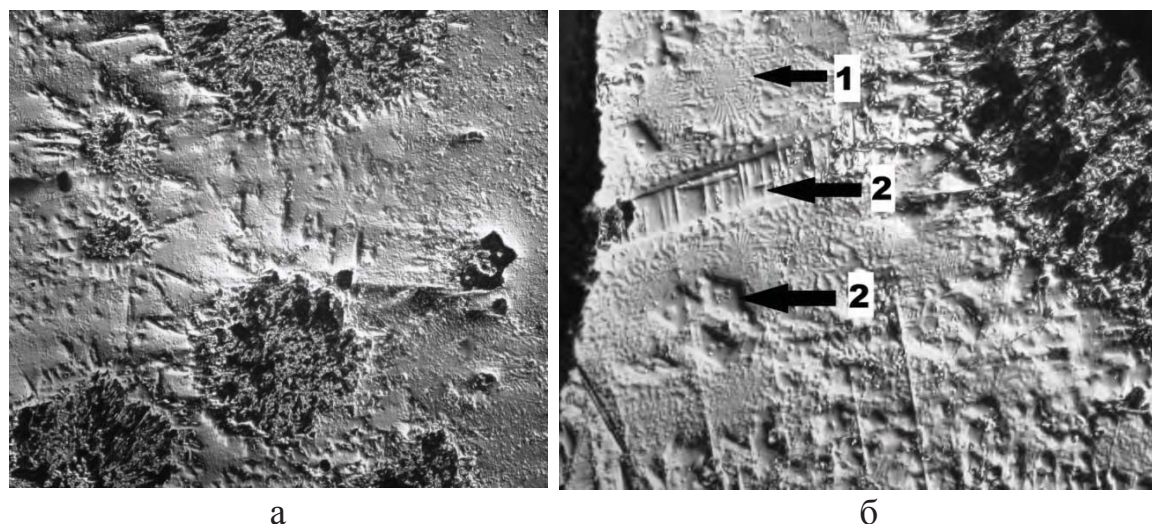


Рис. 1. Покрытие из порошка 1а с несплавившимися ядрами частиц (x500)

Исследование покрытия, полученного наплавкой ТВЧ из СДЛП на основе сферических отходов чугунной дроби дисперсностью 400-630 мкм, содержащего 7,3 масс.% бора (объем боридной фазы в частице около 65%), показало, что оно является эвтектическим – полностью состоит из боридной эвтектики (рис. 2).

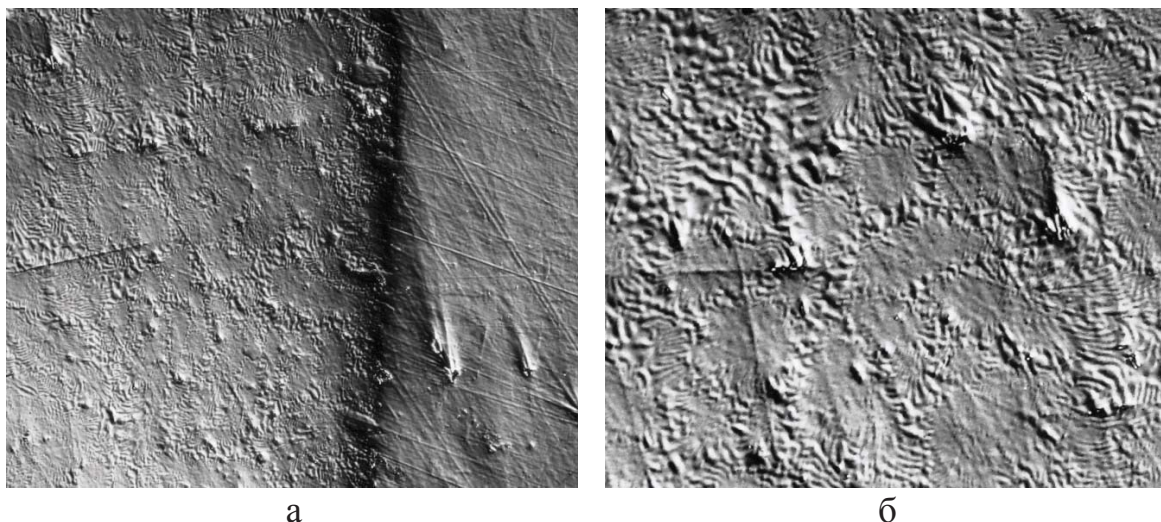


Рис. 2. Покрытие из порошка 4б

Микротвердость данного эвтектического покрытия составляет от **6 900** до **8 900** МПа, что несколько ниже, чем в магнитно-электрических покрытиях. Однако, и содержание бора в наносимом порошке для получения эвтектического покрытия методом МЭУ требуется больше (**12 0,5** масс.%), чем при наплавке ТВЧ (**7,3 0,5** масс.%). Местами в эвтектическом покрытии встречаются дендритные включения более твердой фазы (микротвердостью от **9 550** до **11 200** МПа), которые на рисунке 3 указаны стрелкой.

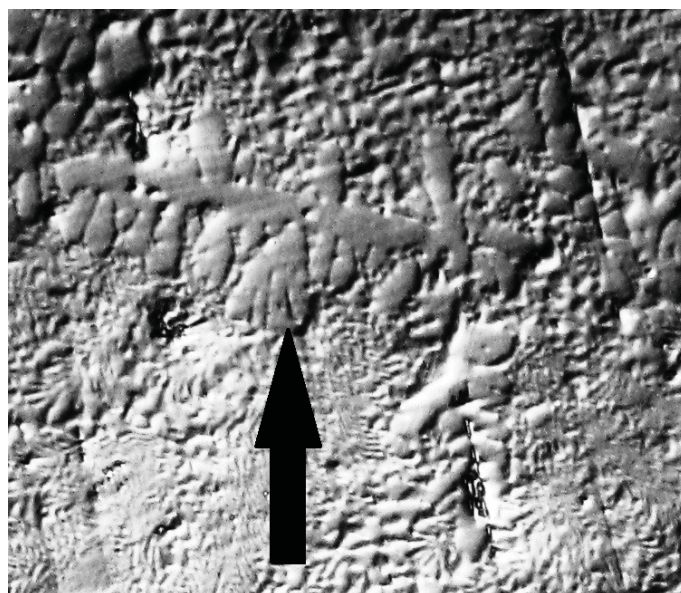


Рис. 3. Дендритные включения в эвтектической матрице покрытия из порошка 4б

Покрытия из порошков 3б и 2б, содержащих **6,1** и **4,4** масс.% бора соответственно, являются доэвтектическими: состоят из эвтектической

боридной матрицы и более мягких дендритных включений, микротвердость которых составляет от 4 000 до 4 400 МПа, что несколько выше, чем твердость перлита. Причем, с уменьшением массового содержания бора с наносимом порошке количество таких включений увеличивается (рис. 4).

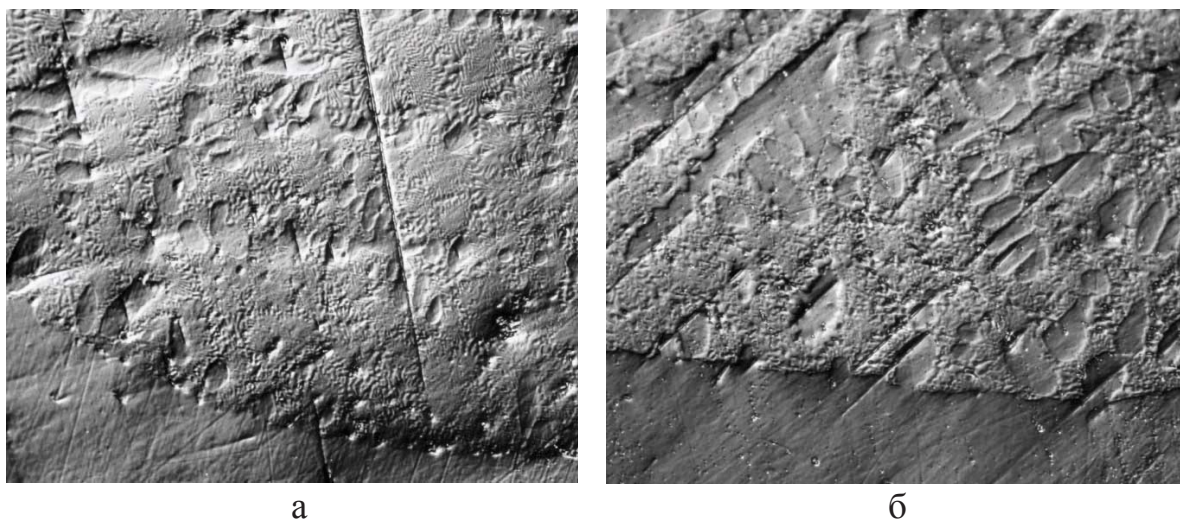


Рис. 4. Покрытия из порошка с содержанием бора 6,1 масс.% (а) и 4,4 масс.% (б)

Необходимо отметить, что, как видно из приведенных выше фотографий микроструктуры полученных покрытий (рис. 2, а, 4,а, б), их твердость превышает твердость подложки, поскольку они слегка выступают над ней.

Выводы: наплавка ТВЧ, так же, как и метод магнитно-электрического упрочнения [5], позволяет получать покрытия с доэвтектической, эвтектической и заэвтектической структурами, однако, при наплавке ТВЧ необходимо меньшее содержание бора в порошке для получения соответствующего покрытия. Из-за этого они и отличаются меньшей твердостью.

Несомненно, такие покрытия с регулируемой структурой и свойствами будут востребованы в области восстановления и упрочнения быстроизнашивающихся элементов сельскохозяйственных машин, металлургического, строительного оборудования и иных областях народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пальгунов, П.П. Утилизация промышленных отходов / П.П. Пальгунов, Н.В. Сумароков. – Москва: Стройиздат, 1990. – 352 с.
2. Пантелеенко, Е.Ф. Самофлюсующиеся композиционные порошки из борированных отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического

упрочнения и восстановления деталей машин: дисс. ... канд.техн.наук: 05.16.06 / Е.Ф. Пантелеенко; БНТУ – Минск, 2009. – 163 с.

3. Порошок для магнитно-электрического упрочнения: пат. 11033 Респ.Беларусь МПК (2006) В 23К 35/30 Ф.И. Пантелеенко, П.С. урченко, М.И.Демин, В.А. Люцко, Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелеенко, В.И. Сороговец, А.Ф. Пантелеенко; заявитель УО «Полоцкий государственный университет». - №а20050945; заявл.03.10.2005; опубл. 30.06.2007.

4. Самофлюсующийся порошок для износостойких покрытий: заявка а20090167 Республика Беларусь: МПК⁸ В 23К 35/30 / Ф.И. Пантелеенко, Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелеенко, М.П. Кульгейко, В.М. Константинов; заявл. 6.02.2009. – 6 с.

5. Пантелеенко Е.Ф. Влияние состава самофлюсующегося порошка на структуру и свойства магнитно-электрических покрытий / Е.Ф. Пантелеенко // Материалы межд. науч.-практич. конф. «Инженерия поверхностного слоя деталей машин» декабрь 2009/ Россия, Кемерово. – 2009. –С. 227 – 236.

УДК 621.793

СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

Ф.И.Пантелеенко, В.С.Ивашко, В.Р.Калиновский,
В.В.Саранцев, Е.Л.Азаренко

Белорусский национальный технический университет,
Учреждение образования Белорусский государственный аграрный
технический университет

Тел. +375 29 331 73 61 E-mail: bntu_mtf@mail.ru

Работа посвящена изучению технологии нанесения композиционных покрытий с использованием комбинации технологий электроискрового легирования и самораспространяющего высокотемпературного синтеза. Проведены трибологические исследования созданных композиционных покрытий. Исследованы структурные изменения в дорожках трения при испытании без смазки.

The work is devoted to studying the novel technology of producing composite coatings using electrospark discharge processing and self-propagating high-temperature synthesis. The tribological testings created composite coatings are investigated. Structural changes in friction track are investigated at test without lubricant.

Введение В современных условиях при высоких темпах производства возникает необходимость разработки новых материалов, технологий, инструмента для повышения жаро-, износо- и коррозионной стойкости деталей работающих в неблагоприятных условиях. Нанесение

защитных покрытий на рабочие органы машин – наиболее эффективный способ повышения их качества и долговечности.

Постановка задач и методика проведения эксперимента

Область использования покрытий полученных при электроискровом легировании (ЭИЛ) очень широка – это режущие и вырубные инструменты, посадочные места подшипников, торцевые уплотнения, рабочие поверхности лопаток паровых турбин и т.д. Однако немаловажной является задача создания новых износостойких материалов. При нанесении покрытий ЭИЛ наиболее распространено использование твердых сплавов марки ВК или ТК. Однако более перспективным является использование покрытий на основе карбида титана [1].

Морфологию поверхности и микроструктурный анализ поперечного сечения покрытий проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором «INCA Energy 350». Исследования проводили как по точкам (точечный микрорентгеноспектральный анализ) с концентрационными кривыми распределения, так и съемку в характеристическом рентгеновском излучении. На экране цветного дисплея получали картину распределения исследуемого элемента. Концентрация элемента определяется плотностью цвета.

Для установления фазового состава покрытия применяли съемку в режиме BSE – режим, когда изображение формируется с использованием отраженных от объекта электронов. В режиме BSE контраст создается с учетом усредненного атомного номера элементов.

Полученные результаты и их обсуждение

Для создания карбид содержащих композиционных покрытий (КП) был разработан способ, сочетающий технологии электроискрового легирования и самораспространяющего высокотемпературного синтеза (СВС) [2]. ЭИЛ проводили по слою ранее нанесенных СВС реагентов (рис. 1).

Для формирования покрытий использовали порошки следующего состава:

покрытие №1: 90 % (Ti + C) + 10 % Ni;

покрытие №2: 3ч. (8 ч. Ti + 2 ч. C) + 1 ч. (1ч. Cr + 2 ч. В);

покрытие №3: 70 % (Ti + C) + 30 % Ni

Материал подложки – сталь 45. В качестве электрода применяли «Стеллит», состава: Co – 58 %, Cr – 28 %, W – 4,5 %, C, Ni, Fe, Mn Si – остальное.

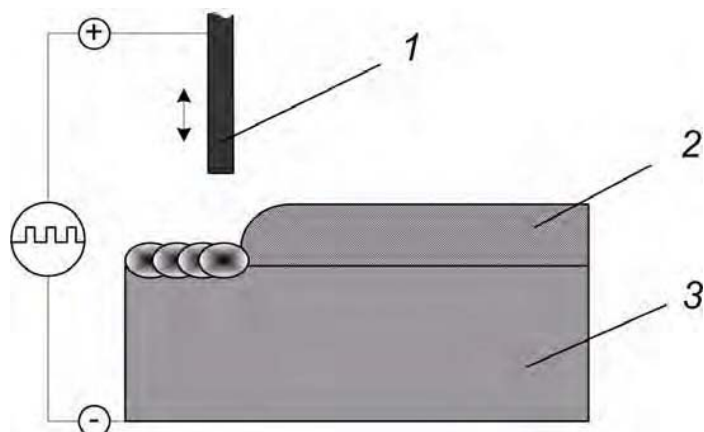


Рис. 1. Схема процесса нанесения КП СВС с ЭИЛ: 1 – электрод, 2 – слой СВС реагентов, 3 – основа

После проведения ЭИЛ по слою СВС реагентов покрытия имели выраженный рельеф поверхности, поэтому перед испытанием на износостойкость поверхность покрытий подвергали шлифовке.

Износостойкость покрытий определяли с использованием блока для исследования процессов трения (микронанотрибометр). В качестве индентера в машине трения используется шарик диаметром 3 мм. Нагрузка на индентор (контртело) составляла 50 г, путь 50 м. В результате возвратно-поступательного движения по поверхности образца без смазки (рисунок 2) реализуется схема контакта: «сфера-диск». В процессе испытаний регистрировался коэффициент трения ($K_{тр}$).

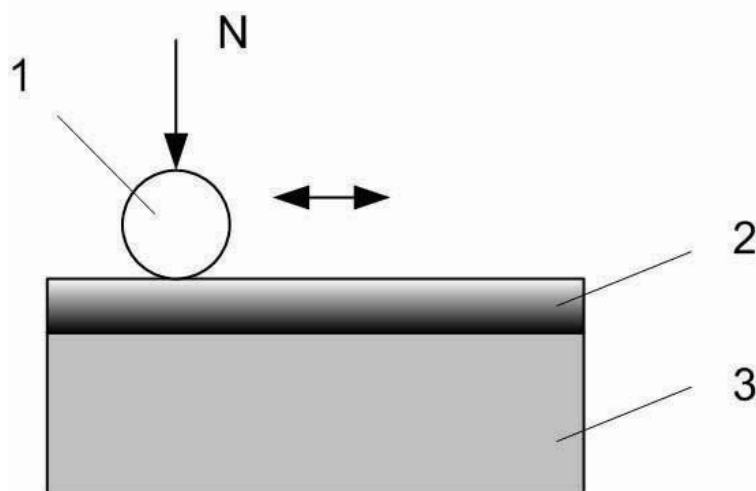


Рис. 2. Схема проведения трибологических испытаний: 1 – индентор, 2 – КП, 3 – основа

Проведенные ранее исследования показали, что покрытие, полученное в режиме СВС и ЭИЛ с использованием порошка состава 90% (Ti + C) + 10 % Ni (образец №1), имеют высокую износостойкость

и хорошее качество, коэффициент трения составляет **0,05 – 0,08**. На рисунке 3 показана структура покрытия в дорожках трения после проведенных испытаний на износостойкость. Полученное покрытие имеет очень развитый рельеф поверхности (рис. 3, а). Увидеть дорожки трения можно только на выступах покрытия (рис. 3, б). А это значит, что в процессе испытания покрытие разрушилось не более, чем на **5 – 10 %**, Общая ширина дорожки трения составляет примерно **60 мкм**. При большом увеличении видно, что ширина максимального износа составляет **8 – 12 мкм** (рис. 3, в). Глубина износа невысокая, нет больших перепадов. Явного отслоения покрытия или его разрушения не наблюдается, что говорит о его высокой износостойкости. Покрытие до основы не разрушилось.

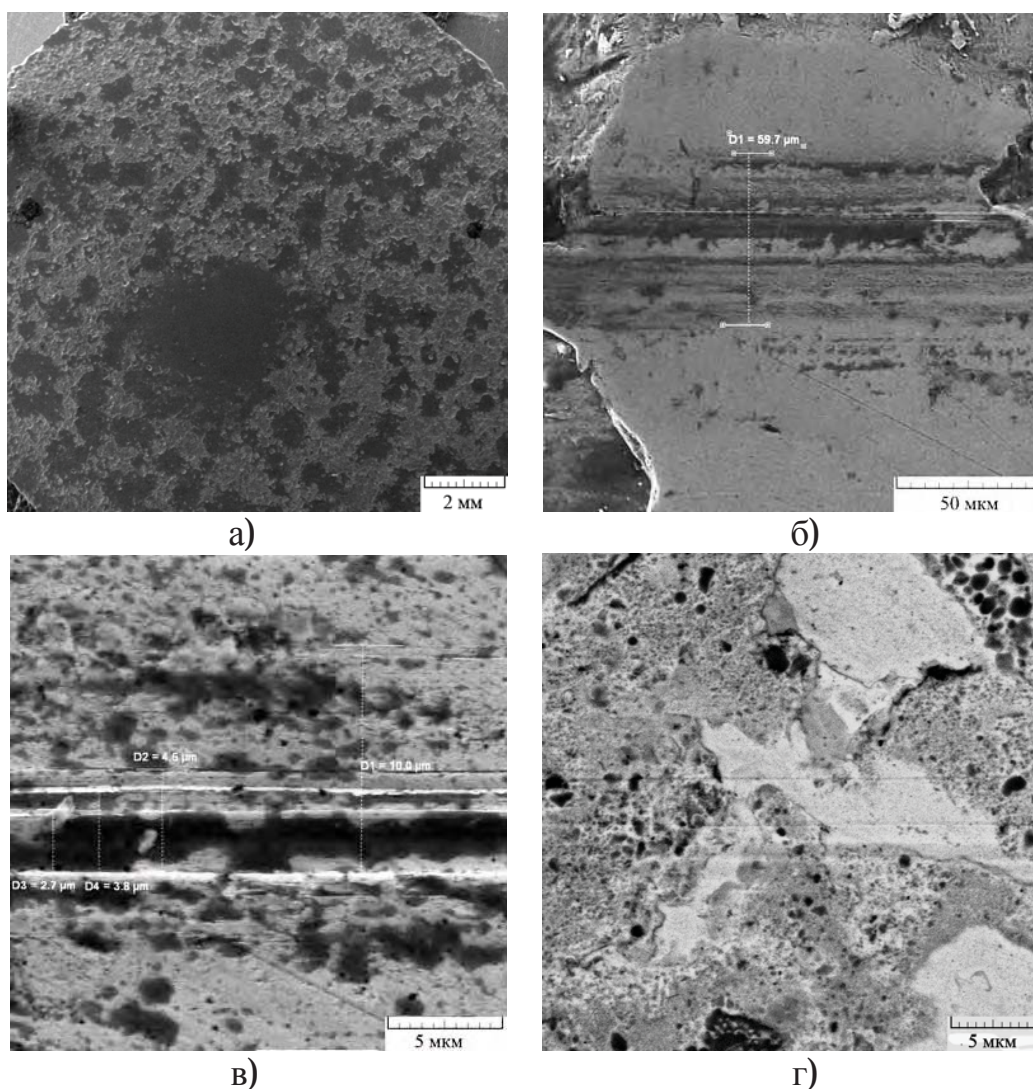


Рис. 3. Структура покрытия в дорожках трения (покрытие, полученное в режиме СВС и ЭИО с использованием порошка состава **90 % (Ti + C) + 10 % Ni**): а) $\times 14$; б) $\times 1000$; в) $\times 8000$ г) $\times 6000$

Съемка в характеристическом рентгеновском излучении поверхности покрытия в дорожке трения позволила установить присутствие элементов, входящих в состав покрытия (Ti, Ni, Cr, C и др.). Наличие кислорода говорит о том, что отдельные участки поверхности в дорожке трения частично окисляются. Это свидетельствует о том, что в процессе испытаний идет разогрев поверхности в районе дорожки трения. Содержание Cr, Ni и Fe в покрытии практически однородное. Это свидетельствует о том, что в процессе нанесения покрытия наблюдается диффузия железа в покрытие, причем железо образует твердый раствор с никелем и практически полностью отсутствует в титановой фазе. Титан, в свою очередь, образует карбиды, которые частично начинают окисляться в процессе испытаний на трение.

Исследования КП (рис. 4) с использованием порошка состава №2 указывают, что формируемое покрытие более хрупкое, чем рассмотренное выше (образец №1). На отдельных участках наблюдается частичное выкрашивание, что свидетельствует о наличии хрупких фаз. Причем следует отметить, что встречаются отдельные участки, где количество хрупких фаз и соответствие их выкрашивание очень велико (рис. 4, б). Растрескивание происходит чаще всего по границам фаз, что приводит к частичному разрушению покрытия. Возможно, такое поведение объясняется присутствием бора в покрытии и образованием боридов, которые обладают повышенной хрупкостью.

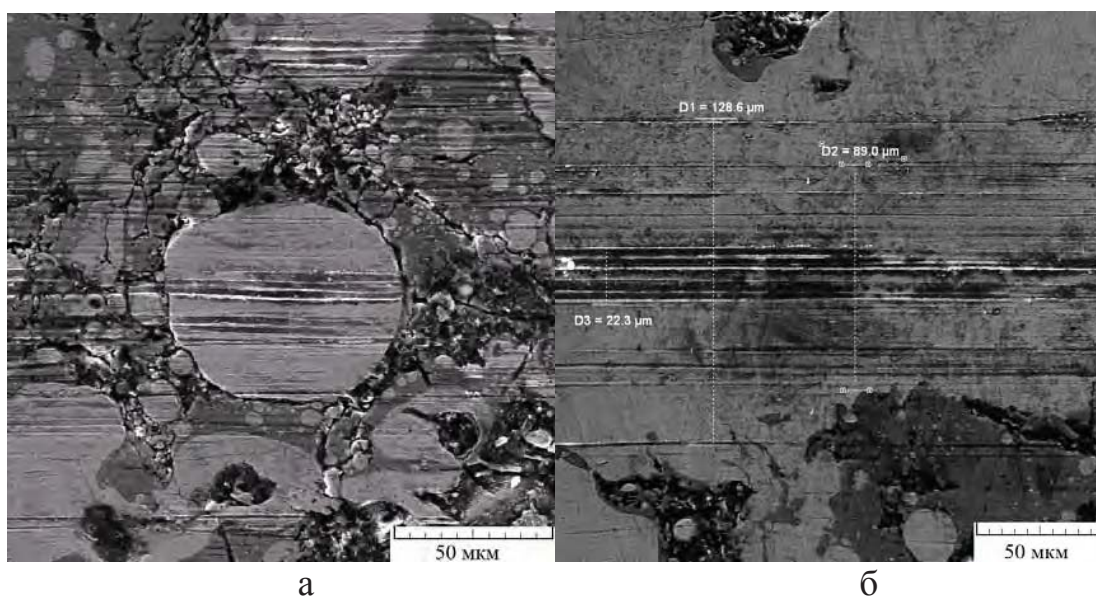


Рис. 4. Структура покрытия в дорожках трения $\times 1000$
(покрытие, полученное в режиме СВС и ЭИЛ с использованием порошка
3ч. (8 ч. Ti + 2 ч. C) + 1 ч. (1ч. Cr + 2 ч. B))

Съемка в характеристическом рентгеновском излучении поверхности покрытия в дорожке трения позволила установить, что распределение Ni, Cr и Fe в дорожке трения совершенно совпадают. Это свидетельствует о том, что данные элементы образуют твердый раствор. Элементы – С, О и В более всего совпадают с Ti, что свидетельствует об образовании карбидов и незначительного количества боридов, которые в процессе испытаний на трение частично окисляются. Распределение бора по исследуемому участку равномерное.

На рис. 5 представлена морфология поверхности покрытия (образец №3) в дорожках трения. Съемка в режиме BSE свидетельствует о том, что в данном случае сформировано довольно однородные покрытия, где присутствует не более трех фаз. В самом центре дорожки наблюдается явно измельченная структура, В дорожках трения данного покрытия выявлено слоистое и чешуйчатое строение. Этим объясняется низкий коэффициент трения (0,05 – 0,06), покрытие имеет высокую износостойкость.

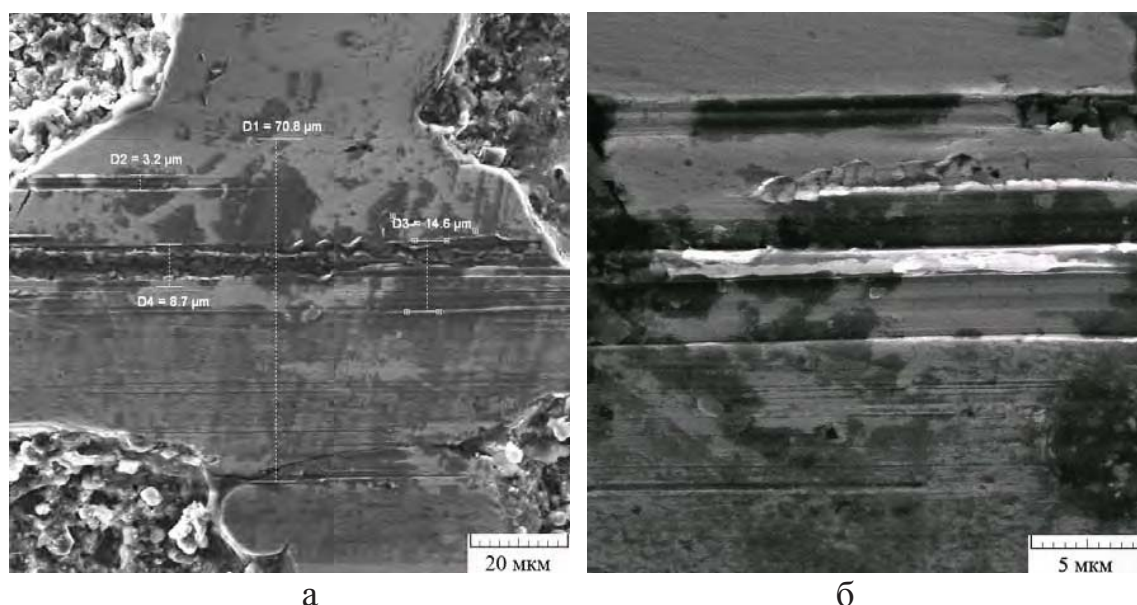


Рис. 5. Структура покрытия в дорожках трения (покрытие, полученное в режиме СВС и ЭИО с использованием порошка состава 70 % (Ti + C) + 30 % Ni): а) $\times 1500$, б) $\times 7000$

В дорожке трения имеются также многофазные участки. Количество наблюдаемых фаз здесь более шести. Дисперсность фаз высока – от 5 мкм до 100 мкм. Такое строение должно положительно сказаться на работе покрытия при длительном времени эксплуатации. Практически все элементы, кроме титана, распределены равномерно в дорожке трения. Содержание титана резко возрастает по краям дорожки, при этом содержание никеля и углерода практически

остается неизменным. Как и описано выше, для данного покрытия наблюдается образование твердого раствора Fe в Ni, образование карбидов Ti, которые в процессе трения постепенно окисляются. Выкрашивания покрытия в дорожках трения в данном случае не выявлено.

Заключение На основании проведенных исследований можно делать следующие выводы:

- исследование структуры композиционных покрытий в дорожках трения после проведенных испытаний показало, что формируемые покрытия имеют высокую износостойкость;

- ширина максимального износа не превышает 20 мкм;

- явного отслоения и разрушения не наблюдается;

- установлено, что присутствие бора приводит к формированию более хрупкого покрытия;

- показано, что в процессе испытаний идет частичное окисление покрытия, причем в первую очередь окисляется TiC, что свидетельствует о неполнотью сформированном карбиде титана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создание композиционных покрытий на основе карбида титана электроискровым легированием / Ф.И. Пантелеенко, В.В.Саранцев, А.М. Столин, П.М. Бажин, Е.Л. Азаренко. Электронная обработка металлов. №4. – 2011. – с.106–115.

2. Саранцев, В.В. Повышение эксплуатационной стойкости инструментального материала на основе карбида титана, полученного самораспространяющимся высокотемпературным синтезом и электроискровой обработкой: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.02.01 (05.16.09) / В.В. Саранцев; – Новополоцк, 2008. – 16 с.

УДК 621.787: 621.789

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ

Пимонов М.В., аспирант

Кузбасский государственный технический ун-тет

Кемерово, тел. +7(3842) 36-63-76, факс 58-30-73.

E-mail: makc130685@gmail.com

В работе показано, что одним из основных механизмов формирования структурного состояния при механической обработке является программа нагружения. Получено описание программ нагружения при равноканальном угловом прессовании.

It is shown that one of the main mechanisms of formation of the structural state in the machining program is loading. Obtained a description of programs loading at equal channel angular pressing.

Важнейшей проблемой современного машиностроения является повышение качества выпускаемой продукции, ее надежности и долговечности. Решение этой проблемы обеспечивается управлением технологическими процессами изготовления деталей машин. Известно, что эксплуатационные свойства деталей зависят не только от физико-механических характеристик материала, из которого они изготовлены, но и от его структурного состояния [1].

В работах А.Г. Сулова, А.М. Сулим, А.А. Маталина, А.В. Подзья, П.И. Ящерицына и др. показано, что наряду с показателями качества поверхностного слоя (шероховатость, волнистость и др.), немаловажную роль играют глубина и степень упрочнения, величина, знак и характер распределения остаточных напряжений и структурно-фазовое состояние (размер d , форма и распределение зерен, плотность дислокаций ρ , размер и форма блоков b , угол разориентации блоков α_0).

Однако вопрос формирования структуры как результата пластического течения в процессе механической обработки и на стадиях эксплуатации до настоящего времени не получил должного развития.

В работе рассмотрен метод интенсивной пластической деформации **равноканального углового прессования** как один из способов, позволяющий в значительной мере изменить структурно-фазовое состояние заготовки. Данным методом сильное измельчение микроструктуры может быть достигнуто относительно легко уже после одного или нескольких проходов, как в чистых металлах, так и в

сплавах. Однако обеспечение формирования однородных УМЗ структур с большеугловыми границами зёрен методом РКУ-прессования требует заметно большего числа проходов (как правило, 8 и более). Проводится изучение влияния режимов обработки на показатели структурного состояния и механические свойства материала, исследуются возможности совершенствования методов деформационного наноструктурирования с позиций расширения их технологических возможностей [2-8].

Однако до настоящего времени достаточно общих моделей, позволяющих оценивать структурное состояние металла по заданным режимам обработки, не предложено. Также остаются практически неизученными вопросы, связанные со стабильностью полученных структур, а значит и сохранения полученных механических свойств, в процессах эксплуатации.

Обеспечение эксплуатационных свойств требует выявления закономерностей влияния параметров технологии изготовления на эволюцию структурного состояния, как при обработке, так и на стадии эксплуатации.

Для описания закономерностей и создания методики проектирования технологических процессов используется аппарат механики технологического наследования [9].

Обработка интенсивной пластической деформацией при данном подходе рассматривается как непрерывный процесс формирования и трансформации структурных свойств материала в очаге деформации, происходящий под действием программы нагружения.

Программа нагружения представляет собой диаграмму построенную в осях «показатель напряжённого состояния Π – накопленная степень деформации сдвига L » и раскрывает физические закономерности формирования и трансформации структурного состояния при механической обработке. Программа нагружения является универсальным инструментом, так как позволяет независимо от параметров очага деформации (форма, привязка к осям) описывать закономерности пластического течения, которые и определяют формирование структурного состояния металла.

Для определения вида программы нагружения при интенсивной пластической деформации выполнено, конечно-элементное моделирование равноканального углового прессования с различными углами пересечения каналов матрицы и радиусами скругления в наружном и внутреннем углу матрицы (рис. 1).

По полученным результатам моделирования определены координаты точек линий тока, компоненты НДС. В работе [10] произведено исследование пластического течения металла при РКУП

экспериментальными методами и компьютерным моделированием. В результате проведенного анализа установлено, что образец при прохождении через очаг деформации подвергается не только простому сдвигу, но и последовательному сжатию и растяжению, о чем свидетельствует соответствующее изменение геометрии ячеек в продольной плоскости образца в очаге и характер накапливаемой деформации.

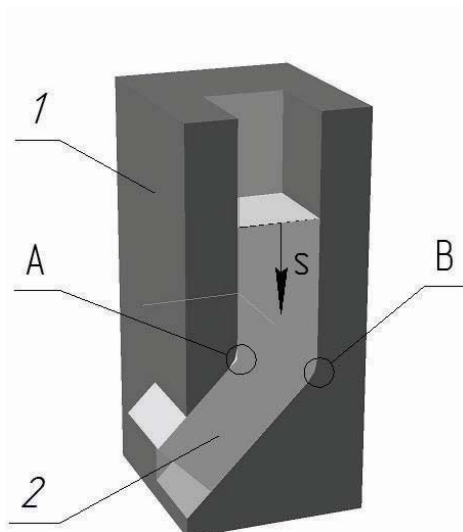


Рис. 1. Общий вид модели. 1 – матрица, 2 – деформируемый образец, А – зона внутреннего угла матрицы, В – зона наружного угла матрицы. S – направление перемещения заготовки.

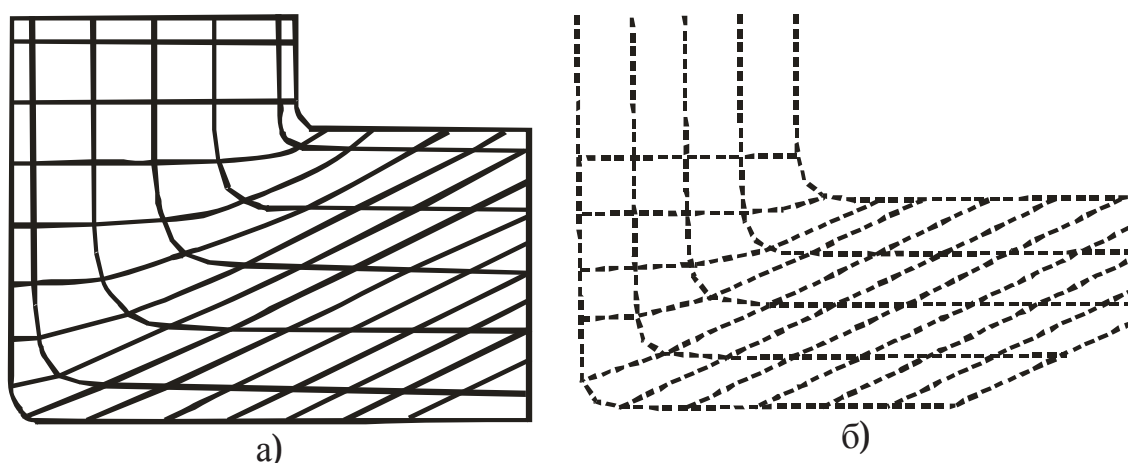


Рис. 2. Исследование пластического течения экспериментальным методом [9] и моделированием: а) форма штифтов в продольном сечении заготовки меди после одного цикла РКУП; б) форма сетки при численном моделировании способа РКУП

Сравнение результатов (рис. 3) экспериментальных и теоретических исследований изменение геометрии ячеек показало отклонение в 3% теоретического расчёта проведённого по модели и практического результата.

Вдоль линий тока произведён расчёт накопленной степени деформации сдвига и показателя напряжённого состояния.

Как видно из рис. 3 программа нагружения имеет вертикальный участок, т.е. накопление деформации сдвига происходит при практически неизменном показателе напряженного состояния Π , на данном участке накапливается до 85% (для моделей с различными параметрами эта значение несколько изменяется) всей деформации. В дальнейшем происходит изменение Π без накопления деформаций. Описанный выше вид программы нагружения характерен для всех моделей. Данная закономерность позволяет предположить, что наличие вертикального участка в программе нагружения является одним из важных условий деформационного наноструктурирования.

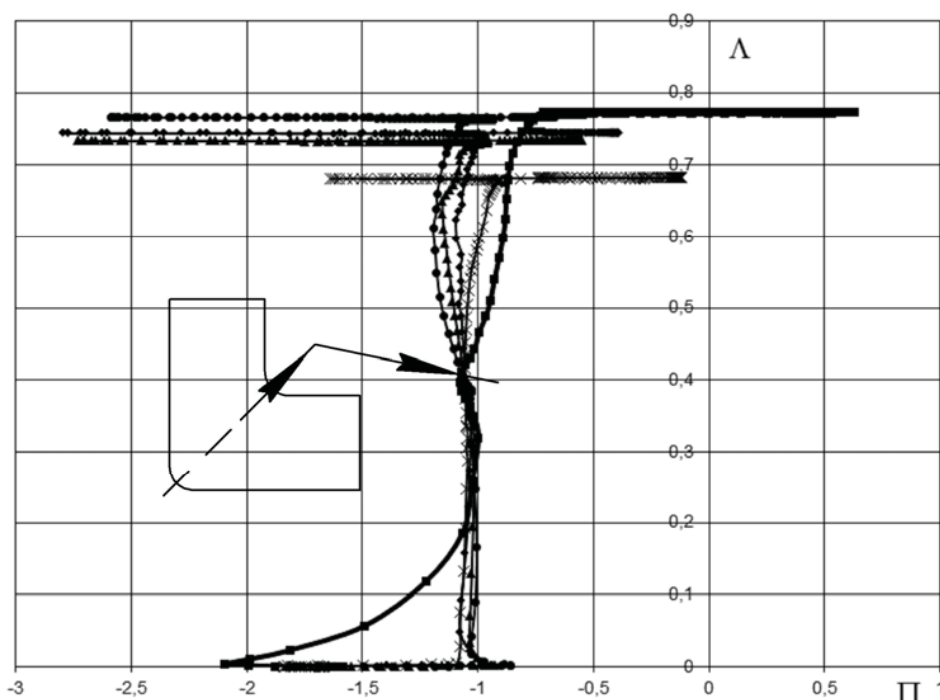


Рис. 3. Программы нагружения, формирующиеся вдоль линий тока

На данный момент получено распределение параметров механического состояния металла вдоль линий тока при равноканальном угловом прессовании. Установлено, что деформационное наноструктурирование происходит при накоплении деформации в условиях постоянного показателя напряженного состояния. При этом

значение II отрицательно, что свидетельствует о реализации схемы сжатия в процессе обработки.

Ведётся разработка способа деформационного наноструктурирования на основе интенсивной пластической деформации, который позволит реализовать программу нагружения, имеющую вертикальный участок. В настоящее время разработана модель технологической установки. Планируется проведение теоретических и экспериментальных исследований влияния режимов деформационного наноструктурирования на эксплуатационные свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерия поверхности деталей / Колл. Авт.; под ред. А.Г. Сулова. М Машиностроение. 2008 – 320с.: ил.
2. Новые материалы. Коллектив авторов. Под научной редакцией Ю.С. Карабасова. - М: МИСИС. - 2002 - 736 с.
3. Мулюков Р.Р. //Российские нанотехнологии. -2007. -Т. 2.- № 7-8. - С. 38-53.
4. Nazarov A.A. and Mulyukov R.R. //Nanoscience, Engineering and Technology Handbook / Eds. S. Lyshevski, D. Brenner, J. Iafrate, W. Goddard. - Boca Raton: CRC Press, 2002. - P. 22-1-22-41. 11.-P. 188-193.
5. Корзников А.В., Идрисова СР., Димитров О. и др. //ФММ. - 1998. - Т. 85. - № 5.-С. 91-95.
6. Degtyarov M.V., Chashchukhina T.I., Voronova L.M., et al. // Acta Mater. - 2007. - V. 55.-P. 6039-6050.
7. Мулюков Р.Р., Назаров А.А., Имаев Р.М. Деформационные методы наноструктурирования материалов: предпосылки, история, настоящее и перспективы. Известия высших учебных заведений Физика 2008 №5
8. Гусев А. И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. Екатеринбург: УрО РАН, 1998.
9. Блюменштейн В.Ю., Смелянский В. М. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.
10. Рааб Г. И. Развитие научных основ технологий интенсивной пластической деформации и создание оборудования по схеме равноканального углового прессования для получения получения ультрамелкозернистых металлических полуфабрикатов. автореф. докт. диссерт. – Уфа, 2009.

УДК 621.77.539.37

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

М.Е. Попов, д.т.н., проф., М. Абухарб, А.И. Гончарова,
В.С. Мирошникова
ДГТУ, Ростов-на-Дону. E-mail: pme-dgtu@mail.ru

Рассмотрены вопросы формализации задачи выбора метода упрочняющей обработки в процессе конструкторского и технологического проектирования машин в интегрированных САПР.

Questions of formalisation of a problem of a choice of a method of strengthening processing in the course of design and technological designing of cars in the integrated systems of automation of designing are considered.

В настоящее время в авиационной промышленности применяются различные материалы, отвечающие главному требованию - сочетанию легкости и прочности. Несмотря на большое разнообразие материалов, в авиастроении зачастую требуются такое сочетание различных свойств, которые возможно достичь только дополнительной обработкой.

Дополнительной упрочняющей обработке, как правило, подвергаются особо ответственные (элементы редуктора, лопасти) и силовые детали (шпангоуты, стойка шасси, фитинги).

В зависимости от степени ответственности деталей и условий их эксплуатации, к материалу предъявляются следующие требования:

- высокая прочность при воздействии больших динамических и статических нагрузок (например, стойка шасси, рис. 1);
- большое сопротивление хрупкому разрушению в интервале температур от -70 до $+500^{\circ}\text{C}$;
- высокое сопротивление знакопеременным нагрузкам (например, лонжерон лопасти);



Рис. 1. Стойка шасси

- высокая прочность в сочетании с вязкостью (например, крепежные детали, рис. 2);

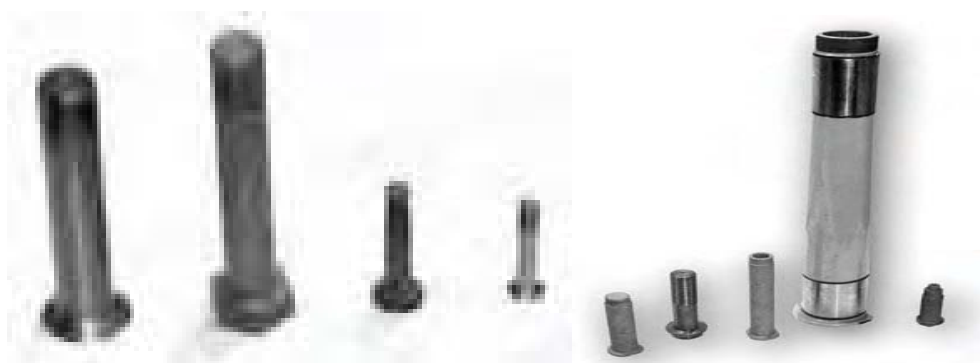


Рис. 2. Крепёжные детали

- износостойкость (например, шестерня редуктора, рис. 3);



Рис. 3. Шестерня редуктора

- коррозионностойкость (например, металлические топливные баки) и т.д.

Конструкторские требования к свойствам материала и упрочняющей обработке отображаются на чертежах в виде ссылки на специальную техническую инструкцию, которая находится в отделе главного технолога, а на место упрочняющей обработки деталей предоставляется рабочим в виде копий.

В зависимости от метода упрочнения и достигаемых свойств материала, в специальной технологической инструкции предъявляются следующие требования к упрочняющей обработке:

- требования к деталям подлежащим упрочнению (здесь оговаривается качество упрочняемой поверхности, необходимость предварительного покрытия и покрытия после обработки, возможность присутствия поверхностных дефектов);

- требования к оборудованию и оснастке;

- требования к режимам упрочнения с указанием схем технологической обработки (здесь указываются параметры, определяющие режимы упрочнения: диаметр шариков, амплитуда и

частота колебаний стола вибростенда, время упрочнения, число оборотов детали вокруг оси и др.);

- требования к упрочняющей среде: качество поверхности среды, наличие дефектов, диаметр;

- требования к образцам-свидетелям (если они при данном методе упрочнения имеются);

- требования к метрологическому обеспечению;

- требования к технике безопасности;

- требования к контролю качества упрочнения и т.д.

Непосредственно на самом чертеже могут указываться технические условия на закалку со ссылкой на ГОСТ или ОСТ, на вид наносимого покрытия и т. д.

Наиболее существенными являются два основных приема улучшения качества поверхностных слоев авиационных деталей:

- упрочнение поверхностно пластическим деформированием (ППД) слоев материала (обкатка роликами, дробеструйная обработка, виброударная обработка);

- упрочнение поверхностных слоев материала термохимической обработкой (поверхностная закалка токами высокой частоты, азотирование и т.п.).

Оптимальное качество поверхностного слоя достигается ППД, при упрочнении которым в поверхностном слое материала происходит сглаживание шероховатостей, снятие гребешков, уменьшение глубины и остроты углов рисок и, что самое существенное, происходит уплотнение наружных слоев материала детали. После такой обработки в поверхностных слоях возникают напряжения сжатия. Они накладываются на рабочие напряжения, в результате чего выносливость детали повышается.

В настоящее время в авиационной промышленности получили применение разнообразные методы и способы упрочняющей обработки деталей ППД. Выбор метода производят на основе технологической схемы упрочняющей обработки детали, ставя целью достижение максимального качества обработки при минимальных издержках производства.

Анализ методов, способов и технологии упрочняющей обработки авиационных деталей показал, что они отличаются большим разнообразием, в максимальной степени учитывают конструктивные особенности и служебное назначение авиационных деталей. Однако, выбор методов, способов и технологии упрочняющей обработки авиационных деталей недостаточно формализован, что при частой смене моделей объектов производства приводит к необходимости длительной отработки технологии упрочняющей обработки новых деталей

непосредственно на стадии их производства. В современном производстве, при использовании интегрированных САПР, эта задача должна эффективно решаться ещё на стадии проектирования и технологической подготовки производства новых изделий.

Рассмотренные теоретические подходы были использованы при создании интеллектуальной системы поддержки принятия решения при выборе метода упрочняющей обработки деталей машин в интегрированных САПР (рис. 4).

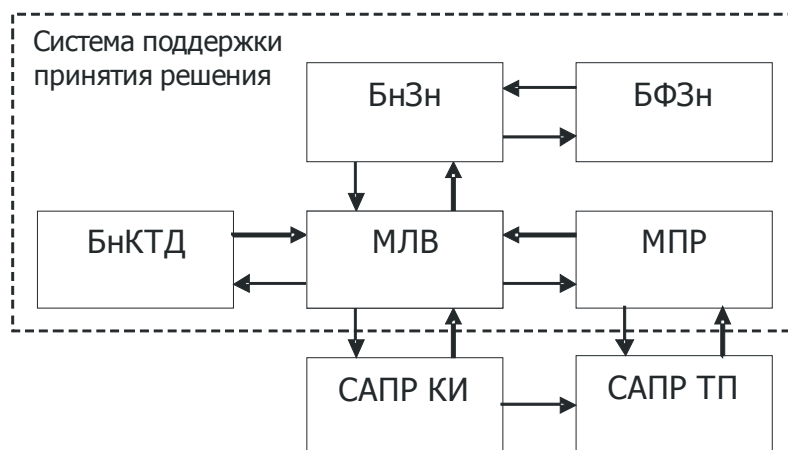


Рис. 4. Схема взаимодействия интеллектуальной системы поддержки принятия решения при выборе материала и метода упрочняющей обработки деталей машин с САПР Ки и САПР ТП

С помощью модуля логического вывода (МЛВ) и модуля принятия решения (МПР) при взаимодействии с САПР Ки, осуществляется выбор вида и метода упрочняющей обработки при проектировании ответственных деталей машин, а при взаимодействии с САПР ТП – выбор и проектирование технологии упрочняющей обработки таких деталей. При решении этих задач МЛВ использует банк знаний БнЗн и банк конструкторско-технологических данных БнКТД. Формирование банка знаний осуществляется экспертами с помощью блока формализации знаний (БФЗн).

К функциям модуля логического вывода следует отнести:

- отбор из множества рассматриваемых методов упрочняющей обработки группы методов, обеспечивающих достижение требуемых параметров качества поверхностного слоя – первичная выборка;
- построение для каждого элемента первичной выборки математической модели упрочняющей обработки детали, определяющей влияние режимов обработки на формируемые параметры качества поверхностного слоя с учётом технологической наследственности;

- оптимизация математических моделей относительно режимов обработки; расчёт параметров качества поверхностного слоя, получаемых в результате упрочняющей обработки при определённых режимах обработки.

Модуль принятия решения предполагает решение следующих задач:

- построение математических моделей формирования себестоимости упрочняющей обработки в зависимости от некоторого уровня долговечности детали для всех элементов первичной выборки;
- определение себестоимости упрочняющей обработки при фиксированных значениях параметров качества поверхностного слоя и режимов обработки; оптимизация математической модели формирования себестоимости относительно режимов обработки при условии обеспечения требуемой долговечности;
- отбор из элементов первичной выборки метода(ов) упрочняющей обработки, обеспечивающих минимальную себестоимость – вторичная выборка.

Основным результатом работы интеллектуальной системы поддержки принятия решения является выбор метода упрочняющей обработки и назначение режимов обработки, позволяющих обеспечить требуемые параметры качества поверхностного слоя, определяемые из условия максимальной долговечности деталей, и имеющего при этом наименьшую себестоимость. Кроме того, интеллектуальная система предполагает возможность проведения расчётов долговечности деталей, а также оценку влияния режимов упрочняющей обработки на долговечность детали. Интеллектуальная система поддержки принятия решения даёт возможность решать прямую и обратную задачи технологического проектирования. Использование интеллектуальной системы выбора метода упрочняющей обработки в интегрированных САПР позволяет конструктору обоснованно назначать требования к упрочняющей обработке ответственных деталей машин, а технологу обоснованно производить выбор способа и режимов упрочняющей обработки при проектировании технологических процессов их изготовления.

Выводы

1. Исследования показали, что задача выбора метода упрочняющей обработки в интегрированных САПР может быть решена путем создания интеллектуальных систем поддержки принятия решения на основе автоматизированных банков данных и банков знаний методов упрочняющей обработки.

2. Для решения этих задач требуется обобщение большого объема теоретических и экспериментальных исследований и учет всех накопленных данных в этой области, что является основной задачей дальнейших исследований.

УДК 621.791.04

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Радченко М.В., д.т.н., проф., Князьков К.В., аспирант
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова

Увеличение срока службы деталей машин, за счет повышения твердости и износостойкости наплавленных слоев.

Longer service life of machine parts, by increasing the hardness and wear resistance of clad layers.

Детали машин горнодобывающего оборудования в период эксплуатации подвергаются высоким нагрузкам. Исследование повреждений поверхностей втулок, ковшей, натяжных роликов и других деталей выполненное сотрудниками АлтГТУ им. Ползунова и Кузбасского центра сварки и контроля на разрезах, обогатительных фабриках и предприятиях по ремонту горнодобывающего оборудования Кузбасса. Наиболее характерные повреждения представлены на рис. 1, 2.

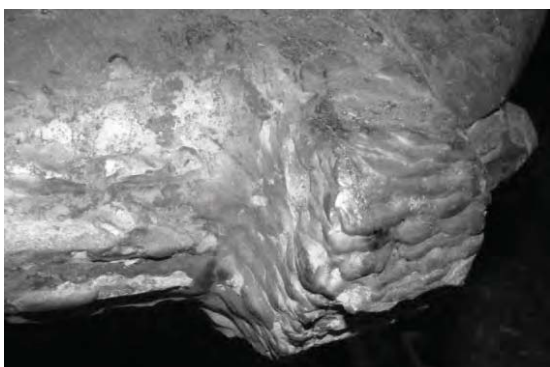


Рис. 1. Изношенный зуб ковша



Рис. 2. Ведущее колесо экскаватора

Известны достижения в области создания новых материалов с особыми физико-механическими свойствами, полученные в

исследовательских лабораториях мира, а также Российских, таких как Московский институт сталей и сплавов, ФГУП «Прометей», МГТУ им. Баумана, Томский политехнический университет способами порошковой металлургии, ионной имплантации и др., на основе уникальных свойств ультрамелкодисперсных частиц. Однако представленные выше способы наиболее пригодны при изготовлении деталей машин и малоприспособны при ремонте оборудования в условиях ремонтных предприятий.

Наиболее применимыми способами восстановления поверхностей деталей машин в условиях ремонта оборудования, как известно, являются способы сварки (наплавки) и родственные сварочным технологии. Существующие способы восстановления деталей машин, такие как наплавка, металлизация, напыление и др. достигли некоторого предела. Исследования, представленные в настоящей работе, показывают перспективность способа повышения специальных свойств покрытий, за счет введения в процессе наплавки ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3 .

С целью изменения условий кристаллизации поверхностного слоя, в процессе наплавки вводили порошок Al_2O_3 [1], основные характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики порошка Al_2O_3

№ п/п	Наименование показателя	Норма для марок
1	Внешний вид	Белый порошок
2	Размер кристаллитов, мкм, не более	1000

Состояние порошка керамики Al_2O_3 перед применением исследовалось методом просвечивающей электронной микроскопии с помощью угольных реплик в лаборатории физики металлов Томского архитектурно-строительного университета под руководством д.т.н. профессора Э.В. Козлова. Просмотр угольных реплик, на которые осаждались исследуемые порошки, осуществлялся на электронном микроскопе ЭМ-125 при ускоряющем напряжении 125 кВ и рабочих увеличениях в колонне микроскопа от 25000 до 80000 крат. Измерение размеров частиц проводилось по методу случайных секущих. Было измерено ~500 частиц. Средний размер частиц определялся по гистограмме (распределению частиц по размерам).

Установлено, что средний размер частиц ($D_{50} = 90$ нм) не является наиболее вероятным значением. Как следует из распределения, наиболее вероятными значениями являются интервалы значений

20–40 нм и 100–120 нм. Обнаружено, что количество частиц, имеющих размеры 20 нм, составляет ~6%.

Плазменно-порошковая наплавка смеси порошков стандартного наплавочного материала марки ПС-12НВК выполнялась на образец из стали 20 на установке УПН – 303. Структура наплавленного металла представлена на рис. 4.

Структура наплавленного металла смеси стандартного материала ПС-12НВК с добавлением 1,5% вес. ультрамелкодисперсного порошка Al_2O_3 представлена на рис. 5.

Измерение твердости поверхности образцов показали, что введение порошка Al_2O_3 снижает твердость относительно стандартной наплавки, имеющей твердость 62-64HRC до 57-59HRC.

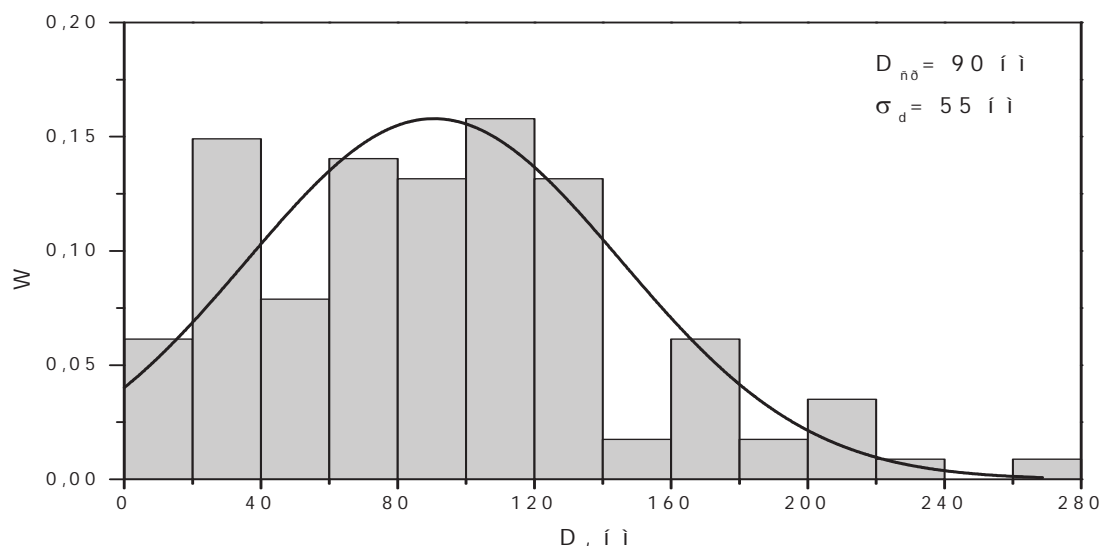


Рис. 3. Гистограмма распределения частиц Al_2O_3 по размерам

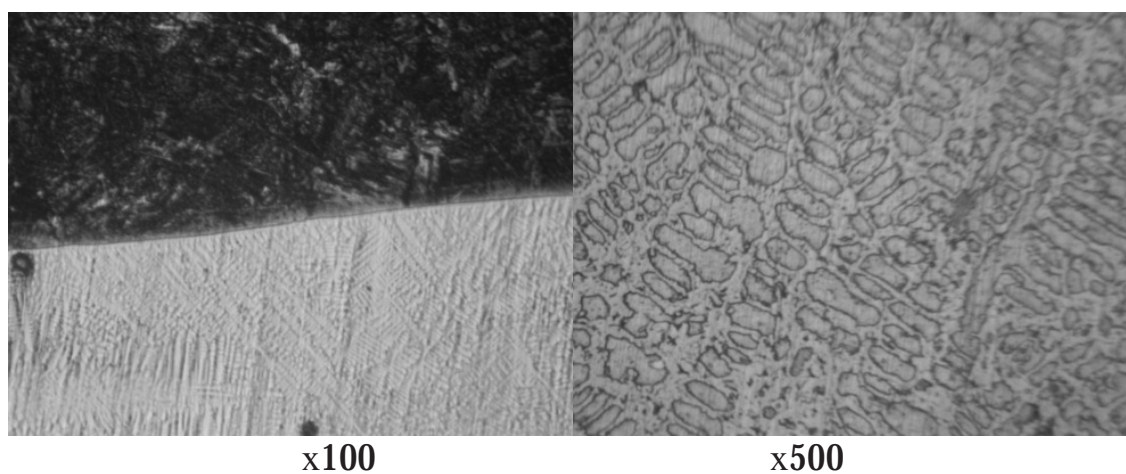


Рис. 4. Структура стандартного образца слоя плазменно-порошковой наплавки смеси ПС-12НВК

С целью определения характера изменения структуры и свойств антифрикционного сплава ПГ-19-01 при введении ультрамелкодисперсного порошка Al_2O_3 способом плазменно-порошковой наплавки наплавлили слой стандартного состава, структура, которого представлена на рис. 6.

Микротвердость наплавленного слоя составляет $H_{\square 50} = 229 - 236$ кгс/мм². Измерение микротвердости наплавленного металла проводилось с использованием микротвердомера ПМТ-3, нагрузкой 50 гс в соответствии с ГОСТ 9450.

С целью изменения условий кристаллизации слоя бронзы, в процессе наплавки (режимы наплавки не изменялись) в низкотемпературную (хвостовую) часть ванны расплавленного антифрикционного сплава вводили порошок Al_2O_3 [3].

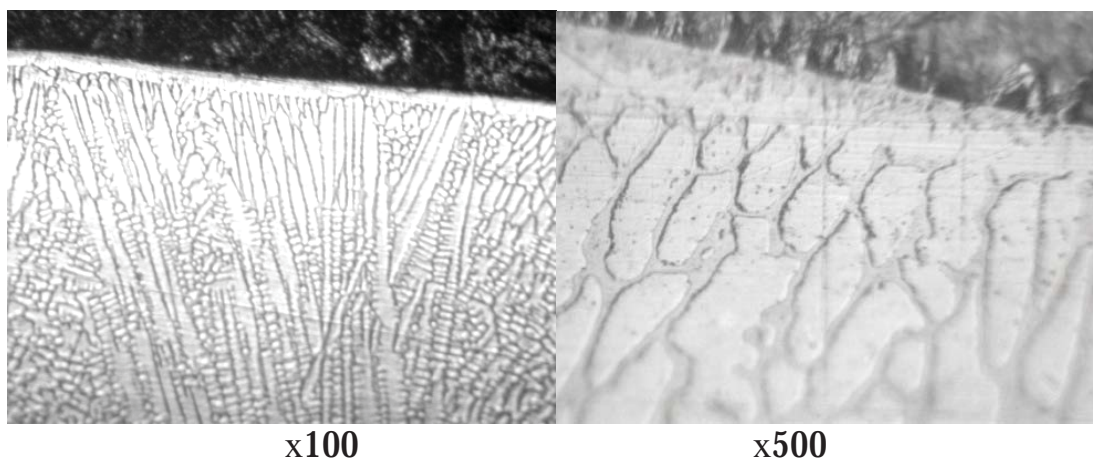


Рис. 5. Структура стандартного образца слоя плазменно-порошковой наплавки смеси ПС-12НВК с добавлением 1,5% вес. ультрамелкодисперсного порошка Al_2O_3

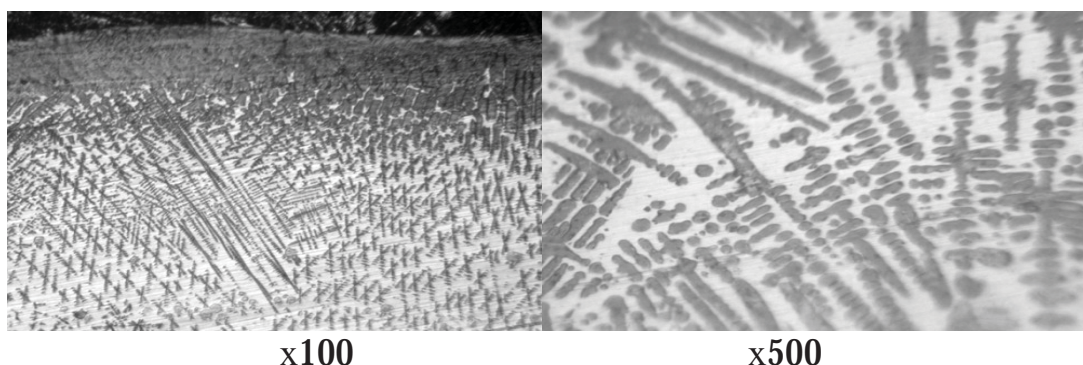


Рис. 6. Структура слоя плазменно-порошковой наплавки материала ПГ-19М-01

При наплавке образцов вводили Al_2O_3 в качестве модификатора. На рис. 7 представлены изменения структуры слоя в результате введения в расплав 1,5% ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3 .

Микротвердость поверхности составляет: светлая фаза $H_{\square 50} = 549-746$ кгс/мм², темная фаза $H_{\square 50} = 500-524$ кгс/мм².

В ходе экспериментальных работ концентрация частиц Al_2O_3 увеличивалась, однако твердость поверхности наплавленных слоев существенно не изменялась. Исследован слой плазменно-порошковой наплавки материала ПГ-19М-01 полученного в результате введения в качестве модификатора 15% частиц Al_2O_3 .

Для установления характера распределения частиц Al_2O_3 выполнена сканирующая электронная микроскопия образца размерами $2 \times 5 \times 0,1$ мм поверхность, которого подготовлена электрохимическим травлением с использованием растрового электронного микроскопа JSM-7500FA. Данные ультрамикротвердометрии получены на оборудовании Нано-Центра Томского политехнического университета Двилисом Э.С.

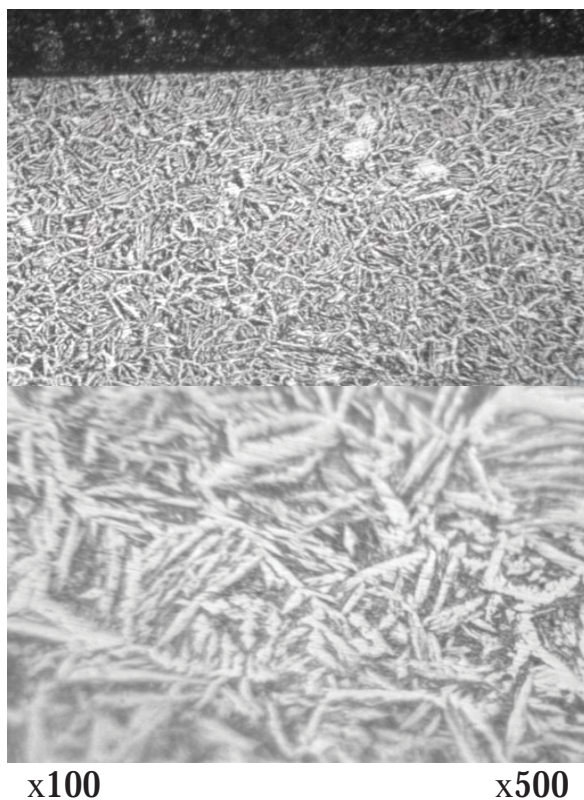


Рис. 7. Изменения структуры слоя выполненного способом плазменно-порошковой наплавки материалом ПГ-19М-01 в результате введения 1,5% ультрамелкодисперсных частиц Al_2O_3

На рис. 8 представлены спектрограммы распределения элементного состава образца.

На основании данных о распределении элементов и их количестве в исследуемом образце можно предполагать, что частицы Al_2O_3 распределены относительно равномерно.

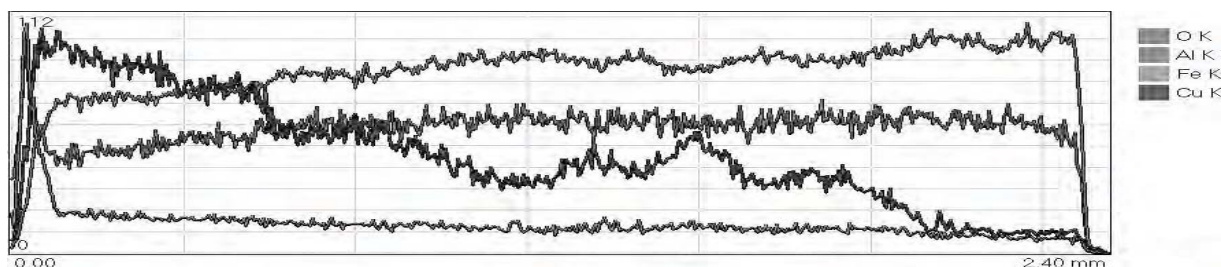


Рис. 8. Спектрограммы, распределения элементов в плоскости образца

Выводы:

1. Показана возможность модификации слоя бронзы в процессе плазменно-порошковой наплавки ультрамелкодисперсными частицами Al_2O_3 .
2. Получен модифицированный слой с игольчатой структурой и повышенной твердостью.
3. Для управления процессом образования структуры и свойствами наплавленного металла необходимо проведение дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ТУ 2133-001-76634032-2006. Алюминия оксигидроксид (бемит). – М.: АЛЮМ-Э, 2006. – 18с.
2. Авраамов Ю.С., Шиганов И.Н., Шляпин А.Д. Сварка и модификация поверхности металлических композиционных материалов. – М.: ГИНФО, 2002. -120 с.
3. Соболев В.В., Шпалыгин И.С. Химические и физические свойства окислов. М.: Наука, 1993. 254 с.

УДК 621.785.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ЦЕМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АНОДНОГО НАГРЕВА

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., проф., А.С. Еремина, ассистент
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, тел. +7(383)-346-11-88. E-mail: ann-utta@mail.ru

Рассмотрен процесс анодной цементации и теплофизические модели, описывающие анодный нагрев. Представлены результаты экспериментальных исследований по анодной цементации для проверки адекватности этих моделей.

Process of anode cementation and the thermophysical models describing anode heating is considered. Results of experimental researches on anode cementation the adequacy of these models are presented.

Цементация, как разновидность химико-термической обработки, с успехом применяется в машиностроении, благодаря возможности получить износостойкую поверхность высокой твердости и повышенной прочности. При традиционных способах проведения цементации процесс насыщения углеродом длится часы и десятки часов, что вызывает коробление обрабатываемых деталей, ухудшение структуры и свойств их сердцевины, а в некоторых случаях делает обработку экономически невыгодной [1].

Значительно сократить продолжительность процесса (до нескольких минут) позволяет способ насыщения углеродом из электролита при анодном нагреве. Исследования показали [2], что этот способ нагрева состоит из четырех режимов: 1) электролиз; 2) коммутационный (переходный), характеризуемый тем, что вокруг анода периодически образуется и конденсируется парогазовая оболочка; 3) стабильный, или нагрев электролитной плазмой при образовании стационарной парогазовой оболочки; 4) электрогидродинамический. Из вышеупомянутых следует отметить третий режим, реализующийся при напряжении 120 – 280 В, обеспечивающий анодный нагрев, при котором деталь-анод нагревается до 400 – 1000 °С [3], что позволяет проводить цементацию и закалку изделий с сохранением структуры и свойств их сердцевины.

Высокотемпературный нагрев анода определяется процессами, протекающими в парогазовой оболочке, которые приводят к увеличению ее мощности, и как следствие, к выделению тепла, достаточного для нагрева анода и поддержания устойчивого режима

пленочного кипения [4]. На основе этих представлений исследователями были предложены теплофизические модели анодного нагрева, позволяющие провести расчет вольт-температурных характеристик процесса.

Предполагается, что процесс анодного нагрева направлен на насыщение поверхностного слоя детали углеродом и на развитие фазовых превращений. Поскольку в результате анодной цементации ожидается, что насыщенный слой будет иметь переменную концентрацию углерода по глубине, убывающую от поверхности к сердцевине детали, то можно говорить о том, что в этом слое будет присутствовать весь спектр железоуглеродистых сталей. Следуя диаграмме состояния железо-углерод для развития фазовых превращений во всем этом спектре нужны температуры заведомо выше температуры A_{c1} , т. е., в области температур, ограниченной линиями и диаграммы состояния γ [5]. Таким образом, граничное значение для доэвтектоидного состояния материала поверхностного слоя составляет $\square 850$ °С и $\square 950$ °С для заэвтектоидного. При этом, учитывая механизм диффузии углерода в процессе анодного нагрева, заэвтектоидное состояние материала будет располагаться ближе к поверхности. Поэтому и распределение температур по глубине поверхностного слоя должно иметь соответствующий характер. Следует ожидать адекватного описания процесса анодного нагрева с помощью предлагаемых авторами математических моделей.

Для выбора приемлемого математического описания рассмотрим результаты исследования, представленные в работе [3]. Во всех моделях в качестве источника тепла рассматривается только парогазовая оболочка. Они отличаются друг от друга учетом тех или иных особенностей явления анодного нагрева.

В модели, рассматриваемой ниже (далее модель 1) учитывается роль пространственных зарядов в парогазовой оболочке и пренебрегается тепловым потоком из оболочки в анод. Температура анода описывается следующей зависимостью [3]:

$$T_A = T_s + \left(\frac{1}{\gamma^2} + \frac{W\delta^2}{\gamma\lambda_0} \right)^{1/2} - \frac{1}{\gamma}, \quad (1)$$

где удельная мощность парогазовой оболочки

$$W = \frac{q_l}{\delta},$$

плотность теплового потока из парогазовой оболочки в электролит

$$q_l = \frac{\lambda_l}{h} (T_s - T_l) \left\{ 1,43 - 1,3 \exp \left[-0,35 \frac{\lambda_v (T_A - T_s)}{\lambda_l (T_s - T_l)} \right] \right\} Ra^{1/3},$$

число Рэлея и коэффициент температуропроводности электролита, соответственно

$$a = \frac{gh^3(T_s - T_l)}{v_l \alpha_l T_l} \quad \alpha_l = \frac{\lambda_l}{\rho_l c_l},$$

толщина парогазовой оболочки в зависимости от подвижности анионов в парах воды используемого раствора

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{9\varepsilon_0 \mu U^3}{8q_l}}.$$

В следующей модели (модель 2) пространственный заряд в парогазовой оболочке не учитывается и толщина парогазовой оболочки не влияет на температуру анодного нагрева [3]:

$$T_A = T_s - \frac{1}{\gamma} + \frac{1}{\gamma} \sqrt{\frac{\chi \gamma U^2}{\lambda_0} + 1},$$

где удельная электропроводность

$$\chi = j\delta/U,$$

вольт-амперная характеристика выражается как

$$j = \frac{q_l}{U} = \frac{\lambda_l(T_s - T_l)}{U} \left[\frac{c_l \rho_l g(T_s - T_l)}{v_l \lambda_l T_l} \right]^{1/3} \cdot \left\{ 1,43 - 1,3 \exp \left[-\frac{0,35 \lambda_v}{\gamma \lambda_l (T_s - T_l)} \left[\left(1 + \frac{\chi \gamma U^2}{\lambda_0} \right)^{1/2} - 1 \right] \right] \right\}.$$

Сравним расчеты по обеим моделям на примере анодной цементации в водном растворе, содержащем 15% хлорида аммония и 10% ацетона при погружении анода на длину $l = 18$ мм и температуре электролита $T_s = 35^\circ\text{C}$. Остальные значения характеристик электролита и величины параметров нагрева выбраны согласно [3]: теплопроводность электролита $\lambda = 0,68$ Вт/(м·К), теплопроводность пара $\lambda = 7,34 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), температура насыщения электролита на границе с парогазовой оболочкой $T_l = 100^\circ\text{C}$, кинематическая вязкость электролита $\nu = 0,295 \cdot 10^{-6}$ м²/с, плотность электролита $\rho = 1,08 \cdot 10^3$ кг/м³, удельная емкость электролита $c_l = 4,22 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), температурный коэффициент $\gamma = 6,55 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹, теплопроводность пара при температуре насыщения $\lambda_0 = 2 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К), подвижность аниона в парах воды $\mu = 3,08 \cdot 10^{-4}$ м²/(В·с), диэлектрическая постоянная $\varepsilon = 0,885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м.

На рис. 1 представлены расчетные вольт-температурные характеристики анодного нагрева, где диапазон температур 320 – 600 °С (кривая 1) и 380 – 910 °С (кривая 2) свидетельствует о том, что только в

модели 2 достигается требуемый уровень температур для развития процесса анодной цементации.

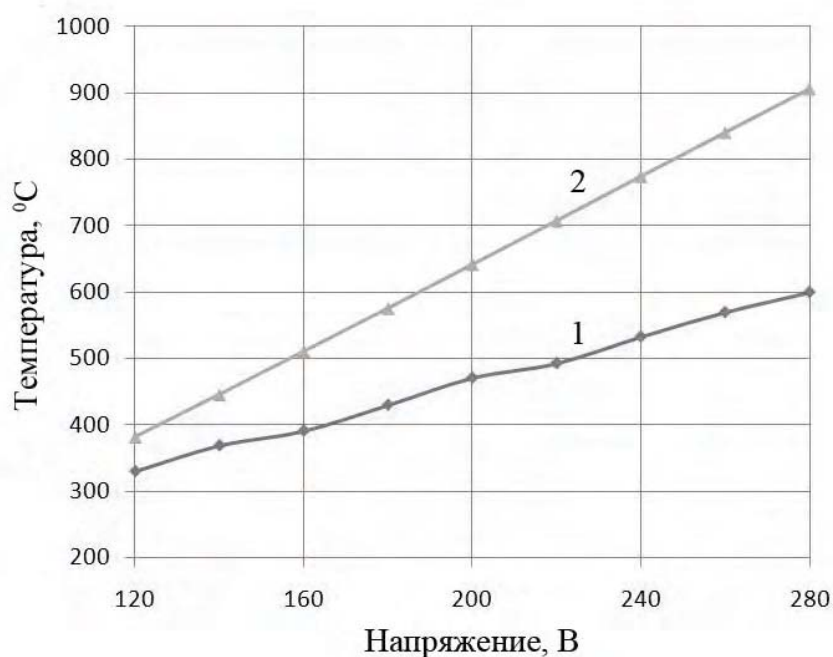


Рис. 1. Вольт-температурные характеристики анодного нагрева в электролите: 1 – модель 1; 2 – модель 2

Для проверки адекватности этих моделей были проведены экспериментальные исследования в том же электролите и при тех же условиях нагрева, что и в расчетах. В качестве анода использовались цилиндрические образцы из стали 20 ($\varnothing 10$ мм, $l = 25$ мм), которые при напряжении $U = 200 - 240$ В нагревались в течении 3 – 7 минут на установке, описанной в работе [6] с последующим быстрым охлаждением.

В результате, была получена структура, состоящая из игл мартенсита и участков остаточного аустенита (рис. 2), что соответствует структуре высокоуглеродистой и закаленной стали [5]. Измерения микротвердости показали, что микротвердость упрочненного слоя составляет 7000 – 9000 МПа. Эти значения соответствуют твердости мартенсита с содержанием углерода более 0,6 – 0,9 % [7], что также подтверждает наличие цементованного слоя (рис. 3).

Таким образом, на наш взгляд, в результате проведенных исследований считаем целесообразным, что для математического описания процесса анодной цементации наиболее приемлемо использовать модель 2, расчет при помощи которой дает значения температур анода необходимых для получения заэвтектоидной

(высокоуглеродистой) стали в поверхностном слое, что подтверждено экспериментально.

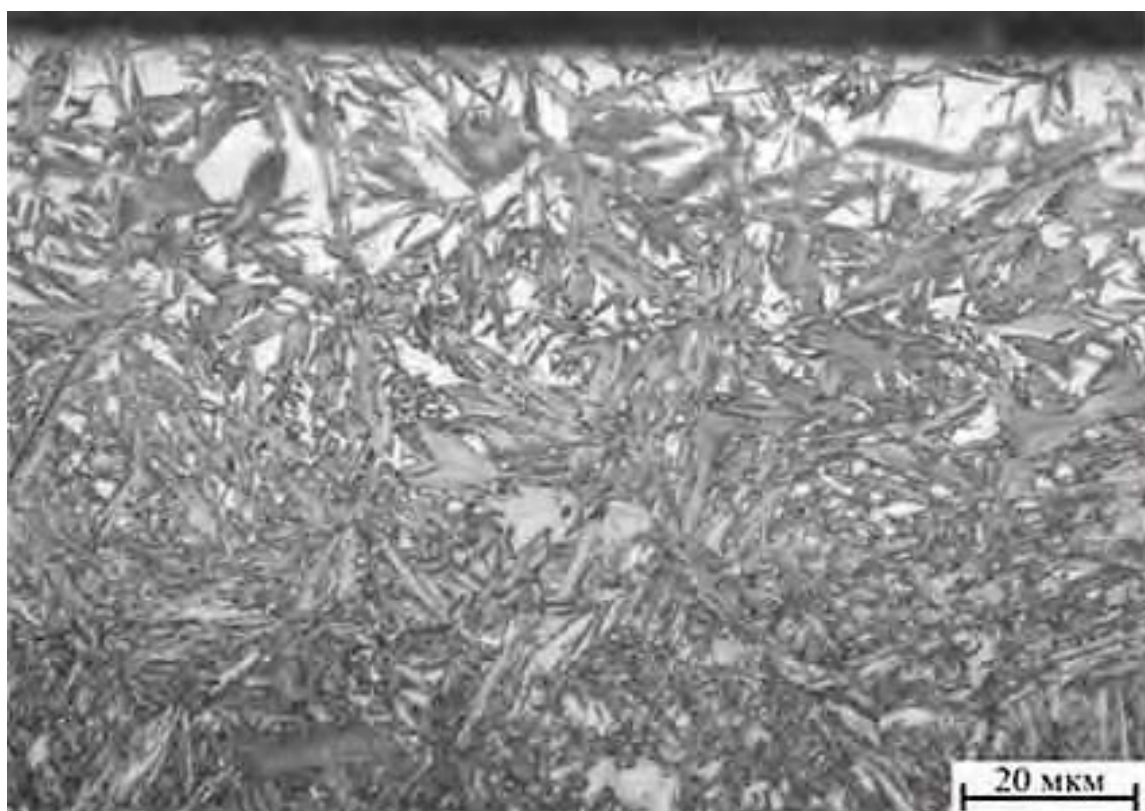
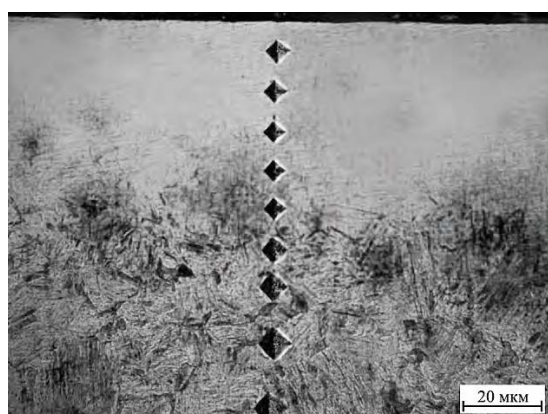
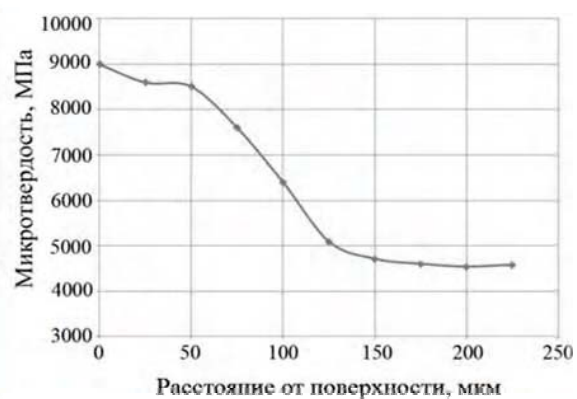


Рис. 2. Микроструктура поверхностного слоя цементованной и закаленной стали 20



а



б

Рис. 3. Цементованный слой (а) и распределение микротвердости в этом слое (б) после цементации при анодном электролитном нагреве

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кидин И. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / И. Н. Кидин, В. И. Андрюшечкин, В. А. Волков, А. С. Холин. – М.: Metallurgy, 1978. – 320 с.
2. Реснер Э. Износ электрода при обработке малоуглеродистой стали в электролитной плазме при анодном процессе. / Э. Реснер, Г. Маркс, В. А. Зайцев, А. М. Сухотин // Электронная обработка материалов. 1983. №3. С. 59-60.
3. Белкин П. Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов / П. Н. Белкин – М.: Мир, 2005. – 336 с.
4. Ганчар В. И. Вольт-температурная и вольт-амперная характеристики анодного процесса электролитного нагрева / В. И. Ганчар, Э. Г. Дмитриев // Электронная обработка материалов. 1989. №2. С. 23-25.
5. Лахтин Ю. М. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov / Ю. М. Лахтин – М.: Metallurgy, 1977. – 407 с.
6. Рахимьянов Х. М. Установка для химико-термической обработки в электролитной плазме / Х. М. Рахимьянов, А. С. Еремина, И. А. Леонтьев // Сборник научных трудов НГТУ. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. №3 (45). С. 141-144.
7. Гуляев А. П. Metallovedenie: ucheb. dlya vuzov / А. П. Гуляев. – М.: Изд-во Metallurgy, 1986. – 544 с.

УДК 621.9.047

ОСОБЕННОСТИ АНОДНОГО РАСТВОРЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА ВК25 ПРИ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., проф., Б.А. Красильников, к.т.н., проф.,
В.В. Янпольский, к.т.н., доц., М.И. Никитенко, аспирант,
А.Н. Моисеенко, магистрант
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, тел. +7(383)346-11-88. E-mail: tms-ngtu@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования электрохимического растворения покрытия на основе порошкового материала ВК25 и материалов вольфрама (W), кобальта (Co) в водном растворе 10% NaN₃. Определены особенности электрохимического растворения указанных материалов.

Experimental studies of electrochemical dissolution of coatings on based on powder material V 25 and materials of tungsten (W), cobalt (Co) in aqueous solution of 10% NaN₃. The features of electrochemical dissolution of these materials.

В конструкциях различных машин применяются детали сложной конфигурации, работающие в условиях высоких динамических нагрузках, что приводит к износу их рабочих поверхностей. Для восстановления номинальных размеров деталей применяют различные методы наплавки и напыления. Среди всего многообразия методов

нанесения покрытий наиболее широкое применение в последнее время получило детонационное напыление. Отличительной особенностью детонационного напыления является возможность нанесения покрытий высокой твердости. Вместе с тем при повышении твердости покрытия возникают определенные трудности при его последующей механической обработке. Это связано с тем, что твердость абразивных материалов, применяемых при шлифовании, зачастую сопоставима с твердостью обрабатываемого покрытия. Это факт способствует снижению качества обработанной поверхности. Одним из эффективных методов формообразования деталей с покрытиями из порошковых материалов является электроалмазное шлифование [1]. Благодаря совмещению процессов механического резания зернами алмазного круга и электрохимического растворения происходит уменьшение сил резания, что в конечном итоге приводит к повышению качества поверхностного слоя. При комбинировании процессов электрохимического растворения и механического резания зернами алмазного круга на производительность обработки и качество поверхностного слоя детали будут оказывать влияние, как режимы механического резания, так и непосредственно электрохимического растворения. В связи с этим для эффективного применения электроалмазного шлифования при формообразовании деталей с покрытием на основе порошкового материала ВК25 необходимо произвести оценку особенностей электрохимического растворения компонентов, входящих в состав покрытия на основе порошкового материала ВК25.

Характеристикой электрохимического растворения металлов в электролитах является зависимость плотности тока от потенциала анода, устанавливаемая на основании проведения поляризационных исследований. Экспериментальные исследования проводились на потенциостате П5827М. Потенциал анода изменялся от 0 до 8 В со скоростью развертки 40 мВ/с. В качестве электрода сравнения использовали платиновый электрод. Перед погружением в ячейку образцы зачищали на наждачной бумаге и промывали дистиллированной водой. В качестве электролита был выбран раствор нейтральной соли NaN_3 в воде. Электролиты готовили из солей марки «ч.д.а.» и «х.ч.». В качестве модельных материалов при проведении поляризационных исследований использовали образцы с покрытием на основе порошкового материала ВК25, а также образцы кобальта (Co) и вольфрама (W).

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены поляризационные кривые электрохимического растворения покрытия ВК25 в водном растворе NaN_3 (рис. 1). Из рисунка видно, что растворение покрытия на основе порошка ВК25 происходит в

активном состоянии во всем исследуемом диапазоне потенциалов, о чем свидетельствует непрерывное увеличение плотности тока с повышением потенциала анода.

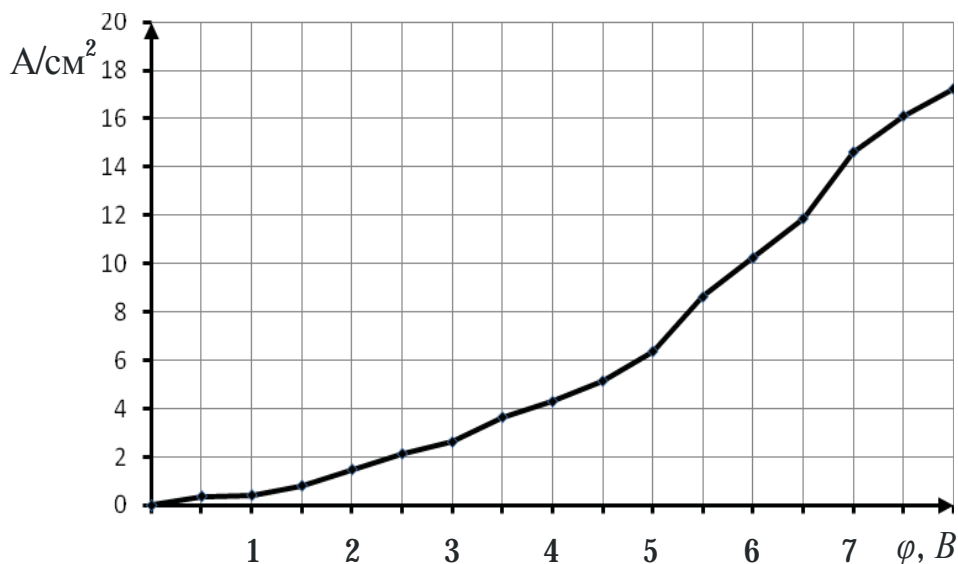


Рис. 1. Поляризационные кривые анодного растворения покрытия на основе порошка ВК25 в водном растворе 10% NaN_3

Особенностью электрохимического поведения вольфрама в водном растворе 10% NaN_3 является то, что растворение в активном состоянии наблюдается только до потенциала 1,5 В (Рис. 2). Последующее увеличение потенциала анода сопровождается снижением плотности тока практически до нуля. Вероятно, это связано с тем, что в диапазоне потенциалов от 1,5 до 8 В на поверхности анода в результате окисления металла образуется окисный слой, появление которого замедляет анодное растворение и приводит к так называемой пассивации поверхности. Несмотря на то, что величина пассивирующих пленок составляет от 10 до 40 нм, они обладают высокой удельной емкостью, что приводит к снижению плотности тока [2].

Таким образом, несмотря на большое содержание карбида вольфрама в составе покрытия, его влияние на характер электрохимического растворения является не существенным.

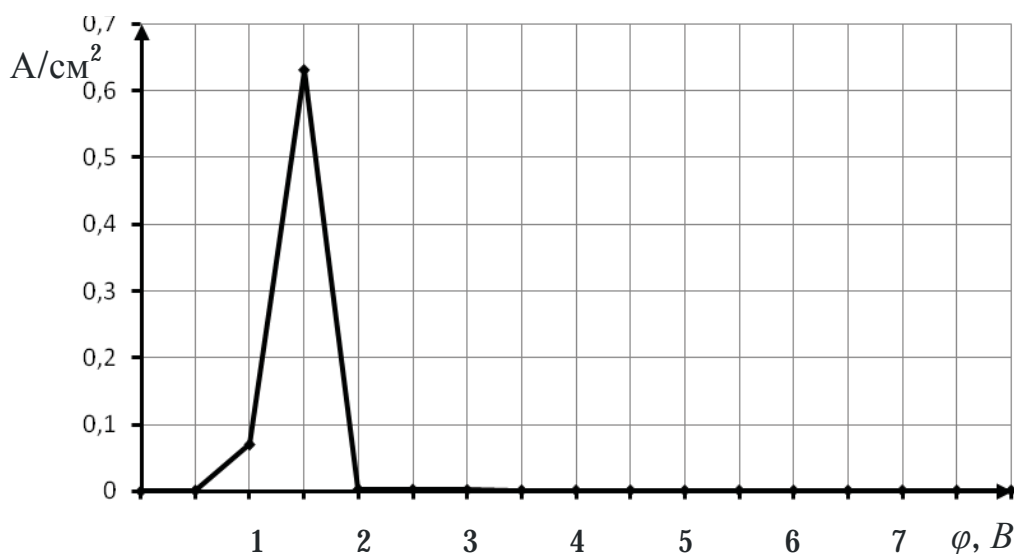


Рис. 2. Поляризационные кривые анодного растворения вольфрама в водном растворе 10% NaN_3

Вероятно, основное влияние на характер анодного растворения указанного материала покрытия в водном растворе NaN_3 оказывает кобальтовая составляющая. Данное предположение и подтверждается характером поляризационной кривой электрохимического растворения кобальта в выбранном составе электролита (рис. 3).

Из рисунка видно, что растворение кобальта происходит в активном состоянии во всем диапазоне потенциалов.

Анализ полученных результатов позволяет предположить, что в случае электрохимического растворения покрытия на основе порошкового материала ВК25 в водном растворе NaN_3 происходит активное растворение только кобальтовой составляющей, а частицы карбидов вольфрама механически «выкрашиваются» из анода. Подобный механизм электрохимического растворения был рассмотрен в работе [3] на примере растворения хромоникелевых сплавов.

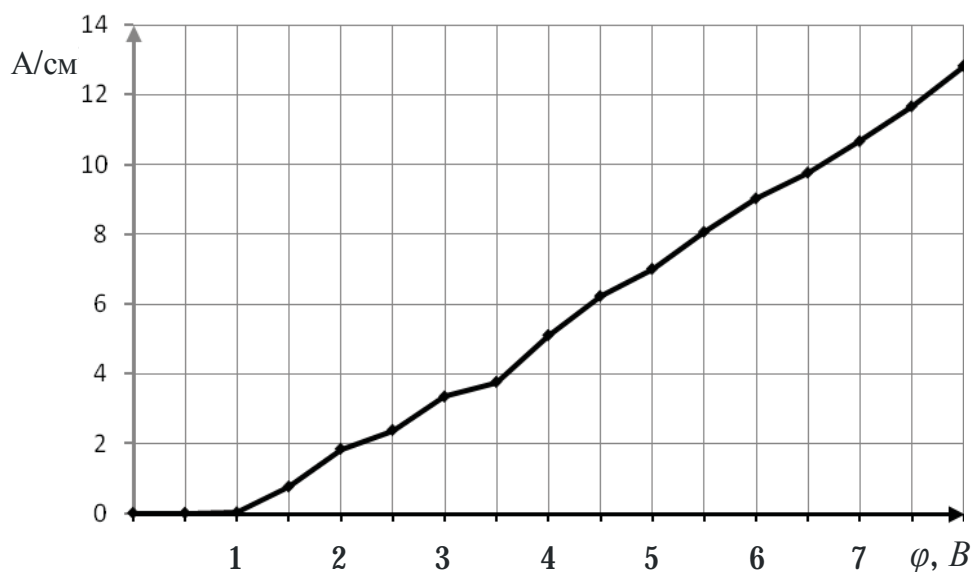


Рис. 3. Поляризационные кривые анодного растворения кобальта в водном растворе 10% NaN_3

В результате проведенных экспериментальных исследований электрохимического растворения покрытия на основе порошкового материала ВК25 и материалов, входящих в его состав, а именно, вольфрама (W) и кобальта (Co) установлено, что характер электрохимического растворения указанного покрытия определяется особенностями анодного поведения кобальта в выбранном составе электролита. Активное растворение кобальтовой связки, входящей в состав покрытия на основе порошкового материала ВК25 может приводить к неравномерному электрохимическому растворению поверхности анода, что снижает качество обработки, в частности приводит к увеличению шероховатости поверхности. Повышение равномерности растворения указанного покрытия, возможно за счет выбора менее активирующего состава электролита по отношению к кобальтовой составляющей.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы», мероприятие 1.3.1 (проект П2571).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимьянов Х.М. Электроалмазная обработка напыленных износостойких покрытий. /Х.М. Рахимьянов, В.В. Янпольский, А.Н. Моисеенко // Сб. тр. международной научно-практической конференции «Инженерия поверхностного слоя деталей маши». – Кемерово, 2009 – С. 365 – 368.
2. Давыдов А.Д. О механизме анодной активации пассивных металлов.// Электрохимия. - Т. XVI. Вып. 10. – 1980. – С. 1542 - 1547.
3. Петренко В.И. Влияние концентрации упрочняющей γ - фазы в жаропрочных хромоникелевых сплавах на скорость их электрохимической обработки в растворах

нитратов и хлоратов / В.И. Петренко, А.И. Дикусар, О.А. Аржинталь // Электронная обработка металлов. – 1976 - №4. С. 14 – 17.

УДК 621.9.01:621.791.947.55

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРОМОК ПРИ ТОНКОСТРУЙНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКЕ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА

Рахимьянов Х.М., д.т.н., проф., Локтионов А.А.
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск. E-mail: tms-ngtu@mail.ru

Рассмотрены вопросы точности формообразования при тонкоструйной плазменной резке.

The problems of forming accuracy under fine et of plasma cutting considered.

На сегодняшний день все большее применение при обработке листовых деталей в заготовительном производстве получают высокоэнергетические методы обработки, в том числе тонкоструйная плазменная резка. Этот метод обработки листового материала применяется, как правило, при изготовлении деталей со сложным криволинейным контуром.

Внешний вид кромок после обработки при традиционной и тонкоструйной резке по технологии **HiFocus^{plus}** различаются (рис. 1). При традиционной резке отклонение от перпендикулярности кромок $5-7^{\circ}$, а при тонкоструйной - от -1 до 2° . Уменьшение отклонения от перпендикулярности достигается за счет особенности формирования реза при тонкоструйной плазменной резки.

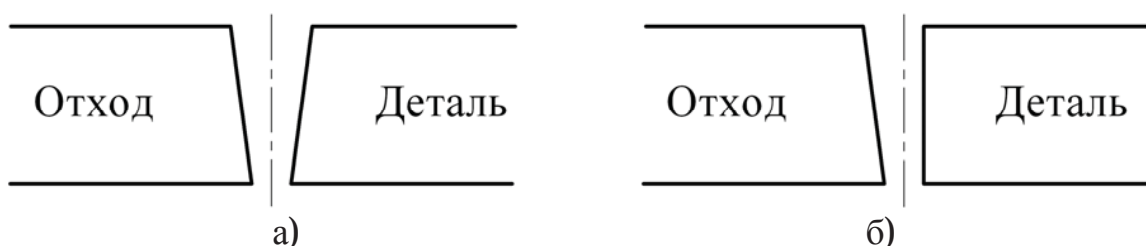


Рис. 1. Внешний вид кромок при плазменной резке: а - традиционная технология; б - технология тонкоструйной плазменной резки **HiFocus^{plus}**

Рассмотрим образование реза в поперечном направлении относительно направления движения резака. При движении плазменного резака по наружному контуру детали по направлению часовой стрелки

правая кромка реза (деталь) перпендикулярна оси плазматрона, в то время как левая кромка (отход) неперпендикулярна оси. Особенности формирования кромок реза связанные с неперпендикулярностью приведены в работе [1-2]. Также на геометрию реза влияют и технологические режимы обработки, а именно: состав плазмообразующих и завихряющих газов, давления и расходы газов, режущий ток и расстояние до наконечника (расстояние между разрезаемой деталью и соплом плазматрона) [3]. Кроме вышесказанного на геометрию реза влияет и степень износа расходных частей плазматрона.

Рассмотрим формирование реза при износе одной составляющей, а именно сопла плазматрона **s2008** с номинальным диаметром канала сопла **0,8** мм. На форму канала сопла предположительно влияет суммарный вектор направления реза, который определяет, в какой части канала сопла будет происходить больший износ. Это приведет к тому, что в сечении плазменного канала будет не окружность, а эллипс. Было выбрано сопло с износом в виде овала на срезе форма канала, которого представлена на рис. 2.

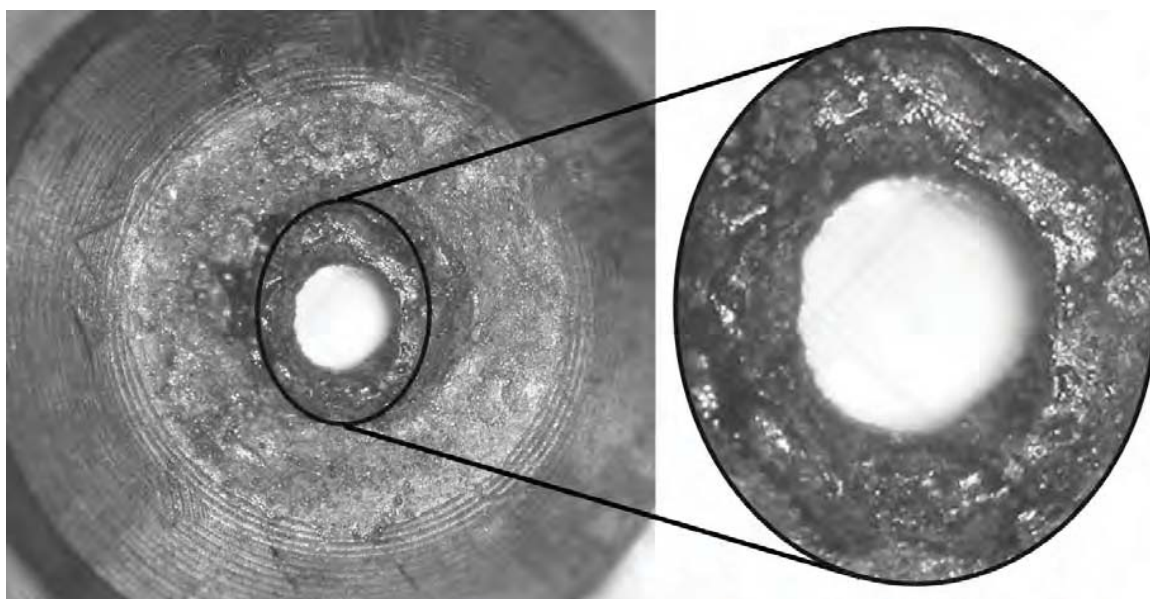


Рис. 2. Внешний вид канала изношенного сопла **s2008**

Для того чтобы определить как влияет направление перемещения плазматрона на формирование реза был поставлен эксперимент. Суть данного эксперимента заключается в следующем: заготовка закрепляется таким образом, чтобы ось плазматрона была перпендикулярна плоскости заготовки и сориентирована относительно направляющих станка. Образец имеет следующие размеры, толщина **8**мм и габариты **120x150** мм. Далее производится первый рез вдоль оси

Х при выставленных технологических параметрах соответствующие данной толщине. Затем возвращаем плазмоторн в начальную точку реза и смещаем на 20 мм вдоль оси Y. Далее поворачиваем плазмоторн относительно оси на 90 градусов по часовой стрелки и производим второй рез. Также возвращаем плазмоторн в начальную точку реза и смещаем на 20 мм вдоль оси Y. Далее также поворачиваем на 90 градусов плазмоторн по часовой стрелке и производим третий рез. Выполняем те же манипуляции с возвратом в начальную точку, смещением и поворотом и производим четвертый рез. Затем произведем измерение углов наклона кромок реза в поперечном направлении (рис. 3).

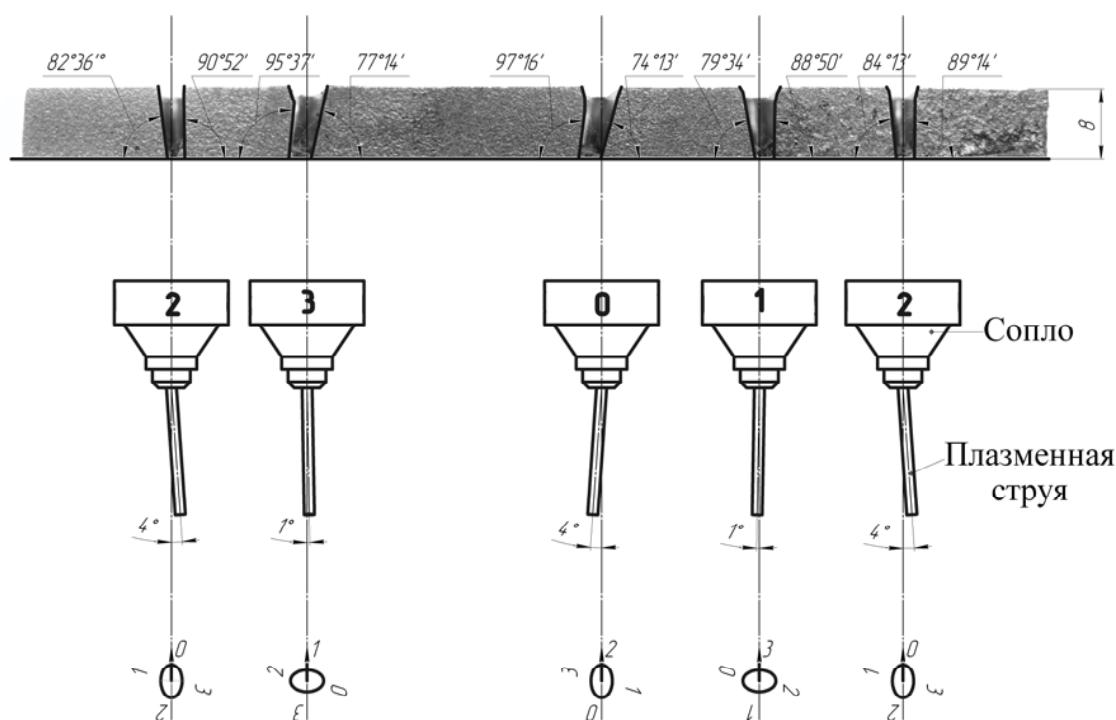


Рис. 3. Внешний вид поперечного сечения реза

Анализируя геометрию поперечного сечения реза можно сделать следующие выводы. На форму реза в значительной степени влияет взаимное расположение направления движения резака и положение сопла плазмоторна, что просматривается на рис. 3. Кроме этого если канал сопла имеет наклон относительно оси, как в рассматриваемом случае, то это также повлияет в значительной степени на формирование кромок реза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимьянов Х. М. Анализ погрешностей формообразования при тонкоструйной плазменной резке металлических материалов / Х. М. Рахимьянов, А. А. Локтионов // Современные проблемы в технологии машиностроения: сборник трудов. -

Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.

2. Локтионов А. А. Точность формообразования при тонкоструйной плазменной резке металлических материалов и пути ее повышения / А. А. Локтионов, Х. М. Рахимьянов // Обработка металлов, 2009 - №4 (45).

3. Моделирование процессов тонкоструйной плазменной резки для обеспечения точности формирования криволинейных контуров. / Х. М. Рахимьянов, А. И. Журавлев, А. А. Локтионов, А. Х. Рахимьянов // Научный вестник НГТУ, 2009 - №4(37).

УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ МАКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ

Х.М. Рахимьянов, д.т.н., Ю.С. Семенова, аспирант
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, +7(383)-346-11-88. E-mail: nahat@yandex.ru

Представлены результаты исследования влияния параметров при ультразвуковом деформировании пластичных материалов на стабильность геометрических характеристик поверхности.

Different technological aspects of ultrasonic plastic deformation considered in a problem of macro geometry stabilization.

При ультразвуковом поверхностном деформировании пластичных материалов, таких как незакаленная сталь, при определенных условиях и режимах обработки происходит образование волн пластического течения материала поверхностного слоя в результате накопления и сброса деформации. Накопление единичного гребня происходит за несколько ударов ультразвукового инструмента, после чего происходит сброс накопленной деформации с последующим аналогичным накоплением. В результате этого при токарной схеме обработки формируется многозаходная спиральная линия волн пластического течения. При этом высота волн достигает **10** мкм и более, шаг между соседними вершинами в направлении подачи при измерении составил от **0,5** до **2** мм. Такой рельеф поверхности отличен от микрорельефа, характерного для ультразвукового пластического деформирования, как по виду, так и по масштабному фактору, поэтому при его описании использовано название «макрорельеф», не имеющее отношение к макроотклонениям формы детали. В работах [1-3] описана математическая модель, позволяющая устанавливать закономерности

формирования макрорельефа при ультразвуковой обработке пластичных материалов. Однако, при исследовании влияния режимов обработки на формирование макрорельефа поверхности при ультразвуковом пластическом деформировании образцов из стали 45 выяснилось, что при одних и тех же режимах обработки расположение гребней волн и их размеры на различных участках образца заметно отличаются друг от друга. Так, в пределах одного образца при непрерывной обработке расположение волн неоднократно изменялось. Наблюдались характерные зоны, в пределах которых формировался стабильный рисунок рельефа с постоянным шагом и высотой волн, однако от зоны к зоне рисунки существенно изменялись. Между зонами видны четко различимые границы перестроения гребней (рис.1, а, б).

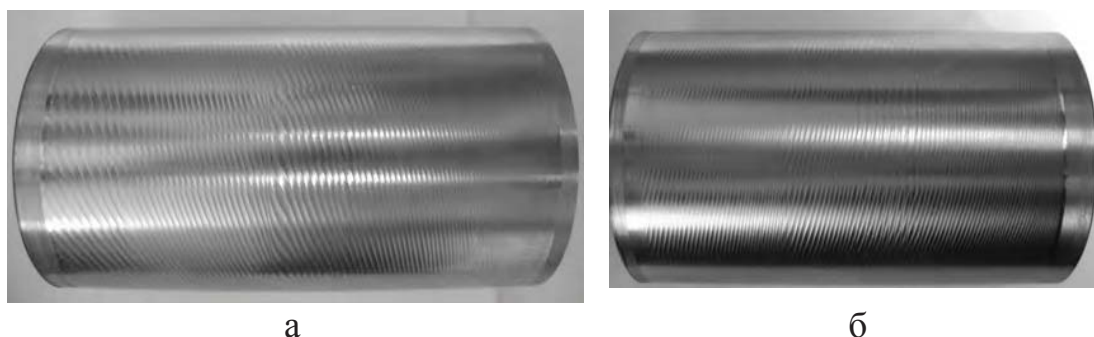


Рис. 1. Перестроение волн на образце при непрерывной обработке

Образцы для исследования представляли собой цилиндрические детали диаметром 40 - 45 мм и длиной 80 мм. Обработка производилась в центрах с вращающимся задним центром. Вращение передавалось за счет сил трения на переднем центре без использования поводка. Каждый образец после установки на станке, предварительно обтачивался для исключения влияния радиального биения на формирование макрорельефа поверхности, после чего без переустановки подвергался ультразвуковой обработке.

Одним из предположений объяснения изменения размеров волн было возможное влияние нежесткости детали, приводящей к возникновению прогибов под воздействием прикладываемой нагрузки. Особенность ультразвукового пластического деформирования заключается в том, что при приложении небольших статических усилий за счет ультразвуковых колебаний динамические усилия деформирования могут достигать значения на порядок больше статических. Возможно, под воздействием динамических усилий деталь упруго деформируется, что приведет к неравномерности воздействия инструмента при обработке. Воздействие на поверхность в процессе обработки будет зависеть от скорости деформаций и упругого

восстановления детали, т.к. инерционная система нагружения, состоящая из шаровых направляющих и блоков, через которые происходит передача прижимного усилия от груза, не успеет отследить изменение расположения поверхности относительно инструмента. Для проверки этого предположения был проведен расчет возможного прогиба детали при максимально возможной действующей нагрузке в процессе обработки.

Деталь была рассчитана как двухопорная балка с приложенной в центре нагрузкой, равной **1000 Н**. Такова расчетная величина максимального действующего усилия при обработке с амплитудой колебаний ультразвукового инструмента **25 мкм** и статическим усилием **15 кг**. Максимальный прогиб рассчитывался по формуле:

$$f_{\max} = -\frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_x},$$

где F - максимальной действующее усилие, Н, l - длина вала, м, E - модуль упругости материала детали, Па, I_x - осевой момент инерции детали, м⁴.

Величина максимального прогиба при диаметре детали **44 мм** и длине детали **80 мм** составила **0,27 мкм**. При амплитуде колебаний ультразвукового инструмента **25 мкм** такая величина прогиба детали не могла сыграть решающую роль в формировании волны пластического течения материала, следовательно, прогиб вала не является причиной изменения размеров волн.

При проведении эксперимента использовался ультразвуковой генератор фирмы Инлаб марки ИЛ **10 – 0.1** в комплекте с магнитострикционным преобразователем, где ультразвуковая частота, вырабатываемая генератором, показывается на электронном табло передней панели прибора. В процессе обработки было замечено, что значение частоты в течение всего времени работы генератора постепенно падает. В момент подведения и прижатия инструмента к обрабатываемой поверхности с необходимым статическим усилием значение ультразвуковой частоты скачкообразно повышается вследствие изменения амплитуды при изменении нагрузки. Затем амплитуда снова начинает постепенно снижаться.

Причиной дрейфа частоты ультразвуковых колебаний служит нагрев преобразователя и инструмента и, как следствие изменения его упругих характеристик. Изменение характеристик инструмента приводит к изменению амплитуды ультразвуковых колебаний. При изменении амплитуды происходит поднастройка генератора на резонансную частоту, в результате чего количество ударов инструмента

за один оборот детали изменяется, что влечет за собой изменение параметров макрогеометрии рельефа.

На рис. 2 представлена зависимость изменения угла наклона гребней волн относительно оси детали при падении частоты ультразвуковых колебаний на 100 Гц. Как видно из рисунка, величина угла может как уменьшаться, так и увеличиваться, и оставаться практически постоянной в зависимости от соотношения режимных параметров обработки.

Было проведено наблюдение изменения ультразвуковой частоты, вырабатываемой генератором с течением времени в свободном и нагруженном состоянии ультразвукового инструмента. В таблице 1 приведены результаты наблюдения за изменением ультразвуковой частоты в течение 10 минут.

В результате измерений выяснилось, что ультразвуковая частота за 10 минут изменила свое значение при работе генератор без нагрузки – на 68 Гц, при работе под нагрузкой – на 71 Гц. Такое изменение ультразвуковой частоты могло повлиять на изменение геометрического рисунка на обрабатываемой поверхности.

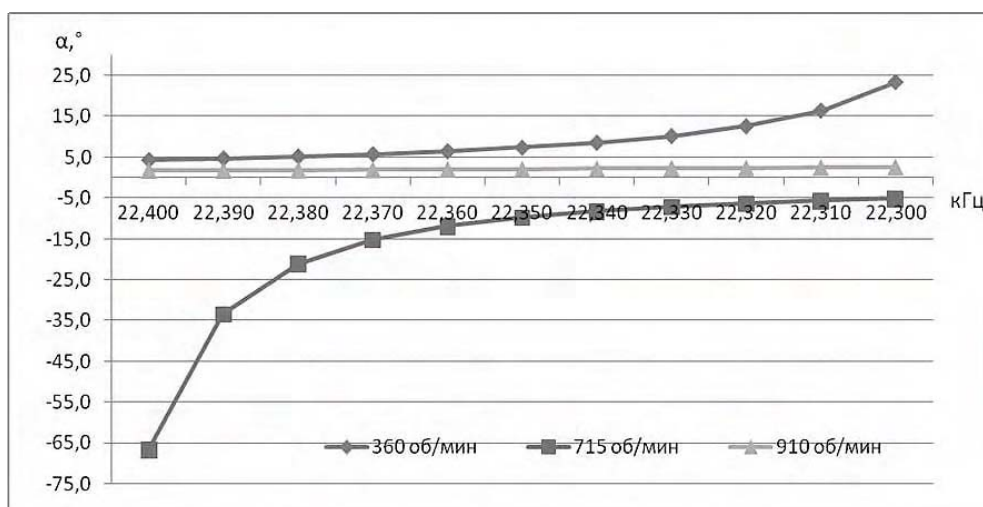


Рис. 2. Изменение угла наклона волн макрорельефа в зависимости от частоты ультразвуковых колебаний

Таблица 1

Изменение значения ультразвуковой частоты с течением времени

Время, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Работа без нагрузки	22390	22364	22352	22345	22340	22334	22330	22329	22327	22324	22322
Работа под нагрузкой, Fст= 8 кг	22426	22391	22375	22368	22367	22366	22365	22364	22362	22356	22355

Чтобы изучить влияние изменения ультразвуковой частоты генератора на формирование рельефа поверхности при обработке, было решено обработать образцы с одними и теми же режимами, но с разным направлением движения ультразвукового инструмента. На рис. 1, б представлено изображение образца, обработанного с теми же режимами, что и образец, представленный на рис. 1, а, но при противоположном направлении подачи. Видно, что формирование волн образцов имеет схожий характер: в начале движения инструмента имеется участок гладкой поверхности (без волн), после чего процесс формирования волн стабилизируется, затем идет перестроение числа волн, после чего снова стабильное формирование рисунка. Гребни волн у второго образца имеют противоположное направление, поскольку взаимное перемещение инструмента и образца изменилось.

Проведенный эксперимент доказывает влияние изменения ультразвуковой частоты на формирование макрогеометрии поверхности. Однако, размеры характерных зон не одинаковы, и рисунок рельефа внутри зон также неодинаков. Это говорит о том, что имеются и другие причины, влияющие на формирование рисунка макрогеометрии поверхности при ультразвуковой обработке.

Так, в работе [4] исследовалось влияние жесткости технологической системы на волнообразование при ультразвуковой обработке. Показано влияние жесткости обрабатываемой детали на стабильность процесса деформирования. Критерием оценки жесткости вала служило отношение его диаметра к длине. Чем меньше это отношение, тем меньше частота и интенсивность вибраций при обработке. Однако, как доказано выше, жесткость образцов при проведении эксперимента была достаточно высокой и не могла повлиять на формирование волн. Поэтому для исследования влияния жесткости станка на формирование волн пластического течения была произведена обработка образцов с одинаковыми режимами, но различными задними центрами, имеющими разную жесткость. В результате обработки волны на образцах отличались количеством заходов: при обработке образца с менее жестким задним центром число волн на диаметре варьировалось от 36 до 52, при более жестком – от 46 до 51 в процессе непрерывного деформирования с неизменными режимами.

Таким образом, установлено влияние условий обработки на формирование волн пластического течения при ультразвуковом деформировании пластичных материалов. Показано, что дрейф частоты ультразвукового генератора, возникающий в процессе стабилизации работы ультразвуковой системы изменяет картину волнообразования. Помимо падения ультразвуковой частоты на нестабильность формирования макрорельефа оказывает влияние жесткость

технологической системы. В частности показано, что замена заднего центра позволила уменьшить разброс величин геометрических показателей макрорельефа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности формирования геометрии поверхности при ультразвуковом поверхностном деформировании пластичных материалов /Ю.С. Семенова, А.С. Еремина, М.А. Третьяков // Проблемы повышения эффективности металлообработки в промышленности на современном этапе: материалы 9-й Всерос. науч.-практ. конфер. 16 марта 2011 г. Новосибирск, Изд-во НГТУ 2011. С. 82-85
2. Исследование процессов волнообразования при обработке металлов и сплавов ультразвуковым пластическим деформированием / Х.М. Рахимьянов, Ю.С. Семенова // Инновации в машиностроении: материалы I Международной научно-практической конференции 7-9 октября 2010 / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, БТИ. - Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. - с. 103-105
3. Формирование морфологии поверхности процессе ультразвукового пластического деформирования деталей машин / Х. М. Рахимьянов, Ю. С. Семенова // Упрочняющие технологии и покрытия М.: Машиностроение, 2010. №10 - С. 20-23.
4. Морозов Б.В. Неравномерность упрочняюще-чистового эффекта и способы ее уменьшения при обработке ультразвуковым инструментом. Автореф. дисс. ... к.т.н., Новосибирск, 1972. 28 с.

УДК 621.793

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМ , , НА КОНТАКТАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ НА КОММУТАЦИОННУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Романов Д.А., Будовских Е.А., д.т.н., проф., Громов В.Е., д.ф.-м.н., проф.
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк
E-mail: romanov_da@physics.sibsiu.ru

Рассмотрены особенности морфологии поверхности электроэрозионностойких покрытий систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu до и после ускоренных испытаний на коммутационную износостойкость. Обсужден механизм разрушения покрытий.

The features of degradation of coatings morphology electroerosion stability systems W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu before and after accelerated testing of electrical endurance. The mechanism of fracture surfaces.

Эксплуатационный ресурс электромагнитных пускателей определяет главным образом электрическая эрозия их контактов, которой они подвергаются при коммутировании токов в

электротехнических цепях [1-2]. Высокая доступность, электро- и теплопроводность меди делают ее незаменимым материалом для электрических контактов переключателей, однако они, испытывают сильное электроэрозионное разрушение. Повысить их стойкость позволяет нанесение покрытий систем **W-Cu**, **Mo-Cu**, **Ti-B-Cu** [3]. В работе [4] такие покрытия были сформированы на образцах электротехнической меди методом электровзрывного напыления (ЭВН). **Цель настоящей работы** заключалась в изучении влияния на морфологию поверхности покрытий эксплуатационных факторов в процессе ускоренных испытаний на коммутационную износостойкость.

Материалы и методика исследований

Покрытия систем **W-Cu**, **Mo-Cu**, **Ti-B-Cu** с композиционной наполненной структурой [4] наносили методом ЭВН на образцы из электротехнической меди М1 с размерами **7,0×6,0×1,3** мм, которые соответствуют размерам контактов электромагнитных пускателей марки ПМА **4100** [4]. Для ЭВН использовали микро- и субмикрорекристаллические порошки вольфрама, молибдена и бора (рис. 1).

Испытывали покрытия, состоящие из единичного слоя толщиной **25** мкм. Испытания на коммутационную износостойкость в режиме АС-4 [5] проводили на испытательном комплексе ООО «ЗЭТА» (г. Кемерово) при токе коммутирования **378** А, который в **6** раз превышал номинальный, и $\varphi = 0,35$. Число циклов включений-отключений до полного разрушения составило **5825**, **8047** и **4125** для случая покрытий систем **Ti-B-Cu**, **Mo-Cu** и **W-Cu** соответственно.

Сканирующую электронную микроскопию поверхности покрытий до и после испытаний осуществляли с использованием растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EV 50.

Результаты и их обсуждение

В исходном состоянии структура покрытий систем **W-Cu**, **Mo-Cu** представляет собой медную матрицу с глобулярными включениями вольфрама или молибдена, имеющими размеры **1...15** мкм. Покрытия системы **Ti-B-Cu** содержат синтезированные при ЭВН бориды титана **TiB₂**, **Ti₂B**, **Ti₃B₄**, **TiB** и медь [4].

После ЭВН на поверхности покрытий систем **W-Cu**, **Mo-Cu** неравномерно распределены многочисленные деформированные закристаллизовавшиеся микрокапли меди диаметром от **10** до **25** мкм, осевшие на ней из тыла струи (рис. 2, а, б). На поверхности также присутствует мелкодисперсные частицы порошков вольфрама или молибдена. Структурные составляющих на поверхности покрытия системы **Ti-B-Cu** более мелкодисперсные по сравнению со случаем покрытий систем **W-Cu**, **Mo-Cu**. Их размер составляет от **1** до **10** мкм

(рис. 2, в). После испытаний на коммутационную износостойкость на поверхности покрытий всех систем наблюдается образование кратеров эрозии (рис. 3). Наиболее крупные кратеры размером до 10...15 мкм образуются на покрытии системы Ti-B-Cu.

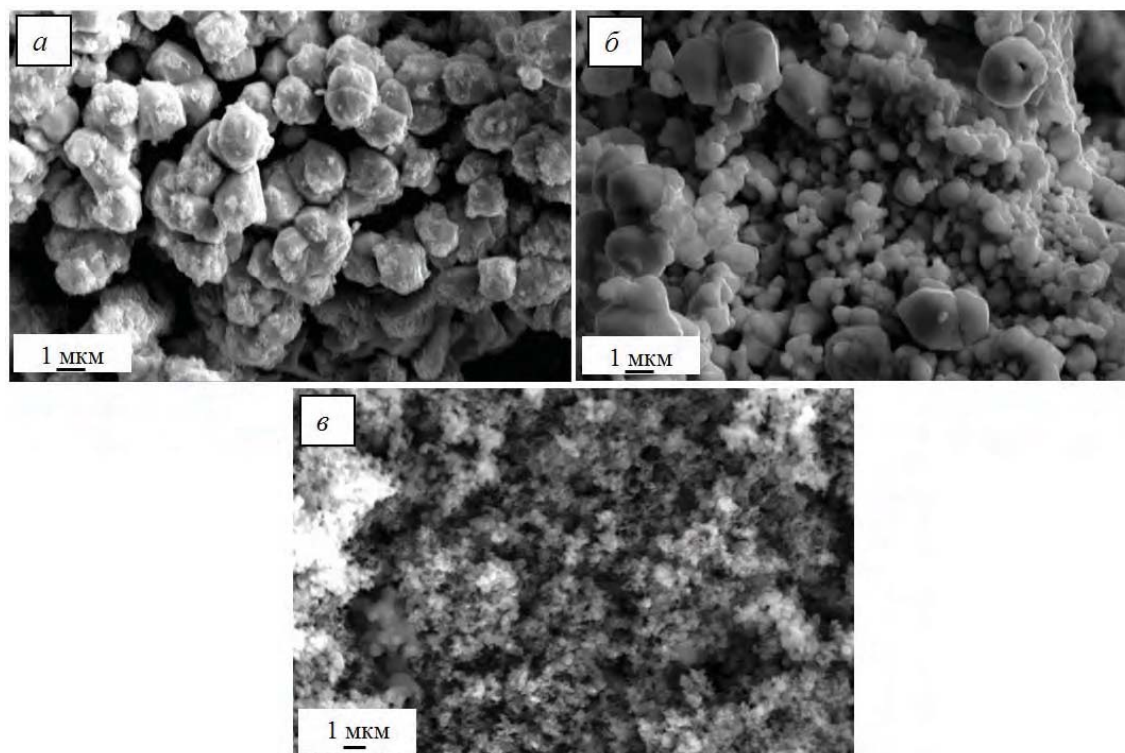


Рис. 1. Микрофотографии порошков, использованных для электровзрывного напыления: *а* – W; *б* – Mo; *в* – V

Известно [1-2], что скорость разрушения поверхности контактов зависит от плотности мощности в области опорных пятен дуги, способа возбуждения дуги и длительности ее воздействия на электроды, геометрии и материала контактов. В связи с этим изменение морфологии покрытий можно объяснить, исходя из того, что в ходе испытательных циклов происходит испарение меди, обогащение поверхности покрытий тугоплавким компонентом, повышение их температуры из-за снижения электрической проводимости и, как следствие, увеличение скорости разрушения по отношению к исходному значению [5]. Дуга на размыкаемых контактах в течение нескольких миллисекунд остается неподвижной и подвергает их эрозии. В таком случае дуговой разряд представляет собой короткую контрагированную дугу, горящую в парах металла контактов. Под воздействием дискретных потоков энергии на поверхности опорного пятна дуги возникают микропузырьки, внутреннее давление которых приводит их к взрыву, истечению микроструек плазмы, проводящих ток, и образованию кратеров,

сопровождается разлетом капель жидкого металла и твердых частиц.

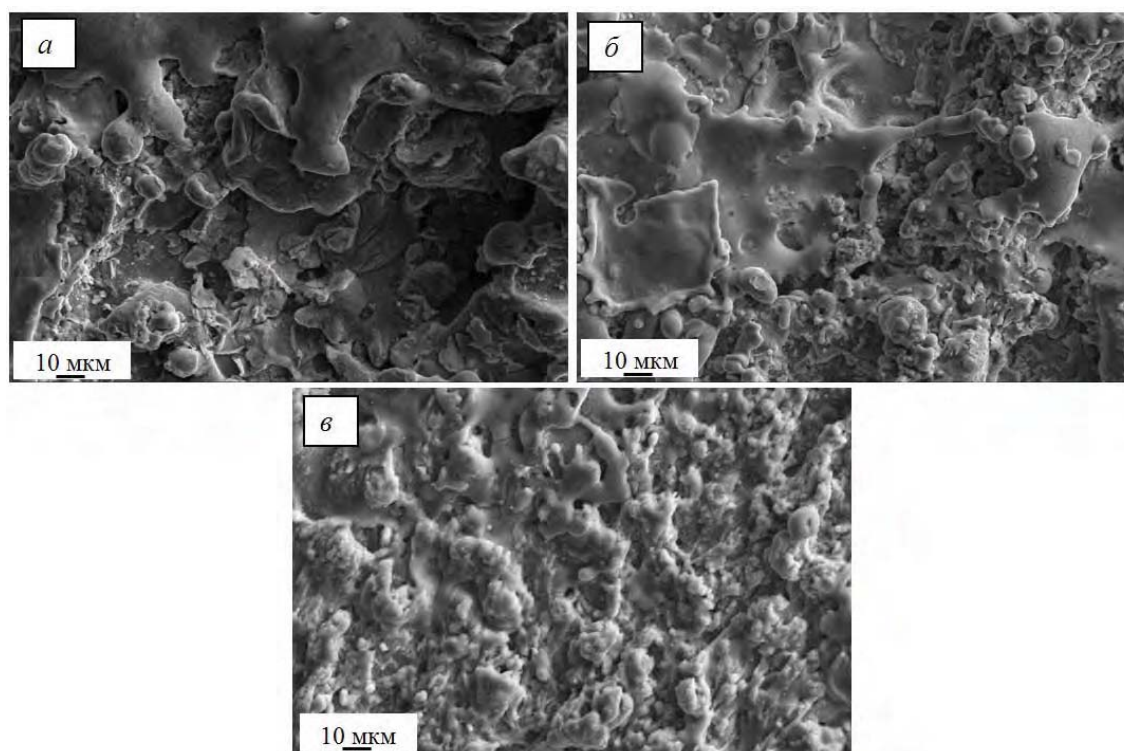


Рис. 2. Рельеф поверхности покрытий после электровзрывного напыления покрытий различных систем: *а* – W-Cu; *б* – Mo-Cu; *в* – Ti-B-Cu

На опорном пятне одновременно функционирует несколько кратеров. Ток в микроструйках плазмы может составлять величину порядка ~ 100 А, плотность тока – ~ 100 А/см², а давление в микроструйке плазмы – $\sim 10^7$ Па.

Таким образом, в процессе ускоренных испытаний электроэрозионностойкие покрытия систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu разрушаются с образованием кратеров эрозии. Дополнительное повышение коммутационной износостойкости может быть достигнуто путем увеличения толщины покрытий при повторном электровзрывном напылении его единичных слоев.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. (гос. контракт № 14.740.11.1154) и грантом РФФИ (проект № 10-07-00172-а).

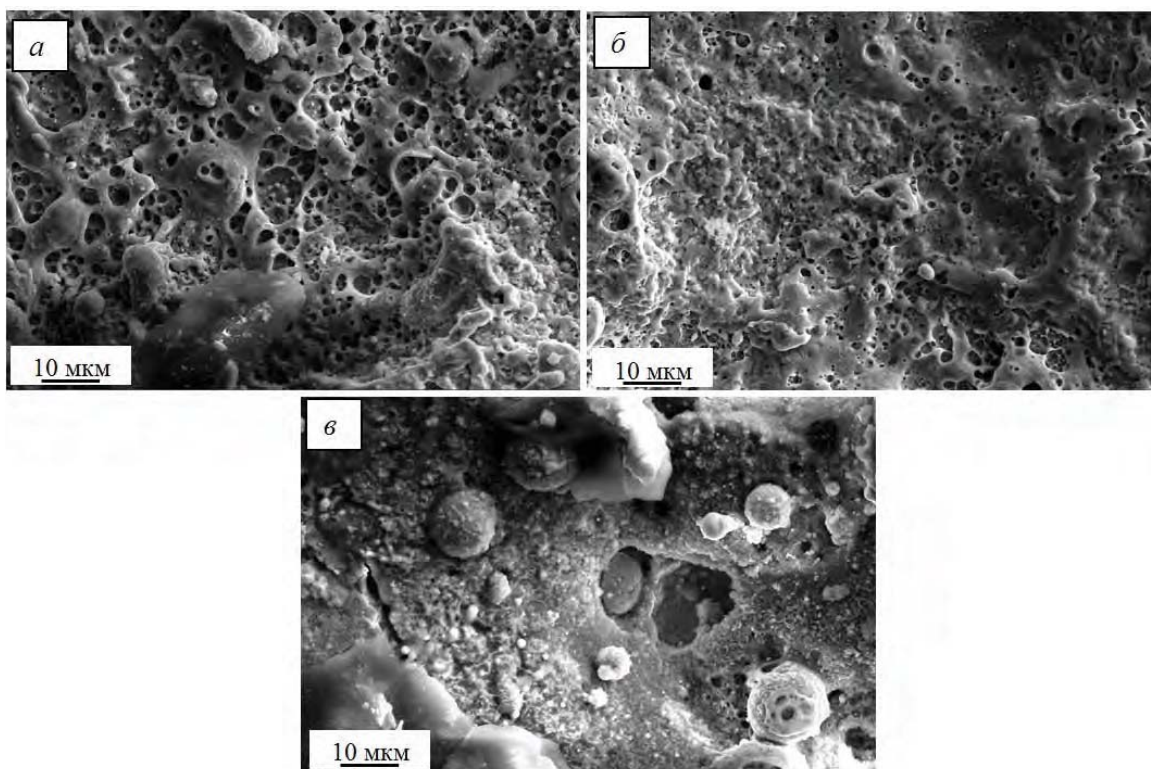


Рис. 3. Рельеф поверхности покрытий различных систем после ускоренных испытаний на коммутационную износостойкость:

a – W-Cu; *б* – Mo-Cu; *в* – Ti-B-Cu

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.П. Мещеряков. Электрическая дуга большой мощности в выключателях. Часть I. – Ульяновск: ОАО «Контактор», 2006. – 344 с.
2. В.П. Мещеряков. Электрическая дуга большой мощности в выключателях. Часть II. – Ульяновск: ОАО «Контактор», 2006. – 429 с.
3. Формирование структурно-фазовых состояний металлов и сплавов при электровзрывном легировании и электронно-пучковой обработке / под ред. В.Е. Громова. – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. – 212 с.
4. ТУ 16-644.005-84. Пускатели магнитные, контакторы.
5. ГОСТ 12434-83. Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия.

УДК 621.762

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШУНГИТОВОЙ ПОРОДЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ И ТУГОПЛАВКИХ СВС МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ

В.В. Саранцев, к.т.н., доц., Е.С. Какошко, к.т.н.

**Институт повышения квалификации и переподготовки кадров по новым
направлениям развития техники, технологии и экономики**

Белорусского национального технического ун-та

Минск, тел. (017) 295-52-21, 295-00-53. E-mail: rectorat@ipk.by

Представлены результаты исследования по установлению возможности использования шунгитовой породы для получения огнеупорных и тугоплавких материалов на основе системы Al-Si₂-C методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Показано, что наличие в порошке шунгита ультрадисперсного фуллереноподобного активного углерода способствует при СВС образованию в данной системе карбида кремния, что придает материалам комплекс высоких физико-химических свойств.

Results of research on an establishment of possibility of use shungit breeds for reception of fire-resistant and refractory materials on the basis of system Al-Si₂-C by a method high-temperature synthesis (SHS) are presented. It is shown that presence in a powder shungit ultradisperse similar fulleren active carbon promotes at SHS to formation in the given system of carbide of silicon that gives to materials a complex of high physical and chemical properties.

Интенсивное развитие темпов современного машиностроения предполагает создание новых материалов, с высоким уровнем эксплуатационных характеристик, при этом комплекс эффективных свойств должен удовлетворять набору физико-химических, механических и иных характеристик, обеспечивающих защиту от деструктивных воздействий. К последним относятся: высокая жаростойкость, жаропрочность, стойкость к воздействию коррозии, действию различного рода агрессивных сред и т.д.

Тугоплавкие бескислородные материалы, и, в частности, керамика на основе карбидов, используются в машиностроении в качестве конструкционных материалов при создании деталей, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах, а также в виде абразивных материалов и инструментов для обработки металлов. Кроме этого, указанные материалы могут быть использованы для футеровки высокотемпературных печей, индукторов, применяемых в машиностроительной отрасли.

Получение тугоплавких соединений и изделий из них сопряжено со значительными материальными затратами. В основе традиционных технологий лежат процессы медленного протекания химических процессов при высоких температурах. Отличительной особенностью существующих способов является высокая энергоемкость производства, большая длительность, многооперационность и трудоемкость получения продукции [1].

Производство изделий в Республике Беларусь из тугоплавких материалов технического назначения, и, в частности, карбидсодержащих материалов отсутствует, несмотря на потребность в них. В то же время существуют современные технологии, позволяющие получать изделия для высокотемпературной техники при довольно низких энергетических затратах. Наиболее перспективным в данном плане является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС).

Сущность процессов СВС заключается в самопроизвольном распространении зоны химической реакции в средах, способных к выделению химической энергии с образованием ценных конденсированных продуктов. СВС сопровождается сильным саморазогревом продуктов (обычно на 1500–3500 С и более). Процесс возникает при локальном воздействии на систему коротким тепловым импульсом и в дальнейшем протекает в виде волны горения без подвода энергии извне за счет собственного тепловыделения, причем СВС может реализовываться в порошковых смесях разнообразной химической природы.

Разработки по этому направлению ведутся в основном в рамках синтеза чистых карбидов кремния и титана. Промышленно с использованием технологии СВС в настоящее время получают только карбид титана. Получение композиционных материалов системы карбид кремния – корунд представлено в ряде работ российских и корейских ученых. Однако в целом, направление получения керамических карбидсодержащих материалов недостаточно развито и поэтому изучение процессов формирования материалов на основе фаз карбидов и оксикарбидов представляет большой научный и практический интерес. Освоение СВС-технологии позволило бы решить проблему обеспечения промышленности Беларуси различными видами тугоплавких карбидсодержащих материалов, а также решить в некоторой степени проблему, связанную с дефицитом собственных энергоресурсов.

Материалы на основе карбида кремния представляют собой весьма перспективную группу огнеупоров. Карбидкремниевая керамика имеет сравнительно высокую электро- и теплопроводность, термостойкость и стойкость к абразивному воздействию. Она не смачивается расплавами цветных металлов, обладает высокой механической прочностью в

холодном и нагретом состоянии, стойка в кислых шлаках. Керамика на основе оксида алюминия обладает высокой механической прочностью, химической стойкостью, высокой огнеупорностью [2].

Карбидсодержащие материалы в настоящее время получают прямым синтезом из компонентов при высоких температурах (>2000 С), в то время как СВС позволяет с малыми энергетическими затратами синтезировать их из недефицитного сырья.

Цель работы заключалась в установлении возможности использования шунгитовой породы для получения огнеупорных и тугоплавких СВС-материалов на основе системы Al-Si₂-C.

Шунгитовая порода уникальна по составу, структуре и свойствам образования. Она представляет собой необычный по структуре природный композит – равномерное распределение высокодисперсных кристаллических силикатных частиц в аморфной углеродной матрице. Входящий в состав породы шунгитовый углерод относится к типу неграфитового, обладает фуллереноподобной структурой, характеризуется высокой химической и физико-химической активностью. Шунгитовый углерод образует в породе матрицу, в которой равномерно распределены высокодисперсные силикаты размером частиц 1–10 мкм. Силикаты распределены в шунгитовой матрице довольно равномерно [3].

Порода характеризуется высокой прочностью, плотностью, химической стойкостью и электропроводностью. Она обладает рядом необычных физических, химических, химико-физических и технологических свойств.

В качестве основных сырьевых материалов использовались пудра алюминиевая и шунгитовая порода Зажогинского месторождения (Республика Карелия).

Усредненный химический состав шунгита Зажогинского месторождения, мас. %: Si₂ – 57,0; C – 29,0; Ti₂ – 0,2; Al₂ – 4,0; Fe – 2,5; Mg – 1,2; Ca – 0,3; Na₂ – 0,2; O₂ – 1,5; S – 1,2; H₂ (крист.) – 4,2.

Минералогический состав шунгита характеризуется достаточно стабильным и представлен следующими минералами: кварц – 50%, шунгитовый углерод – 30% , серицит (слюда) – 12%. хлорит – 5% и пирит – 2%. Такая структура придает шунгитовой породе электропроводность, а продуктам дробления и помола породы обеспечивает способность активно взаимодействовать с любой средой, в которую они помещены, реализуя при этом свои высокие окислительно-восстановительные, обменные, сорбционные, адгезионные и каталитические свойства [4].

Молекулярное отношение C/Si₂ = (29 x 60) / (12 x 57) = 2,5/1.

Стехиометрическое отношение $C:Si_2$ в реакции образования карбидов $3C + Si_2 \rightarrow SiC + 2C$ равно **3:1**.

В шунгите Зажогинского месторождения отношение $C:Si_2$ несколько ниже стехиометрического и имеет место нехватка углерода для восстановления всего Si_2 .

Окисление шунгита начинается при температуре **490–500 С** и заканчивается при **725–740 С**. Температура окончания выгорания шунгита характеризует активность углерода. Для неактивного углерода (графита) температура окончания горения может превышать **1000 С**.

Сырьевые смеси с различным соотношением алюминий:шунгит готовились путём смешения в сухом виде определённого количества исходных сырьевых компонентов до получения однородных смесей, которые затем просеивали через сито с размерами ячейки **0,5 мм** для повышения однородности.

Пресс-порошок готовился с использованием в качестве связки клея ПВА или раствора ПВС, который вводился в смесь порциями при постоянном перемешивании до получения порошка с равномерной влажностью – **8–10 %**.

Формование опытных образцов осуществлялось на гидравлическом прессе при различном давлении прессования **50–200 МПа**. Во избежание дефектов прессования в виде расслаивания образцов, применялось трехступенчатое прессование. При этом начальное давление прессования на первой ступени составляло **5–15 МПа**, на второй ступени – **20–40 МПа** и на последней – **50–200 МПа**. Также замечено, что выдержка на второй ступени прессования в течение некоторого времени (около **20с**) при постоянном давлении, способствует улучшению свойств получаемых образцов, что объясняется более полным удалением воздуха.

Отпрессованные образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре **120 С** до полного удаления влаги. Сушка производилась при медленном подъеме температуры от **20 С** до максимальной.

Для инициирования процесса СВС образцы подвергались нагреву в печи до температуры **800–900 С**. При этом установлено, что для инициирования процесса необходим быстрый подъем температуры; это достигалось помещением опытных образцов в уже разогретую до вышеприведенной температуры печь. Определено, что минимальная температура начала синтеза составила **650 С**.

Для устранения напряжений, связанных с резким подъемом температуры, приводящих к растрескиванию и разрушению образцов, а также для удаления остатков влаги и легковыгорающих примесей, которые оказывают аналогичное влияние из-за выделения паров и газов, был осуществлен предварительный прогрев образцов до температуры

350 С. Высушенные образцы устанавливались в холодную печь и нагревались до заданной температуры со скоростью **4–5** С/мин, а затем производилась их переставляли в печь с температурой, достаточной для инициирования СВС-процесса.

После прогрева образцов до необходимой температуры наблюдалось прохождение фронта синтеза, при этом образец раскалялся до ярко белого цвета. Время прогрева образца определялось температурой в печи, а скорость прохождения волны синтеза в среднем составляло **3–5** мм/с в зависимости от состава. Отмечено, что максимальные значения скорости прохождения волны синтеза имеют образцы из сырьевых смесей с соотношением алюминий:шунгит **1:4**, отпрессованные при давлении **200** МПа. Вследствие исключительно развитого контакта между активным углеродом и силикатами при термической обработке в режиме СВС активно протекают реакции восстановления кремнезема до металлического кремния и карбида кремния.

Исследование фазового состава полученных материалов показало, что основными фазами при СВС-синтезе в изучаемой системе являются корунд, карбид кремния и муллит. СВС-материал имеет пористую структуру с размерами пор **100–150** мкм. Кристаллическая структура представлена нитевидными кристаллами карбида кремния и муллита, толщина нитей составляет **0,3–3** мкм. Кристаллические образования корунда распределены в виде областей различной формы и агрегатов размерами **10–30** мкм.

Полученные СВС-материалы имеют следующие характеристики: плотность **2200–2280** кг/м³, пористость открытая **25–28** %, предел прочности при сжатии **75–90** МПа, теплопроводность (**20–400** С) **0,78–0,80** Вт/м·К, ТКЛР (**20–800** С) **$5,2 \cdot 10^{-6}$** К⁻¹ и могут быть использованы в машиностроении в качестве конструкционных материалов при создании деталей, работающих при высоких температурах и в агрессивных средах, для футеровки высокотемпературных печей и индукторов.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлена возможность использования шунгитовой породы для получения огнеупорных и тугоплавких материалов на основе системы **Al–Si₂–C** методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / А.Г. Мержанов // в сб. Физическая химия. Современные проблемы. – М.:Химия, **1983**.
2. Карбидкремниевые материалы. – М.:, Металлургия, **1987**.
3. Филиппов, М.М. Шунгиты Карелии: термины и определения / М.М. Филиппов // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск, **2001**. – Вып. **4**.

4. Земцов, В. А. Магнитные свойства высокоуглеродистых шунгитов / В. А. Земцов // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск, 2003. – Вып. 6.

УДК 621.048.6

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ
ДЕФОРМИРОВАНИЕМ В ГИБКИХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ
РАБОЧИХ СРЕДАХ**

М.А. Тамаркин, д.т.н., Э.Э. Тищенко, к.т.н.

Донской государственный технический университет

Ростов-на-Дону, тел. (8632) 738-725. E-mail: tehn_rostov@mail.ru

Статья посвящена исследованию процессов отделочно-упрочняющей обработки гибкой гранулированной рабочей средой. Получены зависимости для определения среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости, глубины упроченного слоя и степени упрочнения, а также предельных напряжений цикла от основных технологических параметров процесса. Разработана САПР ТП.

The article is devoted to research of process of finishing-strengthening processing by the flexible granulated working environment. Dependences for definition of an average arithmetic deviation of a structure of the established roughness, limiting pressure of a cycle, depth of the strengthened layer and a degree of hardening from the basic technological parameters of process are received. It is developed SAPR TP.

Развитие машиностроения на современном этапе невозможно без постоянного повышения производительности труда и улучшения качества выпускаемых изделий. Для решения этой задачи разрабатываются и внедряются новые методы обработки. К таким методам относятся методы обработки поверхностным пластическим деформированием (ППД) в гибких гранулированных рабочих средах. В последнее время они находят всё большее применение в различных отраслях промышленности на этапах финишной обработки, т.к. имеют достаточно широкие технологические возможности, что в свою очередь позволяет обрабатывать детали самой различной конфигурации и обеспечивать высокое качество поверхностного слоя.

Необходимо отметить, что обработка, основанная на пластическом деформировании тонкого поверхностного слоя (отделочно-упрочняющая обработка) при помощи гибкой гранулированной рабочей среды, имеет по сравнению с другими финишными методами обработки поверхности множество преимуществ, не требует применения сложного оборудования и оснастки. Отделочно-упрочняющая обработка гибкой

гранулированной средой (ОУО ГГРС) могут подвергаться детали разнообразных форм и размеров, изготовленные из различных материалов.

Методы ОУО ГГРС широко применяются в промышленности. Каждый из этих методов имеет свою область применения, преимущества и недостатки. К методам ОУО ГГРС относятся: вибрационная отделочно-упрочняющая обработка (ВиОУО), отделочно-упрочняющая центробежно-ротационная обработка (ОУ ЦРО), обработка дробью (ОД) и др.

Для разработки методики проектирования технологических процессов ОУО разработана комплексная система моделей, включающая взаимосвязанные модели единичного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью детали, формирования шероховатости обработанной поверхности, глубины упроченного слоя. Исследовано формирование поверхностных остаточных напряжений. Проведено исследование эксплуатационных свойств обработанных деталей.

При исследовании основных технологических параметров методов ОУО ГГРС (производительности процесса и качества обработанной поверхности) одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса единичного взаимодействия частиц среды с поверхностью обрабатываемой детали. Максимальную глубину внедрения частицы среды (чаще всего металлического шарика) в поверхность обрабатываемой детали можно определить по зависимости:

$$r_{\max} = 2 \cdot V_{\text{эф}} \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot \sqrt{\frac{\rho_q}{3k \cdot \sigma}} \quad (1)$$

где $V_{\text{эф}}$ - эффективная скорость частицы (определяется особенностями конкретного вида обработки), r - радиус частицы, α - угол встречи частицы с поверхностью детали, ρ_q - плотность материала частицы; k - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости детали; σ - коэффициент несущей способности контактной поверхности; σ - предел текучести материала детали.

Пятно контакта частицы среды с поверхностью детали представляет собой эллипс, размеры полуосей которого определяются по зависимостям:

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{r^2 - (r - r_{\max})^2}, \\ b &= \frac{\pi}{2} \cdot (r - r_{\max}) \cdot \mu, \end{aligned} \quad (2)$$

где μ - коэффициент трения частицы по поверхности детали.

Пластическое деформирование поверхности детали происходит при многократном взаимодействии с ней частиц среды. Микрорельеф поверхности образуется путём наложения и пересечения единичных следов (лунок). В результате обработки на поверхности детали образуется новый специфический микрорельеф, характеризующийся однородностью свойств по всем направлениям. При продолжении процесса обработки он постоянно воспроизводится, а его параметры не будут изменяться в некоторый промежуток времени (вплоть до наступления перенаклёпа поверхности). Параметры установившейся шероховатости будут определяться только технологическими режимами и размерами частиц среды.

Среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости при обработке гибкой гранулированной рабочей средой можно определить по зависимости:

$$\sigma_{уст} = k \cdot \sqrt{\frac{\max \cdot \cdot \cdot e_d}{2}}, \quad (3)$$

e_d - единичная длина, k - эмпирический коэффициент.

При решении технологических задач ОУО ГГРС важное значение имеет аналитический расчет ожидаемого значения глубины упрочненного слоя и степени упрочнения. От толщины упрочненного слоя зависят многие эксплуатационные свойства деталей, например, усталостная прочность. На основании работ [1,2], а также в результате проведения собственных исследований для ОУО ГГРС глубину упрочненного слоя можно определить по зависимости:

$$= 3k\sqrt{\cdot} \quad (4)$$

а степень упрочнения по зависимости

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\cdot}}{\cdot} \quad (5)$$

где k - коэффициент, зависящий от степени наклепа.

Формирование остаточных напряжений при ОУО ГГРС представляет большой интерес при проведении исследований.

При циклических изменениях пластических деформаций деталей из различных материалов наблюдается ряд специфических особенностей, которые являются существенными для оценки эксплуатационных свойств этих деталей. Для одних материалов с увеличением числа нагружений при неизменной амплитуде напряжений деформации уменьшаются, а при заданной амплитуде деформации соответствующие напряжения от цикла к циклу растут. Такие материалы называют *циклически упрочняющимися*. Для *циклически разупрочняющихся* материалов картина прямо противоположная, а для *циклически идеальных стабильных* материалов диаграммы деформаций

повторяются от цикла к циклу. Известны и так называемые циклически анизотропные материалы с односторонним накоплением деформаций. Приведенная классификация является очень важной, так как позволяет заранее прогнозировать возможность повышения эксплуатационных свойств в результате обработки. Важность выбора типа материала диктуется тем обстоятельством, что анализ поведения циклически нестабильных материалов представляет значительную сложность.

В работах [3-4] отмечено, что на величину предела выносливости оказывает влияние величина среднего напряжения цикла, влияние которого, в свою очередь, может компенсировать величина остаточных напряжений.

На основе анализа влияния средних напряжений цикла на величину предела выносливости для циклически стабильных сталей и алюминиевых сплавов предложено следующее уравнение для определения предельного напряжения цикла:

$$\sigma(\sigma_p) = \sigma_e \left(1 - \frac{\sigma_{cp}(\sigma_p)}{\sigma_e} \right) [1 + \gamma(1 - \sigma_p/\sigma_e)], \quad (6)$$

где σ_e - предел прочности материала образца; σ_{cp} - остаточные напряжения; γ - параметры, зависящие от материала образца.

Для образцов из алюминиевых сплавов

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\sigma_p}{\sigma_e \left[1 + \frac{(\lg \sigma_p/\sigma_e)^4}{225} \right]}; \\ &= \left(1 + \frac{0,0031(\lg \sigma_p/\sigma_e)^4}{1 + 0,0031(\lg \sigma_p/\sigma_e)^4} \right) / \left(1 + 0,0031(\lg \sigma_p/\sigma_e)^4 \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Для стальных образцов

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\sigma_p (2 + \sigma_p/\sigma_e)}{3\sigma_e}; \\ &= \frac{1 + 0,0038(\lg \sigma_p/\sigma_e)^4}{1 + 0,008(\lg \sigma_p/\sigma_e)^4} \end{aligned} \quad (8)$$

где σ_p - количество циклов до разрушения.

Результаты исследований формирования поверхностных остаточных напряжений после различных видов ОУО ГГРС позволяют сделать вывод о том, что в поверхностном слое деталей формируются сжимающие остаточные напряжения на глубине **0.2-0.8** мм, что

позволяет прогнозировать повышение эксплуатационных свойств этих деталей.

Полученная система моделей прошла комплексную экспериментальную проверку и может быть использована для проектирования технологических процессов ОУО ГГРС, обеспечивающих повышение качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. На её основе разработана методика оптимизации технологических процессов и разработана САПР ТП процессов ОУО ГГРС. Полученные модели позволяют представить каждый показатель качества поверхностного слоя в виде функциональной зависимости от множества исходных данных: управляемых технологических параметров и свойств обрабатываемого материала. Эти зависимости являются исходными в задачах оптимизации и управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев И.В. и др. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом. М. НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970
2. Пшебыльский В.П. Технология поверхностной пластической обработки. – М.: Металлургия, 1991
3. Heywood R.V. Designing against fatigue.- London: Chapman and Hall Ltd., 1962
4. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. 1981.

УДК 678.6

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТОЧНОСТЬ ЛИТЬЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НАПОЛНЕННОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Т.Н. Теряева, к.т.н., доцент, О.В. Касьянова, к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический ун-тет
Кемерово, тел. +7(3842) 36-69-38, факс 36-69-85.
E-mail: tnt.tppm@kuzstu.ru

На примере композиций полипропилена и охры показано влияние минерального наполнителя на эксплуатационные характеристики литевых изделий

The influence of the mineral filler on the operating characteristics of the molded articles is shown based on the example of the compositions of polypropylene and ocher

Полипропилен – многотоннажный термопластичный кристаллический неполярный полимер, принадлежащий к классу полиолефинов, отличающийся высокой прочностью, твердостью и

теплостойкостью. Промышленностью выпускается: гомополимер (изотактический полипропилен), блок-сополимер с этиленом (сополимер), а также статистический сополимер (**random copolymer**), металлоценовый полипропилен (**mPP**), сшитый полипропилен (**PP-X, PP-XM D**) в виде окрашенных и неокрашенных гранул. Гомополимер имеет повышенную жесткость, может быть прозрачен, но хрупок при низких температурах. Блок-сополимер имеет большую ударопрочность и может использоваться при низких температурах [1].

Полипропилен обладает высокой химической стойкостью, имеет низкое влагопоглощение, характеризуется хорошими электроизоляционными свойствами в широком диапазоне температур, не токсичен и гораздо легче, чем большинство других пластиков, утилизируется.

Возможность получения широкой гаммы модифицированных материалов на основе полипропилена от смесевых термоэластопластов до высокомодульных высокопрочных пластиков, экологическая чистота продуктов, технологичность их переработки и утилизации способствуют тому, что полипропилен в последнее время вытесняет с мирового рынка пластмасс поливинилхлорид, АБС-пластики, ударопрочный полистирол. Еще один фактор, играющий в пользу полипропилена – цена. Во многих сферах применения полипропилена также удастся теснить другие полимеры, но уже не из-за экологии, а благодаря более низкой себестоимости. Именно этим полипропилен обязан своим достижением в сфере производства продукции так называемых инженерных пластмасс (электроника, автомобилестроение и т.д.) [1].

Одним из наиболее широко используемых методов модификации свойств полимеров является введение наполнителей, которые позволяют в широких пределах варьировать как технологические, так и эксплуатационные характеристики полимерных композиционных материалов (ПКМ), что в свою очередь позволяет получать изделия с заданными свойствами [2].

В данной работе объектами исследования явились: полипропилен (ПП) марки **21030 (ГОСТ 28996)**, получаемый ОАО «Томский нефтехимический комбинат», завод «Полипропилен» и модифицированная охра (далее – охра) Гавриловского месторождения Кемеровской области марки **O2 (ТУ 301-10-019-90)**.

Полипропилен и композиционные материалы с минеральными наполнителями на его основе находят применение как пластики конструкционного назначения [3], используемые в машиностроении в виде деталей различного оборудования (холодильников, пылесосов, вентиляторов), в автомобилестроении из полипропилена делают

амортизаторы, блоки предохранителей, детали окон, сидений, бамперы и детали кузова автомобилей и т.д. [1].

Изделия из конструкционных материалов характеризуются следующими основными эксплуатационными характеристиками:

- модуль упругости при растяжении (E_p) по ГОСТ 9550,
- предел текучести (σ_T) и разрушающее напряжение при растяжении (σ_p) по ГОСТ 11262,
- твердость по Бринеллю (НВ) по ГОСТ 4670,
- усадка (У) по ГОСТ 5689,
- теплостойкость по Вика (T_B) по ГОСТ 15065,
- водопоглощение (W) по ГОСТ 4650.

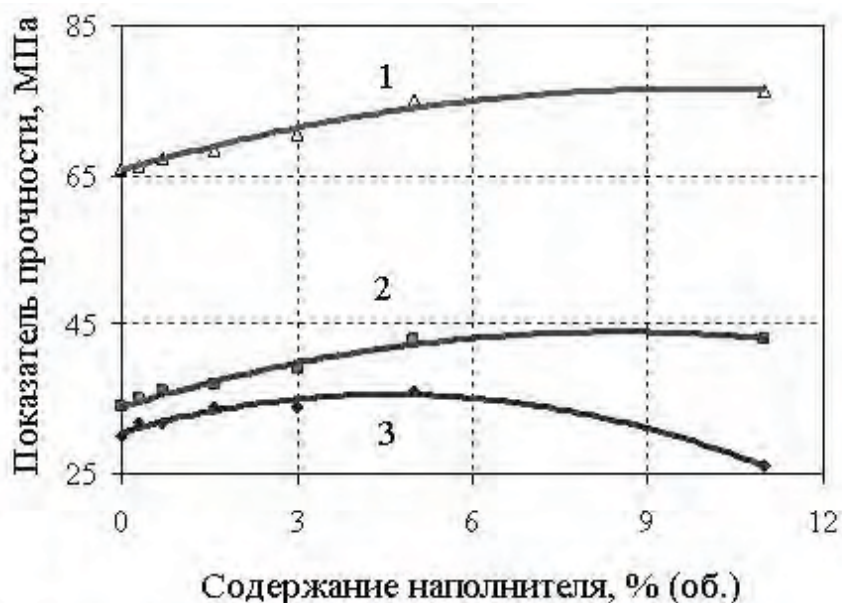
Литьевые изделия формовались из наполненного охрой ПП на литьевой машине ВЛ-40 по следующему режиму: температура литья 230 ± 5 С, температура формы 45 ± 3 С, давление литья 113 ± 5 МПа, выдержка под давлением 11 с, охлаждение изделия в форме 104 с.

Результаты исследования представлены на рис. 1-4. Погрешность измерения характеристик не превышала 5%.

Из приведённых данных следует, что введение охры приводит к изменению ряда эксплуатационных характеристик. Так, модуль упругости и разрушающее напряжение при разрыве, теплостойкость по Вика, твёрдость по Бринеллю монотонно возрастают с увеличением содержания охры (рис. 1, 2, 4). Усадка монотонно снижается с увеличением содержания охры (рис. 3). Экстремальная зависимость от содержания охры отмечена для показателя предела текучести ПКМ при разрыве (рис. 1). Водопоглощение практически не зависит от содержания охры, составляет для всех исследованных ПКМ 0,21 0,01% и определяется свойствами ПП.

Характер отмеченных зависимостей определяется взаимодействием наполнителя – охры и матрицы – ПП, изменением структуры полимера под действием дисперсного наполнителя [4].

Особенностью исследованных зависимостей является снижение разброса показателей, что особенно явно проявляется на зависимости усадки ПКМ от содержания наполнителя, представленной на рисунке 3 (график представлен совместно с доверительным интервалом). Отмечаемая зависимость позволяет проводить переработку ПКМ в изделия с более стабильными показателями качества по сравнению с изделиями из ненаполненного ПП.



1 – твёрдость по Бринеллю; 2 – предел прочности при разрыве; 3 – предел текучести при разрыве
Рисунок 1 – Влияние дисперсного наполнителя на прочностные показатели ПКМ

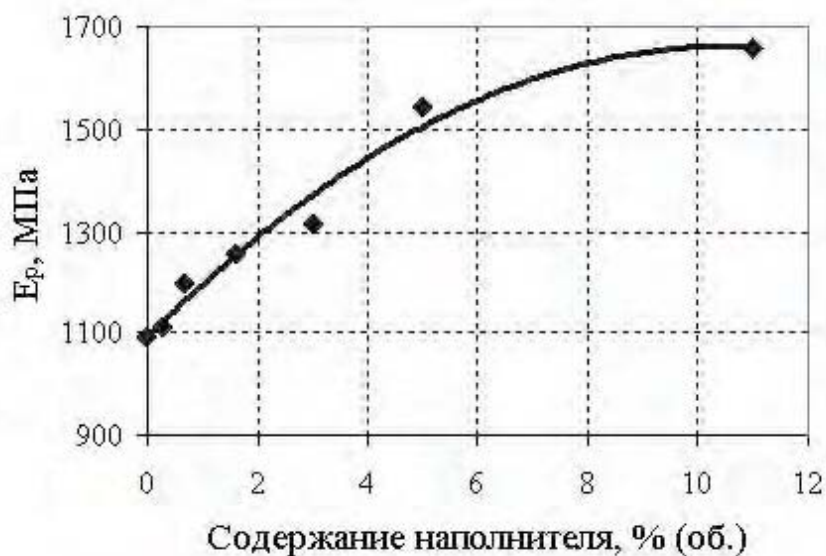


Рисунок 2 – Влияние дисперсного наполнителя на модуль упругости ПКМ

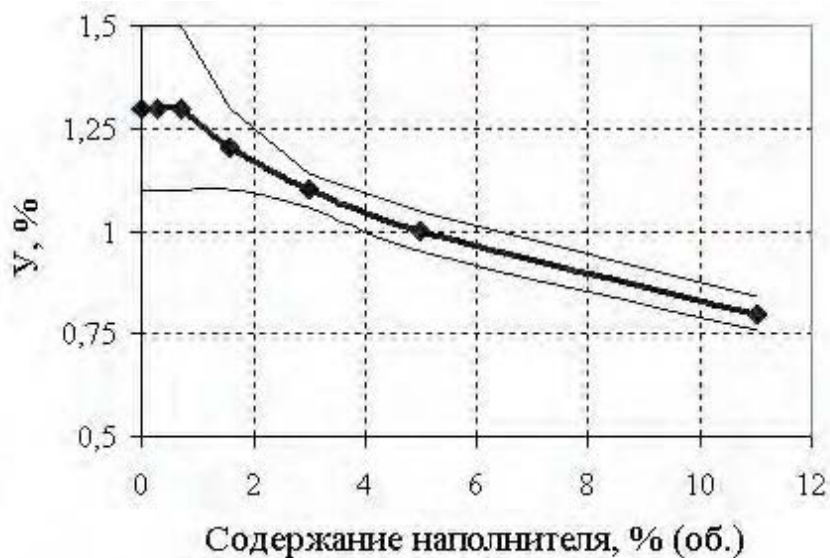


Рисунок 3 – Влияние дисперсного наполнителя на усадку ПКМ

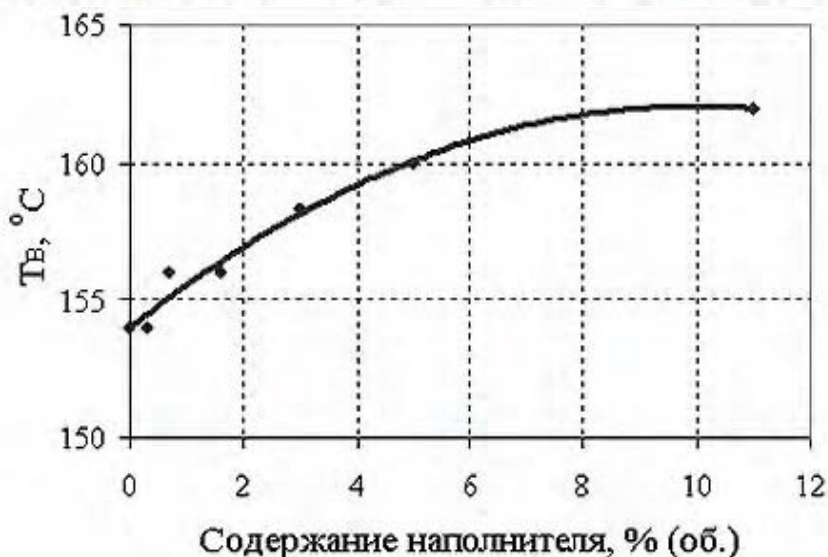


Рисунок 4 – Влияние дисперсного наполнителя на теплостойкость ПКМ

Приведенные данные описываются следующими адекватными экспериментальным данным зависимостями:

$$E_p = 1093,4 + 106,5\varphi - 4,99\varphi^2, \text{ МПа} \quad (1)$$

$$\sigma_p = 34,2 + 2,24\varphi - 0,13\varphi^2, \text{ МПа} \quad (2)$$

$$\sigma_T = 30,7 + 1,96\varphi - 0,22\varphi^2, \text{ МПа} \quad (3)$$

$$HВ = 65,7 + 2,2\varphi - 0,11\varphi^2, \text{ МПа} \quad (4)$$

$$Y = 1,3 - 0,08\varphi + 0,003\varphi^2, \% \quad (5)$$

$$T_B = 154 + 1,61\varphi - 0,08\varphi^2, \text{ C} \quad (6)$$

где φ - объемная степень наполнения, %.

Анализ вышеприведённых уравнений показывает, что для таких характеристик, как E_p , σ_p , НВ, оптимальное содержание наполнителя, обеспечивающее максимальное увеличение прочности составляет 8–10,7 % (об.), для σ_T – 5 % (об.), что необходимо учитывать при выборе области эксплуатации изделий из ПКМ с охрой.

Снижение усадки ПКМ по сравнению с ПП указывает на то, что изделия, получаемые из наполненного полимера, будут иметь более высокую точность.

Аналогичная зависимость эксплуатационных характеристик отмечается и для других минеральных наполнителей [5].

Таким образом, проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

- ПКМ на основе ПП и минеральных наполнителей, в т.ч. и с охрой, обладает повышенными прочностными свойствами, что расширяет области применения композиционных материалов в машиностроении и для производства деталей технического назначения;
- Литые изделия из ПКМ обладают более стабильными эксплуатационными характеристиками, что повышает надёжность формуемых изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полипропилен (ПП): основные свойства, область применения [Электронный ресурс] – М. 2011. Режим доступа : <http://plastinfo.ru/information/articles/52/> - - Загл. с экрана.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии: учеб. пос. / М. Л. Кербер [и др.]; под ред. А. А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
3. Калинин, Э. Л. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справ. изд. / Э. Л. Калинин, М. Б. Саковцева. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
4. Теряева, Т. Н. Эксплуатационные свойства композиций полипропилена и охры / Т. Н. Теряева, О. В. Касьянова // Пласт. массы. – 2009 – № 9. – С. 33-37.
5. Наполненные термопласты: Справочник / В. А. Пахаренко, В.Г. Зверлин, Е. М. Кириенко; Под общ. ред. акад. Ю. С. Липатова. – К.: Техніка, 1986. – 182 с.

УДК 621.7.06/07:658.511.5

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ППД

А.М. Фирсов, к.т.н., доц., С.С. Хамрителев, зав. лаборатории
Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ
им. И.И. Ползунова
Бийск, тел. +7(3854) 45-53-02, факс 45-53-02. E-mail: mrsi@bti.secna.ru

Приведены результаты исследований по изменению шероховатости и контактной жесткости поверхностей деталей из алюминиевых сплавов, обработанных выглаживанием с наложением и без наложения ультразвуковых колебаний.

Results of researches on change of a roughness and contact rigidity of surfaces of details from the aluminum alloys processed by deformation with imposing and without imposing of ultrasonic fluctuations are resulted.

В условиях эксплуатации машины или прибора воздействиям в первую очередь подвергаются поверхности их деталей. Износ трущихся поверхностей, зарождение усталостных трещин, коррозия и др. - это процессы, протекающие на поверхности деталей и в прилегающем к поверхности слое. Целенаправленное формирование поверхностного слоя с заданными свойствами в процессе изготовления деталей является одной из важнейших задач современного машиностроения [1].

Для облегчения машин ряд корпусных деталей изготавливаются из легких сплавов: алюминиевых, магниевых и др. Однако при применении этих сплавов не обеспечиваются требуемые эксплуатационные свойства поверхностей, работающих в качестве опорных поверхностей для подшипников валов, осей и других деталей, особенно при знакопеременных нагрузках. Установлено, что контактная жесткость поверхностей отверстий из этих материалов недостаточна и это приводит, во время эксплуатации, к увеличению диаметральных размеров, и к изменению точности взаимного расположения деталей, находящихся в контакте. Для повышения контактной жесткости опорных поверхностей отверстий их, обычно, армируют стальными втулками либо проводят дополнительную обработку, что приводит к усложнению технологического процесса. Большие возможности в обеспечении качества поверхности деталей машин имеют методы поверхностного пластического деформирования (ППД), которые широко применяются для повышения качества поверхностей стальных деталей. Однако применение этого метода для обработки деталей из

алюминиевых литейных сплавов ограничено, из-за отсутствия рекомендаций по режимам обработки и из-за неоднородности механических свойств заготовок из этих сплавов.

Из всех существующих видов ППД для исследований было выбрано выглаживание одиночным индентором, являющейся универсальным. С целью повышения эффективности процесса было предусмотрено наложение на инструмент ультразвуковых колебаний.

В качестве инструмента для поверхностного пластического деформирования были спроектированы и изготовлены несколько конструкций выглаживателей с индентором, выполненным в виде стального тора, один из таких выглаживателей представлен на рис. 1.

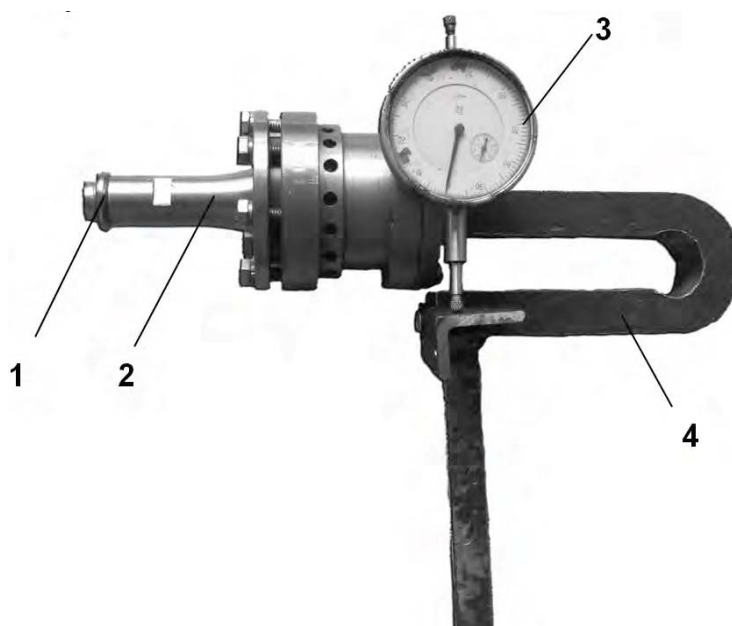


Рис. 1. Выглаживатель с упругим элементом в виде пружины:
1 – индентор, 2 – концентратор, 3 – индикаторная головка, 4 – упругий элемент

Индентор 1, в виде тора, крепится к концентратору 2 ультразвуковой головки. Материал индентора – сталь ШХ15 с твердостью (58-62)HRC. Для создания силы прижатия инструмента к поверхности детали используется либо пружина, либо упругий - образный элемент 4. Индикаторная головка 3 служит для определения силы прижатия инструмента к детали.

В качестве заготовок для исследования выбраны втулки из алюминиевого сплава АК12 (рис. 2).

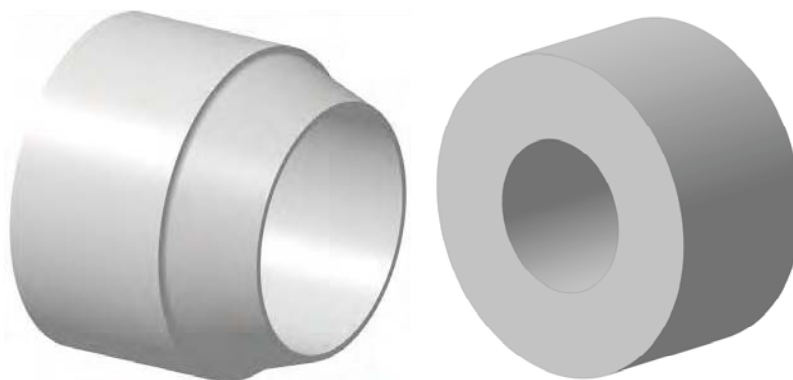


Рис. 2. Заготовки для исследований

Выглаживание заготовок производилось на двух участках: с наложением ультразвуковых колебаний и без них, так же оставался расточенный участок (рис. 3).

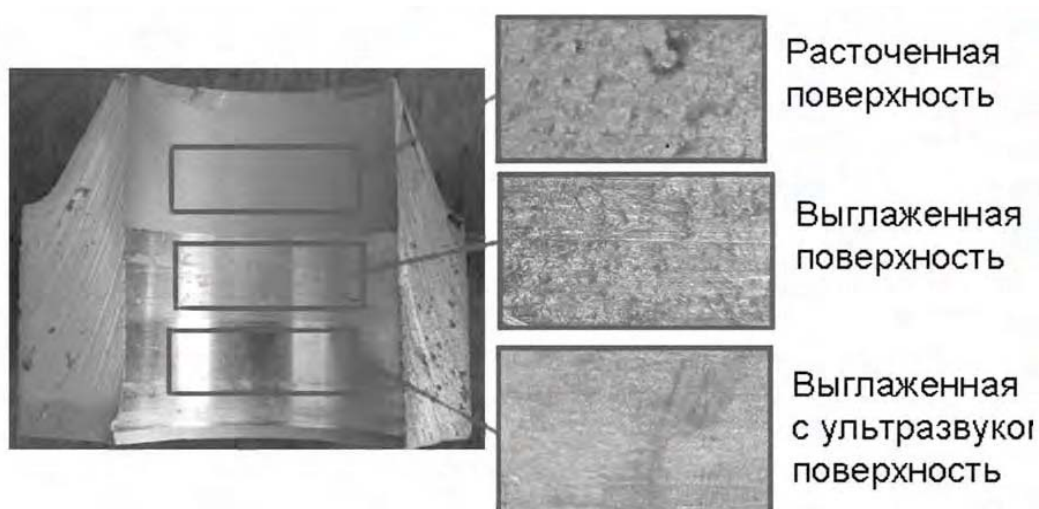


Рис. 3. Поверхности на детали после обработки

Измерение шероховатости и топографии поверхности производилось при помощи профилографа-профилометра модели 250 и прибора ugo NewView™ 730 (рис. 4). Для определения контактной жесткости использовался метод изложенный в [1].

В результате проведенных исследований получены зависимости контактной жесткости и шероховатости поверхностного слоя от режимов выглаживания, представленные на рисунках 5,6.

Установлено, что в результате выглаживания контактная жесткость выглаженных поверхностей по сравнению с расточенными повышается на 19-52%. С наложением ультразвука контактная жесткость повысилась всего на 13-23% относительно расточенных образцов. Эти результаты отличаются от результатов, полученных

другими исследователями [2] для стальных деталей, где при наложении ультразвуковых колебаний упрочнение поверхности повышается.

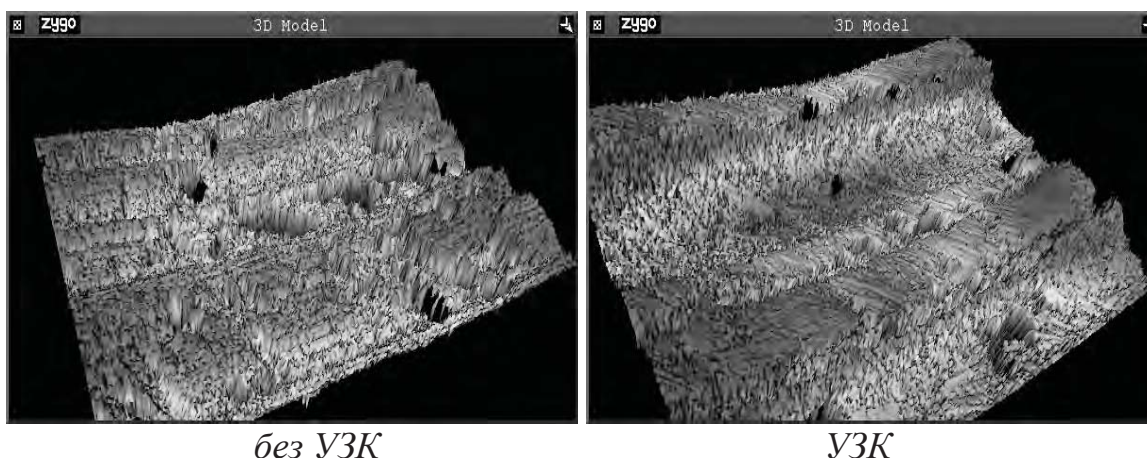


Рис. 4. Топография поверхности исследуемых образцов

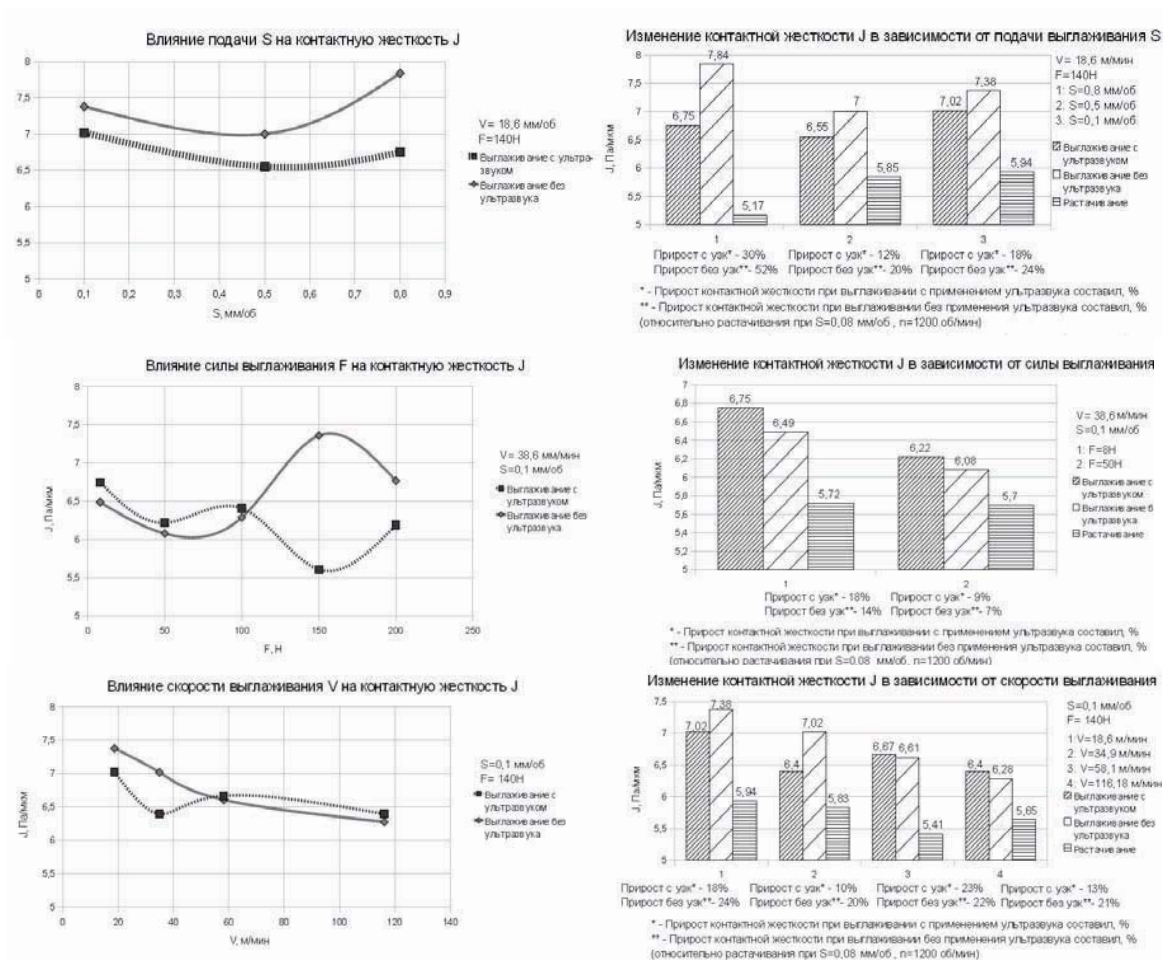


Рис. 5. Зависимость контактной жесткости от подачи, силы и скорости выглаживания

В результате выглаживания с ультразвуком удалось снизить шероховатость до **Ra 0,3**; после выглаживания без ультразвука шероховатость снизилась до **Ra 0,7**.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены зависимости качества поверхностного слоя деталей из алюминиевых сплавов от режимов обработки деталей ППД с УЗК и без наложения колебаний, обеспечивающие повышение эксплуатационных характеристик изделий.

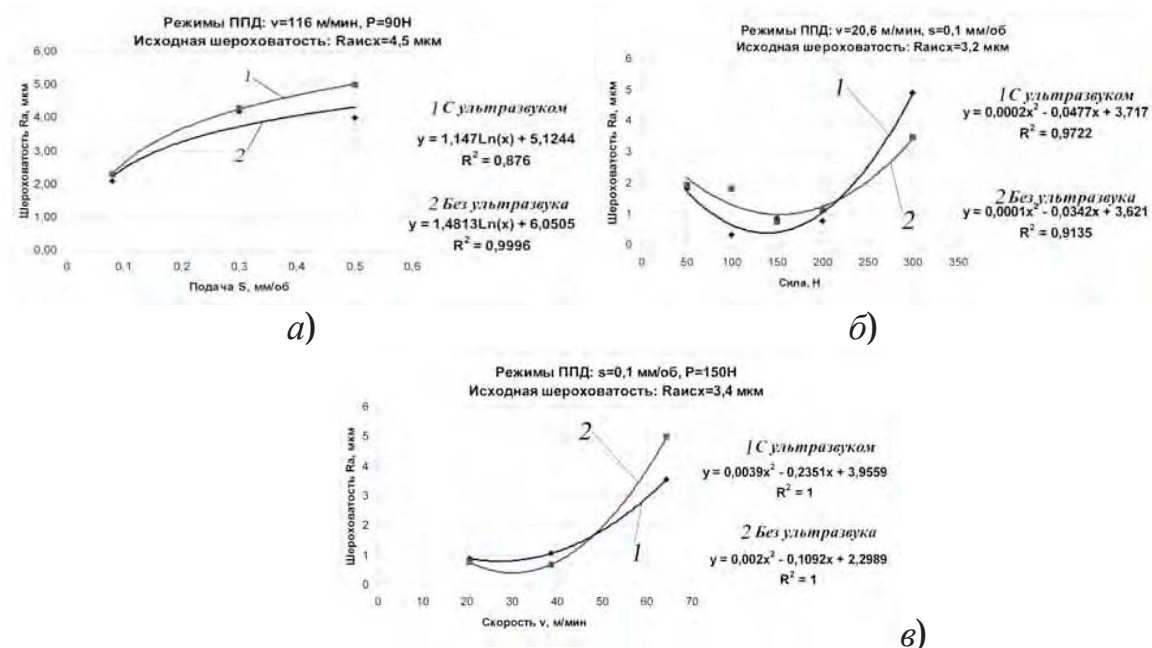


Рис. 6. Изменение шероховатости поверхности от подачи - а, силы - б и скорости - в выглаживания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов А.Г., Федоров В.П., Горленко О.А. и др. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / Под общей ред. А.Г.Суслова.- М.: Машиностроение, 2006. – 448с.
2. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технол. методы упрочнения. В 2 т. Т.2. – М.: «Л.В.М.-СКРИПТ», «Машиностроение», 1995.- 688с.

УДК 681.518.5:621.9.048.6(079.2)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАСПЫЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ МЕТАЛЛОВ

В.Н. Хмелев, д.т.н., С.Н. Цыганок, к.т.н., С.С. Хмелев, А.А. Ромашкин
Бийский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО «Алтайский
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
Бийск, тел. +7(3854) 43-25-81, 43-25-70.

E-mail: vnh@bti.secna.ru, grey@bti.secna.ru, ssh@bti.secna.ru,
raa@bti.secna.ru

Описан способ введения ультразвуковых колебаний при распылении расплавов металлов, применяемый в порошковой металлургии. Приведены результаты моделирования методом конечных элементов распределения температуры ультразвуковой колебательной системы при различных температурах распылительной форсунки и использовании жидкостного охлаждения.

Method of ultrasonic vibrations in action at sputtering molten metals in powder metallurgy is described. Modeling results by the finite element method of ultrasonic vibratory system temperature distribution at various temperatures of a spray nozzle and using of liquid cooling are provided.

В порошковой металлургии существует несколько разнообразных способов получения гранулированных порошков из металла: измельчение твердых материалов; измельчение жидких металлов; химико-металлургический метод; электролиз; карбонильный процесс; распыление жидких расплавов металлов ультразвуковыми колебаниями. Ультразвуковой метод диспергирования жидких металлов позволяет получать высокодисперсные порошки, однородные по составу и без посторонних примесей, требуемой формы и др. Для изготовления изделий высокой плотности используют полученные в ультразвуковом поле тонкодисперсные активные порошки, размер частиц которых составляет **0,1 – 2,0** мкм.

Ультразвуковое распыление (гранулирование) расплава можно реализовать путем подведения ультразвуковой энергии или через жидкий металл или через газовую фазу. При реализации первого способа осуществляется распыление металла в тонком слое на колеблющейся поверхности. Такой способ характеризуется высокой степенью однородности получаемых частиц, однако ввиду малости колеблющейся поверхности обеспечить высокую производительность распыления практически невозможно.

При реализации второго способа распыления диспергируют струю расплава в специальных распылительных камерах с помощью трубчатых пневмоакустических преобразователей ультразвука, обеспечивая при этом высокую производительностью при меньшей степени однородности [1-2].

Для объединения достоинств и устранения недостатков обоих способов было предложено реализовать наложение механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности на корпус распылительной форсунки в процессе газового распыления расплава металлов. Созданная конструкция колебательной системы приведена на рисунке 1 и представляет собой пьезоэлектрическую колебательную систему, выполненную по классической схеме преобразователя Ланжевена (два пьезоэлектрических элемента между частотно-понижающими накладками) со ступенчато - радиальным концентратором – усилителем ультразвуковых колебаний, соединяемым с распылительной форсункой.

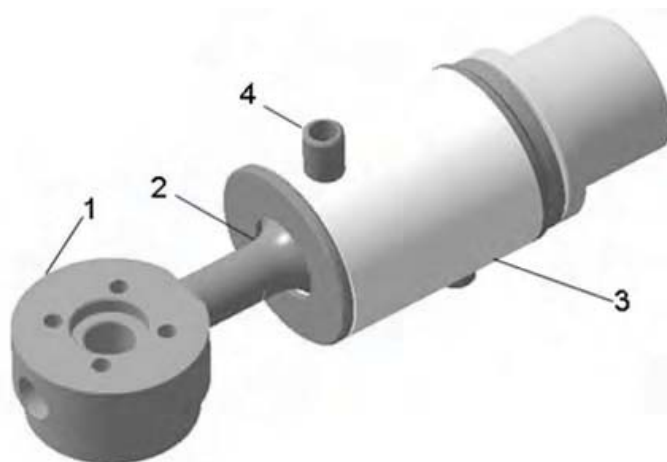


Рис. 1. Конструкция ультразвуковой колебательной системы:
1 – распылительная форсунка; 2 – концентратор ультразвуковых колебаний; 3 – охлаждающий объем; 4 – патрубки для отвода охлаждающей жидкости

Разработанная ультразвуковая колебательная система работает следующим образом. При подведении к электродам пьезоэлементов электрического напряжения, в последних возникают механические колебания вследствие обратного пьезоэффекта. За счет частотно-понижающих отражающей и излучающей накладок в электроакустическом преобразователе создаются механические колебания ультразвуковой частоты с частотой около 20 кГц и возникает знакопеременная механическая сила. Для увеличения амплитуды колебаний и согласования электроакустического преобразователя с

распылительной форсункой и распыляемым металлом применяется резонансный трансформатор скорости – ступенчато-радиальный концентратор, рассчитанный на резонансную частоту электроакустического преобразователя. Далее механические колебания подаются на корпус распылительной форсунки, через боковые отверстия которой подается расплав металла с транспортным агентом – горячим воздухом. Ультразвуковые колебания стенок распылительной форсунки способствуют интенсификацию процесса распыления: уменьшается размер гранул, увеличивается равномерность распыления – получаемые гранулы становятся более однородные.

Характерной особенностью предложенной конструкции колебательной системы является применение промежуточного бустерного звена между пьезопреобразователем и концентратором и использование проточного объема для охлаждения ультразвуковой колебательной системы в процессе эксплуатации. Необходимость охлаждения обусловлена невозможностью эксплуатации пьезоэлектрического преобразователя при температурах более **100–150** градусов Цельсия и необходимостью его герметизации при помощи резиновых и фторопластовых уплотнений, дополнительно выполняющих функции акустической развязки. Такое решение должно обеспечить компенсацию нагрева, распространяемого за счет теплопроводности при подаче расплава металла через распылительную форсунку.

Для проверки правильности предложенного технического решения была изготовлена ультразвуковая колебательная система и электронный генератор для ее питания. Внешний вид оборудования показан на рис. 2.



Рис. 2. Ультразвуковое оборудование для обработки расплавов металлов

Были проведены эксперименты по исследованию тепловых режимов работы созданной ультразвуковой колебательной системы – распределению температуры вдоль ее осевой линии. Распылительная форсунка при этом нагревалась до температуры 550 С, измерялась температура с помощью термопары в характерных точках. Поскольку дальнейшее увеличение температуры распылительной форсунки обеспечить в лабораторных условиях затруднительно, дополнительно было получено распределение температур посредством моделирования методом конечных элементов в программно-прикладном пакете ANSYS [3].

Моделирование производилось в следующих условиях:

- по заданному значению температуры рассчитывалось количество теплоты, подводимое к распылительной форсунке;
- указывалось принудительное охлаждение части концентратора посредством конвекции (жидкостное охлаждение);
- указывалось принудительное охлаждение пьезоэлектрических элементов посредством конвекции (воздушное охлаждение).

Сравнительные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сводные результаты моделирования и эксперимента

	Температура концентратора, °С	Температура распылительной форсунки, °С	Температура объема, °С
Эксперимент	32	550	15
Модель	30	547	15

Полученные результаты свидетельствуют об адекватности модели и возможности применения моделирования для исследования распределения температуры при нагреве распылительной форсунки до рабочих (900-1000 °С) и проектных (до 2500 °С) температур (рис. 3).

Таким образом, применение проточного объема для охлаждения обеспечило рабочее температурное поле ультразвуковой колебательной системы при нагреве распылительной форсунки до 2700 °С.

В настоящее время разработанное ультразвуковое оборудование проходит технологические испытания с целью внедрения в процесс производства порошка алюминия на ООО «СУАЛ-ПМ» г. Шелехов, Иркутская область.

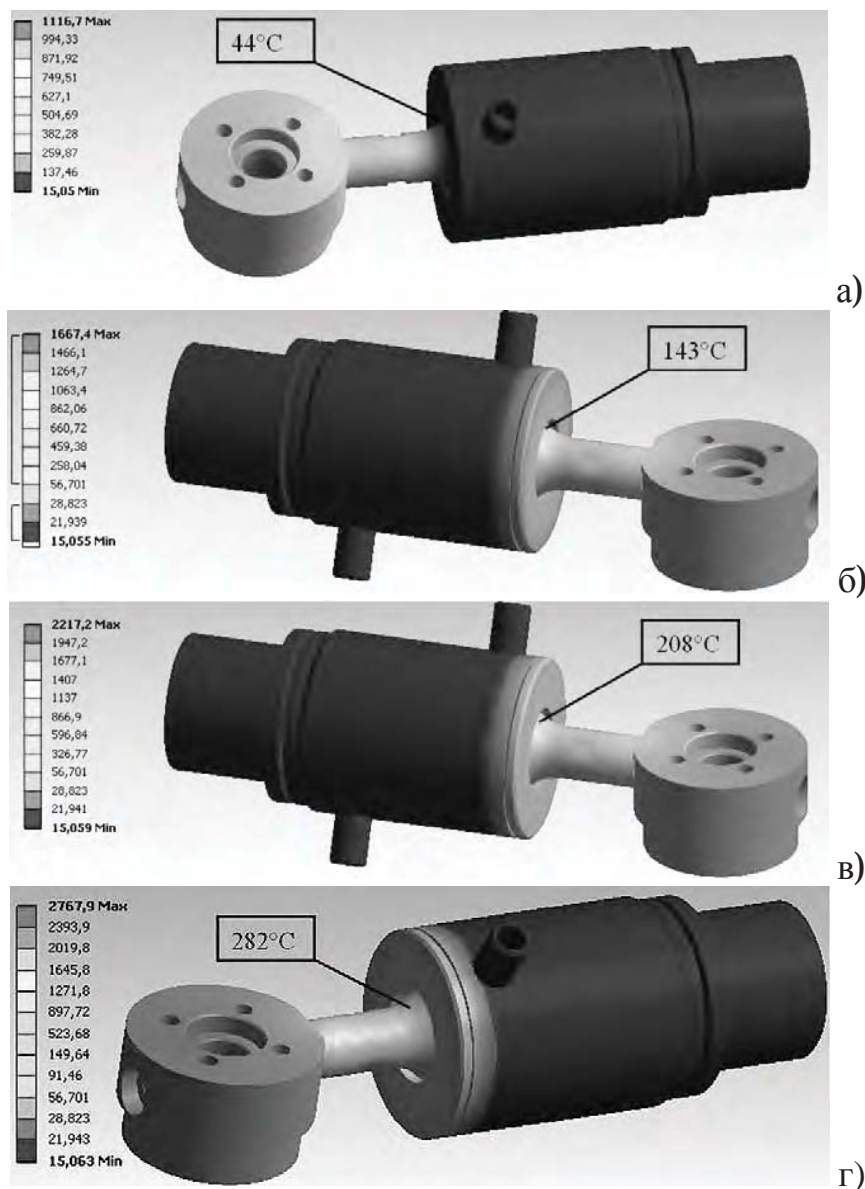


Рис. 3. Распределение температур при нагреве распылительной форсунки до различных температур: а – 1100 °С, б – 1600 °С, в – 2200 °С, г – 2700 °С

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трефилов В.И. Порошковая металлургия. История. Современное состояние. Перспективы [Текст] / В.И Трефилов, И.Н Францевича – М.: 2006. – 255 с.
2. ООО «Центр ультразвуковых технологий» [Электронный ресурс] / Ультразвуковое распыление металлов и сплавов. Режим доступа: <http://ultrasonic.com/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti/39-ultrazvukovoe-raspylenie-metallov-i-splavov>
3. Балабаев, С.М. Метод граничных элементов для пьезоэлектрических элементов [Текст] / С.М. Балабаев, Н.Ф. Ивина – Акустический журнал, 1996. – Т. 42. – №2. – С. 172-178.

УДК 621.793.72

УПРОЧНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СВЕРХЗВУКОВЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

В.Н. Хромов, проф., д-р техн. наук, Е.М. Свиридов, аспирант
Орловский государственный аграрный университет (ОрелГАУ)
E-mail: chrom@orel.ru; behsbesh@mail.ru

В статье представлена технология сверхзвукового электродугового напыления, как одной из наиболее перспективных технологий газотермического напыления.

This article is about the ultrasonic arc spray technology as one of the most perspective technology of the thermal spraying.

Для ремонта и восстановления работоспособности машин затрачиваются большие материальные и трудовые ресурсы. Это объясняется низкой прочностью деталей машин и невысокой износостойкостью рабочих поверхностей деталей. Часто традиционные способы упрочняющих технологий, например, термическое или химико-термическое упрочнение, оказываются недостаточно эффективными при решении задач создания новой техники. Это приводит к тому, что в последнее время стали появляться методы поверхностной обработки или нанесения поверхностных покрытий, в основе которых лежат приемы, позволяющие интенсифицировать многие физико-химические процессы за счет использования природы материалов и особенностей протекающих в них структурных превращений.

По сравнению с другими способами электродуговое напыление имеет ряд существенных преимуществ: высокую производительность нанесения покрытия – до 45 кг/ч (при дуговой наплавке порошковой проволокой с помощью прибора ЭДМ-9ШД – до 18 кг/ч); позволяет получать износостойкие покрытия толщиной от 0,1 до нескольких миллиметров; не требует значительных тепловложений (температура 100...120 С), что исключает деформацию деталей. Способ даёт возможность наносить покрытия с заданными свойствами на детали, изготовленные из различных материалов, характеризуется простотой и технологичностью. Нанесенные покрытия обладают хорошей маслостойкостью. Электродуговое напыление характеризуется низкой удельной себестоимостью.

Наличие пористости создает благоприятные условия для работы подвижных соединений. При исследовании пористых материалов на трение установлено, что они обладают самосмазываемостью. Это

объясняется различием в коэффициентах расширения смазки и материала детали. С повышением температуры трущихся поверхностей масло за счет большего объемного расширения выступает из пор и капилляров и смазывает поверхности трения. Особенно желателен этот эффект в начальный период работы соединения, когда между поверхностями трения находится мало смазки и возможно схватывание трущихся поверхностей. Также ценным свойством является способность напыленных покрытий длительное время работать без смазки. Например, шейки вала с напыленным стальным покрытием толщиной 0,5 мм при прекращении доступа смазки работают до момента заедания в 14 раз дольше, чем ненапыленные шейки из закаленной стали. Кроме того, заедание напыленных шеек происходит при нагрузках, в 3...4 раза превышающих нагрузки, вызывающие заедание шеек из закаленной стали. Это объясняется тем, что напыленный слой имеет низкий модуль упругости, примерно 70000 Н/мм², тогда как у литой стали – 200000 Н/мм².

Электродуговое напыление применяется для восстановления изношенных поверхностей деталей цилиндрической и плоской формы из чугуна, высокоуглеродистых, высоколегированных сталей и цветных металлов, работающих в условиях трения-скольжения, смазки и неподвижных посадок, а также для устранения дефектов (трещин, литейных раковин).

Для защиты от коррозии трубы, наружные и внутренние поверхности резервуаров и сварные металлоконструкции различного назначения напыляют алюминием, цинком и кадмием. Для повышения жаростойкости сталь напыляют алюминием с последующим отжигом (алитирование). Напыление поверхностей деталей медью производится для их защиты от науглероживания при цементации и в качестве подслоя при получении электролитических декоративных покрытий.

Однако новый метод сверхзвукового электродугового напыления не нашел широкого внедрения в производство в связи с тем, что не были проведены глубокие теоретические и экспериментальные исследования получаемых покрытий.

Успешное моделирование сложных существенно нелинейных термомеханических процессов, протекающих в деталях при восстановлении сверхзвуковым электродуговым напылением обусловлено решением двух основных задач.

Сущность первой из них состоит в выборе и конкретизации определяющих уравнений материала, способных адекватно описывать эффекты пластичности и ползучести при соответствующих историях температуры и деформации, а также учета температурной зависимости теплофизических характеристик материала.

Вторая задача состоит в разработке эффективных численных подходов к решению соответствующих краевых задач термомеханики.

Подход к моделированию процесса восстановления деталей машин, основанный на модели вязкопластичности Боднера-Партома и методе конечных элементов, развит в работах [1-2]. Вместе с тем, в настоящее время еще не изучены достаточно глубоко механизмы и закономерности направленного пластического формоизменения, лежащие в основе данной технологии. Можно взять за основы исследования **W. Tillmann** и **J. Nebel** в работе [4], где они описали ход и результаты исследований с электродуговым напылением сплава **WC-FeCSiMn** на образец из стали и провести аналогичные испытания для сверхзвукового электродугового напыления. Недостаточно исследованы зависимости временных и остаточных характеристик напряженно-деформированного состояния детали от технологических и геометрических параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сенченков И.К., Козлов В.И., Матвиенко О.И., Хромов В.Н. и др. Конечно-элементный анализ и оптимизация процесса восстановления деталей машин типа полый цилиндр методом термопластического деформирования // Пробл.прочности. - 1996. - №3.- С. 73-82.
2. Хромов В.Н., Сенченков И.К. Моделирование процесса термопластического деформирования для расчета распределения остаточных напряжений и деформаций // Металловедение и термическая обработка металлов.-1999, № 5. - С.24-28.
3. Хромов В.Н. // Научные проблемы и перспективы развития, ремонта, обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей / Всерос. науч.-исслед. технол. ин-т ремонта и эксплуатации маш.-тракт. парка.-Москва, 2004. - С. 59-63. Шифр 05-776.
4. Tillmann W. and Nebel J. Analysis of the Mechanical Properties of an Arc Sprayed WC-FeCSiMn Coating: Compression, Bending, and Tension Behavior // Journal of Thermal Spray Technology. Volume 20(1-2) January 2011- p. 317-327.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

Ю.С. Чёсов, к.т.н., доцент, Е.А. Зверев, ассистент,
П.В. Трегубчак, аспирант, В.С. Внуков, аспирант
Новосибирский государственный технический ун-тет
Новосибирск, тел. +7(383)346-17-79, факс 346-17-97.
E-mail: egor_z@ngs.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований качества износостойких плазменных покрытий после финишной механической обработки.

Results of experimental researches of quality of wear-resistant coatings after finishing machining were received.

Проведенные нами ранее [1] металлографические исследования износостойких покрытий из порошкового высокохромистого чугуна марки ПГ-С27 показали, что в используемом диапазоне режимов плазменного напыления формируется структура, модификации которой заметно различаются по таким показателям качества, как пористость и размеры пор, несплошность границы между основным металлом и покрытием, степень деформации и количество не расплавившихся частиц (их мы условно назвали структурами типа А, Б и В). Каждой разновидности структуры покрытий присущ свой интервал режимов напыления.

Целью настоящих исследований является установление влияния режимов финишной механической обработки (шлифования) на качество поверхности покрытий определение уровня их эксплуатационных свойств.

В качестве образцов в экспериментах использовали ступенчатые валы из стали 20 с участком напыленной поверхности диаметром 30 мм и длиной 100 мм. Покрытия наносили на установке "Киев-7" послойно за три прохода плазмотрона до толщины 600..630 мм.

Финишная механическая обработка покрытий производилась на круглошлифовальном станке модели 3Б12. Инструмент – абразивный круг из карбида кремния зеленого марки 64С80ПСМ28Б1 (ГОСТ 21445). При диаметре шлифовального круга, равном 300 мм, обеспечивается рекомендуемая при шлифовании плазменных покрытий скорость резания – 35 м/с. Скорость продольного перемещения (подачи) стола составляла 120 мм/мин. В качестве варьируемых режимных параметров приняты глубина резания (осуществляемая за счет поперечной подачи шлифовальной бабки) (0,05...0,15 мм) и линейная скорость вращения

заготовки V_0 (12...27 м/мин) при толщине припуска в пределах 0,2...0,25 мм. Снятие основного припуска производилось за несколько продольных перемещений стола с заготовкой (в зависимости от глубины резания). Завершалась обработка процессом выхаживания: снятие металла покрытия происходило за счет выборки упругих отжатых детали. Эти режимные условия были установлены нами на основе предварительных экспериментов с учетом рекомендаций [2]. Измерение шероховатости производили на базе комплекса изучения топографии модели V 7300 с дополнительным изучением характера поверхности на растровом микроскопе модели V 50 V .

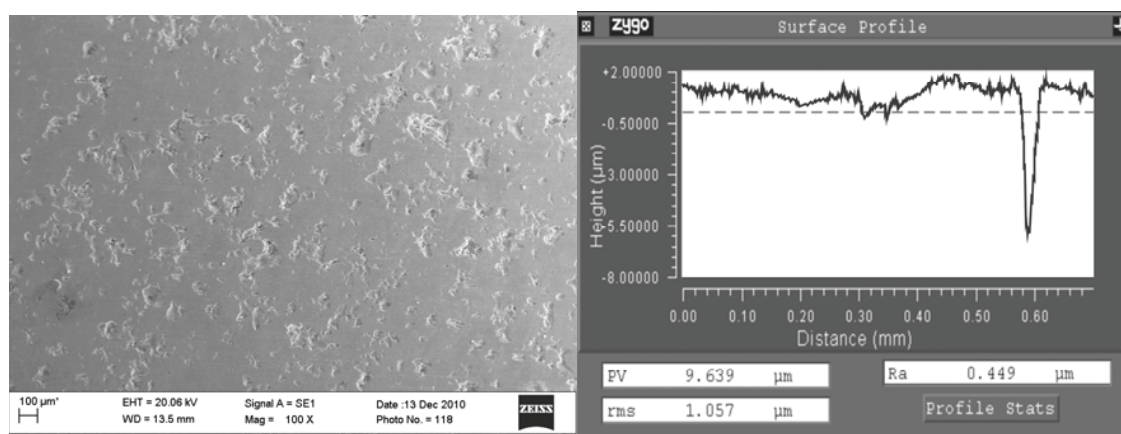
Очевидно, что механизм формирования микрорельефа поверхности покрытий при шлифовании заметно отличается от процессов, протекающих при обработке однородных материалов. В работе [2] отмечено, что главенствующая роль в формировании шероховатости в этом случае принадлежит таким дефектам, как поры. При внедрении абразивных зерен в покрытие именно они являются концентраторами напряжений и оказывают существенное влияние на процесс развития микротрещин.

На рис. 1 приведены снимки поверхностей и соответствующие профилограммы плазменно напыленных покрытий.

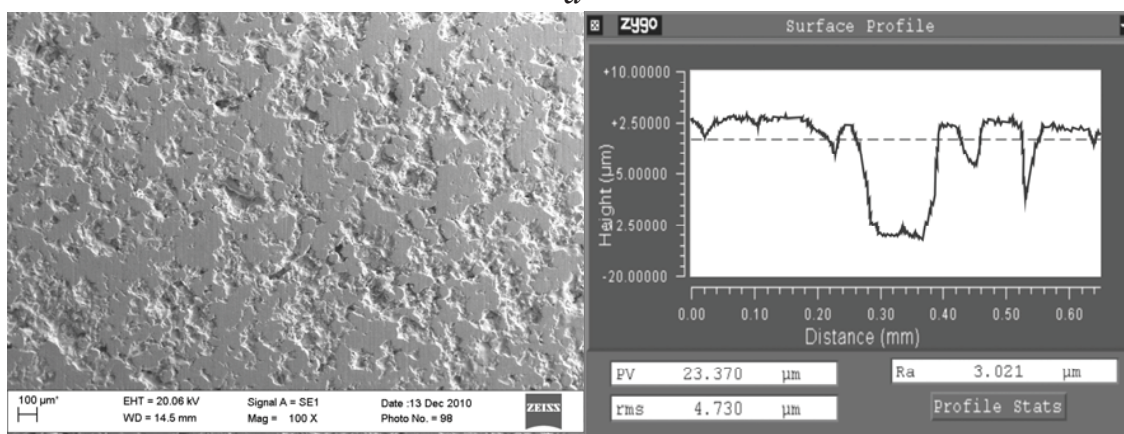
Характерной особенностью покрытий является наличие открытой пористости. Несомненно, что количество и размер пор отражаются на величине шероховатости поверхности. На профилограммах поверхности отчетливо видны "провалы", обусловленные пористостью. В целом обработанная поверхность покрытий имеет нерегулярный микрорельеф. Следует также отметить, что помимо пор характер шероховатости зависит и от таких показателей качества структуры, как степень расплавленности порошковых частиц и прочность когезионной связи между ними. Анализ результатов показывает, что наилучшими показателями качества обладают образцы со структурой покрытий типа А, наихудший вариант – структура типа В, а структура типа Б занимает промежуточное положение.

Для покрытий данного функционального назначения износостойкость является, безусловно, самым важным эксплуатационным свойством, уровень которого напрямую отражается как на работоспособность конструкций в целом, так и на сохранении геометрических размеров отдельных деталей. При испытании покрытий на изнашивание в условиях трения скольжения использована схема "врезающегося индентора". Она позволяет создавать довольно жесткие условия нагружения. В установке пара трения состоит из вращающегося индентора (твердый сплав марки ВК8) и неподвижно закрепленного

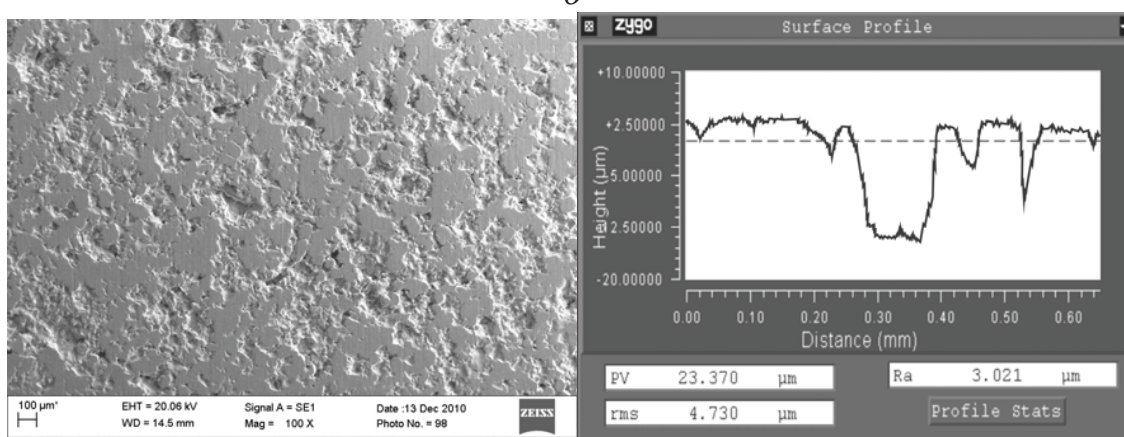
образца с покрытием. Нагрузка на пару трения составляла 20 Н. На всех образцах выполняли 5 циклов изнашивания при различном пути трения.



а



б



в

Рис. 1. Поверхности покрытий после шлифования и соответствующие им профилограммы: а) структура типа А; б) структура типа Б; в) структура типа В

В качестве интегральной количественной характеристики износостойкости использовали величину объемной потери образцов,

которая вычислялась по геометрическим параметрам лунки износа. Результаты сравнительных испытаний покрытий на изнашивание в условиях трения скольжения показаны на рис. 2.

Рабочие поверхности деталей машин в процессе эксплуатации, как правило, испытывают многократное воздействие циклических нагрузок, в результате чего на них образуются ямки выкрашивания (так называемые питтинги) и трещины, снижающие долговечность покрытий. Испытания на контактную выносливость проводили в соответствии с ГОСТ 25.501 по схеме нагружения "пульсирующий контакт". Контртелом (индентором) служил шарик из закаленной стали марки ШХ15 диаметром 2,5 мм. На установке реализовано синусоидальное симметричное циклическое нагружение с частотой 24 удара в секунду и усилием, приложенным к индентору, равным 400 Н. В исследованиях измеряли пятно контакта при фиксированном количестве циклов нагружения. Площадка контакта представляла собой эллипс, размер диагоналей которого оценивался при помощи металлографического микроскопа. За критерий разрушения был принят момент интенсивного питтингообразования и появления усталостных трещин в пятне контакта.

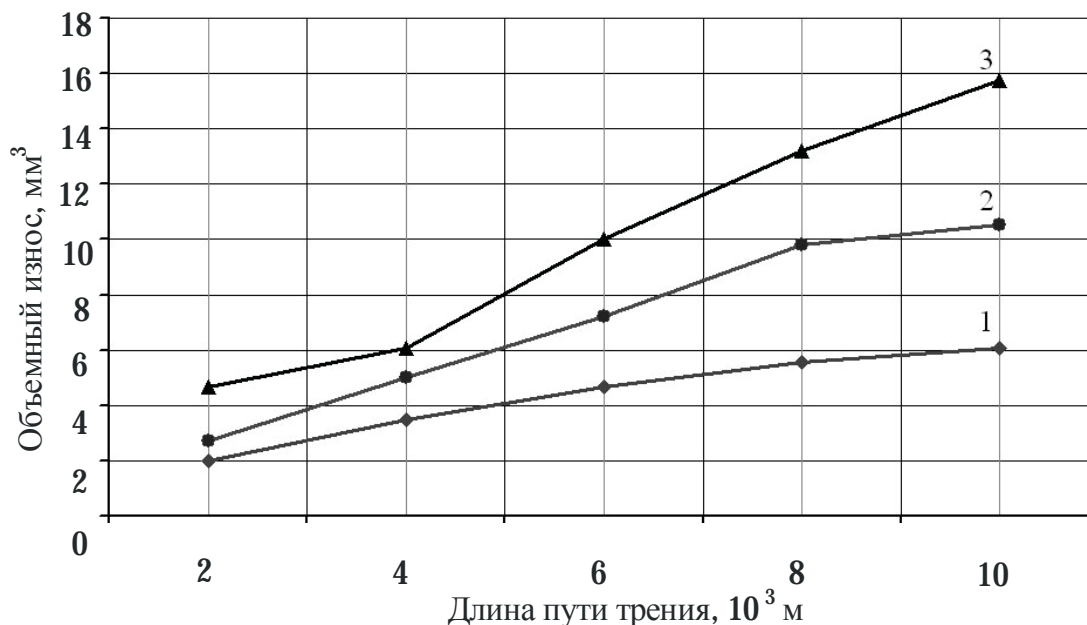


Рис. 2. Кинетика изнашивания образцов с покрытиями:
1 – структура типа А; 2 – структура типа Б; 3 – структура типа В

По результатам экспериментов были построены кривые зависимости среднего диаметра пятна контакта (для партии из 5-ти одинаковых образцов) от числа циклов нагружения в

полулогарифмических координатах. Результаты исследования образцов с покрытиями на контактную выносливость представлены на рис. 3.

Эксперименты показали, что наибольшим уровнем износостойкости и контактной выносливости обладают образцы со структурой типа А, поскольку ей присуща наименьшая пористость. Поры уменьшают реальное сечение покрытия и одновременно являются концентраторами напряжений. Эти два фактора заметно снижают прочность и трещиностойкость поверхностных слоев. Именно этот вариант структуры и может быть рекомендован к использованию в промышленности при упрочнении и восстановлении деталей машин металлургического, энергетического, сельскохозяйственного и другого оборудования, работающего в условиях абразивного изнашивания при температурах до 500°C с умеренными ударными нагрузками.

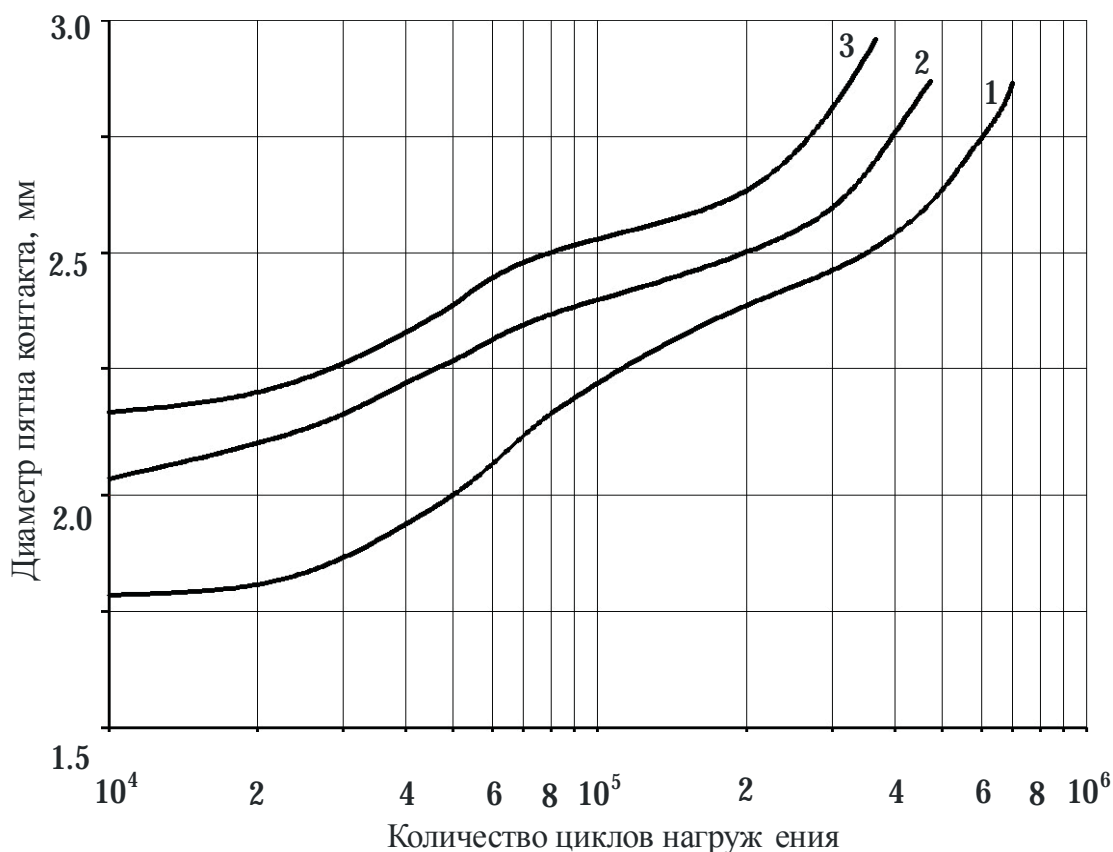


Рис. 3. Зависимость среднего диаметра пятна контакта от числа циклов нагружения: 1 – структура типа А; 2 – структура типа Б; 3 – структура типа В

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009 – 2013 годы, мероприятие 1.3.1. (проект П1189).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чёсов Ю.С., Зверев Е.А., Трегубчак П.В. Влияние режимов плазменного напыления на структуру износостойких покрытий // Инновации в машиностроении: Материалы 1-й Международной науч.-практ. конф. – Бийск: Изд-во АГТУ им. И.И. Ползунова, 2010. – С. 144-147.
2. Ситников А.А. Технологическое обеспечение точности изготовления деталей с покрытиями. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2004. – 198 с.



СЕКЦИЯ

**ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕНЕДЖМЕНТ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**



УДК 658.51

РИСК МЕНЕДЖМЕНТ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.П. Бакайкина, Е.В. Устинова
Кузбасский государственный технический университет
E-mail: ekaterina_usti@mail.ru

В статье рассмотрены проблемы управления рисками, становление и развитие риск-менеджмента на российских предприятиях, который применяется для эффективного управления рисками на предприятии.

In article problems of management by risks, formation and risk management development at the Russian enterprises which is applied for effective by managements of risks at the enterprise are considered.

Проблема управления рисками стара как мир. Риск окружает нас во времени и пространстве, является сложной неразрешимой и неизбежной частью нашей жизни. Особенно эта проблема актуальна сегодня, когда российские предприятия вне зависимости от формы организации (ОАО, ЗАО, ООО и др.) и собственности (государственная, частная и др.) в процессе своей финансово-хозяйственной деятельности подвержены рискам, присущим странам с рыночной экономикой. Если еще в недалеком прошлом (в советский период) государство практически принимало на себя все риски предприятий и организации, то в рыночной России ситуация в корне изменилась — хозяйствующий субъект вынужден самостоятельно принимать меры по разрешению или снижению степени влияния предпринимательских и финансовых рисков. Согласно данным Госкомстата РФ удельный вес убыточных предприятий и организаций в российской экономике в 2002 году составлял 15,3%, а в 2010 г. уже составил 39,8%, то есть вырос в 2,6 раза. В промышленности удельный вес убыточных предприятий и организаций в 2002 г. составлял всего 7,2% от общего числа предприятий, а к 2010 г. уже 39,7%, то есть эта доля выросла в 5,5 раза, в сельском хозяйстве удельный вес убыточных предприятий за этот период вырос в 3,5 раза, в строительстве — в 4,9 раза, на транспорте — в 2,1 раза, в связи — в 2,4 раза, в торговле и общественном питании — в 2,0 раза, в жилищно-коммунальном хозяйстве — в 1,7 раза. Это наглядно демонстрирует то, насколько актуальна для российских предприятий и организаций проблема обеспечения финансовой устойчивости и платежеспособности, которая напрямую коррелируется с проблемой организации адекватной системы управления рисками и рисковыми вложениями капитала. Поэтому именно эта

система считается необходимым элементом более общей системы эффективного менеджмента на предприятии.

Создание собственной системы эффективного менеджмента на предприятии (вне зависимости от того крупное или малое это предприятие) в условиях развивающихся рыночных отношений в России возможно лишь в направлении организации риск-менеджмента. В практической деятельности российских предприятий последних лет (особенно у финансовых компаний) наблюдается стремление к организации управления рисками. В этой связи очень важным на наш взгляд является:

- во-первых, полный учет внешних и внутренних факторов, влияющих на характер организации риск-менеджмента на предприятии;
- во-вторых, выделение приоритета отдельных направлений развития риск-менеджмента для конкретного предприятия (с учетом профиля деятельности: финансовое или нефинансовое).

В числе внешних факторов, определяющих организационную основу риск-менеджмента на предприятии (изменчивость цен, глобализация товарных и финансовых рынков, налоговая асимметрия, технологические достижения и др.). Это приведет к росту для российских товаропроизводителей конкуренции, как на внешних, так и на внутренних (российских) товарных рынках, что неминуемо отразится на росте степени проявления различных предпринимательских и финансовых рисков в их деятельности. На организацию риск-менеджмента на конкретном предприятии естественно влияют и факторы внутреннего порядка, такие как потребность в ликвидности, нерасположенность к риску, агентские издержки и другие.

Следует отметить, что внешние и внутренние факторы организации риск-менеджмента на предприятии взаимосвязаны, то есть имеется определенная корреляция между ними. Это связано с тем, что и сами различные виды рисков взаимосвязаны и взаимообусловлены. Так, в частности усиление глобализации в связи с вхождением России в ВТО может повлечь за собой увеличение налоговой асимметрии, вызванное протекционистскими действиями государства в отношении отдельных отраслей и производств отечественной экономики. В качестве другого примера может служить влияние фактора роста технологической оснащенности на усиления фактора изменчивости цен, а также влияние последнего на рост потребности в ликвидности.

Формы и методы организации риск-менеджмента на конкретном российском предприятии в значительной степени зависят от весовой доли страхуемых рисков в общей стоимости предпринимательских и финансовых рисков, которым подвержено данное предприятие и уровня развития сферы страхования рисков. В России уровень развития сферы страхования оставляет желать лучшего. Так, по состоянию на 2010 г.

число страховых организаций составляло 1166 с уставным капиталом в 16041,6 млн. руб., что в расчете на одну российскую страховую организацию составляет около 13,8 млн. рублей. Объем страховых взносов в 2010 г. составил 170,1 млрд. руб. (в том числе страхованию населения - 132,2 млрд. руб.) на 90,9 млн. договоров страхования (в том числе добровольного страхования — 88,8 млн. договоров), что в расчете на один страховой договор составляет менее двух тысяч рублей (1871,3 руб.). Доля же имущественного страхования в структуре страховых взносов и выплат по видам страхования составляет соответственно 21,8% и 4,3%, в том числе страхования финансовых рисков составляет лишь 0,4% и 0,3%. Кроме того, доля страховых взносов, переданных в перестрахование, в 2010 г. составила порядка 15,0%. Все это наглядно свидетельствует о наличии в России существенной ограниченности рынка страховых услуг из-за ограниченных размеров страхового фонда страховых организаций. В силу ограниченности предложения на российском рынке страховых услуг, крупным и малым предприятиям сферы материального производства сегодня приходится самостоятельно управлять и «страхуемыми» рисками.

Принципиальным для крупных и малых предприятий является выбор самой формы организации риск-менеджмента на предприятии. Для крупных и средних предприятий, вне зависимости от профиля деятельности (финансовая или нефинансовая), наиболее предпочтительным является создание в структуре аппарата управления структурного подразделения (отдела или службы «Управления рисками и рисковыми вложениями капитала»), которое в зависимости от сложности системы управления бизнесом на данном предприятии выводится на финансового директора, либо на начальника финансово-экономического управления данного предприятия. На малых предприятиях риск-менеджером предприятия является первый руководитель, поэтому он может использовать более эффективную форму организации риск-менеджмента (с позиции удельных затрат на 1 рубль снижения степени того или иного риска) — услуги профильной консалтинговой организации. В России в настоящее время отсутствует сформировавшийся спрос со стороны малых предприятий на услуги по управлению рисками и рисковыми вложениями капитала, а консалтинговые компании преимущественно специализируются на маркетинговых услугах и услугах по бухгалтерскому сопровождению.

Следует также отметить, что конкретная модель организации риск-менеджмента на предприятии существенно зависит от степени важности для конкретного российского предприятия проблемы разрешения риска (избежание, удержание, передача) и проблемы снижения степени риска (управление качеством, диверсификация, хеджирование,

управление капиталом). Для таких предприятий конкретная модель организации риск-менеджмента должна отражать значимость конкретного вида финансовых (инвестиционный, рыночный, не ликвидности и другие) и предпринимательских (имущественный, транспортный, производственный и другие) рисков путем выделения в структурном подразделении риск-менеджмента специальной службы по управлению конкретным видом риска (например, «Управление транспортными рисками», «Управление ценовыми рисками» и т. д.).

Становление и развитие риск-менеджмента на российских предприятиях в значительной степени зависит от наличия соответствующих условий по подбору профильных специалистов. К сожалению, в настоящее время в России отсутствует налаженная система подготовки и переподготовки специалистов по управлению предпринимательскими и финансовыми рисками. В некоторых учебных заведениях (в частности АНХ при Правительстве РФ и др.) предпринимаются попытки по переобучению экономистов и финансистов в финансовых инженеров в рамках программ повышения квалификации. Но этого недостаточно: нужна цельная программа профессиональной переподготовки «Риск-менеджмент на предприятии», которая позволила бы осуществить целевую подготовку риск-менеджеров, отвечающих современным требованиям рыночной экономики.

В определенной мере решение кадровой проблемы видится и в пересмотре вузами своих учебных планов обучения по экономическим специальностям с введением как новых дисциплин (таких как «Финансовая инженерия», «Управление финансовыми и предпринимательскими рисками», «Принятие финансовых решений в условиях риска и неопределенности» и др.), так и с выделением в рамках существующих дисциплин специальных подразделов (например, таких как «Анализ финансовых рисков» в дисциплине «Финансовый анализ» и т.п.).

Для нефинансовых предприятий и организаций поучителен накопленный опыт организации риск-менеджмента в финансовых компаниях и особенно в кредитных организациях. Речь идет, прежде всего, об опыте работы отделов внутреннего аудита и экономического анализа российских коммерческих банков. Конечно, в отличие от кредитных организаций, у нефинансовых компаний нет надзорного государственного органа типа Центрального банка РФ, который осуществляет меры по соблюдению коммерческими банками условий минимизации их совокупных рисков. Тем не менее, сам подход по созданию специализированных структурных подразделений по управлению рисками вполне применим и нефинансовыми предприятиями.

Организация риск-менеджмента на нефинансовых предприятиях вполне реальна через создание в рамках существующей финансовой

службы предприятия специализированного структурного подразделения, которое бы осуществляло комплексную работу по выявлению, идентификации и оценки стоимости рисков для последующей разработки конкретных мер по разрешению или снижению степени различных видов риска.

Анализ риска и рисковому вложения капитала основан на применении доступных количественных методов оценки степени риска. К сожалению, в системе оценки экономической эффективности деятельности нефинансовых предприятий отражаются лишь коэффициенты ликвидности (абсолютной, срочной и текущей), чистый оборотный капитал и индекс кредитоспособности Альтмана (или показатель банкротства Жованикова В., Масловой И.), что явно недостаточно для оценки финансовой устойчивости предприятия с учетом присущих ему рисков. Нужна комплексная методика анализа риска и рисковому вложения капитала для российских нефинансовых предприятий, охватывающая всю совокупность возможных рисков (подобно карте **GARP**, разработанной **Coopers Lybrand**). Это позволит максимально проанализировать значимые для конкретного предприятия риски и на этой основе генерировать адекватные решения по разрешению и/или снижению степени влияния этих рисков.

Для дальнейшего развития риск-менеджмента на российских предприятиях особенно актуальна работа по разработке единой методологии организации управления рисками в нефинансовых компаниях, а также методических положений для некоторых отраслей национальной экономики (транспорт, энергетика, сельское хозяйство, торговля и др.).

УДК 372.862: 167.2

ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕБНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРОВ ДЛЯ ОТРАСЛИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Н.И. Мозговой, к.т.н., Я.Г. Мозговая, к.т.н.
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова
Барнаул, тел. +7 (3852) 29-09-43. E-mail: Nick_3@mail.ru

Обобщен научно-методический материал по данной тематике. Проведены исследования и предложены рекомендации по решению учебно-познавательных задач для формирования профессиональных навыков у студентов.

The scientifically-methodical material on the given subjects is generalized. Researches are conducted and recommendations about the decision of учебно-informative problems for formation of professional skills at students are offered.

Учебно-познавательные задачи должны отвечать своему прямому назначению - процесс их решения должен помогать выяснить вопрос об особенностях мыслительных механизмов обучающихся, о доминантах имеющих место в мотивационном пространстве личности индивида, о структуре готовности студентов к высокопродуктивной профессиональной деятельности; степени эффективности управленческих воздействий педагога, результатом которых должно быть «усиление» именно тех особенностей личности студента, которые специфичны для выбранной им специализации.

Необходимо фиксировать, прежде всего, сам процесс выполнения студентом того или иного задания. При этом целесообразно, чтобы учебно-познавательные задачи были ориентированы не только на количественное выражение изучаемого явления, сколько на то, чтобы вскрыть его качественные особенности. Изучение процесса решения учебно-познавательных задач затруднено в связи с тем, что этот процесс далеко не всегда прозрачен. Так многие звенья внутреннего информационного процесса (мыслительного процесса), участвовавшие в решении учебно-познавательной задачи, скрыты от исследователя. Если внешняя структура процесса решения и последовательность действий, из которых складывается решение, получают достаточно полное выражение в записях, то внутренние (мыслительные) процессы - обдумывание, размышление, сопоставление и поиск оптимальных путей решения задачи и т.д. - не получают объективного выражения в записях.

Задача должна быть составлена так, чтобы раскрыть качественные

стороны этого сложного интеллектуального процесса, для чего необходимо, насколько это возможно, выявить структуру реального внутреннего (мыслительного) процесса при решении учебно-познавательных задач.

Деятельность по решению учебных задач – процесс мотивированный. Обдумывание, осмысление ситуации, заложенной в содержании задачи, и последующее приложение к ней (ситуации) необходимых законов и закономерностей для ее разрешения предполагает определенную готовность (теоретическую, психологическую, практическую) обучающихся к осуществлению требуемых операций. Структура готовности обучающихся к решению задач включает в себя следующие элементы: умение ориентироваться в ситуации, строить проектную основу решения (Сериков В.В.); подбирать необходимые модели, соответствующие поставленному в задаче вопросу (Симонов В.М.); корректировку механизмов, приемов решения в соответствии с используемыми закономерностями из той или иной области знания (Костюк Г.С., Тулькибаева Н.Н., Эсаулова А.Ф.). Так, по мнению Тулькибаевой Н.Н. обязательным элементом процесса решения задач является система знаний обучающихся, т. к. является стержневым элементом при проектировании ориентировочной основы действий, выполняемых при решении. Вторым элементом данного процесса Тулькибаева Н.Н. называет средства решения, которые представляют собой отработанные способы и эффективные методы решения задач, продуктивные методические идеи.

Костюк Г.С., Балл Г.А. считают, что решение учебных задач представляет собой единство эвристической и алгоритмической деятельности, в которой участвуют операции, направленные на трансформацию «задачной ситуации», корректировку и ориентацию «решателя» в нужном направлении. Поэтому опыт решения задач формируется у обучающихся на основе знаний о структуре действий, операций, актов, из которых структурируется процесс решения, посредством моделирования оптимальной последовательности механизмов освоения и овладения способами и методами решения.

Кроме того, обучающиеся должны овладеть знаниями о природе решаемой задачи, о системе действий и операций необходимой для решения различных учебных задач, о входящих в задачи содержательных, функциональных и операциональных компонентах (Сериков В.В., Тулькибаева Н.Н.).

Важнейшим аспектом решения является принятие задачи субъектом учебно-познавательной деятельности (Сериков В.В.), создание условий, при которых она входит в «сферу целей» (Леонтьев А. Н.) субъекта. Только при таких условиях «структурное место цели в учебной деятельности учащегося занимает именно существенное содержание

данного предмета» [1]. Именно это «существенное содержание» актуально осознается, легко принимается, хорошо и надолго запоминается (Зинченко П.И.). В свою очередь актуально осознаваемое и принимаемое обучающимися условие задачи (задачная ситуация) предполагает формирование следующих дидактических ситуаций: связь задачи с практическим, жизненным опытом субъекта, осознание недостаточности этого опыта; включение задачи в профессиональный контекст деятельности; воспитание у обучающегося требуемого отношения к изучаемому; формирование индивидуально-интеллектуального стиля деятельности, собственных способов внешнего представления знаний; нахождение действенных форм представления задачи обучающимся, с целью «вместить» ситуацию задачи в их личностный план, сделать ее для учащегося «внутренне своей» (Леонтьев А.Н.).

Опытно-экспериментальные исследования показали, что самые большие трудности в процессе решения задач связаны с тем, что установка на вербализацию мыслительного процесса непроизвольно подменяется у большинства студентов установкой на самонаблюдение мыслительного процесса. Более того, трудности организации вербализации мыслительного процесса усиливаются следующими обстоятельствами: а) многие студенты не умеют думать вслух, привычным для них является мышление про себя. Требовать думать вслух выбивает их из колеи, а навязывание несвойственного для них процесса приводит к значительным искажениям реальной картины мышления; б) инструкция «думай вслух» воспринимается студентами как требование пояснить, как решается задача. Он привык к тому, что когда педагог от него требует «решай вслух», это означает «решение для других», то есть объяснение хода решения, понятного другим; в) в некоторых случаях студент (особенно выпускных курсов) думает, что от него требуется описание собственных мыслительных процессов при решении задачи, рассказ о том, как он думает. Как известно, намерение наблюдать («самонаблюдать») может совершенно исказить картину процесса решения.

Преодолеть указанные трудности можно путем объяснения обучаемому, что именно от него требуется: чтобы он не рассказывал о том, как он думает, а просто думал вслух, не стараясь пояснить сам процесс решения. В большинстве случаев инструкция сводилась к следующему: «рассуждай вслух, как ты делаешь это, когда один решаешь задачи. Пиши на бумаге все, что приходит в голову по ходу решения. Меня интересует не твой результат решения, не его быстрота (время), а сам процесс решения. Ничего не старайся пояснять, словно здесь никого нет, кроме тебя; не рассказывай о решении, а решай». Далее обучаемому показывалось, что от него хотят. При этом не надо навязывать ему установку на полное решение из опасения исказить его реальный ход.

Если подобные рассуждения оказывались помехой мыслительному процессу, то в этом случае приходится ориентироваться на запись решения и на беседу с обучаемым после решения. При этом процесс решения хронометрируется: через определенные промежутки времени листы, на которых производилось решение, забирались. Таким образом, на каждом листе должна быть запись действий, проведенных последовательно за равные промежутки времени.

Рассуждения вслух должны регистрироваться (на бумажном или магнитном носителе). В случае надобности обучаемым ставятся дополнительные вопросы, направленные на выяснение определенных особенностей процесса рассуждения («В чем твои затруднения », «Поясни, что ты делаешь и почему »), не навязывая обучаемому своего хода мысли наводящими вопросами.

Устранить влияние прошлого опыта, знаний, умений и навыков, освободиться от данных природой и сформированных в деятельности элементов и свойств личности невозможно. Все же основная трудность, которая возникла на этом пути сводилась к следующему: если учебно-познавательные задачи таковы, что на их решение не сказывается влияние профессиональных знаний, умений и навыков, то эти задачи будут относиться уже к иной сфере деятельности и проследить динамику развития учебно-познавательных действий студентов и тем более квалифицированно управлять ими будет затруднительно.

Для преодоления трудностей, возникающих при решении учебно-познавательных задач, в результате обзора литературы по данной проблеме и проведенных исследований по решению учебно-познавательных задач предлагается следующие рекомендации:

а) подбором учебно-познавательных задач, не требующих для своего решения никаких особых знаний, умений и навыков или таких знаний, которые изначально имелись у студентов. Предварительно выявлялся уровень знаний, умений и навыков с целью убедиться, что необходимые конкретные знания, умения и навыки у данных студентов действительно имеются, что теорию, необходимую для решения задач, они знают. Если дело обстояло не так, то мы напоминали основные теоретические положения, но делали это так, чтобы студенты не догадывались о том, что эти знания должны быть использованы при решении последующих заданий;

б) составлением новых для студентов учебно-познавательных задач, в основу которых был положен еще незнакомый им материал, чем ослаблялось влияние прошлого опыта. Конечно, трудно судить, что знакомо, а что незнакомо студенту, оценить его прошлый опыт, но на сколько возможно - это делалось;

в) предложением студентам заданий-задач на только что усвоен-

ный материал, что давало возможность проследить динамику и характер овладения новыми умениями;

г) применением задач с элементами творчества, нестандартных задач.

Данные исследования легли в основу формирования заданий для практических занятий по дисциплине «Функционально-стоимостный анализ» у студентов технических специальностей Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Первин Л. , Джон О. Психология личности: Теория и исследования/Пер, с англ. М. С. Жамкочьян под ред. В. С. Магуна — М.: Аспект Пресс, 2001.— 607 с.

УДК 339.18

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

О.Л. Никитина

Алтайский государственный технический университет
Барнаул, тел. +7(3852)290943. E-mail: olgnik6912@mail.ru

Рассмотрены вопросы внедрения новых современных информационных технологий с целью повышения качества работы организации.

The problems of the introduction of new advanced information technologies to improve the quality of the organization.

Задача электронного бизнеса — использование современных информационных технологий для реорганизации старых бизнес-моделей с целью повышения качества работы организации. Для успешного функционирования в эпоху новой экономики, характеризующейся крайне острой конкуренцией, руководство предприятия должно уметь быстро реагировать на складывающуюся ситуацию, постоянно модернизировать свои бизнес-процессы, использовать новые технологии, опережая и превосходя, таким образом, конкурентов.

В настоящее время не существует четкого, единого общепринятого определения электронной коммерции. Зачастую под электронной коммерцией подразумевается любая форма бизнес-процесса, в которой взаимодействие между субъектами происходит электронным способом.

В современной литературе часто используется определение электронной коммерции, данное НСТАД: «Под электронной коммерцией понимаются все формы сделок, связанные с коммерческой деятельно-

стью организаций и физических лиц, которые основаны на обработке и передаче цифровой информации, включая тексты, звуки и визуальные данные».

Коммерция (торговля) — это деятельность по продаже товаров или услуг с целью получения прибыли. Существует шесть признаков коммерции: факт совершения операции; распространение права собственности на продаваемые или покупаемые активы; частота совершения однородных операций; работа с активом, проделанная с целью сделать его продаваемым; обстоятельства реализации актива; наличие стремления получить прибыль.

В чем заключаются главные преимущества межфирменного электронного бизнеса Во-первых, в расширении рынка (как закупок, так и сбыта). Многократное расширение базы поставщиков/заказчиков уже само по себе даст ощутимый результат за счет конкуренции между продавцами и возможности прямой реализации продукции конечным потребителям. Во-вторых, — в оптимизации процессов снабжения, а следовательно, в повышении загрузки производственных мощностей.

Субъектами электронной торговли выступают: финансовые институты (например, банки); бизнес-организации, взаимодействующие через Интернет; клиенты — покупатели или потребители услуг.

Рынок электронной торговли в России — быстрорастущий и перспективный сектор экономики. Еще сравнительно недавно, в эпоху становления Интернета, сетевые представительства могли позволить себе лишь очень немногие и весьма состоятельные компании. Тогда все начиналось с небольших статичных сайтов, без интерактива, единственной целью которых являлось привлечение потенциальных покупателей. Затем постепенно, с развитием систем управления базами данных и увеличением пропускных способностей каналов передачи начали появляться периодически обновляемые интернет-версии прайс-листов на товары или услуги компаний. Это соотносилось с интернет-магазинами, под которыми понималась интернет-интерпретация реально существующего магазина, позволяющая просматривать прайс-листы этого магазина посредством Интернета. Так появились онлайн-каталоги. Далее последовали три серьезных шага, обеспечивших полноценное существование интернет-магазинов как полностью самостоятельных организаций, а именно:

- 1) обогатились средства взаимодействия с клиентом, который получил возможность не только просматривать, но и заказывать, а впоследствии и оплачивать товары или услуги, не отходя от компьютера;
- 2) произошел разрыв между реальными магазинами и их интернет-версиями;

3) началась поставка товаров или услуг не только конечным потребителям, но и дистрибьюторам.

Число и разнообразие торговых интернет-площадок в России вероятно велико. Купить и продать через сеть можно все — от скрепки до нефтепродуктов.

Наиболее распространенными схемами организации продаж через Интернет являются: B2C — «бизнес для потребителя»; B2B — «бизнес для бизнеса». Менее распространенными схемами ведения бизнеса в Сети являются такие схемы, как C2C — «потребитель для потребителя» и C2B — «потребитель для бизнеса».

В России сектор электронной коммерции B2C неуклонно растет, что подчеркивают российские специалисты. Основные прогнозы по развитию электронной торговли в России в последнее время звучат весьма оптимистически. Развитие сегмента электронной коммерции в России во многом повторяет опыт США: этап возникновения характеризуется преобладанием B2C-сделок, но со временем лидерство переходит к межкорпоративной торговле — сектору B2B.

По мнению экспертов, в России говорить о формировании рынка B2B преждевременно; прогнозируемая дата окончания этого процесса — 2015 г. На сегодняшний день сегмент электронной коммерции состоит в основном из интернет-магазинов, а B2B-электронные площадки начали появляться сравнительно недавно. Важнейшим из факторов, сдерживающих развитие электронной межкорпоративной коммерции в России, является отсутствие нормальной законодательной базы. Однако, несмотря на все трудности, российские компании не стоят на месте: в настоящее время около 90% предприятий имеют доступ в Интернет, а количество B2B-площадок уже перевалило за сотню.

В России можно выделить три группы B2B-площадок.

Первая группа — это корпоративные площадки, т.е. площадки, создаваемые продавцами для контактов со своими покупателями и/или для контакта предприятий со своими поставщиками. Это достаточно эффективное средство организации дилерско-дистрибьюторской сети, потому что в рамках такой сети не так остро стоит вопрос о необходимости знания контрагента.

Вторая группа — это отраслевые и продуктовые площадки. Как правило, они создаются третьими лицами, на которых работают предприятия одной отрасли или предприятия, продающие/покупающие смежные или связанные группы товаров.

Третья группа — это универсальные порталы. Их задача состоит в обеспечении торговли широким спектром товаров и услуг.

В ближайший период крупнейшим рынком будет электронная торговля готовыми изделиями B2B, доля которой в общем объеме состави-

ла 17%, — считает Саймон Бейкер, аналитик **IDC Russia** по направлению «Интернет и телекоммуникации». В дальнейшем, по мере того как российские поставщики станут все шире использовать Интернет для заказа компонентов и комплектующих, доля B2B в обороте электронной торговли будет постоянно увеличиваться. Доля электронной торговли для индивидуальных пользователей B2C в России, напротив, будет расти медленнее, чем в сравнимых по экономическим условиям странах Центральной Европы. Она по-прежнему будет сдерживаться нежеланием потенциальных покупателей использовать в Сети кредитные карточки, слабым развитием сектора розничной торговли и проблемами с доставкой.

Если говорить о России, то здесь обороты электронной коммерции намного меньше, чем в США, а доля, занимаемая в общемировом объеме интернет-продаж, ничтожна. В 2008 г. объем электронной торговли в России не превысил 1 млн долл. в секторе B2C и 40 млн долл. в секторе B2B. Мировой объем рынка электронной коммерции оценивался на тот период в 95 млрд долл., т.е. российская доля составляла менее 0,05%.

Рост оборотов электронной коммерции у нас тормозится свойственными именно для России специфическими факторами:

- малой степенью развития единой банковской системы и механизмов оплаты по чекам и банковским картам;
- неустойчивостью финансовых и кредитных организаций;
- слабым уровнем информационной культуры населения страны;
- общим отставанием нашей экономики и, как следствие, низким средним уровнем доходов населения;
- несовершенством нормативно-правового обеспечения;
- недостаточной телекоммуникационной инфраструктурой;
- нарушением взаимных обязательств участниками торговых отношений;
- отсутствием единой отлаженной системы доставки.

Тем не менее все эти факторы постепенно изменяются в лучшую сторону, поддерживая развитие электронной коммерции.

Будущее российской электронной торговли зависит в том числе и от того, учтут ли представители нашего электронного бизнеса опыт, достижения и неудачи западных коллег или же снова пойдут «своим путем», пробуя и ошибаясь, рискуя очень крупными денежными вложениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кинг Д. Секреты продаж. Искусство достижения успеха. **The secrets of selling** / пер. с англ., науч. ред. В. Никишкин. — М.: Претекст, 2009.

УДК 657.63

ОСОБЕННОСТИ ВНУТРЕННЕГО АУДИТА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Е.В. Останина

Кузбасский государственный технический университет

E-mail: mip_texmash@mail.ru

В статье рассмотрена необходимость создания внутреннего аудита на предприятиях машиностроительной отрасли в целях эффективного функционирования и управления организации.

In article necessity of creation of internal audit at the enterprises of machine-building industry with a view of effective functioning and organization management is considered.

В настоящее время создание системы внутреннего аудита на предприятии приобретает важное значение. В частности, система внутреннего аудита актуальна для Открытых акционерных обществ с разветвленной сетью филиалов и структурных подразделений, региональных сетевых компаний, холдингов, объединяющих в себя большое количество юридических лиц, а также компаний, составляющих финансовую отчетность в формате МСФО.

Развитие машиностроительной отрасли происходит сегодня за счет внедрения современных технологий управления, модернизации основных фондов, слияний и поглощений и ввода в строй новых высокотехнологичных производств, соответствующих высочайшим международным требованиям. Продукция машиностроения используется для проведения работ нулевого уровня – это земляные, строительные и другие инфраструктурные работы. Мировой опыт показывает, устойчивой может быть та экономика, в которой основные отрасли машиностроения удовлетворяют порядка 70% внутреннего спроса. Инновационное и технологическое обновление предприятий является основой повышения устойчивости машиностроительного комплекса страны в целом, что в свою очередь образует один из основных элементов по надежному обеспечению национальной безопасности страны.

Рост конкуренции на рынке, а также работа организаций в условиях нестабильности, приводит к необходимости постоянно снижать издержки предприятия, изыскивая потенциальные резервы на всех стадиях производства и продажи продукции. В условиях постоянно развивающегося российского рынка наблюдаются следующие тенденции:

- отход собственников организаций от управления и передача управленческих функций наемным менеджерам;
- укрупнение организаций, вследствие чего разрастается их структура, увеличивается численность сотрудников и количество сделок;
- появление новых технологий, миграция кадров.

Все это затрудняет сохранение прозрачности бизнеса для руководителей и собственников организации. Таким образом, внутренний контроль является одной из составляющих эффективного функционирования и управления организации.

Развитие бизнеса в России требует максимально эффективного использования ресурсов организации. В этих условиях внутренний аудит может стать инструментом выявления возможностей для повышения эффективности деятельности организации. С целью содействия развития российского машиностроения необходимо создание предприятиями машиностроения служб внутреннего аудита.

Внутренний аудит является частью внутреннего контроля деятельности организации. Его объекты – вопросы качества выпускаемой продукции, трудовой дисциплины, безопасности информации, надежности бухгалтерской (финансовой) отчетности, эффективности хозяйственной деятельности и другие. Внутренний аудит осуществляется внутри организации её подразделением – службой внутреннего аудита.

Задачами внутреннего аудита являются оценка системы внутреннего контроля в части достоверности финансовой информации, соблюдения законодательства, сохранности активов, эффективности и результативности деятельности отдельных функций и подразделений.

В частности, задачами внутреннего аудита машиностроительных предприятий могут быть:

- разработка бизнес-плана, технико-экономического обоснования и консультационного сопровождения инвестиционных проектов;
- разработка новых технологических процессов;
- разработка инновационных методов и продуктов для улучшения бизнес-процессов и результатов деятельности;
- разработка комплексной программы мер по выводу из кризиса группы активов предприятия и юридическое сопровождение реструктуризации;
- диагностика бизнеса: анализ финансового состояния и оценка инвестиционной привлекательности предприятия при проведении сделки по слиянию/поглощению;
- экологическое консультирование;
- экспертиза управленческих информационных систем предприятия;

- проведение семинаров и тренингов для финансово-экономической и бухгалтерской службы предприятия;
- выявление налоговых рисков, связанных с внедрением новых направлений деятельности, заключением нетиповых договоров;
- контроль однотипности, своевременности и полноты отражения оборотов в бухгалтерском учете обособленных подразделений и головной организации, компаний, входящих в одну группу (холдинг);
- контроль правильности исчисления и уплаты налогов;
- проверка и экспертиза ведения финансовой (бухгалтерской) отчетности по российским и международным стандартам и другие.

Внутренний аудит помогает организации достичь поставленных целей, используя систематизированный и последовательный подход к оценке и повышению эффективности процессов управления рисками, контроля и корпоративного управления. Цели службы внутреннего аудита меняются в зависимости от требований руководства. Функции службы внутреннего аудита включают мониторинг адекватности эффективности системы внутреннего контроля.

В большой степени эффективность работы менеджеров зависит от наличия эффективной системы внутреннего контроля выполнения принятых решений. Его отсутствие влечет преднамеренные или непреднамеренные нарушения работниками своих обязанностей и регламентов деятельности, которые ведут к ухудшению финансового состояния и деловой репутации организации.

Система внутреннего контроля, включая внутренний аудит, состоит в проведении проверки функционирования любого объекта внутреннего контроля – предприятия в целом, его подразделений и иных – на предмет соответствия его деятельности законодательству, а так же нормам, правилам, планам и приказам предприятия.

Как показывает международная практика, наличие системы внутреннего контроля (внутреннего аудита) создает реальные предпосылки успешного развития бизнеса в связи с появлением возможности:

- на выгодных условиях привлекать инвестиции путем повышения качества бухгалтерской (финансовой) отчетности организации;
- эффективно управлять материальными и трудовыми ресурсами и проводить ценовую политику;
- у собственников контролировать деятельность топ-менеджеров на соответствие её целям бизнеса.

Выявляя резервы повышения эффективности использования материальных и трудовых ресурсов, внутренний аудит может разработать мероприятия по снижению себестоимости выпускаемой продукции, что приведет к повышению финансовой устойчивости предприятия и его конкурентоспособности.

Усиление функций контроля позволяет собственникам организаций своевременно принимать меры по дальнейшему развитию бизнеса, а менеджерам своевременно выявлять зоны максимального риска.

Внедрение новых технологических процессов, обновление используемого оборудования, выпуск новых или усовершенствованных видов продукции, получивший распространение на отечественных предприятиях, позволяют машиностроительным предприятиям укрепить свои позиции в конкурентной борьбе, снизить затраты, повысить прибыльность и эффективность своей деятельности.

В долгосрочной перспективе работа внутренних аудиторов поможет машиностроительным предприятиям отвечать требованиям глобализации и повысить рыночную стоимость создаваемой ими продукции, разработать инновационные методы и продукты для улучшения бизнес-процессов и результатов деятельности по целому ряду аспектов, развивая при этом бизнес и повышая его стоимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральное правило (стандарт) аудиторской деятельности № 29 «Рассмотрение работы внутреннего аудита».
2. Иванова, Т. Н. Теоретические основы создания и функционирования системы внутреннего контроля //Вестник профессиональных бухгалтеров, №1/2011.
3. Интернет-ресурсы.

УДК 658.51

УСПЕШНОЕ ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Е.В. Устинова, Е.В. Останина
Кузбасский государственный технический университет
E-mail: mip_texmash@mail.ru

В статье приведен анализ информационных систем управления предприятием класса ERP и опыте внедрения таких систем на машиностроительных предприятиях России.

In article the analysis of information control systems by the enterprise of class ERP and experience of introduction of such systems at the machine-building enterprises of Russia is resulted.

Падение производства в России во время мирового экономического кризиса показало, что экономика страны так и осталась в униженной сырьевой зависимости. Отечественная продукция в основной массе отличается крайне невысокой конкурентоспособностью.

Самая масштабная отрасль промышленности в России – это машиностроение. Без развитого передового машиностроения наша промышленность и экономика в целом не будут конкурентоспособными. Основой повышения эффективности машиностроительного предприятия являются инновационные и технологические обновления производственного комплекса.

Основная цель производственного предприятия - выпуск продукции высокого и стабильного качества с оптимальной себестоимостью. Для достижения этой цели важно снизить себестоимость, сократить сроки разработки и выпуска продукции и при этом максимально удовлетворить потребности покупателей.

В конце прошлого столетия на российский рынок пришли западные ERP-системы, и предприятия, понимающие, что инновационное развитие жизненно необходимо, начали внедрение ERP. Однако на сегодняшний день в России не так много машиностроительных предприятий, успешно закончивших проекты внедрения информационных систем и построивших в итоге эффективную систему управления производством. Значительная часть проектов автоматизации управления производством так не смогла достичь поставленных целей. Как правило, тому было две причины: не соответствие функциональным требованиям, поскольку чаще всего системы управления захватывали только учетные функции, либо существенное превышение временных и стоимостных рамок проекта.

панацея или модная тенденция

В последние годы многие машиностроительные предприятия бросились в другую крайность – внедрение "бережливого" производства, убедив себя, что автоматизация не нужна и даже вредна

Бережливое производство (**Lean Manufacture**) – это американское название методологии управления производством, которая начиналась как производственная система **Toyota (Toyota Production System)**. **Toyota** для многих является примером эффективности и производительности, а достигла она значительного успеха, сосредотачиваясь на процессе добавления ценности. **Lean** – это достаточно простая концепция, но на практике весьма труднодостижима, потому что она вносит изменения в первую очередь в мышление руководства и сотрудников.

Чтобы стать "бережливым", предприятие должно пересмотреть процессы и методы, и определить все компоненты, которые действительно добавляют ценность, и соответственно устранить все процессы, которые ценности не добавляет.

Как ни банально это звучит, но проекты по построению "бережливого" производства редко достигают успеха без высокого уровня под-

держки руководства и вовлеченности каждого сотрудника предприятия в процесс организационных изменений.

Lean - это не проект, где однозначно определены цели и конечный результат. Сущность "бережливого" производства в бесконечном непрерывном процессе улучшений.

Ранее считалось, что информационные системы, в общем, и **ERP** в частности несущественны и даже не соответствуют "бережливому" предприятию. Но к настоящему моменту концепция **Lean** претерпела серьезные изменения – она вышла за рамки производства и охватывает все сферы деятельности предприятия: взаимодействие с поставщиками, логистика, административно-хозяйственное обеспечение и т.д. Это отразилось и на терминологии: сейчас уже не говорят о "бережливом" производстве (**lean manufacturing**), а активно используют понятие "бережливое" мышление (**lean thinking**).

Более того комплексная информационная система предприятия с ее стандартными инструментами управления и информационного контроля позволяет поддерживать и усиливать пять основных принципов **Lean**:

- определение ценности;
- определение потока создания ценности;
- обеспечение непрерывного течения потока создания ценности;
- вытягивание потребителем продукта и стремление к совершенству.

Адепты "бережливого" производства признают, что **ERP** и **Lean** очень хорошо сотрудничают, поддерживая друг друга в достижении основных целей управления. Основная идея здесь в том, что концепция **Lean** в принципе трудно реализуема без **ERP**, поскольку практически невозможно как-то изменять или улучшать то, чего вы не знаете или не можете видеть.

Информационная система управления предприятием – это центральная нервная система организации. Она содержит в себе всю нормативно-справочную информацию, все данные о деятельности предприятия, финансово-аналитическую и бухгалтерскую отчетность. **ERP** фактически обеспечивает систематизацию всех данных и позволяет определить возможности для совершенствования, оценить результат приложения усилий и минимизировать потери. Кроме того, большинство **ERP**-систем также поддерживают возможность моделирования и проверки альтернатив, так называемый сценарий "Что-Если", что в свою очередь помогает фокусировать усилия на наиболее эффективных действиях и изменениях.

Процессы и процедуры, встроенные в логику ERP-системы, позволяют организациям ясно видеть существующую ситуацию и обеспечивают механизм реализации новых более эффективных процессов.

Информационная система помогает минимизировать складские запасы и незавершенное производство, позволяет максимально эффективно отслеживать изделие на всем его жизненном цикле, обеспечивает точность оценки трудозатрат, а также дает возможность своевременно определять различные потери.

MRPII-планирование может гарантировать, что нужные товары и материалы находятся в нужном месте и в нужное время, что устраняет излишки и избавляет от нехваток.

Бизнес-процессы, заложенные в информационной системе и реализуемые в рамках единого информационного пространства, уменьшают трудности управления и увеличивают скорость и качество реакции на изменяющиеся ситуации, обеспечивая тем самым сокращение издержек и лучшее качество обслуживания клиентов.

В целом информационная система управления предприятием обеспечивает источник данных для планирования стратегии "бережливого" производства, являясь инструментом внедрения новых более эффективных процессов и предоставляя возможности для достоверного расчета и контроля себестоимости.

Хотя принципы "бережливости" могут применяться ко всем процессам на предприятии, все-таки понятие **Lean** чаще рассматривают в контексте именно производства. Самый яркий пример такого "бережливого" производства – когда поток изделий перемещается по предприятию с минимальными издержками, временем обработки, необходимым и достаточным количеством товаров и материалов, минимальными переделками и временем простоя.

Для достижения этих целей, стереотипное "бережливое" предприятие использует поточное вытягивающее производство и систему Канбан. Поточное производство (или непрерывный поток на основании требований) характеризуется такими технологическими линиями и/или участками, по которым изделие перемещается не партиями, а, во-первых, по частям, и, во-вторых, по этапам производственного маршрута. При этом рабочим процессом управляют через физические сигналы, называемые Канбан, которые могут быть метками, ярлыками, контейнерами или электронными сигналами.

Традиционным серийным производством управляют через заказы на работу, которые по "бережливым" стандартам создают большие потери. Организация и перемещение заказов на работу по предприятию требует документирования, управления и отчетности, что в свою очередь не добавляет ценности. Кроме того, серийное производство характеризует-

ся большим временем простоя – обычно, при изготовлении отдельных частей продукта **90%** и больше времени уходит на ожидание, пока выполняются другие работы - завершение других рабочих процессов, настройки оборудования и т.д.

Поточное производство, основанное на Канбан, выполняется без заказов на работу и как следствие без связанных с ними затрат. Поточное производство также намного быстрее, чем традиционные процессы, более гибко и отзывчиво к изменениям, использует меньше материалов и инструментов и выпускает продукцию более высокого качества и с меньшей себестоимостью.

Простое поточное производство не требует наличия информационной системы управления предприятием, поскольку признаки Канбан заменяют заказы на работу. Но это хорошо работает только в том случае, когда производство устойчиво, с ограниченным числом изделий и немногими изменениями.

В нестабильной изменяющейся ситуации информационная система предприятия выступает как поддержка Канбан-производства, являясь своего рода электронным Канбаном, что позволяет оптимизировать использование ресурсов и использовать преимущества Канбан в различных производственных ситуациях.

Возможности **ERP**-системы по автоматизации процесса производственного планирования позволяют сгладить рабочий процесс и обеспечить равномерную загрузку технологических линий и участков. Это особенно важно при колебании спроса на продукцию и при наличии в портфеле заказов сочетания как долго идущих крупных контрактов, так небольших краткосрочных заказов. Инструменты планирования обеспечивают надлежащий расчет и определение времени закупок для своевременной поставки необходимых товаров и материалов.

Сегодня мир становится более бережливым, электронные инструменты ведущих **ERP**-систем сделали "бережливые" методы практичными и полезными во всех видах производства, особенно в машиностроении. В то время как идеалы "бережливости" основаны на простых ручных методах и процедурах, использование информационных систем позволяет расширить сферу применения принципов **Lean** и обеспечивать широкие средства реакции на изменения.

Хотя информационные системы и не являются составным элементом концепции "бережливости", их роль в обеспечении принципов **Lean** весьма существенна особенно в условиях изменчивого производства. Функционал **ERP**-систем также хорошо поддерживает "бережливые" элементы управления: вовлечение сотрудников и достоверность данных, командная ответственность и стабильная занятость, систематизация

бизнес-процессов и обеспечение дисциплины, открытые коммуникации и непрерывное совершенствование.

Прежде всего, информационные системы - это средство коммуникации и источник доступной информации, которые координируют работу и позволяют избежать бездействия, повторения и недопонимания. Хорошая информационная система предприятия - важный компонент "бережливого" производства.

Опыт внедрения систем класса

Когда на российский рынок машиностроения вышли крупные западные ERP-системы, например, такие как, **Vaan** или **SAP**, консультанты и внедренцы, откровенно говоря, изучали функциональность соответствующих систем и осваивали технологию внедрения ERP прямо на проектах. Сегодня те же консультанты уже имеют большой опыт внедрения, как отрицательный, так и положительный, и уровень их знаний существенно вырос. К сожалению, таких консультантов в России не так много, в том числе и из-за того, что производство, особенно машиностроение – это наиболее сложная предметная область. К тому же примеров полнофункциональных внедрений управления производством с помощью западных ERP-систем в России не так много, а новые проекты появляться весьма редко по объективным экономическим причинам.

Основное отличие проектов по автоматизации системы управления производством от прочих внедрений ERP – это высокие требования к организации самих бизнес-процессов предприятия. В первую очередь необходимо проанализировать процессы "как они есть" (**as is**), затем привести их к структуре "как должно быть" (**to be**) в соответствии с принципами "бережливого" производства и лишь после этого приступать к автоматизации. Внедрение ERP должно быть тесно интегрировано с перестройкой процессов управления производством. То есть фактически нужно внедрять не столько информационную систему, сколько методологические и организационные механизмы и принципы управления с учетом возможностей и ограничений информационной системы. Зачастую даже без автоматизации подобная реорганизация может дать значительный экономический эффект.

Современная система управления предприятием класса ERP поддерживает не только выталкивающее производство в соответствии со стандартом **MRPII**, но и вытягивающее. Сейчас информационные системы управления – это уже не тяжелый неповоротливый мастодонт, а гибкий инструмент, помогающий оперативно реагировать на изменения внешней среды и добиваться ощутимых результатов. В качестве примера можно привести платформу **Microsoft Dynamics AX**, функциональные и технологические возможности которой позволяют консалтинговым

компаниям-партнерам внедрять эффективные инструменты управления машиностроительным предприятием.

Например, компания "Ижавто" автоматизировала на базе системы **Microsoft Dynamics AX** весь жизненный цикл производства автомобилей, начиная с планирования закупок, непрерывного конвейерного производства, и заканчивая продажей конечным покупателям с учетом сквозного контроля качества и в соответствии с принципами "бережливого" производства.

Компания "СервисМонтажИнтеграция", ведущий поволжский производитель и поставщик электрооборудования, смогла за счет внедрения **Microsoft Dynamics AX** повысить оперативность обработки производственных заказов в 1,5 раза и при этом обеспечить точность и своевременность закупок производственных материалов без увеличения складских запасов.

Несмотря на существующие сложности и экономические ограничения, примеры успешных проектов существуют. Инновации – это один из весьма реальных способов формирования в стране конкурентного рынка машиностроения, а расходы на автоматизацию становятся инвестициями в будущее, поэтому нам остается только пожелать российским компаниям успешных проектов и реальной отдачи от использования информационных систем.



СЕКЦИЯ

**ИНСТРУМЕНТЫ И МЕХАНИЗМЫ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ**



УДК 001.89:378

О РАЗВИТИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КУЗГТУ

В.Ю. Блюменштейн, д.т.н., проф.

Кузбасский государственный технический университет
Тел./факс (+3842) 58-30-73, E-mail: blumenstein@rambler.ru

Рассматриваются элементы существующей инфраструктуры научно-исследовательской и инновационной деятельности (НИИД). Дан анализ новой структуры НИИД, реализуемой в рамках принятой программы развития университета.

The existing infrastructure of science, research and innovation is given consideration. The new structure of the science, research and innovation work implemented within the framework of the program adopted by the university is analyzed.

С момента основания в 1950 году Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ) ориентировался на решение ключевых проблем развития угольной отрасли Кемеровской области и России. Кроме того вуз удовлетворяет потребности базового сектора экономики Кузбасса, Сибири и РФ в исследованиях, технологических разработках, проектировании и инжиниринге.

В настоящее время ключевым научно-инновационным подразделением КузГТУ является научно-инновационное управление (НИУ). В состав НИУ входят (рис. 1):

- отдел управления интеллектуальными ресурсами (ОУИР);
- отдел научно-технической информации (ОНТИ), включая сектор научно-исследовательской работы студентов (НИРС);
- отдел организации и учета научно-инновационных работ (ООУ НИР);
- сектор организации инновационной деятельности (сектор ОИД);
- отдел аспирантуры и докторантуры (ОАД).

Особое внимание в университете уделяется развитию и повышению эффективности учебно-научно-инновационного комплекса (УНИК), который обеспечивает единство образовательного процесса, научно-исследовательской, научно-технической и инновационной деятельности на всех стадиях и этапах подготовки специалистов, научных и научно-педагогических кадров, деятельность которой направлена на социально-экономическое и духовное развитие общества, кузбасского региона и страны в целом.

В структуру УНИК входят:

- филиал института теплофизики СО РАН;

- 14 научно-образовательных центров;
- 8 ресурсных центров коллективного пользования;
- 6 экспертных центров;
- 12 научно-исследовательских лабораторий;
- 6 малых инновационных предприятий.

Основные цели развития УНИК:

- содействие реализации инновационного потенциала университета;
- повышение конкурентоспособности вуза на рынке наукоемких технологий;
- увеличение доходов вуза за счет научно-технической деятельности;
- повышение качества подготовки специалистов в вузе;
- повышение привлекательности вуза для профессорско-преподавательского состава и студентов;
- повышение инновационной способности университета путем создания условий для развития научно-технического предпринимательства, производственного освоения научных знаний и наукоемких высоких технологий;
- обеспечение коммерциализации результатов научных исследований и повышение технического уровня и конкурентоспособности производства;
- повышение роли университета как центра развития инновационных процессов в Кемеровской области.

Для того чтобы иметь возможность войти в структуру УНИК и получить дополнительные площади, научно-исследовательские проекты проходят конкурсный отбор, главными критериями которого являются:

- обязательное проведение научно-образовательной деятельности;
- подготовка высококвалифицированных научно-педагогических кадров;
- обязательное выполнение оплачиваемых научно-исследовательских опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР);
- создание в конце третьего года реализации проекта малого инновационного предприятия.

Разработанные механизмы позволили значительно активизировать инновационную деятельность в КузГТУ. Так в течение 2009-2010 г.г. был проведен конкурс по отбору научных проектов для размещения в УНИК (отобрано тринадцать проектов из двадцати), согласно ФЗ-217 создано шесть малых инновационных предприятий, по сравнению с прошлыми годами увеличено количество созданных объектов интеллектуальной собственности.

КузГТУ активно взаимодействует с региональной промышленной инфраструктурой, входит в состав Кузбасского регионального инновационного центра (КузбассРИЦ), созданного в 2005 году.

Основная цель деятельности центра – формирование и реализация инновационной политики в научно-технической сфере, как основы создания конкурентоспособных инвестиционных и потребительских товаров и услуг, организация подготовки и переподготовки кадров для машиностроения, производство и ремонт изделий машиностроения. В структуре центра действуют учебно-методический центр современных технологий, испытательные лаборатории, цех инновационных технологий. КузбассРИЦ в рамках программы развития инновационной инфраструктуры принимает участие в экспертизе промышленной безопасности, проводит испытания промышленной продукции, принимает участие во внедрении новых перспективных материалов, оборудования, технологий и др.

В 2005 году создан «Геотехнический инновационный центр», в функции которого входит проведение НИОКТР в области механики и технологий инъекционного уплотнения массива горных пород с целью его упрочнения и создания противотрационных завес, механики разрушения горных пород в условиях сейсмической активности, геоэлектрического контроля состояния естественных и техногенных массивов горных пород, разработка проектов, экспертная деятельность, реализация научных инновационных разработок в промышленности др.

Функцию выполнения фундаментальных и прикладных исследований с последующим созданием инновационной продукции выполняют 14 научно-образовательных центров (НОЦ), созданных совместно с академическими институтами СО РАН и НИИ, расположенными в Кемеровской области и СФО. Общими целями деятельности НОЦ являются: повышение эффективности процесса подготовки научных и научно-педагогических кадров и закрепление молодежи в сфере образования и науки; подготовка кадров высшей квалификации для предприятий высокотехнологичных инновационных секторов экономики; формирование мотивационных стимулов к научно-исследовательской деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых с целью создания условий для эффективного воспроизводства научных и научно-педагогических кадров и закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий, сохранения преемственности поколений в науке и образовании и др.

Для эффективного и рационального использования приобретенного научного оборудования создано 8 ресурсных центров коллективного пользования (ЦКП), которые аккумулируют высокотехнологичное оборудование в области создания новых материалов, нанотехнологий, электротехники, энергетических установок. Научно-образовательный процесс полностью обеспечен

12 научно-исследовательскими лабораториями, расположенными в 19 корпусах головного вуза и филиалов.

Университет обладает лицензиями на проведение экспертизы промышленной безопасности (проведение экспертизы проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию опасного производственного объекта); на осуществление проектирования зданий и сооружений I и II уровней ответственности; на выполнение геодезических работ; на разработку нормативов выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду; на проведение археологического исследования. Реализуют эту работу 6 экспертных центров университета.

«Инновационный пояс» КузГТУ представлен малыми инновационными предприятиями (МИП), созданными в рамках ФЗ-217. Из шести МИП: одно специализируется на инновациях в угольной промышленности; два специализируются в области тепло- и электроэнергетики; одно специализируется в области экологии и переработки промышленных отходов; два специализируются в области нанотехнологий и технологий машиностроения. Инновационные предприятия выступают, как соисполнителями совместных с университетом работ, так и заказчиками НИОКТР.

Также в «инновационный пояс» пояс Университета входят компании, созданные по программам «СТАРТ» и «У.М.Н.И.К».

В КузГТУ разработана программа развития инфраструктуры научно-исследовательской и инновационной деятельности (НИИД), целью которой является расширение действующей инновационной инфраструктуры, повышение ее эффективности для формирования в КузГТУ инновационного ядра, обеспечивающего взаимодействие: КузГТУ – малые инновационные предприятия – Кузбасский технопарк – промышленные предприятия Кузбасса в научной и образовательной областях.

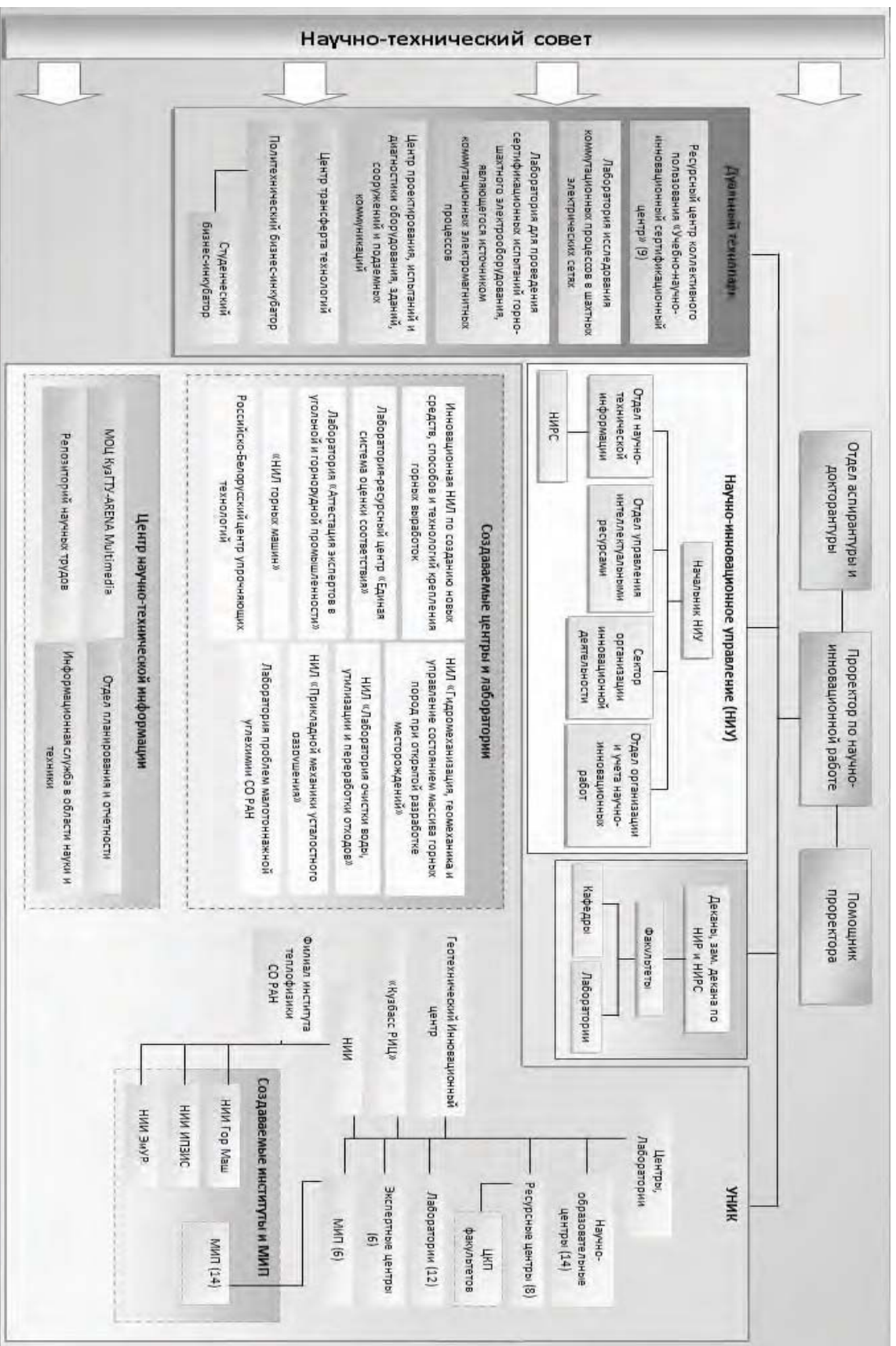


Рис. 1. Структурная схема НИИД

Для достижения поставленной цели в течение 2011-2013 г.г. необходимо сформировать новый инновационный облик университета и решить следующие взаимосвязанные задачи:

1. Расширение исследовательской деятельности университета по тематикам, актуальным для глобального рынка технологий в сфере угледобычи, горного дела, переработки угля, углехимии, энергетики (угольной генерации энергии), экологии и ресурсосбережения, машиностроения и строительства.
2. Формирование в рамках инновационной инфраструктуры университета исследовательских групп, международных научно-исследовательских лабораторий, входящих в международные исследовательские сети и партнерства с ведущими в мире исследовательскими и инжиниринговыми организациями.
3. Расширение существующей инновационной инфраструктуры университета с целью обеспечения научно-методического фундамента стратегически эффективного функционирования угольной отрасли. Создание механизмов накопления и трансляции целевого опыта в смежные – ориентированные на сырьевые ресурсы отрасли и регионы.
4. Создание современной материально-технической базы для исследований и разработок мирового уровня по приоритетным направлениям развития (ПНР).
5. Формирование инновационных производств и организация инновационных предприятий, развитие малого инновационного предпринимательства.
6. Оптимизация действующих механизмов управления существующей инновационной инфраструктурой для реализации сквозных инновационных проектов на базе фундаментальных, прикладных НИОКТР и новых образовательных программ.

В соответствии с Распоряжениями Правительства РФ в Кемеровской области принят пакет законов, регламентирующих деятельность ОАО "Кузбасский технопарк". Сотрудники КузГТУ являются членами экспертного совета по рассмотрению и последующему присвоению статуса резидента инновационным компаниям. Подобный статус позволяет получать льготы и преференции регионального бюджета успешно функционирующим инновационным компаниям. Студенты, магистранты, аспиранты, докторанты и соискатели КузГТУ являются членами молодежного инновационного совета Кузбасского технопарка. В рамках этого совета рассматриваются молодежные инновационные проекты с последующим финансированием через систему региональных грантов. Во вновь построенном здании бизнес-инкубатора Кузбасского технопарка на льготных условиях

арендуют офисные и производственные помещения 3 малых инновационных предприятий Университета.

Взаимодействие между университетом и Кузбасским технопарком позволит создать «дуальный» технопарк, главной целью которого будет обеспечение непрерывных коммуникаций между научно-исследовательскими коллективами, лабораториями КузГТУ и резидентами Кузбасского технопарка (компании, работающие в сфере технологического аудита, исследований, разработок и проектирования для ключевых отраслей базового сектора экономики Кузбасса и Сибири).

В рамках программы будут развиваться и усиливаться существующая система взаимодействия КузГТУ и Кузбасского технопарка и организованы центр трансферта технологий и бизнес-инкубатор, который обязательно будет включать студенческий бизнес-инкубатор.

Центр трансферта технологий будет заниматься доведением научных разработок до уровня требований инвестора и выводом инноваций на рынок.

Главная задача бизнес-инкубатора — создавать успешно работающие хозяйственные объекты, либо реконструировать действующие с тем, чтобы, они обрели финансовую жизнеспособность и организационную самостоятельность. Бизнес-инкубатор выступит базой коммерциализации интеллектуальной собственности в различных формах. Цель создания студенческого бизнес-инкубатора – привлечение студентов к научно-технической и инновационной деятельности.

В настоящее время в стадии завершения находится проект нового лабораторно-производственного корпуса Кузбасского технопарка. Университет размещает в этом корпусе ряд центров и лабораторий, которые, с одной стороны, реализуют цели и задачи развития научно-инновационной деятельности, с другой, – являются центрами коллективного пользования для ВУЗов, НИИ, предприятий и организаций региона (рис. 1):

- ресурсный центр коллективного пользования «Учебно-научно-инновационный сертификационный центр», включающий:
- лабораторию подготовки образцов к материалографическим исследованиям; лабораторию стандартизованных измерений твердости; лабораторию оптических и электронномикроскопических исследований; лабораторию химического анализа; лабораторию оценки структуры и свойств поверхности, включая служебные свойства изделий, различных деталей, инструмента; лабораторию трибологических испытаний для оценки механизма износа и износостойкости; лабораторию оценки профиля и микрогеометрии

поверхности, включая исследования в 3D-диапазоне и исследования в нанометровом диапазоне; лабораторию механических испытаний; лабораторию неразрушающих физических методов контроля материалов и изделий;

- лабораторию исследования коммутационных процессов в шахтных электрических сетях;
- лабораторию для проведения сертификационных испытаний горно-шахтного электрооборудования, являющегося источником коммутационных электромагнитных процессов;
- центр проектирования, испытаний и диагностики оборудования, зданий, сооружений и подземных коммуникаций.

Фактически инновационная структура Университета будет содержать в себе большинство элементов классического технопарка, будут развиты связи с Кузбасским технопарком и другими элементами инфраструктуры инновационной деятельности Кемеровской области и России.

В соответствии с договором о стратегическом партнерстве с Белорусским национальным техническим университетом (БНТУ, г. Минск) в 2012 году будет создан совместный Российско-Белорусский центр упрочняющих технологий, на базе которого планируется создание малого инновационного предприятия. Совместный Российско-Белорусский центр имеет главной целью разработку и продвижение на рынки России и Беларуси новых композиционных и наноструктурных материалов, эффективных методов комбинированного упрочнения деталей машин и нанесения multifunctional покрытий, а также методов неразрушающего контроля ответственных изделий.

Основанием для создания центра является существенный научно-технический задел, в том числе, в рамках выполненного совместного проекта по ФЦП «Научные и научно-инновационные кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (мероприятие 1.5, «Выполнение научных исследований под руководством приглашенных исследователей»).

По мере развития инфраструктуры, включая ремонты, технологическое и информационное оснащение, выполняемое на средства стратегических инвесторов, в 2011-2012 г.г. развитие получат 8 перспективных центров и лабораторий. В соответствии с условиями внутривузовского конкурса в течение 2-3-х лет данные центры и лаборатории будут преобразованы в малые инновационные предприятия.

Актуальность создания научно-исследовательских институтов (НИИ) подтверждена Администрацией Кемеровской области, Ассоциацией машиностроителей Кузбасса, Российской экологической

академией, руководством Кузбасского технопарка и другими организациями.

В Университете согласованы концепции развития НИИ, разработаны положения, регламентирующие создание этих институтов, есть помещения и кадры.

Целью создания научно-исследовательского института экологии и устойчивого развития (НИИЭиУР) являются систематизация, анализ и разработка предложений и механизмов решений экологических проблем Кузбасса и России, вызванных работой угольной и сопутствующих (перерабатывающих, коксохимических и др.) отраслей.

Основной целью создания научно-исследовательского проектно-технологического института горного машиностроения (НИИГорМаш) является проектирование конкурентоспособных, экспортно-ориентированных и импортозамещающих машин, технологий, товаров и услуг в области угольного машиностроения и доведение их до потребителя на коммерческой основе.

Целью института патентования и защиты интеллектуальной собственности (ИПЗИС) является обучение основам охраны и использования объектов интеллектуальной собственности.

В 2010 совместно с АРТЕСН создан международный образовательный центр КузГТУ-Arena Multimedia. АРТЕСН Arena Multimedia – это инновационная образовательная программа по графике, мультимедиа и анимации, доступная для каждого – от старшеклассника или студента – до специалиста, желающего повысить квалификацию или изменить профессию. Центр проводит подготовку специалистов в области рекламы, дизайна, издательского дела, мультимедиа, анимации, мультипликации, компьютерных игр, веб-технологий и спецэффектов. Обучение производится по программам, соответствующим международным стандартам (IS 9001).

В рамках программы планируется организация Центра научно-технической информации, состоящего из отдела научно-технической информации (ОНТИ), отдела планирования и отчетности, библиотечного репозитория и Информационной службы в области науки и техники.

Функции Центра: формирование системы научно-технической информации и информационных ресурсов в сфере науки, технологий и инноваций; оценка научно-технического потенциала и проведения научных и аналитических исследований влияния технологий на развитие общества и экономики; анализ научного обеспечения отраслей экономики и действующих приоритетов научно-технологического и социально-экономического развития страны; формирование и организация использования фондов информационных ресурсов научно-

технического развития для информационного обеспечения НИОКТР и инновационной деятельности университета.

Целью создания репозитория является формирование электронной коллекции научных трудов сотрудников КузГТУ с возможностью открытого доступа к ним через сеть Internet.

Отдел планирования и отчетности создается для ведения подготовки тематических планов университета; годовых и квартальных отчетов по научно-исследовательским и инновационным работам; сведений по научно-исследовательским работам для аккредитации, аттестации вуза, перечня НИОКТР выполнявшихся по Российским и зарубежным программам, контрактам и грантам международных фондов.

Для проведения исследований мирового уровня в рамках программы планируется покупка уникального научного оборудования, проведение ремонтов лабораторий, дооснащение их мультимедийным и интерактивным оборудованием, современной многофункциональной мебелью.

Инновационная инфраструктура рассматривается как один из базовых инструментов развития университета, которая позволит увеличить научно-образовательный и инновационно-внедренческий потенциал, что положительно повлияет на качественный уровень его выпускников, повысит предпринимательскую, экономическую и финансовую активность предприятий Кемеровской области и, в конечном счете, будет способствовать позиционированию Кемеровской области как крупного научно-промышленного центра.

Реализация программы будет способствовать решению целого ряда задач, поставленных для достижения цели государственной политики в области развития науки и технологий, в том числе:

- создание организационных и экономических механизмов для повышения востребованности инноваций отечественным производством, обеспечения опережающего развития фундаментальной науки, важнейших прикладных исследований и разработок;
- повышение вклада университета в технологическую модернизацию реального сектора экономики Российской Федерации через развитие научно-исследовательской и инновационной деятельности;
- адаптация научно-технического комплекса к условиям рыночной экономики, обеспечение взаимодействия государственного и частного капитала в целях развития науки, технологий и техники;
- активизация инновационного предпринимательства, расширение практики создания компаний, реализацию механизмов «инновационного лифта»;

- формирование компетенций, трансферт знаний и технологий между университетом, малыми инновационными предприятиями, промышленными корпорациями, научно-производственными объединениями и академической наукой;
- совершенствование системы подготовки научных и инженерных кадров высшей квалификации в области науки и технологий;
- поддержка научных исследований и экспериментальных разработок в приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники с учетом мировых тенденций в этой сфере;
- укрепление научно-исследовательского сектора высшей школы.

УДК 378.184

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ НА ПРЕСТИЖ ИНЖЕНЕРА

Н.А. Жернова, к.э.н., доц., Е.Е. Жернов, к.э.н., доц.
Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-69-27. E-mail: eugjernov@mail.ru

В данной статье рассматриваются факторы, влияющие на престиж профессии инженера, и пути повышения престижности инженерного труда в условиях инновационной модернизации экономики и образования страны.

The article reviews the factors determining the prestige of engineer profession and the ways of prestigiousness enhancement of the engineering work in the context of innovative modernization of national economy and education.

Центральной фигурой инновационного развития машиностроения является инженер. Поэтому закономерным представляется возрастание общественного и профессионального интереса к проблемам престижа инженерного труда и подготовки инженеров в условиях современной модернизации. Сегодня очевидно, что процессы, происходящие в обществе и экономике три последних десятилетия, привели к падению престижа профессии инженера. Причем, если в 1980-е годы не было единого мнения о том, повышается или падает с годами престиж инженера, то в 1990-е и так называемые нулевые годы это падение стало бесспорным, а в 2010-х годах падение престижности труда инженеров пришло в острое противоречие с объективно возросшей ролью технических специалистов во всех сферах экономики и общества.

Изучение престижа профессии – одна из проблем персонального менеджмента организации (предприятия). Одни авторы анализ престижа

профессии сводят к изучению социально-профессиональной структуры общества. Другие, чью точку зрения мы разделяем, исходят из того, что престиж является социально-психологическим отражением реального общественного положения профессиональных групп. Поэтому факторы, влияющие на престиж, социально детерминированы, а сам он имеет ценностно-нормативную природу. Последнее означает, что при формировании престижа главное место принадлежит господствующей в обществе и в определенной социально-профессиональной группе системе ценностей, которая и предопределяет степень престижа.

Престиж профессии – это приписываемая общественным мнением значимость профессии с точки зрения ее социальной важности, влияния людей, занимающихся этой профессиональной деятельностью. При этом прежде всего оцениваются возможности достижения материального благополучия и саморазвития индивида. Престиж профессии является основой компаративной оценки профессий по критерию предоставляемых ими своим носителям социальных благ. Он складывается под воздействием реального положения представителей данной профессии в обществе или, другими словами, общественного статуса профессии.

Престиж профессии зависит также от характера труда, его условий, возможности самоменеджмента на рабочем месте. Содержание труда, его условия, заработная плата, социально-психологический климат находят интегральное отражение в престиже профессии.

Факторы престижа профессии инженера многообразны. Они включают в себя внутренние факторы, относящиеся непосредственно к содержанию и условиям инженерной деятельности, и внешние, характеризующие наиболее значимые ценности массового сознания.

Еще более значимые факторы – общественное устройство и экономическая политика государства. Взаимодействие этих разнородных факторов формирует определенный уровень престижа профессии инженера в обществе. В обыденном сознании значение объективных факторов остается в тени, однако в конечном счете именно они имеют решающее значение. Действительно, положение инженера в обществе зависит прежде всего от того, осуществляется ли подлинная модернизация на основе базисных, а не псевдоинноваций. Положение инженера в обществе – показатель атмосферы постоянного обновления во всех областях. Социальное место инженера связано с ролью техники и технологии в общественном развитии. Именно развитие прорывных технологий определяет тенденции изменения содержания инженерного труда как особого вида высококвалифицированного умственного труда, направленного на практическое использование, коммерциализацию результатов научно-технической деятельности.

Вместе с тем существует и более широкая трактовка инженерного труда, которая его главной особенностью полагает приложение научных знаний во всех сферах производства и управления. На основе такого понимания инженерного труда появились квалификация по диплому и должность инженера-менеджера.

В условиях современной модернизации экономики и образования инженера следует рассматривать как научно образованного технического специалиста, ориентированного на промышленные инновации. При этом многократно возрастают требования к вузовской системе подготовки инженеров. Именно в инженерной профессии естественнонаучные и математические знания используются в материальном производстве для блага общества.

В последние десятилетия численность инженеров сокращалась быстрее любой другой профессиональной группы. Сегодня это не согласуется с общественными потребностями, курсом руководства страны на системную модернизацию. Деформация структуры высшего образования 1980-х годов, когда 40 % студентов готовились по инженерным профессиям (такой большой доли инженерного образования не было ни в одной стране мира), сменилась деформацией 2000-х годов – необоснованным ростом подготовки бухгалтеров, юристов, экономистов, менеджеров. Здесь помимо объективной потребности национального хозяйства сказались и субъективные факторы: стратегия подготовки гуманитариев исходила не из концепции сбалансированности их численности и необходимых рабочих мест, а из стремления к безграничному, регламентируемому лишь возможностями вузов, увеличению численности выпускников гуманитарных профессий. По официальной статистике Министерства образования и науки Российской Федерации, сегодня на инженерных специальностях в российских вузах учатся 217 тыс. человек. За последние 5 лет набор на гуманитарные факультеты сократился на 30 %, экономику и управление – на 50 %.

Важнейшими факторами престижа инженера являются его профессионализм и компетентность, основы которых формируются в вузе, поддерживаются и развиваются в системе повышения квалификации, в которой вузам также принадлежит значительное место. Но сегодня проблемы формирования инженерных кадров нельзя сводить к сугубо педагогическим аспектам – методам обучения, соотношению общенаучных, общеинженерных, специальных и гуманитарных дисциплин. Не они теперь самые главные. Более важное значение имеет формирование профессиональных ориентаций, учет потребностей, интересов молодых людей. Социальным основанием высокого качества подготовки инженера является преодоление жизненной и

профессиональной апатии, воспитание собственной заинтересованности молодого человека в становлении себя как профессионала.

Большую роль здесь играют вузовский преподаватель, его профессионализм, способности, личные качества, а также система оценки знаний студентов. В настоящее время уровень знаний студента определяется посредством балльной оценки его работы в течение семестра по контрольным точкам в системе рейтинга. Эта форма сохраняет недостатки традиционных методов: во-первых, в незначительной степени включает способы практической проверки знаний, а еще менее личностно-профессиональных качеств; во-вторых, поскольку субъектом оценки остается преподаватель, а в более широком плане вуз, постольку нередко объективность вступает в противоречие с ведомственными интересами.

Привлечение к государственной аттестации выпускников вузов представителей промышленности несколько улучшает ситуацию, но не меняет ее принципиально. Все настоятельнее обозначается задача дополнить и организационно соединить систему внутренних вузовских форм оценки с внешними общественными, учитывающими реальную деятельность инженеров. Нужна принципиально новая система оценок на базе анализа проблем профессиональной деятельности молодых инженеров. Функции этого анализа частично должны взять на себя вузы путем систематизации связей со своими воспитанниками: проведения специальных исследований, регулярных встреч с руководителями предприятий, выпускниками вуза.

Одним из существенных показателей престижа профессии инженера является динамика кадров: ориентация молодежи на инженерные профессии, перемещения между инженерными и другими профессиями. В 1950-х годах гуманитарии переквалифицировались в инженеров, в 1990-е годы наблюдалась обратная тенденция, усилилась текучесть ИТР между отраслями – образовался переток инженеров и техников на работу, не требующую инженерно-технической подготовки, главным образом в банковскую сферу, сферу торговли и услуг. Среди профессий инженерно-технического труда относительно высоким сохраняется престиж программиста и руководящего работника, начиная с начальника цеха. Важнейшие для инновационной экономики профессии конструктора, технолога, мастера (операционного менеджера) опустились в шкале престижа профессий на последние места. Постепенное смещение спроса в сторону инженерных специальностей, зафиксированное по предварительным результатам мониторинга Министерства образования и науки Российской Федерации в 2011 году, не является достаточно устойчивым.

На падение престижа профессии инженера оказали влияние в той или иной степени многие факторы – социально-экономические, морально-нравственные. Это и отставание в технической оснащённости труда конструкторов, технологов, недостатки в его организации, и дефицит вспомогательного персонала, деформация штатного расписания с преобладанием должностей, предполагающих выполнение технических, а не творческих инженерных функций, и низкое использование потенциала инженеров, и снижение оплаты их труда.

Но ключевое значение имеет, по нашему мнению, спад в развитии производства, который и повлиял на социально-экономическую оценку труда инженера. Важнейшая форма социально-экономической оценки труда – заработная плата. Низкая зарплата – основной фактор падения престижа инженера. Различия в разы и десятки раз зарплат инженеров и бухгалтеров, менеджеров отнюдь не признак такой же разницы их квалификации, а следовательно, происходит грубое нарушение социальной справедливости. Это отрицательно отражается на духовно-нравственном облике инженеров и техников, приводит к вымыванию слоя технической интеллигенции. А ведь с понятием «интеллигентность» связан исключительно важный аспект роста престижа инженера-созидателя. В условиях гуманизации всей общественной жизни при переходе к инновационной экономике, основанной на знаниях, возрастает роль интеллигенции, существенную органичную группу которой должны составить инженеры.

Однако проблема поднятия престижа профессии инженера не может быть решена одним повышением оплаты его труда. Проблема имеет много аспектов и решается только в общем процессе модернизации всех сторон общества. Ключевое значение имеет обеспечение инновационного развития промышленности и особенно машиностроения. Деятельность инженеров в системе отношений управления ставит их статус в прямую зависимость от инновационного развития промышленности. Основа повышения статуса и престижа инженерного труда – рост заинтересованности предприятий в инновациях. Это будет способствовать рационализации их требований к высшей школе, к каждому техническому специалисту.

Изолированное рассмотрение проблем инженерного труда и подготовки инженерных кадров не обеспечит оснований для принципиальных решений. Не принижая значения повышения качества подготовки инженеров, мы считаем, что исходным пунктом изменения общественного статуса профессии инженера является определение желаемой модели экономики в среднесрочной и долгосрочной перспективе (7-10 лет). Поэтому основным звеном в современной реформе высшей школы является ее интеграция с производством,

повышение взаимной ответственности вуза и производства за использование потенциала молодых специалистов.

Основу такой интеграции может составить система «промышленное предприятие – вуз», воссозданная по образу советской школы высшего образования. Она тем более необходима с переходом на двухуровневую систему образования на технических специальностях для «доведения» бакалавра до уровня инженера. Элементами механизма взаимодействия высшей школы с промышленными предприятиями в этих условиях могут быть создание базовых кафедр на производстве и целевая интенсивная подготовка специалистов, способных в короткие сроки после выпуска адаптироваться на предприятии. Кроме того, чтобы выправить существующий «гуманитарный» крен высшего образования предприятия должны принять активное участие в реализации специальных мер президента и правительства страны по стимулированию вузов технической направленности – учреждение именных стипендий студентам и аспирантам, грантов преподавателям, предоставление им преимуществ при решении жилищного вопроса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство образования и науки Российской Федерации. Главная / деятельность / образование / статистика [Электронный ресурс] // URL:<http://mon.gov.ru> (дата обращения 14.08.2011).

УДК 621 (038)

ЭЛЕКТРОННЫЙ ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ С 3D ИЛЛЮСТРАЦИЯМИ

А. Г. Казанцев, к.т.н., проф., С.А. Лебедев, аспирант
Бийский технологический институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова
г. Бийск, тел. +7(3854)-43-53-06, факс +7(3854)-43-53-00.
E-mail: ag@bti.secna.ru

Представлены результаты работы по созданию справочного электронного издания «МАШИНОСТРОЕНИЕ. Толковый словарь терминов» с 3D иллюстрациями.

Presents the results of work to create a background of the electronic publication "ENGINEERING. Dictionary of term" with 3D illustrations.

При чтении технической литературы, изучении специальных дисциплин мы встречаемся с различными терминами, без понимания которых процесс усвоения материала сводится к минимуму. Сегодня

существует большое количество словарей в области машиностроения, которые помогают нам понять толкование многих терминов, но большая их часть выполнена на бумажных носителях.

Широкое применение компьютерной техники в школе и быту сформировало новое поколение пользователей, предпочитающих электронные варианты носителей информации традиционным – в твердых вариантах. Преимущества первых очевидны: компактность хранения, быстрый поиск, удобная передача на расстояние и т.д.

Группа авторов Бийского технологического института АлтГТУ им. И. И. Ползунова создала справочное электронное издание в области машиностроительной терминологии.

Цель словаря – дать толкование терминов в словесной форме (рис. 1) и привести иллюстрации на современном визуальном уровне (рис. 2-6).

Особенно это актуально в технических вузах, где широко применяется в учебном процессе мультимедийное оборудование, и множество изучаемых объектов могут быть представлены в виде иллюстраций – от обычных схем и рисунков до сложных трехмерных твердотельных моделей. Это значительно упрощает процесс усвоения принципов работы устройств и особенностей их конструкций, часто давая возможность не прибегать к их описательной части.

Исходя из этого, авторы данной работы стремились максимально использовать возможности компьютерной техники и часть терминов проиллюстрировать цветными рисунками, фотографиями, видеороликами и, главное, – трехмерными твердотельными моделями, использование которых позволяет понять значение термина, иногда даже не прибегая к его словесному описанию.

Издание содержит: **10238** терминов, **1000** рисунков, фотографий и видеороликов, а также **1215** трехмерных моделей по технологии машиностроения и материаловедению, по металлорежущим станкам и резанию металлов, по режущему инструменту и деталям машин, а также другим областям машиностроения. Часть терминов включает в себя, кроме краткого толкования, достаточно обширную информацию по рассматриваемым темам, которая соответствует объемам программ вузовской подготовки дипломированных специалистов.

Словарь создан с использованием программы **Microsoft HTML Help**. Трехмерные твердотельные модели разрабатывались в CAD-системе «Компас» (компания АСКОН).

В отличие от существующих бумажных вариантов у словаря есть ряд преимуществ:

- данное издание дает возможность в качестве иллюстраций демонстрировать видеоролики и анимационные сюжеты, без

ограничений использовать качественные цветные схемы, рисунки, фотографии и интерактивные трехмерные твердотельные модели;

- при работе с 3D-моделями, иллюстрирующими термин, объект можно вращать, приближать и удалять, выполнять сечения, проводить замеры, разбирать конструкцию на составные части (для сборных), делать элементы объекта полупрозрачными или скрывать их;
- по структуре словарь напоминает известные разделы прикладных программ: «помощь», «справка», «help», что дает возможность большинству пользователей освоить интерфейс данного издания практически на интуитивном уровне (рис. 1);
- невысокая стоимость тиражирования и возможность передачи информации с использованием современных средств коммуникации делают издание доступным;
- электронный вид представления информации позволяет расширять и углублять содержание словаря без значительных затрат на переиздание, что делает его динамически развивающимся.

Словарь можно использовать на любом этапе образования – с начального профессионального до высшего технического. Весьма полезным издание может оказаться для студентов технических вузов, студентов-иностранцев при изучении специальных дисциплин на русском языке, преподавателей, читающих лекции с использованием мультимедийной техники.

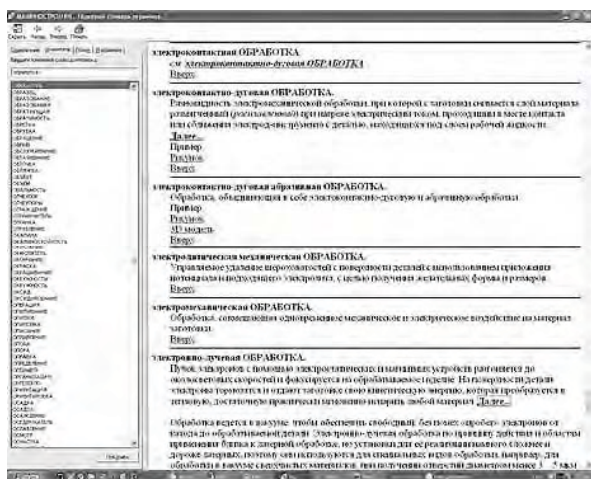


Рис. 1. Вид экрана словаря с терминами и их толкованием

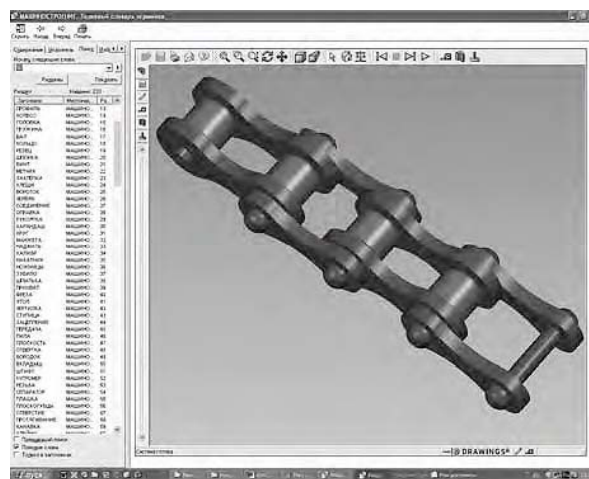


Рис. 2. Втулочно-роликовая цепь

Словарь прошёл предварительную апробацию и положительно себя зарекомендовал в учебном процессе при подготовке дипломированных специалистов по направлению 657800 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных

производств» (специальность 151001 «Технология машиностроения») Бийского технологического института (филиала) ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова». В 2008 году издание удостоено золотой медали Сибирской Ярмарки на XVI международной образовательной выставке обучающихся средств, оборудования, материалов, инновационных идей и опыта (УЧСИБ-2008) (г. Новосибирск) и стало призером 10-ого Всероссийского конкурса с международным участием «КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ» в рамках Международной молодежной научной конференции XXXIV ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ (г. Москва).

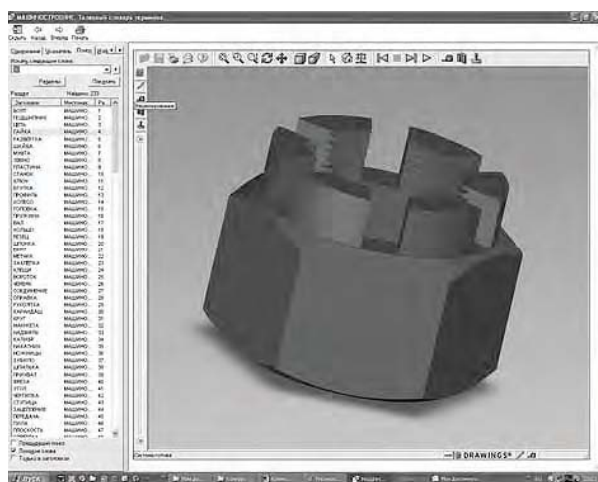


Рис. 3. Корончатая ГАЙКА

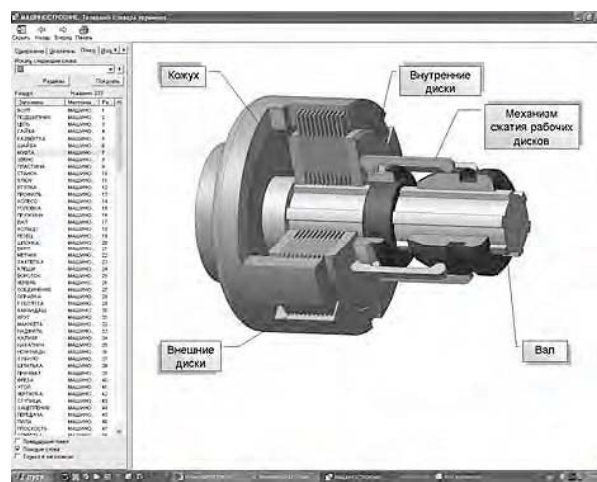


Рис. 4. Дисковая МУФТА



Рис. 5. Заточный СТАНОК

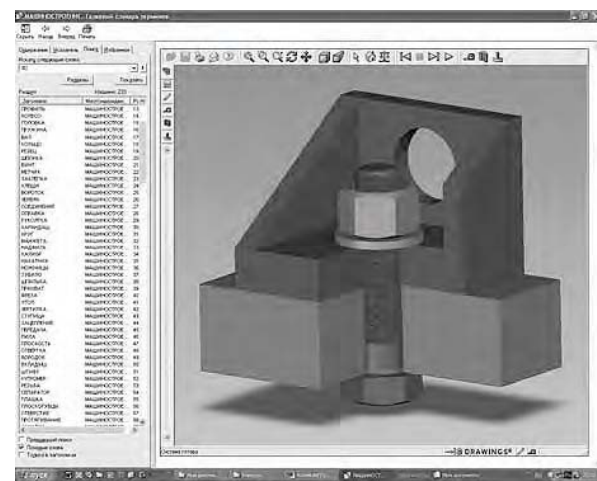


Рис. 6. Крепёжный БОЛТ

Издание имеет государственную регистрацию в ФГУП НЦ «Информрегистр» № 0321100666, поставляется на одном диске DVD-R и может быть использовано в локальном режиме. Демо-версию словаря можно скачать по адресу: <http://webfile.ru/5250791>.

УДК 621 (038)

ТЕРМИНЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ЖЕСТОВОГО ЯЗЫКА

А. Г. Казанцев, к.т.н., В. Г. Визер, к.п.н., директор
В. Н. Мялькин, мастер производственного обучения
КГОУ НПО «Профессиональное училище №4»

Бийский технологический институт АлтГТУ им. И.И. Ползунова
г. Бийск, тел. +7(3854) 43-53-06, факс 43-53-00. E-mail: ag@bti.secna.ru

Представлены результаты работы по созданию справочного электронного издания «Машиностроительные термины. Словарь жестового языка» для людей с ограниченными возможностями по слуху и речи с 3D иллюстрациями и сурдопереводом терминов.

Presents the results of work to create a background of the electronic publication "Engineering terms. Sign Language Dictionary" for people with disabilities in hearing and speech with sign language and 3D illustrations of terms.

Растущий дефицит рабочих кадров в промышленности увеличит приток обучающихся, желающих получить рабочие профессии технической направленности, в том числе и из числа людей с ограниченными возможностями по слуху и речи. Такая тенденция наблюдается в ряде специализированных учебных заведениях для таких обучающихся. С другой стороны, это ускоряет и упрощает процесс социальной адаптации данной категории людей в обществе. Однако анализ жестового языка на наличие специальных машиностроительных терминов показал, что их минимальное количество. Отсутствие таких жестов сильно затрудняет, а иногда практически полностью останавливает процесс общения между собой специалистов в процессе трудовой деятельности или в период обучения между преподавателем и обучающимся.

Группа авторов из Бийского технологического института Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова (Казанцев А. Г.) и КГОУ НПО Профессиональное училище № 4 (Визер В. Г., Мялькин В. Н.) в рамках Российского головного окружного учебно-методического центра в области профессионального образования лиц с ограниченными возможностями здоровья и краевой экспериментальной площадки по обучению детей с ограниченными возможностями здоровья поставила перед собой задачу создать справочное электронное издание «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ. Словарь жестового языка». Цель этого издания - показать

машиностроительные термины посредством жестового языка, дать толкование терминов в сжатой словесной форме и привести иллюстрации на современном визуальном уровне (3D модели, видео, фото и т.д.). Для решения этой задачи была создана фокус-группа из специалистов и учащихся с ограниченными возможностями по слуху и речи, получающих специальное образование. За основу структуры словаря было взято справочное электронное издание «МАШИНОСТРОЕНИЕ. Толковый словарь терминов» (авторы: Казанцев А. Г., Косицын Ю. Н.), вышедший несколькими изданиями начиная с 2008 года.

Работа над каждым термином включала в себя несколько этапов: демонстрация и изучение объекта или процесса, толкование термина, обсуждение и формирование жеста, его видеозапись. Таким образом, все термины, вошедшие в словарь, прошли тщательную процедуру внедрения в языковую среду с целью упрощения его освоения в процессе изучения или дальнейшего применения. Наличие в качестве иллюстративного материала трехмерных твердотельных объектов и/или видеороликов с демонстрацией технологических машиностроительных процессов позволяет упростить визуальные ассоциации термина и последующее его усвоение. Все это делает словарь максимально адаптированным для уяснения терминов и освоения его жестовой визуализации. Структура экрана словаря построена по принципу организации экранного поля большинства прикладных программ, широко применяемых в быту и профессиональной деятельности (см. рис. 1). Это значительно сокращает время освоения навыков пользования словарем и позволяет делать это практически на интуитивном уровне.

Каждый термин содержит словесное толкование, видеоролик с сурдопереводом и иллюстрации (где это уместно) в виде рисунка, 3D модели и примера применения.

Словарь дает возможность вывести на экран трехмерную твердотельную модель, иллюстрирующую термин и отдельный экран с изображением сурдопереводчика, воспроизводящего слово средствами жестового языка (см. рис. 2).

При этом 3D модель на экране можно вращать, отдалять, приближать, разбирать на составные части, если это предусмотрено конструкцией модели (см. рис. 3, 4, 5 и 6), а действия сурдопереводчика – многократно повторять. Всё это дает возможность путем повторения ускорить процесс освоения термина и его заучивания.

Издание содержит: **203** термина с сурдопереводом, **136** трёхмерных твёрдотельных моделей, **79** рисунков и **5** видеороликов в области машиностроения.

2-ая Международная научно-практическая конференция «Инновации в машиностроении»

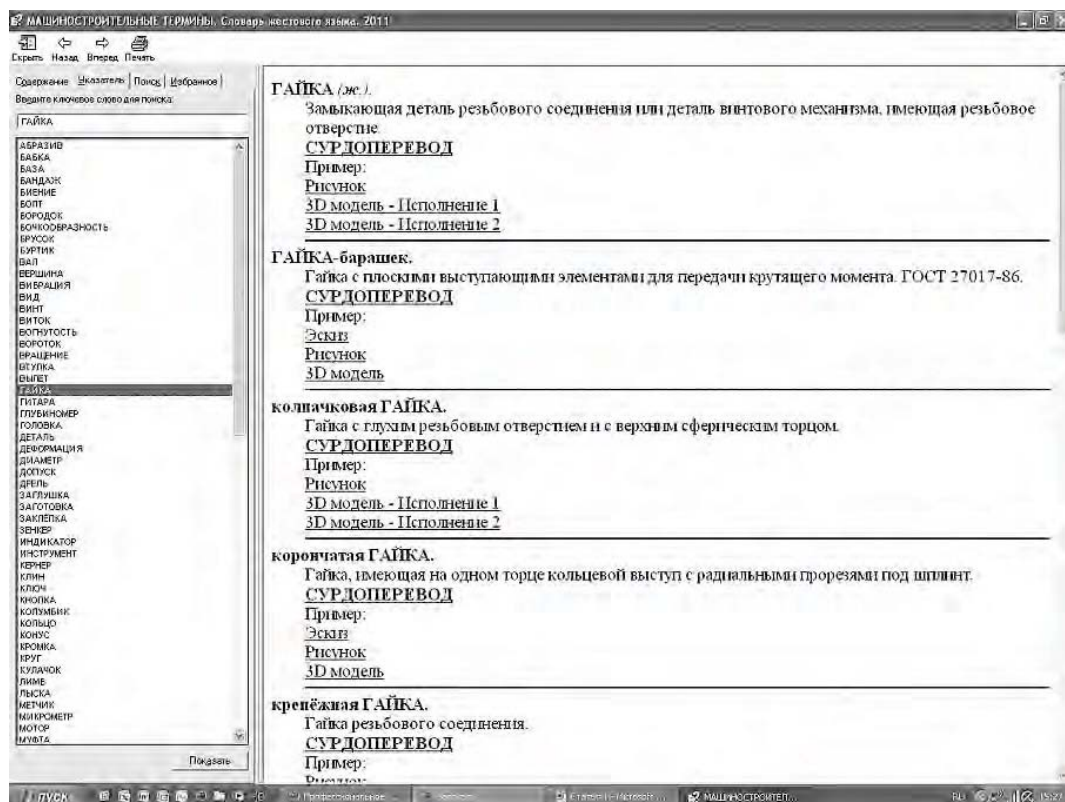


Рис. 7. Вид экранного поля словаря



Рис. 8. Внешний вид экрана словаря с 3D моделью и сурдопереводом

2-ая Международная научно-практическая конференция «Инновации в машиностроении»

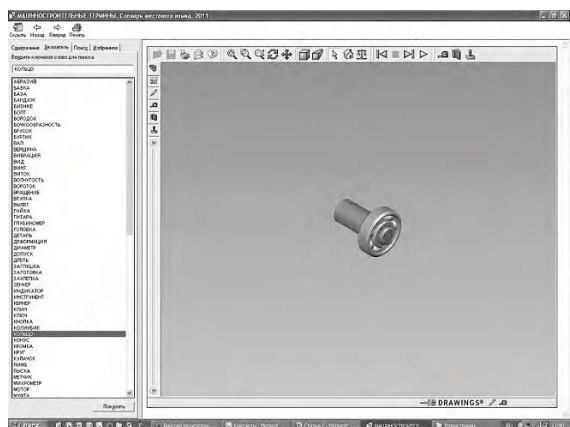


Рис. 9. Модель возможно отдалять

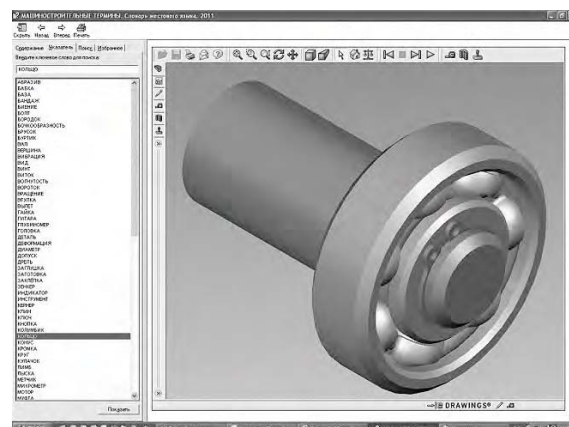


Рис. 10. Приближенная модель

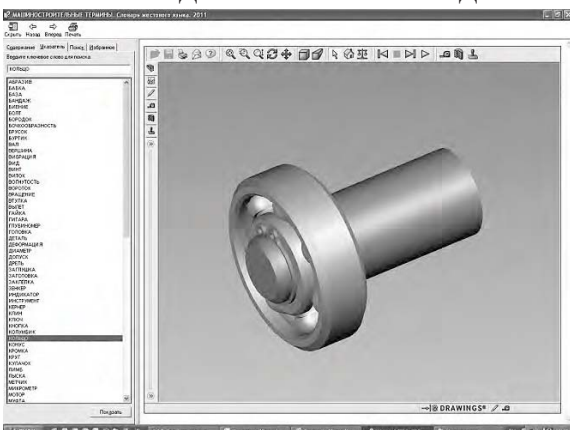


Рис. 11. Модель можно вращать

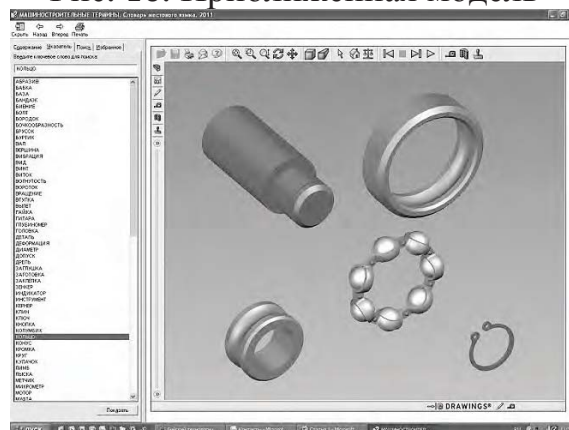


Рис. 12. Модель с разнесенными составляющими деталями

Словарь предназначен для читателей с ограниченными возможностями по слуху и речи: инженерных работников, преподавателей, учителей, студентов технических вузов, учащихся начальных и средних специальных учебных заведений, а также для иностранных специалистов и студентов-иностранцев, обучающихся в учебных заведениях России.

Словарь прошёл пилотную апробацию и положительно себя зарекомендовал в рамках учебного процесса КГОУ НПО «Профессиональное училище № 4». На Всероссийском конкурсе «Учитель Перед именем твоим ...» в номинации «Инновации» словарь завоевал ЗОЛОТУЮ медаль.

Первая версия справочного электронного издания «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ. Словарь жестового языка» (см. рисунки 7 и 8) вышла в свет в январе 2011 года (государственная регистрация в ФГУП НТЦ «Информрегистр» № 0321100085). Словарь поставляется на одном DVD-диске и может использоваться в локальном режиме.



Рис. 13. Внешний вид обложки словаря



Рис. 14. Внешний вид диска словаря

УДК 334.723

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МАЛЫХ ИННОВАЦИОННЫХ КОМПАНИЙ ПРИ ВУЗАХ

Крахмалев В.А., Дубина И.Н. к.э.н., Киселева Е.А.
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова
Барнаул, тел. +7(3852) 29-09-64. E-mail: k1232@mail.ru

В статье рассмотрены сценарии создания ВУЗами малых инновационных компаний (согласно 217-ФЗ) и проанализирован опыт деятельности малых компаний в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова.

In article scenarios of creation are considered by HIGH SCH LS of the small innovative companies (it agree 217-F) and experience of activity of the small companies in the Altay state technical university of I.I.Polzunova is analysed.

Повышение интереса к деятельности высшей школы объясняется ее возможностями в качестве поставщика будущей элиты общества и ставит как объективную необходимость вопрос об усилении поддержки процессов образования научных исследований со стороны государства.

Государственное вмешательство в работу высшей школы носит повсеместный характер, хотя формы его различны. Это выражается в создании государственно-формализованных, в отличие от ранее спонтанно формировавшихся, форм управления образования и науки, в частности в университетах. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова один из региональных инновационных центров, формирующих новые знания, на основе которых при выполнении фундаментальных и прикладных исследований создаются инновационные продукты (изделия, технологии, услуги). Для университета создание устойчивых тенденций сближения основных направлений своей трансформации с принципами концептуальной системы инновационного (исследовательского) университета является актуальной задачей, и потому получение прав создания хозяйственных обществ, чья деятельность заключается в практическом внедрении результатов интеллектуальной деятельности (РИД), позволит сформировать так называемый «инновационный пояс» вокруг вуза.

2 августа 2009 г. вступил в силу федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности" (далее 217-ФЗ). Бюджетные вузы получили право самостоятельно создавать хозяйственные общества, чья деятельность заключается в практическом внедрении результатов интеллектуальной деятельности (РИД), исключительные права на которые принадлежат данным учреждениям. Вкладом образовательных учреждений в уставный капитал хозяйственных обществ является право использования РИД, исключительные права на которые сохраняются за бюджетными образовательными учреждениями.(1) Поскольку для ведения нормальной хозяйственной деятельности, вновь создаваемым предприятиям необходимы денежные средства, а возможности бюджетных образовательных учреждений в этой сфере ограничены, законодатель предусматривает для бюджетных научных и образовательных учреждений возможность привлечения третьих лиц (потенциальных инвесторов) в качестве соучредителей хозяйственных обществ, с обязанностью оплаты их доли (акций) в уставном капитале хозяйственного общества денежными средствами не менее чем наполовину. За время принятия закона уже прошло определенное время и накоплен определенный опыт применения закона ФЗ-217 вузами.

В статье Никитенко С.М. «Оптимальные сценарии создания научно-образовательными учреждениями хозяйственных обществ (в рамках № 217-ФЗ)» (2) рассмотрены сценарии создания малых

2-ая Международная научно-практическая конференция
«Инновации в машиностроении»

инновационных предприятий, которые можно классифицировать следующим образом.

Таблица 1

Сценарии создания научно-образовательными учреждениями
хозяйственных обществ (в рамках № 217-ФЗ)

№ п/п	Сценарий создания малого инновационного предприятия	Положительные стороны	Отрицательные стороны
1.	100 % уставной капитал ВУЗа	- в случае действительно прорывной разработки все доходы у ВУЗа.	- нет предпринимательского опыта; - не изучена потребность рынка; - нет собственной производственно-технологической базы; - нет опытных специалистов в сфере производства и сбыта продукции; - нет начального ФОТ и финансовых средств, связанных с освоением новых видов продукции; - нет залогового обеспечения для привлечения кредитных ресурсов. - нет проработанного механизма подключения к работе МИП авторов изобретений.
2.	<i>МИП создаются бюджетными научными и образовательными учреждениями и предприятиями среднего бизнеса.</i>	- практический предпринимательский опыт; - собственная производственно-технологическая база; - квалифицированные кадры и опытные специалисты; - софинансирование из собственных средств предприятия; - привлечение кредитных ресурсов под залог имущества предприятия.	- авторы изобретений в работе МИП не принимают участия, либо принимают как наемные работники.
3.	<i>МИП создаются бюджетными научными и образовательными учреждениями и стартовиками</i>	- минимальный предпринимательский опыт у «стартовиков»; - «стартовики», как правило, «свои» люди в вузе, НИИ, т.к. абсолютное большинство таких предприятий создаётся на основе интеллектуальной собственности штатных сотрудников; - «стартовики» имеют гарантированный фонд оплаты труда и финансовые средства для оплаты расходов, связанных с выводом новых видов продукции на рынок; - «стартовики» имеют возможность обеспечить софинансирование из собственных средств или, по	- отсутствие собственной производственно-технологической базы. - авторы изобретений в работе МИП не принимают участия, либо принимают как наемные работники.

2-ая Международная научно-практическая конференция
«Инновации в машиностроении»

		договоренности, из средств инвестора вновь созданному совместному МИП в случае получения грантовой поддержки из средств областного или федерального бюджета.	
4.	<i>МИП создаются бюджетными научными и образовательными учреждениями, средними предприятиями, стартовыми и консалтинговой организацией.</i>	Все положительные стороны сценариев 2, 3. - правовая, информационная поддержка консалтинговой организацией	- авторы изобретений в работе МИП не принимают участия, либо принимают как наемные работники.
5.	<i>МИП создаются бюджетными научными и образовательными учреждениями и крупными корпоративными холдинговыми структурами.</i>	- практический предпринимательский опыт; - собственная производственно-технологическая база; - квалифицированные кадры и опытные специалисты; - софинансирование из собственных средств предприятия; - привлечение кредитных ресурсов под залог имущества предприятия.	- авторы изобретений в работе МИП не принимают участия, либо принимают как наемные работники.
6.	<i>МИП создаются бюджетными научными и образовательными учреждениями и иностранными предприятиями, а также другими заинтересованными структурами.</i>	- практический предпринимательский опыт; - собственная производственно-технологическая база; - квалифицированные кадры и опытные специалисты; - софинансирование из собственных средств предприятия; - привлечение кредитных ресурсов под залог имущества предприятия.	- авторы изобретений в работе МИП не принимают участия, либо принимают как наемные работники.

Как известно, всякая классификация достаточно условна, поэтому в предложенных сценариях создания малых инновационных предприятиях по ФЗ -217 нет, по крайней мере, одного сценария по которому после принятия указанного закона начали создаваться МИПы. Это сценарий, при котором учредителями МИПа выступает ВУЗ и научные работники (носители идеи, авторы интеллектуальной собственности). Этот сценарий имеет свои плюсы и минусы. Положительным в данном сценарии является то, что научные работники не оторваны от своего изобретения, и вовлечены в механизм коммерциализации. Отрицательным моментом является отсутствие предпринимательского опыта, отсутствие опытных специалистов в сфере производства и сбыта, отсутствие необходимых финансовых средств. Однако данный механизм имеет право на существование, т.к. он позволяет таким компаниям участвовать в различных конкурсах на получение грантов на развитие малых инновационных компаний.

Как показала практика, юридические лица не стремятся создавать совместно с ВУЗами малые инновационные предприятия, им намного выгоднее купить патент и реализовать его на своем предприятии. Наличие государства в лице ВУЗа в уставном капитале настораживает юридические лица при создании МИП по ФЗ -217. Об этом свидетельствуют данные Центра исследований и статистики науки. Так по состоянию на 16 июня 2010г. только 19% уставного капитала всех созданных малых инновационных компаний принадлежало юридическим лицам, 41 %-физическим лицам, и 40% - ВУЗам. (3)

Получение налоговых льгот малыми инновационными предприятиями позволит несколько увеличить долю юридических лиц в уставных капиталах данных предприятий, но на небольшой процент, т.к. остаются не снятыми другие риски (правовые, организационные и т.п.).

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова создано 12 малых инновационных компаний: в 2009 году -2, в 2010 году – 4, в 2011 году – 6. (рис. 1) В 2009 году 2 малые инновационные компании были созданы по сценарию «ВУЗ- Научные работники». «Малое инновационное предприятие сельскохозяйственного машиностроения АлтГТУ» в 2010 году выиграло грант по программе «СТАРТ-2010» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в размере 1 млн. рублей и успешно развивается. Другая же компания не так успешна, и только готовится участвовать в конкурсах на получение гранта.

Отсутствие юридических лиц, заинтересованных в создании совместно с вузами малых инновационных компаний вынуждает создавать МИПы, в которых учредителями выступают Вуз и научные работники. При этом чтобы научные работники смогли войти в состав учредителей с весомой долей оценка патента осуществляется в соответствии с затратами, понесенными Вузом на регистрацию и поддержание интеллектуальной собственности в актуальном состоянии. А эти затраты в АлтГТУ небольшие и составляют до 10 тыс. рублей. Для сравнения, по данным Центра исследований и статистики науки по состоянию на 16 июня 2010 года средняя стоимость прав на использование РИД, вносимых в уставный капитал вузом составляет 27 тыс. рублей, а средний размер уставного капитала малого инновационного предприятия составляет 65 тыс. рублей. (3).

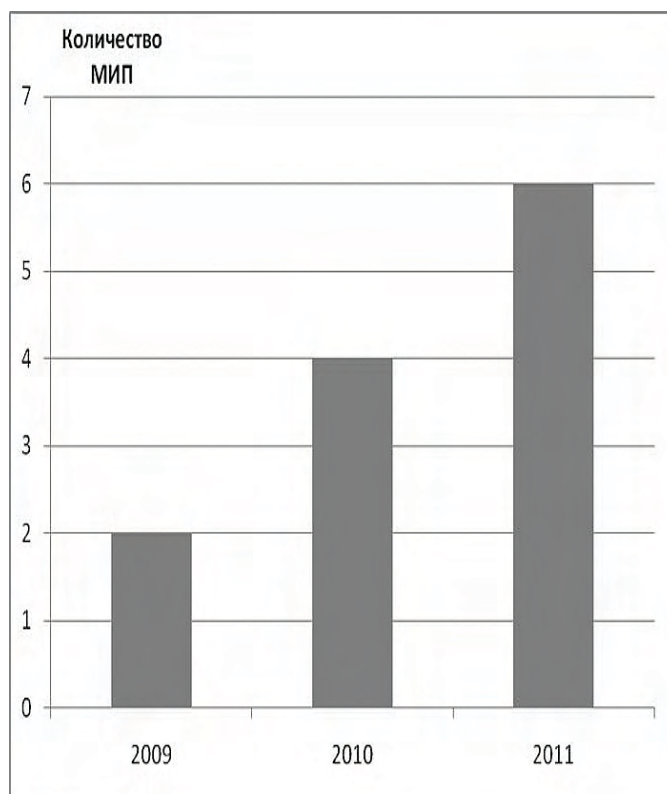


Рис. 1. Малые инновационные компании, созданные в АлтГТУ по ФЗ-217

Средний уставный капитал **12** малых инновационных компаний, созданных при АлтГТУ им. И.И. Ползунова по ФЗ-217 составляет всего **14,4** тыс. рублей. Распределение малых инновационных компаний АлтГТУ им. И.И. Ползунова по величине уставного капитала представлено на рис. 2. С таким капиталом нормально стартовать малые инновационные предприятия стартовать не могут. Кредитование для таких фирм на начальном этапе закрыто. Для нормального старта остается только участие в различных конкурсах на получение грантов. По этому пути пошли **6** малых инновационных компаний, созданных в **2011** году. Все они создавались для участия в программе «СТАРТ» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Тем более, что в **2011** году в данном Фонде по программе «СТАРТ11» приоритет будет отдаваться проектам малых инновационных компаний, созданных по ФЗ-217.

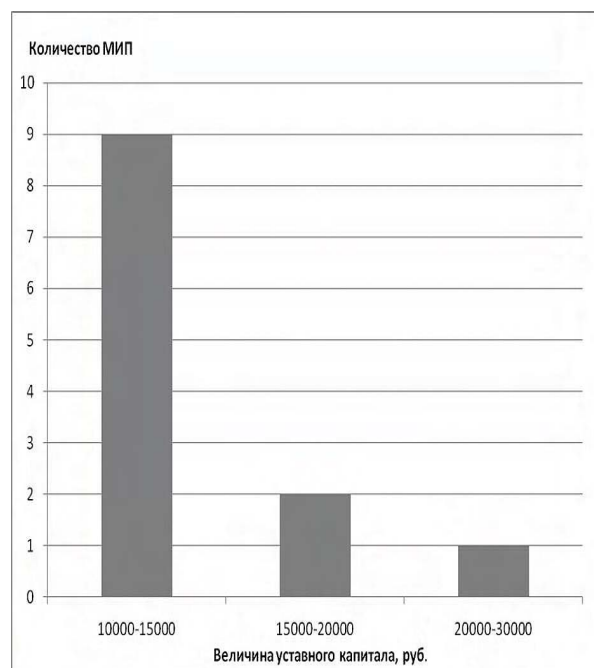


Рис. 2. Распределение количества малых инновационных компаний АлтГТУ по величине уставного капитала.

За время действия ФЗ-217 в АлтГТУ им. И.И. Ползунова накопился определенный опыт создания и работы малых инновационных компаний. Так, если на начальном этапе МИПы создавались вузом и научными работниками, не имеющими практического опыта в бизнесе, то в последующем стали создаваться МИПы со «стартовиками», имеющими определенный опыт в бизнесе.

Почему так произошло Во-первых, изменились условия участия в программе «СТАРТ» Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (приоритет малым инновационным компаниям, созданным по ФЗ-217). Во-вторых, государством приняты поправки в ФЗ-217, позволяющие использовать упрощенную систему налогообложения, а также существенную льготу по налогу на ФОТ.

Создание опытными «стартовиками» малых инновационных компаний по ФЗ-217 показывает, что наиболее активные научные работники поверили в возможность работы по ФЗ-217 и стали переносить свои обороты со старых фирм в новые. Это позволяет надеяться, что малые инновационные предприятия разовьются в стабильные предприятия.

Другой не маловажной проблемой развития малых предприятий остается отсутствие производственно-технологической базы. Как правило, у создаваемых малых инновационных компаний нет своей производственно-технологической базы. Для решения данной проблемы

МИПам либо приходится искать свободные производственные мощности на существующих предприятиях, либо создавать свои, что на начальном этапе становления предприятия не реально.

В 2010 году Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова заключил договор с Министерством образования и науки на создание и развитие инновационной инфраструктуры в ВУЗе с объемом финансирования 84 млн. руб. В рамках данного государственного контракта предусмотрено до конца 2013 года создать в ВУЗе подразделения, обеспечивающие поддержку малым инновационным компаниям: центры коллективного пользования, центр разработки конструкторско-технологической документации, технопарк.

Создаваемая инфраструктура поможет существующим и вновь создаваемым инновационным компаниям на начальном этапе становления. Так, разработку конструкторско-технологической документации в рамках договорных отношений может взять на себя центр разработки конструкторско-технологической документации. ОКР можно будет провести на площадке вузовского технопарка. Специалисты вузовской инновационной инфраструктуры помогут провести технологический аудит разработки и подготовить бизнес-план. Тогда у создаваемой малой инновационной компании будет пакет документации, достаточный, чтобы убедить инвестора в перспективах проекта.

Наличие пакета документации, проведенных маркетинговых исследований по выбранной тематике, бизнес-плана позволит создавать малые инновационные компании по сценарию «ВУЗ- Предприятия среднего бизнеса» и оценивать свой вклад в уставный капитал компании более весомо. Данный сценарий более жизнеспособен для МИПа, т.к. содержит больше положительных сторон. Применение сценария «ВУЗ- Предприятия среднего бизнеса» при создании малых инновационных компаний позволит сформировать вокруг ВУЗа устойчивый пояс инновационных компаний, через которые можно будет решать различные вузовские задачи.

Таким образом, доработанная технология с конструкторской и технологической документацией, оформленной в режиме коммерческой тайны, стратегический партнер, имеющий опыт работы в инновационном бизнесе, достаточно крупный уставный капитал создаваемого хозяйственного общества и развитая инновационная инфраструктура университета позволят осуществить «успешный старт» инновационной разработке.

Однако создаваемые малые инновационные компании не должны становиться для вуза дополнительными источниками доходов (по крайней мере, в течение первых трех лет после создания). Создаваемые

малые предприятия нужны для активизации научной деятельности в вузе, для возможности прохождения практики студентов на МИП и их дальнейшего трудоустройства, для получения предпринимательского опыта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 02 августа 2009 г. №217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности».
2. Никитенко С.М. «Оптимальные сценарии создания научно-образовательными учреждениями хозяйственных обществ (в рамках № 217-ФЗ)» Инновации № 6 2010 г.
3. Митрофанов А.С. «Малые инновационные предприятия при ВУЗах – первые результаты действия федерального закона №217-ФЗ.» Инновации №9 2010 г.

УДК 334.723

МАЛЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

О.А. Останин, Е.В. Останина

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-75. E-mail: mip_texmash@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы создания и функционирования малых инновационных предприятий при ВУЗах (согласно 217-ФЗ).

In article questions of creation and functioning of the small innovative enterprises are considered at HIGH SCH LS (it agree 217-F).

Для повышения конкурентоспособности российской экономики необходимо ускорение процессов интеграции науки, образования и производства, вовлечение результатов интеллектуальной деятельности в хозяйственный оборот. Действующий уже два года Федеральный закон № 217-ФЗ от 02.08.2009 О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности» сформировал правовую основу создания инновационных предприятий при государственных высших учебных заведениях и бюджетных научных учреждениях. Тем самым обеспечивается реальное внедрение в производство результатов

научно-исследовательской деятельности государственного сектора науки

Основной целью закона является обеспечение реального внедрения в производство результатов научно-технической деятельности. Права на эти результаты принадлежат учреждениям науки и образования, поскольку созданы за счет бюджетных средств. Закон предоставляет возможность для учреждений науки и образования быть участниками и учредителями хозяйственных обществ, занимающихся внедрением результатов интеллектуальной деятельности, права на которые принадлежат данным учреждениям.

Необходимость нововведений вызвана тем, что большинство результатов интеллектуальной деятельности в настоящее время создается за счет бюджетных средств государственными научными и образовательными организациями. Однако возможности самостоятельно внедрить в производство свои разработки у вузов и научных учреждений не было. Являясь бюджетными учреждениями, они не могли быть учредителями или участниками хозяйственных предприятий без разрешения собственника, что являлось серьезным препятствием.

В результате изменений, которые закон внес в некоторые нормативно-правовые акты, закрепляется право научных и образовательных бюджетных учреждений создавать хозяйственные общества без согласия собственника имущества. Взносом в уставные капиталы являются права на использование результатов собственных научных и технических разработок.

При этом научным и образовательным учреждениям должно принадлежать более 25% акций или 1/3 доли в уставном капитале предприятия (в зависимости от его организационно-правовой формы), созданного с привлечением соучредителей.

Доходы от созданных хозяйственных обществ могут направляться только на правовую охрану результатов интеллектуальной деятельности, выплату вознаграждения их авторам и на осуществление основной деятельности учреждений - на образование и науку.

Предприятия при вузах и научных учреждениях получают статус малых и средних предприятий, что позволяет им воспользоваться льготами при налогообложении.

Предполагается, что создание инновационных предприятий на базе вузов и НИИ позволит обеспечить вчерашних студентов дополнительными рабочими местами, создаваемыми в вузах.

Среди основных проблемах инновационной деятельности предприятий можно выделить низкую коммерческую эффективность научных разработок, непрофессиональное управление инновационными

проектами и процессами, постоянный поиск финансовых ресурсов, слабое обоснование реализуемых проектов и т.д.

Если переходить к цифрам, то по данным ГУ Центра исследований и статистики науки по состоянию на 30 июля 2011 года в базе данных зарегистрировано 1078 уведомлений о создании малых инновационных предприятий. Из них, 673 предприятия, а это около 62,5 %, не соответствуют статусу 217-ФЗ. Например, из семи созданных малых инновационных предприятий при Кузбасском государственном техническом университете имени Т.Ф. Горбачева, 217-ФЗ соответствует только одно предприятие. В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова создано тринадцать малых инновационных предприятий, из них статусу 217-ФЗ соответствует только пять. Примерно, такая же, ситуация сложилась и в Новосибирском государственном техническом университете. Там из пятнадцати малых инновационных предприятий, статусу 217-ФЗ соответствует только шесть.

Анализ показателей уставного капитала созданных малых инновационных предприятий по 217-ФЗ (на 08.07.2011) показал, что средний размер уставного капитала составляет 276 600 рублей (без учета ЗАО «Манэл» (ТГУ) в БД № 277). ЗАО «Манэл» - это первое инновационное предприятие в рамках 217-ФЗ с уставным капиталом 140 млн. рублей, соучредителями которого стали РОСНАНО, ТГУ и ЗАО «ЭлеСи».

Импульсом для развития вузовских компаний должны стать сопутствующие меры их поддержки, в том числе возможность перехода на упрощенную систему налогообложения (310-ФЗ от 27.11.2010), уменьшение страховых выплат (272-ФЗ от 16.10.2010) и решение одной из главных проблем – аренды (Постановление Правительства Российской Федерации от 12 августа 2011 г. № 677 «Об утверждении Правил заключения договоров аренды в отношении государственного или муниципального имущества государственных образовательных учреждений высшего профессионального образования (в том числе созданных государственными академиями наук) или муниципальных образовательных учреждений высшего профессионального образования, государственных научных учреждений (в том числе созданных государственными академиями наук)». В 17-ю статью Федерального закона «О конкуренции» были внесены изменения, согласно которым предприятиям разрешили арендовать государственное и муниципальное имущество без проведения конкурса. Другими словами, вузы получили право сдавать в аренду свои помещения. Конечно, предусмотрены некоторые ограничения, чтобы избежать их нецелевого использования. В частности, у компаний не будет возможности выкупить эти площади.

Одной из перспективных задач в Министерстве образования и науки РФ считают создание координирующего органа – ассоциации малых инновационных предприятий, которая представляла бы этот сектор инвесторам. Многим из них он кажется непрозрачным – открытой информации о деятельности предприятий крайне мало. В Минобрнауки России также думают о критериях оценки эффективности хозяйственных обществ. Пока в ведомстве собирают только статистические данные – в каких вузах сколько открыто компаний, в какой области они работают и т.д.

Все сведения собирает Центр исследований и статистики (ЦИСН) Минобрнауки России.

Минобрнауки России инициировало работы по созданию информационной площадки для него, позволяющей объективно отражать деятельность малых и средних предприятий, обмениваться опытом, совершенствовать механизмы управления и формы взаимодействия как с деловыми партнёрами, так и государственными органами. Создана сетевая база данных хозяйственных обществ. Один из возможных путей её развития – портал по инновационной деятельности вузов, способный оперативно представить инвесторам достоверную информацию о перспективных разработках и технологиях.

Массовая демонстрация вузовских инноваций была организована в рамках недавно прошедшей на ВВЦ выставки «Дни малого и среднего бизнеса России – 2011». Мероприятие, проводившееся в десятый раз, – традиционное место деловых встреч и дискуссий представителей малого, среднего и крупного предпринимательства, место встречи с потребителями, но главное – с ключевыми игроками сектора малого бизнеса – инвесторами. Так, 33 малых инновационных предприятия, созданных на базе высших учебных заведений различных регионов страны и прошедших экспертный отбор, представили на суд общественности результаты своей деятельности.

Первый этап формирования инновационного поля российских вузов закончен. Создана нормативно-методическая база, система учёта и сопровождения развития вузовского малого и среднего бизнеса. Итогом двухлетней работы, включающей в себя и мониторинг результатов деятельности малых инновационных предприятий, созданных на базе высших учебных заведений, при подготовке экспозиции Минобрнауки России на форуме «Дни малого и среднего бизнеса России – 2011», стал масштабный двухтомник «Инновационная деятельность российских вузов». Задачей, поставленной перед его редакционной группой, созданной на базе Государственного научно-методического центра, было наглядное и доступное представление разработок и проектов,

выполняемых малыми инновационными предприятиями системы высшего профессионального образования Российской Федерации.

В сборник вошла информация о деятельности более чем трёхсот малых инновационных предприятий с подробным описанием их работы, основных параметров выпускаемой продукции и оказываемых услуг, возможных перспектив дальнейшего развития. Данные о малых предприятиях сопровождаются подробными справками о вузе, на базе которого они созданы.

Представленные в сборнике материалы дают общую характеристику базовых направлений инновационной деятельности и позволяют оценить вектор развития инновационных инфраструктур вузов Российской Федерации. Выход сборника «Инновационная деятельность российских вузов» из печати намечен на IV квартал 2011 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 02 августа 2009 г. №217-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам создания бюджетными научными и образовательными учреждениями хозяйственных обществ в целях практического применения (внедрения) результатов интеллектуальной деятельности».
2. <http://www.strf.ru> – Электронное издание «НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ РОССИИ – STRF.ru».
3. <http://www.csrs.ru> – Государственное учреждение «Центр исследований и статистики науки».

УДК 334.723

НОВЫЙ ЗАКОНОПРОЕКТ О ФЕДЕРАЛЬНОЙ КОНТРАКТНОЙ СИСТЕМЕ , КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ С ЗАКУПКАМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

О.А. Останин, Е.В. Останина

Кузбасский государственный технический университет
Кемерово, тел. +7(3842) 39-63-75. E-mail: mip_texmash@mail.ru

В статье рассмотрены основные проблемы 94-ФЗ, в частности, применительно к закупкам ВУЗами научного оборудования и как они решаются с принятием нового закона «О федеральной контрактной системе».

In article the basic problems 94-F , in particular, with reference to purchases by HIGH SCH LS of the scientific equipment and as they dare with acceptance of the new law «About federal contract system» are considered.

Нацеленность на результат и ответственность за него заказчика, прозрачность и подконтрольность обществу всех стадий и процедур государственных закупок – основные принципы, заложенные в новый законопроект «О федеральной контрактной системе». Его задача – обеспечить условия для добросовестной конкуренции, заставить государство качественно исполнять свои обязательства перед обществом, решить проблемы с закупками для проведения научных исследований.

Наибольшая беда с 94-ФЗ – отсутствие непредвзятого планово-финансового обоснования его последствий. Основная цель авторов закона – снизить издержки бюджета на коррупционную и иные негативные составляющие. Но не увеличило ли введение 94-ФЗ общие потери бюджета на закупки. Думается, что да и, как минимум, по трем причинам. Во-первых, 94-ФЗ, привел к тотальному увеличению стоимости (или, возможно, правильнее сказать «себестоимости») продукции, закупаемой госбюджетными учреждениями. А иначе и быть не может. Фирмы, выходящие на торги, держат целый штат менеджеров и юристов, обеспечивающий этот процесс. Проигрыш в конкурсе – потери, и их надо возместить в стоимости выигрыша на другом конкурсе. Эти потери поставщиков в итоге включаются в конечную стоимость товара для госпокупателя. И за эти издержки коммерсантов в конечном счете расплачивается бюджет. Есть ряд ликвидных видов продукции, которые используются главным образом организациями не бюджетного сектора. На конкурентных ликвидных рынках связываться с госзакупками не хотят: товар и так продается, а чтобы увеличить продажи на незначительный процент за счет госучреждений нужно набрать штат специально обученных людей. В итоге многие товары госучреждения покупают по завышенным ценам через перекупщиков, специализирующихся на участии в госзакупках. Можно возразить: в системе торгов идут... торги. И это приводит к снижению цены. Так ли это. По многим видам товаров (особенно обладающих уникальными свойствами, например, научному оборудованию или производственным высокоточным станкам) фирм-производителей в мире не так много. На конкурс часто выходят представительства одного и того же производителя, полностью зависящие от него. Торги в этом случае достаточно условны. Собственно торги – чисто биржевой механизм. Он включен в реализацию 94-ФЗ, но мог бы существовать совершенно отдельно от него и более эффективно (например, «биржа госзакупок»). Вторая потеря бюджета – это затраты госбюджетных учреждений на проведение конкурсов и участие в последующих разбирательствах. Надо иметь большой штат хорошо оплачиваемого персонала, который на 100% занят этой работой. Да и обычный работник (в науке это любой

несчастный, выигравший грант или получивший иную поддержку на исследование) также вместо работы в лаборатории садится на неопределенное время за изучение многочисленных правил и за написание многостраничных документов для проведения закупок. И это тоже потери, которые оплачивает госбюджет. А третья экономическая потеря, и она, возможно самая существенная, если учесть ее последствие на много лет вперед, это снижение темпа и эффективности работы учреждений в наукоемких отраслях, и, в первую очередь, в науке и высшем образовании. Потому, что пауза между началом проекта и решением вопросов его обеспечения (покупка реактивов, научных приборов, необходимых для работы услуг) требует паузы в месяцы (иногда и год) для решения бюрократических закупочных вопросов. Мы существенно отстаем от своих коллег из-за рубежа в части решения примитивных проблем закупок реактивов, оборудования, услуг. Удивительно, но Министерство экономического развития не оценивает это влияние. Ведь именно оно должно было бы требовать сокращения любых бюрократических проволочек для того, чтобы дать как можно больше ускорения наукоемкой экономике с целью эффективного использования средств на науку. А о сохранности бюджетных денег в итоге заботятся... молодые ученые, а никак не специально приставленные к бюджету экономисты.

От части, некоторые проблемы поможет решить новый закон «О федеральной контрактной системе».

Новым законом будет регулироваться весь цикл государственных закупок – от среднесрочного прогноза государственных и муниципальных нужд до аудита результата государственной закупки на предмет соответствия первоначально заявленной нужде – и по ценовым параметрам, и по качественным характеристикам, и по целесообразности её удовлетворения тем или иным способом.

Новации для науки и малого бизнеса.

Способов проведения закупок стало больше. К открытому и закрытому конкурсам, электронному аукциону, запросу котировок и закупкам у единственного источника в новом законопроекте добавились конкурс с ограниченным участием, запрос предложений и двухэтапный конкурс (статья 23, п.1). Последний проводится при закупках госорганов для проведения научных исследований, проектных работ, экспериментов, изысканий и разработок, создания произведений литературы и искусства. На первом этапе конкурса участники представляют содержательные предложения (концепцию) без указания цены контракта, которые обсуждаются с заказчиком. На втором этапе, после уточнения критериев, – окончательные предложения с указанием цены. Такой способ может быть выбран, при закупках сложной,

инновационной продукции, например, при модернизации реактора атомной электростанции.

Поскольку в сфере науки действующая по 94-ФЗ закону система закупок не работает, предлагается решать эту проблему, в частности, так. Закон не будет распространяться «на деятельность бюджетных учреждений по выполнению научно-исследовательских, опытно-конструкторских или технологических работ за счёт грантов, передаваемых безвозмездно и безвозвратно гражданами и юридическими лицами», в том числе иностранными, а также международными организациями (статья 14, п. 4). Такого рода деятельность будет регулироваться Федеральным законом № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц», который вступит в силу с 1 января 2012 года.

По мнению молодых учёных, эффективная модель финансирования науки должна строиться на основе системы грантов, которые получают победившие в конкурсах непосредственные исполнители исследований – небольшие научные коллективы, а не вузы или академии. Но правового определения таким коллективам законопроект не даёт.

По 94-ФЗ можно легко выиграть конкурс, предложив заказчику наиболее низкую цену. В проекте закона о ФКС предусмотрены антидемпинговые механизмы. Если участник конкурса занижает в заявке цену по сравнению с начальной более чем на 25 процентов, то он по требованию заказчика должен обосновать это. А при попытке снизить цену на самом аукционе на 25 процентов торги останавливаются.

Поддержка малого бизнеса через систему закупок – ещё одна новация (статья 29). Заказчикам вменяется обязанность «осуществлять закупки товаров, работ и услуг у субъектов малого предпринимательства в размере не менее чем десять процентов от общего годового объёма закупок товаров, работ, услуг». Эта норма будет применяться при проведении открытых конкурсов, конкурсов с ограниченным участием, двухэтапных конкурсов, электронных аукционов, запросов котировок. Начальная (максимальная) цена контракта при этом не должна превышать 10 миллионов рублей.

Заказчикам, а их сейчас более 300 тысяч, труднее будет самоуправствовать, например, приобретать предметы роскоши для чиновничьих кабинетов под видом закупки для нужд государственных и муниципальных органов. С введением единой информационной системы все действия заказчика окажутся обнажёнными – публиковаться будут не только планы закупок, но и сведения об исполнении контракта.

На каждой стадии закупок может проводиться контрактный аудит. Уполномоченный орган проверит, соответствуют ли планам

обеспечения государственных и муниципальных нужд внутригодовой план-график, обоснованы ли изменения при его исполнении, насколько правомерны начальная (максимальная) цена контракта и выбор способа закупки. И что не менее важно – соответствуют ли результаты закупок условиям контракта, есть ли эффект от практического применения этих результатов.

Вводится персональная ответственность заказчика за его действия на всех стадиях госзакупок. За неисполнение норм закона и нарушение условий конкуренции он может быть дисквалифицирован, уволен, понести административное и даже уголовное наказание.

Последняя, 98 статья проекта закона о «Федеральной контрактной системе» гласит, что с момента вступления его в силу прекращается действие 94-ФЗ. Он свою роль, в том числе негативную для науки, уже сыграл. В Минэкономразвития надеются, что до конца этого года или в начале следующего удастся не только провести публичное обсуждение законопроекта и согласовать его с различными ведомствами, но и рассмотреть доработанный вариант в Правительстве РФ и Государственной думе. Но не стоит забывать, что закон о ФКС при всём его новаторстве не отменит 94-ФЗ, регулирующий размещение заказов на госзакупки, а поглотит его нормы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон № 94-ФЗ от 21.07.2005 г. «О размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг для государственных и муниципальных нужд»
2. <http://www.strf.ru> – Электронное издание «НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ РОССИИ – STRF.ru»
3. <http://gov.ru>

УДК 338.46:37

**УСТАНОВЛЕНИЕ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ В ВУЗАХ, СПОСОБСТВУЮЩИХ
РАЗВИТИЮ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
С ОРГАНИЗАЦИЯМИ РАБОТАДАТЕЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЮ
КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ**

О.Б. Сухорукова, к.э.н.

Алтайский государственный университет им. И.И.Ползунова
Барнаул, тел./факс +7(3852)66-90-90. E-mail: suholga.08@mail.ru

Органические организации, имеющие матричные (проектные, проблемно-условные) организационные структуры находятся на наиболее высокой стадии развития. Аналогично и для сферы образования необходимую гибкость в управлении процессом образовательной деятельности позволяют получить организационные структуры матричного типа, в которых обеспечивается прямая взаимосвязь между функциональными и линейными подразделениями на любом уровне.

The organic organization that have matrix (project and problematical-conditional) organization structures have the most effective state. This condition is accepted to the educational sphere too. In organization structures of the matrix types is secured direct connection between functional and lineal subdivisions of some level. These structures allow receiving necessary sufficiency in the control of the process.

В настоящее время остро стоит вопрос нового понимания государством, высшей школой и бизнесом результатов высшего образования, под которыми понимается готовность выпускника к успешному выходу на рынок труда; подготовка к жизни (активная жизненная позиция); личностное развитие; подготовленность специалиста к постоянному обновлению компетенций; мобильность. Государство дозированно передает часть ответственности за качество образования, постепенно расширяя академические свободы и самостоятельность вузов по реализации основных образовательных программ (введение федеральных государственных образовательных стандартов – еще один шаг в этом направлении). Вузы, в свою очередь, очень осторожно относятся к дополнительной ответственности, несмотря на повышение самостоятельности в принятии решений. Ведь для перехода на новый уровень отношений требуются значительные затраты: на повышение квалификации преподавателей, обновление методической составляющей, реструктуризацию управления. Бизнес готов инвестировать средства в образовательный сектор, но при этом

желает иметь гарантии – как от государства, так и непосредственно от вузов – на получение специалиста с заданными компетенциями.

Среди группы организационных и коммуникативных проблем взаимодействия вузов и работодателей, возможно выделить следующие: необходимость установления вариантов и форм сотрудничества, которые являются наиболее эффективными, недостаточность решения правовых и информационных аспектов взаимодействия.

Таким образом, существующий комплекс противоречий во взаимодействии рынка образовательных услуг и рынка труда специалистов представляется сложным и объемным, требующим непрерывного внимания со стороны всех заинтересованных субъектов взаимодействия: государства в лице федеральных и региональных властей, представителей общественности, работодателей, высшего профессионального образования и др.

Эффективная модель взаимодействия системы профессионального образования и рынка труда (сформированный и нормативно закреплённый механизм взаимодействия рынка профессиональных образовательных услуг и рынка рабочих мест региона) включает в себя:

- способы согласования спроса на специалистов того или иного уровня квалификации и предложения соответствующих рабочих мест;
- способы учета изменяющихся требований работодателей (как главных заказчиков профессионально образования) к качеству профессиональной подготовки в региональной сети учреждений профессионального образования;
- форматы участия работодателей в деятельности системы профессионального образования в целях достижения соответствия спроса и предложения на рабочую силу (как по количественным, так и по качественным параметрам) и т.д.

Новые подходы к управлению предполагают интеграцию внешних и внутренних участников за счет достоверного и прозрачного информационного обмена, без которого невозможно взаимодействие в условиях процессно-ориентированной организации. В связи с этим, важнейшей задачей, стоящей перед многими вузами, является формализация ранее созданных неформальных иерархических связей. Используя деление процессов согласно стандарту ИСО 9000-2005 на основные (или бизнес-процессы), процессы менеджмента и обеспечивающие (или вспомогательные) процессы, которое обусловлено принципом влияния процессов на добавленную ценность продукции и самой организации, автором определено, что в вузе образовательным бизнес-процессом является межфункциональный процесс по предоставлению образовательных услуг по определенной образовательной программе, горизонтальную координацию

деятельности которого осуществляет команда процесса (владелец процесса), включающая преподавателей выпускающих и сервисных кафедр.

Главная задача команды образовательного процесса – обеспечить выполнение задач, стоящих перед владельцами различных функций (операций) горизонтального процесса. Для этого высшее руководство делегирует часть полномочий линейно-функциональных подразделений владельцам процессов, т.е. в результате реинжиниринга подпроцессы из вспомогательных процессов и процессов менеджмента переносятся в образовательный бизнес-процесс. Перераспределение прав и обязанностей между командами образовательных процессов и управляющими линейно-функционального уровня приводит к изменению структуры функций (декомпозиции) ряда подпроцессов (таблица 1).

Таблица 1

Фрагмент матрицы ответственности образовательного бизнес-процесса вуза (О – ответственный за процесс, У – участник процесса, И – получает информацию о результатах / ходе протекания процесса)

Подпроцессы (функции) / подразделения, ответственные за выполнение	Команда процесса (владелец процесса)	Отдел маркетинговых исследований	Отдел кадров студентов
Содействие трудоустройству выпускников:				
-подготовка сведений о выпускниках	О	И		
-формирование множества мест трудоустройства, вакансий	О (У)	У (О)	И	

В российских вузах выполнение соответствующих вертикальных функций при переходе к матричному управлению межфункциональными процессами проявляется в создании команд процессов образовательной деятельности на базе факультетов, которые несут ответственность за подготовку студентов по определенным направлениям (специальностям) (рис. 1).

Результатом формирования нового организационно-экономического механизма управления будет служить увеличение показателей деятельности преподавателей, входящих в команду процесса образовательной деятельности (таблица 2).

Целенаправленная, в меру творческая и профессиональная деятельность участников команды образовательного процесса по

повышению качества образовательных услуг — это конструктивный инновационный путь выхода государственного вуза (таблица 3) на действительно эффективную корпоративную общую стратегию и тактику его развития.

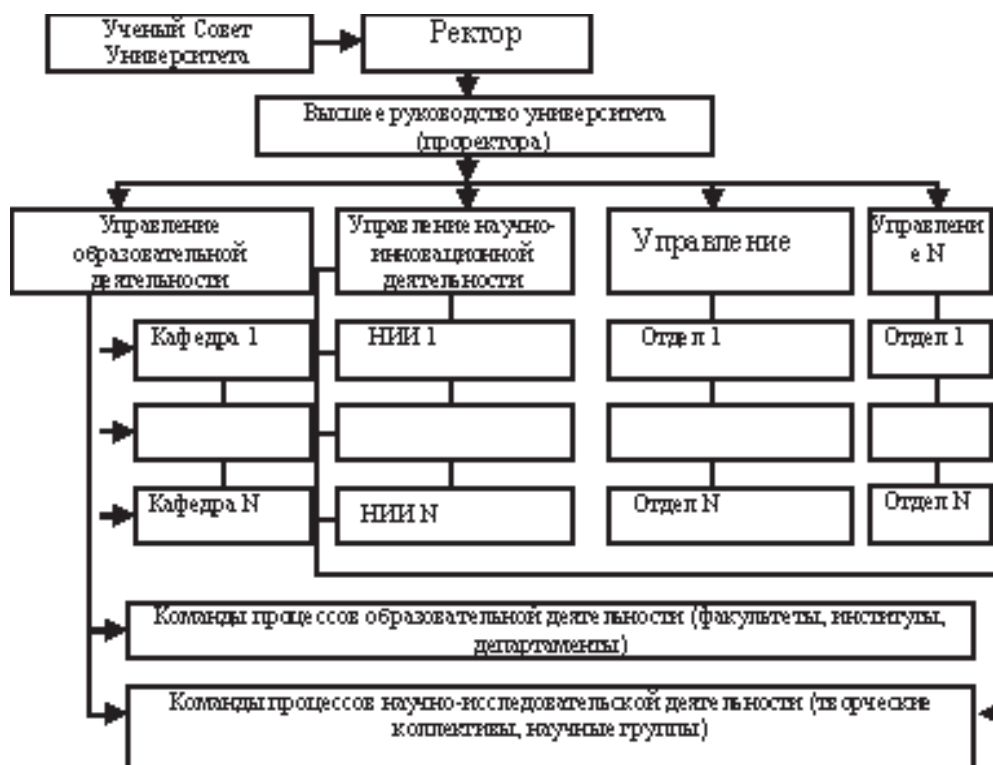


Рис. 1. Матричная организационная структура вуза

Таблица 2

Показатели деятельности команд процессов по декомпозированным функциям

Подпроцессы /функции	Показатели результативности	Показатели трудоемкости	Характер переноса ответственности	Удельный вес j
1	2	3	4	5
Содействие трудоустройству выпускников				0,0900
.....				
-формирование множества мест трудоустройства, вакансий;	количество предприятий, с которыми установлены связи	трудоемкость работ по формированию мест трудоустройства, вакансий	У-О	0,0329
Довузовская подготовка				0,1000
.....				
-организация школьных, районных и областных	количество школьников,	трудоемкость организации	У-О	0,0166

**2-ая Международная научно-практическая конференция
«Инновации в машиностроении»**

олимпиад;	принимающих участие в олимпиадах	олимпиад		
.....				
Учебно-организационная деятельность				0,1100
-организация производственной (преддипломной) практики;	количество организованных производственных практик	трудоемкость организации производственных практик	У-О	0,0146
.....				
Методический процесс				0,1220
-внедрение мультимедийных технологий обучения;	количество персональных компьютеров, организованных в мультимедийных и компьютерных классах	трудоемкость внедрения мультимедийных технологий обучения	И-У	0,0189
-внедрение систем открытого и дистанционного образования;	количество обучающихся на программах дистанционного образования	трудоемкость внедрения систем открытого и дистанционного образования	И-У	0,0212
-научное редактирование учебно-методических материалов;	количество учебно-методических материалов в п.л., прошедших научную редакцию и рассмотренных на методическом совете	трудоемкость научной редакции учебно-методических материалов	У-О	0,0289
Организационно-воспитательная деятельность				0,1080
-организация культурно-массовой деятельности;	количество студентов, задействованных в культурно-массовых мероприятиях	трудоемкость организации культурно-массовых мероприятий	У-О	0,0195
.....				
Научная работа со студентами				0,1210
-организация проведения научно-технических конференций студентов.	количество студентов, принимающих участие в научно-технических конференциях	трудоемкость организации научно-технических конференций студентов	У-О	0,0528
.....				

Таблица 3

Стратегия управления государственным вузом по повышению качества образовательных и научно-исследовательских услуг

Вид решения	Цели	
	Тактические	Стратегические
1. Управление качеством преподавания	Повышение квалификации ППС, внедрение СМК в вузе	Качественное совмещение преподавательской и научно-исследовательской деятельности
2. Управление ориентацией на потребителя	Управление маркетингом образовательных услуг в структурных подразделениях образовательной деятельности	Увеличение доли рынка ОУ, повышение качества образовательных услуг

Рассмотрим, как реализация каждого из предложенных направлений стратегии способствует повышению качества образовательных и научно-исследовательских услуг государственного вуза.

Управление маркетингом образовательных услуг в структурных подразделениях образовательной деятельности

Управление маркетингом образовательных услуг в структурных подразделениях образовательной деятельности вузов должно обеспечить максимальное приближение компетентностей конкретного выпускника к компетентностям, которые описаны в модели образовательной программы; а также отслеживание соответствия перечня компетентностей образовательной программы перечню компетентностей, востребованных на рынке труда.

Качественное совмещение образовательной и научно исследовательской деятельности

Несомненно, внедрение системы менеджмента качества в государственных и коммерческих вузах ориентирует преподавателей как на следование стандартам, так и требованиям потребителей. Но специалист с высшим образованием должен рассматриваться не только как носитель профессиональных знаний и навыков, приобретенных в процессе обучения, но и как проводник, более того, как потенциальный генератор новых научных и научно-прикладных идей. Для достижения миссии вуза – подготовки высококачественных специалистов, вузу необходимо наращивать свой научный потенциал, для того, чтобы направления образовательной деятельности соответствовали потребностям в специалистах по передовым направлениям в науке и технике.

Качественное совмещение преподавателями образовательной и научной деятельности на основе следования положениям системы менеджмента качества, внедренной в вузе, напрямую приведет к

повышению «перспективного» качества услуг, так как будет способствовать развитию содержания образовательных стандартов преподавателя в направлении его научной деятельности.

В последнее время получило широкое распространение функционирование встроенных в матричную организационную структуру образовательных, научно-производственных, сервисных центров, которые способствуют установлению горизонтальных связей между кафедрами, факультетами и НИИ и организациями партнерами (проектная форма управления в виде технополисов, научных центров). Но данные принципы функционирования существенно отличаются от принципов функционирования команд процессов образовательной и научной деятельности.

Когда речь идет о подготовке бакалавров, магистров, специалистов в ограниченные сроки и не повторяющимися партиями, или осуществление небольших по объему и сложных научных исследований, имеющих разовый характер, целесообразно применение проектной формы управления основной деятельностью. Усложнение внешней среды, переход на двухуровневое профессиональное образование предполагает сотрудничество разработчиков образовательных программ совместно с работодателями и предоставление любой образовательной услуги как особого проекта, реализуемого на постоянной основе. Необходима более постоянная структурная организация образовательной деятельности путем перехода на процессные принципы управления основной деятельностью.