

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ДИЗАЙНА И ТЕХНОЛОГИИ

На правах рукописи

БЕЛЯЕВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
ЧИСТЫХ ПЛАКИРУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ
СРОКА СЛУЖБЫ ОБОРУДОВАНИЯ КОЖЕВЕННО-
ОБУВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Специальность:

05.02.13 - Машины, агрегаты и процессы
(легкая промышленность)

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Прокопенко А.К.

Москва 2014 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР. ПОСТАНОВКА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	11
1.1. Основное технологическое оборудование и технологическая оснастка кожевенно-обувного производства.....	12
1.2. Анализ методов повышения срока службы машин и оборудования.....	23
1.3. Постановка задач исследований.....	30
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА КОЖЕВЕННО-ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПЛАКИРУЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ.....	32
2.1. Выбор и обоснование направлений повышения ресурса деталей машин и инструмента.....	32
2.2. Теоретические основы создания режима металлоплакирования при трении материалов.....	38
2.3. Теоретические основы поверхностно-пластического деформирования металла в металлоплакирующих средах	45
2.4. Разработка теоретических основ повышения срока службы деталей машин и режущего инструмента	47
2.5. Выводы по главе 2.....	62
ГЛАВА 3. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	63
3.1. Методика триботехнических лабораторных исследований покрытий.....	63
3.1.1. Модернизация автоматизированного комплекса	

триботехнических испытаний.....	63
3.1.2. Методика проведения ускоренных триботехнических испытаний материалов на автоматизированном комплексе	68
3.2. Методика нанесения износостойких многофункциональных металлоплакирующих покрытий фрикционным способом.....	69
3.3. Методика формирования поверхностного слоя металла нанесением покрытий импульсным искровым разрядом.....	70
3.4. Методика нанесения покрытий сверхзвуковым холодным напылением.....	71
3.5. Выводы по главе 3.....	77
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ИНСТРУМЕНТА НА ПОВЫШЕНИЕ ИХ СРОКА СЛУЖБЫ, ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	77
4.1. Лабораторные триботехнические исследования.....	77
4.2. Исследование режущей способности инструмента скользящего резания с защитным покрытием.....	90
4.3. Исследования возможности нанесения многослойных композиционных покрытий в потоках энергии на неметаллические поверхности.....	91
4.5. Внедрение результатов исследований.....	97
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	111
ЛИТЕРАТУРА.....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	125

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Дальнейшее устойчивое социальное развитие страны, рост качества и уровня жизни населения во многом зависит от разнообразия товаров и услуг.

Дальнейшее устойчивое социальное развитие страны, рост качества и уровня жизни населения во многом зависит от разнообразия товаров и услуг.

В Стратегии развития легкой промышленности России на период до 2020 года, разработанной в соответствии с поручениями Президента Российской Федерации от 3 июля 2008 года № Пр-1369 и Правительства Российской Федерации от 15 июля 2008 года № ВП-П9-4244 определены ее цели и задачи развития легкой промышленности [1]. В основу Стратегии заложен переход легкой промышленности на инновационную модель развития, ориентированную на повышение ее конкурентных преимуществ, увеличение выпуска качественной продукции нового поколения и особое внимание уделено вопросам технического перевооружения отраслевой науки.

Широкое применение в кожевенно-обувном производстве легкой промышленности находят машины и оборудование с использованием механических систем. Эффективность их работы определяется, главным образом, техническим состоянием рабочих поверхностей сопрягаемых деталей.

Несмотря на значительное количество выполненных ранее научно-исследовательских работ, проблема повышения срока службы и снижения материальных и трудовых затрат при эксплуатации машин производств легкой промышленности остается актуальной и требует проведения комплекса взаимосвязанных теоретических и экспериментальных исследований.

Тяжелый режим, агрессивная среда при работе трущихся деталей основного и вспомогательного производственного оборудования,

экспериментальный опыт свидетельствуют, что традиционные методы повышения срока службы малоэффективны. Необходимо применение новых методов, основанных на современных представлениях о процессах фрикционного взаимодействия.

Одним из перспективных направлений повышения основных параметров механических систем является реализация на рабочих поверхностях узлов трения при их изготовлении и ремонте технологий металлоплакирования.

Работа выполнялась в рамках темы «Разработка теоретических основ повышения ресурса оборудования предприятий лёгкой промышленности плакирующими технологиями» Министерства образования и науки Российской Федерации (номер гос. регистрации: 01201052166), направленной на практическое использование современных экологически чистых плакирующих технологий.

Цель и задачи исследований. Целью исследования является разработка научно-обоснованных экологически чистых технологий повышения срока службы деталей основного технологического оборудования и режущего инструмента кожевенно-обувных производств.

Для достижения этой цели в работе решены следующие задачи:

-проанализированы условия и режимы работы основного технологического оборудования и технологической оснастки предприятий кожевенно-обувного производства;

-разработаны теоретические положения повышения основных параметров технологического оборудования и оснастки предприятий кожевенно-обувного производства технологиями металлоплакирования;

-проведена модернизация средств и предложена методика лабораторных триботехнических испытаний;

-проведены комплексные исследования предложенных технических решений;

- результаты исследований переданы для внедрения на производство.

Методика исследований. При выполнении работы использованы теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования выполнены с учетом современных представлений о взаимодействии материалов в зоне контакта и особенностях протекания рабочих процессов в оборудовании кожевенно-обувного производства.

Экспериментальные исследования осуществлены на модернизированном лабораторном комплексе для испытаний с автоматизированными средствами сбора и обработки данных в цифровом виде.

Рабочие поверхности деталей исследовались на металлографическом оптическом микроскопе. Обработка результатов исследований осуществлена в соответствии с требованиями стандартов, определяющих методы математической статистики сбора и обработки информации.

Достоверность теоретических и экспериментальных исследований подтверждена также актами заводских испытаний и внедрением результатов работы в производство.

Научная новизна работы. Разработаны теоретические основы повышения срока службы деталей машин и инструмента кожевенно-обувных производств экологически безопасными плакирующими технологиями, в том числе с использованием «эффекта безыносного трения».

Обоснованы и экспериментально определены режимы формирования многофункциональных композиционных покрытий на рабочих поверхностях деталей повышающих технические характеристики производственного кожевенно-обувного оборудования и потребительские свойства выпускаемой продукции.

Разработана методика триботехнических испытаний конструкционных и смазочных материалов с использованием современных цифровых методов сбора и обработки результатов экспериментальных исследований.

Практическую значимость работы представляют:

-комплекс экологически чистых инновационных технологий повышения срока службы деталей машин и инструмента кожевенно-обувных производств;

-основные параметры процессов формирования композиционных многофункциональных покрытий;

-модернизированный комплекс ускоренных лабораторных триботехнических исследований;

-модернизированная конструкция исполнительных устройств установки газодинамического напыления, позволяющая расширить спектр материалов на которые наносится покрытия;

-конструктивные решения, обеспечивающие режим самозатачивания режущей части инструмента для раскроя кожевенно-обувных материалов;

-рекомендации по применению инновационных технологий повышения срока службы деталей машин и инструмента кожевенно-обувных производств.

На защиту выносятся следующие основные положения диссертации:

- теоретические основы повышения срока службы деталей машин и инструментов^{ов} кожевенно-обувных производств экологически безопасными лакирующими технологиями, в том числе с использованием «эффекта безыносного трения»;

- конструктивные решения режущей части инструмента раскроя кожевенно-обувных материалов, обеспечивающие режим его самозатачивания;

- прибор и методика триботехнических испытаний конструкционных и смазочных материалов с использованием современных цифровых методов сбора и обработки результатов экспериментальных исследований;

- результаты исследований по формированию многофункциональных композиционных покрытий на рабочих поверхностях деталей и режущих

инструментов, улучшающих технические характеристики производственного кожевенно-обувного оборудования и потребительские свойства выпускаемой продукции.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждены и получили положительную оценку на:

- научном семинаре «Плакирующие технологии (Инновационные технологии для легкой и текстильной промышленности)» МГУДТ, 2010;

- VIII-ой Международной научно-технической конференции «Инновации и перспективы сервиса» Уфа, Уфимская государственная академия экономики и сервиса, 2011;

- Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов «Проблемы машиноведения: трибология 29-31 октября 2012 г., г. Москва;

- III-ем Международном семинаре «Техника и технологии трибологических исследований. Трибология и проблемы МЧС РФ» 18-19 октября 2012 г., г. Иваново;

- Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы разработки, использования и оценки качества новых материалов и технологий для сферы сервиса и туризма", РГУТиС, Москва, 2012;

- III-ей Міжнародної науково-практичної конференції «Ефективність організаційно-економічного механізму інноваційного розвитку вищої освіти України», 3-4 жовтня 2013 р.;

- 14-ой Международной научно-практической конференции «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск, сентябрь 2013 г.;

- VII-ой Международной научно-практической конференции «Новые материалы и технологии их получения», Южно-Российский государственный

технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск, октябрь 2013 г;

- 12-ой Международной научно-практической конференция «Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике», Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск, ноябрь 2013 г.;

- Международной научной конференции «Новое в технике и технологии в легкой промышленности», Витебск, ноябрь, 2013 г.;

- Всероссийской заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы разработки, использования и оценки качества новых материалов и технологий для сферы сервиса и туризма», Москва, РГУТиС октябрь 2013 г;

- Международной научно-технической конференции “Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности” (Москва, МГУДТ, 12-13 ноября 2013 г.).

Выполненные автором разработки экспонировались на:

- выставке « TerraTec – enertec 2009» в г. Лейпциг, Германия, 2009 г.;
- Международном салоне инноваций в г. Женева, Швейцария, 2009 г.;
- фестивале науки в г. Москва, 2011 г.;
- выставке «Инновационные достижения российских вузов» г. Рим, Италия, 2011 г.;
- выставке 2-ой научно-практической конференции « Нанотехнологии в текстильной и легкой промышленности» МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получен патента РФ на полезную модель.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложений. В приложении приведены копии документов, подтверждающих достоверность приведенных в тексте диссертации сведений.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР. ПОСТАНОВКА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованиями, направленными на совершенствование технологических процессов и оборудования легкой промышленности, занимались большое количество авторов. Принципам построения конструкторских рядов, выбору схем, вопросам унификации, конструктивному исполнению отдельных элементов и изучению влияния основных конструктивных параметров, совершенствованию технологических процессов на технико-экономические характеристики машин и оборудования легкой промышленности посвящены работы: Фукина В.А. [78], Майзель М.М. [55], Сторожева В.В. [71, 72], Бурмистрова А.Г. [17], Иванова В.А. [35, 36], Абрамова В.Ф. [3, 4] и других исследователей [5, 6, 18, 32, 41, 56, 64, 77].

Конструкция машин и аппаратов, применяемых в производстве изделий из кожи рассмотрены в работе [71]. В ней также изложены теоретические разработки в области создания технических средств на основе анализа технологических требований к изготовлению предметов потребления.

В монографии [4] дано описание исследований процесса раскроя в швейной и обувной промышленности, раскрывающие характер явлений, имеющих место при раскрое, в их физическом, математическом и технологическом представлении, рассмотрены традиционные и новые методы моделирования деформационных свойств материалов и системы «объект обработки + ИРО машины» в технологической среде, раскрыты основные особенности способов резания и используемых рабочих инструментов при производстве кожи и обуви.

Тем не менее, по такому важнейшему показателю, как срок службы, режущий инструмент в виде тонких пластинчатых ленточных, чашечных и тарельчатых ножей пока не в полной мере отвечает современным

требованиям эффективного кожевенно-обувного производства, увеличения безремонтного периода и повышения производительность труда.

По данным [32] в настоящее время отечественные разработчики кожевенно-обувного оборудования выпускают свою продукцию малыми сериями или даже единичными экземплярами. Лидирующие позиции по поставке нового оборудования для выполнения различных сложных операций при изготовлении обуви заняли итальянские фирмы, а так же производители из Германии, Чехии, Турции.

1.1. Основное технологическое оборудование и технологическая оснастка кожевенно-обувного производства

Современные крупнейшие зарубежные и отечественные предприятия легкой промышленности выпускают как дубленые полуфабрикаты, так и готовую кожевенно-обувную продукцию и, соответственно, имеют в своем составе целый ряд сложных взаимосвязанных производственных комплексов, в том числе импортного производства.

Кожевенное производство (на примере Осташковского завода) включает в себя:

- комплекс производственного оборудования по первичной обработке (отмочно-зольные, дубильные и красильные барабаны);
- комплекс импортного производственного оборудования фирм FISHINI, ERRETRE, MOSCONI, POLETTO, GEMATA, RIZZI, CARTIGLIANO, BARNINI, LINTA, HUNI, MOSTARDINI, LIXFLORA, SELIN.
- корпус жидкостных процессов – основное производственное здание с полным и современным комплектом сооружений и передаточных устройств.
- мездрильная машина позволяет удалить со шкуры подкожно-жировую клетчатку (мездру).

Рабочий орган мездрильной машины представляет собой систему вращающихся валов.

Процесс дубления кож осуществляется в специальных барабанах. За время этого процесса с помощью специальных химикатов из кож выводятся все микроорганизмы, прекращаются естественные процессы гниения. Т.е. из живого материала кожа превращается в стандартный, соответствующий строгим требованиям, полуфабрикат.

В деревянных барабанах для дубления, производства фирмы Ermaksan Machinery (Турция) (рис.1.1) вместимостью 16 тонн имеющих размеры 3500 х 3500 мм в кожевенном производстве одним из слабых мест является открытая зубчатая передача с цельно-литой с фрезерованными зубцами приводной звездочкой наружным диаметром 2000 мм. Крепление наружных подшипников посадочной оси диаметром 200 мм представляет собой бронзовый сплав. При скорости вращения электродвигателя 1400 об/мин принцип регулирования позволяет менять скорость вращения барабана от 0 до 14 об/мин.



Рис.1.1. Барабаны для дубления кож

Для сушки вакуумом, как половинок, так и целых кож, для улучшения качества краста, поддержание точных температур сушки часто применяется вакуумная пятистольная сушильная машина фирмы «Картильяно».

Отжимные машины итальянских фирм «Эскомар» и «3 р», применяемые в современных производствах, позволяют значительно улучшить качество отжима и за счёт хорошей разводки получить прибавку к площади каждой кожи. В данной марке машины барабан изготавливается из нержавеющей стали.

Новые современных строгальных машин Итальянской фирмы «Фламар» - осуществляют доведение до нужной толщины полуфабриката после хромового дубления, путём строгания бахтармянной части шкуры горизонтальным ножевым валом. Это позволяет значительно улучшить качество строжи и увеличить производительность

Пресс SHAVEPACKER D-3 фирмы «DANESE MAURIZIO» применяется для прессования стружки от строгальных машин.

Двоильно-ленточная машина SUPER ZENIT 3000 Итальянской фирмы «MOSCONI» осуществляет распиливание полуфабриката шкур КРС, после процесса зольения, ленточным ножом параллельно лицевой поверхности на необходимую толщину.

Основными дефектами при прохождении кож через машину являются образование складок и других дефектов лицевого слоя (перепилов, выхватов, порубов и прочих повреждений), нарушение необходимой толщины голя в нарушение установленных норм, вызванные в основном изменением угла заточки ленточного ножа в процессе работы.

Отжимно-разводная машина TWISTER Итальянской фирмы «FLAMAR» применяется для отжима и растягивания полуфабриката, после крашения, путем отбора влаги шерстяным полотном под давлением, а так же для увеличения площади.

Ротационный пресс ROTOGRAIN RGR Итальянской фирмы «EMMEZETA» используется для изготовления гладких кож и кож с тиснением.

Для зачеканки и балансировки ножевых валов применяется станок UNIVERSAL 3400 фирмы «ALPE».

Выравнивание толщины кожи для деталей верха обуви и ее двоение осуществляется на двоильно-ленточных машинах в зависимости от вида производства как в раскройном, так и заготовительных цехах.

Двоильно-ленточная машина SL 320 – DIAMOND Итальянской фирмы «LINTA» осуществляет двоение полуфабриката – распиливание полуфабриката, после процесса дубления, ленточным ножом параллельно лицевой поверхности на необходимую толщину, что позволяет значительно улучшить точность двоения полуфабриката, увеличить выпуск спилка.

Проходная линия для обработки краста в своем составе содержит: отжимно-разводную машину STENPRESS PRC4/RA 2S фирмы «BAUCE», тянуще-мягчительную машину WS 3203 фирмы «CARTIGLIANO», укладчика кож FEEDER 70 фирмы «CARTIGLIANO», вакуумную сушилку SV6 фирмы «CARTIGLIANO» и кондиционера TAIC фирмы «CARTIGLIANO».

В кожевенном производстве также используются барабаны для крашения из полипропилена, двоильно-ленточные машины для двоения в голье, тянуще-мягчительные машины для сухого товара, строгальные машины, мездрильные машины непроходного типа, двоильно-ножевые машины для двоения полуфабриката, разбивочные станции для смягчения готовой кожи с впрыском химических растворов и др.

На обувных предприятиях сильному изнашиванию подвергаются пресс-формы для литья подошв (рис. 1.2), механизмы клеймения деталей обуви (рис. 1.3), исполнительные органы машин с пневмо- и гидравлическим приводами (рис. 1.4).

Данная технологическая оснастка является неотъемлемой частью современного производства и от ее технического состояния напрямую зависит качество выпускаемой продукции.



Рис.1.2. Пресс-формы для литья подошв



Рис.1.3. Исполнительный механизм клеймения деталей обуви



Рис.1.4. Машины с пневмо- и гидравлическим приводами

Рабочий инструмент кожевенно-обувного производства

В качестве режущего инструмента в кожевенном производстве применяются двойные ножи ALBER (Германия) для машин MOSCONI, мездрильные и строгальные ножи для машин PERSICO, ЗР PIRANA, RIZZI, ITM, FLAMAR и др.

На мездрильных машинах предусмотрена автоматическая заточка ножей наждачным кругом.

Ножевой вал строгальной машины снабжен 12-ю правыми и 12-ю левыми строгальными ножами стандартных размеров. Заточка ножевого вала производится также автоматически (рис.1.5.).



Рис.1.5. Ножевой вал строгальной машины

В соответствии с назначением деталей обуви применяемое оборудование для раскроя обувных материалов подразделяют на две группы:

- оборудование для раскроя деталей верха обуви;
- оборудование для раскроя деталей низа обуви.

Различие размеров и физико-механических свойств материалов для верха и низа определяет различие оборудования по принципу работы и конструкции.

При вырубании в качестве основных инструментов, которыми на прессах раскраиваются материалы, являются специальные инструменты – резки (рис.1.6), представляющие собой замкнутые фасонные ножи с острой режущей кромкой, лезвия которых по своим размерам и конфигурации соответствуют контурам вырубаемых деталей.

Резки для вырубания деталей верха обуви изготавливаются из горячекатанной профилированной полосовой стали У8. [4]. Лезвия резakov на высоту 5...8 мм подвергаются термической обработке до твердости 50-52 HRC. Наружную поверхность лезвия и торцевую поверхность обуха резака шлиауют до частоты Ra 1,26. Резки затачиваются с наружной стороны под углом 20...24⁰ с последующей доводкой лезвия под углом 30...32⁰.



Рис. 1.6. Резки для вырубания деталей обуви

Резаки для вырубания верха обуви изготавливаются толщиной 5...6 мм и углом заострения лезвия $20...23^{\circ}$ из горяче- или холоднокатанной полосовой стали У7 или У8 (ГОСТ 1435-99).

Заготовку резака изгибают по контрольному шаблону и сваривают ее края встык.

Таким образом, лезвие резаков имеют замкнутую фасонную форму, обеспечивающую вырубание деталей заготовок обуви по заданным размерам и конфигурации.

Опорной поверхностью для раскраиваемого материала служат колоды из древесины или спецкартона и вырубные плиты из металла или полимерных материалов.

Металлические вырубные плиты изготавливаются литьем из чугуна СЧ 18 (ГОСТ 1412-95). На рабочие плоскости устанавливаются стальные термически обработанные накладки [68].

Главной частью двойно-ленточной машины является ленточный нож (рис.1.7), представляющий собой тонкую (0,5—0,8 мм) и широкую (40—70 мм) замкнутую стальную ленту, изготовленную из стали У8А, надетую на шкивы, из которых один — ведущий, другой — ведомый, натяжной.

Основное достоинство ленточного ножа заключается в высокой производительности, сравнительной простоте режущего инструмента, в удобстве его заточки.

Ленточному ножу сообщается непрерывное движение с постоянной скоростью, материалу же сообщается поступательное движение на лезвие ножа.

Технологический процесс двоения (выравнивания) на машинах выполняется следующим образом. Заготовка перемещается лицевой стороной вверх в зазор между валами, вращающимися в противоположных направлениях, захватывается ими и подается на неподвижный нож.

После разрезания осуществляется сортировка обработанного материала в соответствии с техническими требованиями.

При движении (скорость 8—25 м/сек) нож не должен колебаться ни в горизонтальной, ни в вертикальной плоскости. Поэтому нож движется в направляющих, расположенных по длине резания.

Классическая режущая часть ленточного ножа в сечении представляет несимметричный двухсторонний клин, полученный заточкой передней кромки ленты, меньший угол которого находится ближе к толстому слою материала, а больший угол — к тонкому. Общий угол заточки равен примерно 15° .

Двоильно-ленточные машины имеют ширину рабочего прохода 200—600 мм. Мощность электродвигателя ленточного ножа 0,3—1 квт, электродвигателя механизма подачи — 0,2—0,5 квт.

Число оборотов ножевого вала в минуту у машин 2200...2500.

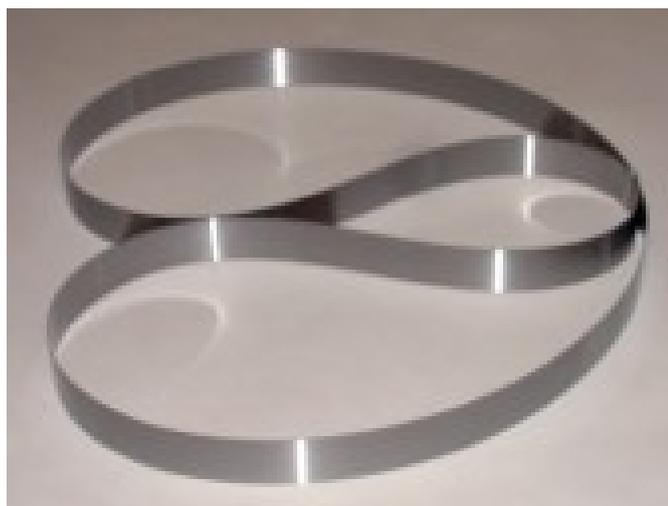


Рис.1.7. Ленточный нож для двоильно-ленточной машины

На качество процесса резания влияет как угол резания - угол между двумя направляющими, по которым осуществляется разрезание материала, так и угол заточки ножа.

Полный износ ленточного ножа стационарной раскройной машины по данным [10] наступает через 60...80 часов эксплуатации.

Устойчивости режущей кромки пластинчатого ножа (рис. 1.8) на основе исследования разнообразия конструкции машин, отличающихся структурой рабочего цикла, видом и траекторией движения ножей, способом подачи сырья и другими признаками посвящена работа [54].



Рис. 1.8. Нож машины для срезания излишков подложки деталей обуви

Излишки деталей для краев деталей верха обуви срезаются на машинах, где основным исполнительным инструментом является высокоскоростной тарельчатый или чашечный нож, изготовленный из стали ШХ-12, ШХ-15 (рис.1.9). Лезвие ножа периодически затачивается с наружной стороны наждачным шлифовальным кругом, с внутренней стороны лезвие поправляют абразивным бруском. Угол заточки лезвия ножа $10...15^{\circ}$, ширина затачиваемой фаски $4...8$ мм.

Все ножи для данных технологических операций производятся из быстрорежущих сталей. Тарельчатые ножи выполняются различных размеров, но чаще всего используются изделия общей толщиной до 12 мм.

Изготовление такого типа ножа может производиться как формовкой из листа металла, так и вытачиванием из заготовки.



Рис.1.9. Тарельчатый нож для спускания краев обуви

Тарельчатые ножи сложны в изготовлении и должны быть выполнены с высокой точностью, как в продольной, так и в поперечной плоскостях. Даже небольшое отклонение по размерам может привести к вибрациям при работе или некачественному резу и, как следствие, возможной порче продукции.

Основным способом поддержания режущей способности инструмента в процессе скользящего резания в большинстве случаев является шлифование абразивным инструментом. Во время работы шлифованием получают необходимую форму и угол заточки.

Поверхностные слои закаленных сталей при шлифовании претерпевают структурные и фазовые превращения: при малой глубине шлифования происходит их закалка; при большой глубине – отпуск. Подобные изменения механических характеристик лезвия за счет

структурных изменений при шлифовании в сторону увеличения твердости повышает опасность его хрупкого обламывания, а уменьшение твердости ведет к быстрому изнашиванию режущей кромки за счет изгибной пластической деформации лезвия и его износа [56].

В результате затупления режущей кромки образуется так называемый радиус затупления, который может иметь величину до 300 мкм. Таким образом, чтобы сохранить режущую способность инструмента необходимо снять слой металла с каждой стороны режущей кромки такой же толщины, т.е. площадь сечения снимаемого шлифованием металла будет в 15...20 раз больше площади сечения изношенного металла. В результате постоянной перезаточки длительность работы ножей скользящего резания составляет 8...100 часов, после чего они заменяются на новые.

Причиной быстрого износа режущей кромки инструмента скользящего резания являются механохимические процессы, происходящие в зоне фрикционного контакта его с обрабатываемым материалом.

1.2. Анализ работы деталей машин и инструмента кожевенно-обувного производства

Качество продукции, выпускаемой предприятиями кожевенно-обувной промышленности, во многом зависит от технического состояния технологического оборудования и рабочего инструмента, которое в первую очередь определяется работой узлов трения и инструмента [3, 71, 76].

Большинство деталей этого оборудования работают в тяжелом режиме: при высоких скоростях и нагрузках, в условиях ограниченной подачи смазочного материала, при частых пусках и остановках, во влажной и загрязненной среде.

До 85 % причиной выхода из строя машин является износ их отдельных узлов и деталей [43].

Современный технологический процесс изготовления обуви предусматривает несколько самостоятельных стадий производственного цикла различных по целевому назначению и количеству операций, определяющихся производственным процессом и организационной структурой предприятия.

На подготовительной стадии обувного производства предприятиями осуществляются такие операции, как раскрой изначального материала в виде листов на детали обуви (верх и низ обуви) и их соответствующая обработка для дальнейшего применения в производственном цикле.

На сборочном этапе производственного цикла осуществляется скрепление отдельных деталей обуви между собой, обтяжка и затяжка заготовок. В этом технологическом процессе оборудование для изготовления обуви включает в себя машины для формования частей обуви, а также влажно-тепловой и клеевой обработки.

Характер обработки на этапе обработки низа обуви зависит от назначения и материала деталей, конструкции и метода крепления с верхом обуви. Обувное оборудование этого раздела включает в себя машины для изготовления, стелек, профилирования подошв, формирования каблуков и т.д.

На заключительной стадии технологического процесса осуществляются отделочные операции, придающие готовой обуви конкурентоспособный товарный вид и обеспечивающие удовлетворение экологических и санитарных требований.

Обувные предприятия применяют более полусотни модификаций машин различных конструкций, обеспечивающих выполнение свыше двухсот технологических операций [64].

В соответствии с выполняемыми технологическими операциями оборудование можно разделить на следующие группы:

- для раскроя обувных материалов;
- для обработки деталей верха и низа обуви и т.п.;

- для сборки заготовок;
- крепления фурнитуры, тиснения и т.д.

В настоящее время в кожевенно-обувном производстве применяются химические (окрашивание, склеивание и др.), физико-химические (сушка, увлажнение и др.) и механические (резание при раскрое, прессование, формирование давлением и др.) процессы обработки материалов и изделий.

В каждом из этих процессов применяется свой тип технологического оборудования, которое имеет свое конструктивное исполнение, обусловленное применением специальных рабочих органов, работающих на определенных принципах и режимах.

Большинство применяемых способов обработки материалов и изготовления изделий основаны на механическом воздействии.

Основными причинами выхода из строя обувных машин являются усталостное (зубчатые передачи, подшипники качения), абразивное и водородное изнашивание.

Узлы многих машин испытывают действия ударных нагрузок (вырубочные прессы, машины для крепления деталей), работают при больших скоростях (швейные машины-12 000 об/мин), испытывают действия агрессивной среды (установки для окрашивания) и тепловое воздействие.

Значительная часть машин имеет длинные и сложные кинематические цепи с большим количеством звеньев, требующих обязательной периодической или постоянной (типа фитильной, погружением в масляную ванну, капельной и др.) смазки. Соответственно, нарушение точности одного звена исполнительного механизма ведет к появлению брака, преждевременному износу других составляющих звеньев, и как следствие к непроизводительным простоям, крупным дорогостоящим ремонтам, авариям.

Для смазки исполнительных механизмов машин обычно применяют индустриальное масло. Возможно использование и другого масла. Во всех случаях следует поступать в соответствии с инструкцией или картой смазки. Для смазки швейных машин рекомендуется использовать швейное масло.

Некоторые узлы швейных машин смазывают индустриальным маслом. Для смазки эксцентриков и кулачков в некоторых узлах машины служит цилиндрическое масло. При заполнении колпачковых масленок, где жидкая смазка не держится, применяют консистентные смазки УС-1, УС-2 (ГОСТ 1033-79).

Подшипники качения смазывают как индустриальными маслами (Л (велосит) и Т (вазелиновое)), так и консистентными смазками (УС-1, УС-2, УС-3, консталин (ГОСТ 1957-73)), в зависимости от типа подшипника и условий его работы.

Одной из причин быстрого изнашивания режущей кромки инструмента скользящего резания являются механо-химические процессы, происходящие в зоне фрикционного контакта его с обрабатываемым материалом.

Основные материалы в обувном производстве - кожа, искусственная кожа, обувные картоны, текстильные и другие материалы являются высокополимерными материалами, которые в результате трибодеструкции могут выделять водород, что может стать определяющей причиной изнашивания материала инструмента, вследствие водородного износа [76].

Водородное изнашивание как один из видов изнашивания поверхностей при трении зарегистрирован в качестве научного открытия за № 378, и в настоящее время разработаны основные теоретические положения о сопровождающих это явление процессах.

Проведенные научные исследования [19, 33, 38] показали, что водородное изнашивание возникает в результате кооперативного взаимодействия поверхностных явлений: экзоэмиссии адсорбции и трибодеструкции, которые приводят к выделению водорода. Совместно с неравновесными процессами, идущими при деформации поверхностного слоя металла, создаются тепловые градиенты, электрические и магнитные поля и поля напряжений. Это приводит к диффузии водорода в металл, концентрации его в поверхностном слое и ускоренному износу этого слоя.

Среди факторов, влияющих на износ при трении, наводороживание является преобладающим, особенно для деталей, работающих во влажной среде. В этом случае водородное изнашивание преобладает.

Процесс разрушения металла при водородном изнашивании включает в себя:

- интенсивное выделение водорода в зоне трения из влаги, смазочного материала и неметаллического материала трущейся пары,
- десорбцию смазочного материала с поверхности металлической детали,
- адсорбцию водорода поверхностью металлической детали в результате разогрева рабочей поверхности при трении,
- образование атомарного водорода из воды в результате экзоэлектронной эмиссии;
- диффузию водорода в поверхностные слои металлических элементов трущейся пары, скорость которой определяется градиентами температур и напряжений,
- концентрация водорода на некоторой глубине от поверхности трения в зоне максимальной температуры,
- низкотемпературное хрупкое разрушение поверхностного слоя металлических элементов трущихся пар, насыщенных водородом, в результате образования большого числа трещин в зоне контакта,
- высокотемпературное вязкое разрушение трущегося металла в виде намазывания на контртело в результате ожигения поверхностного слоя.

На процесс водородного изнашивания влияет множество факторов, одни ускоряют этот процесс, другие сдерживают, а некоторые, полностью его блокируют.

Повышение температуры рабочей среды ускоряет процесс водородного изнашивания. Максимум адсорбции водорода на поверхности железа появляется при температурах 70...100^oC, когда начинается десорбция ряда компонентом смазки, которая заканчивается при температурах около 120^oC.

Водород же продолжает адсорбироваться до 400⁰С и выше. Концентрация его в стали быстро возрастает до сверхравновесной.

Процессы деформирования поверхностного слоя также способствуют накоплению водорода в поверхностных слоях металла, так как в нем растет количество дефектов и в них накапливается атомарный водород, который переходит в молизованную форму. Повторение циклов трения вызывает эффект накачки водорода в поверхностные слои металла до тех пор, пока внутреннее давление не вызовет разрушение металла по образующимся дефектам в виде дислокаций и трещин.

Применяемое в настоящее время хромированное покрытие и оксидирование деталей не обеспечивает наде

Анализ методов повышения срока службы машин и оборудования

Основополагающие проблемы трения и изнашивания рассмотрены в работах отечественных и зарубежных ученых И.В. Крагельского [48, 49], Б.И. Костецкого [46, 47], Д.Н. Гаркунова [19, 76], Д. Мура [58], Х. Чихоса [80], Ю.Н. Дроздова [27, 28].

Анализ основных этапов развития науки о трении и изнашивании, где подчеркнута связь износостойкости с более общими вопросами надежности и долговечности дан в работе М.М. Хрушова [80].

Повышение износостойкости конструкционных материалов и деталей машин достигается путем применения самосмазочных пластмасс [10, 27], фторосодержащих покрытий [73, 31], полимерных материалов [15, 20, 44, 50, 82,], твердосмазочных [12, 79], методов порошковой металлургии [41], а также совершенствованием качества поверхностей конструкционных материалов [23, 24, 29, 30, 51, 60, 63]:

- введением легирующих элементов в зону трения; обогащением поверхностных слоев пар трения за счет применения поверхностно-активных веществ (ПАВ) с легирующими элементами;

- воздействием механических и термических факторов;
- предварительным нанесением соответствующих металлических покрытий на детали.

Известно большое количество технологических методов снижения изнашивания рабочих поверхностей деталей и повышения их срока службы [51]. Подробный анализ различных способов нанесения износостойких покрытий по ряду технологических параметров и триботехническим свойствам приведен в работах [69, 74, 75, 83].

Опыт эксплуатации различных механизмов показал, что заданный срок службы может быть получен в том случае, когда максимально будут учтены возможные условия работы деталей и выбранные методы подготовки поверхностей будут им соответствовать [47, 49].

Поверхностный слой детали представляет собой сложное структурное образование, полученное путем взаимодействия металлической основы детали и нанесенного покрытия с рабочей эксплуатационной или технологической средой [61, 62].

Перспективным методом повышения износостойкости деталей является создание поверхностного слоя с минимальным количеством дефектов в структуре, способным выдержать большие удельные нагрузки при работе и подвергаться сдвиговым деформациям без разрушения.

В работе [25] на основе анализа процесса резания кожи и конструкций кожевенных машин разработан состав модифицирующего раствора с учетом специфики рабочей среды машин кожевенно-мехового производства, обеспечивающий создание на поверхности обрешиненных валов слоя заданной толщины повышенной износостойкости, твердости и прочности с использованием метода диффузной модификации.

Особенности рабочих инструментов и процессов резания в производстве легкой промышленности рассмотрены в работе [3]. В ней изложены методы инженерного расчета и оценки параметров раскройных ножей и устройств и самого процесса резания. Также уделено внимание

новым разработкам и техническим предложениям по развитию раскройного инструмента и устройств.

В работе [34] установлено, что применение ионного азотирования повышает износостойкости клиньев вязальных машин в 1,8 раза, а использование наплавов из борированных сталей - в 3,2 раза.

Автором работы [54] установлено, что характер взаимодействия абразивного инструмента с раскраиваемым материалом зависит от качеств режущей поверхности ножа, эксплуатационных условий процесса раскроя от свойств материала и настила, таких как плотность, средняя разрывная нагрузка и средняя линейная плотность волокон, деформационных характеристик материала.

В настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью предлагается широкий и разнообразный выбор плакирующих технологий повышения срока службы машин и оборудования. Однако, единого установившегося представления о механизме их работы до сих пор нет. Это обусловлено тем, что в зависимости от химического состава технологий, способа их применения и условий эксплуатации могут проявляться различные механизмы их действия.

В связи с этим целесообразно рассмотреть инновационные методы повышения срока службы деталей машин более подробно и разработать физические модели экологически чистых плакирующих технологий.

1.3. Постановка задач исследований

Проведенный анализ показывает, что тяжелый режим, агрессивная среда при работе трущихся деталей основного технологического оборудования и технологической оснастки кожевенно-обувного производства делает малоэффективными традиционные методы повышения их срока службы.

Выявлено, что для защиты рабочих поверхностей от преждевременного выхода из строя необходимы инновационные, экологические чистые и эффективные технические решения формирования рабочих поверхностей режущих инструментов, деталей машин технологического оборудования кожевенно-обувного производства, построенные на основе современных представлениях о процессах фрикционного взаимодействия.

Предлагаемые технологии должны быть просты в освоении и применении, основаны на применении выпускаемыми отечественными производителями малогабаритного оборудования.

Поэтому, представляется важным, с одной стороны, разработка, исходя из выявленных в процессе исследования особенностей работы оборудования кожевенно-обувных производств, реалистичных физических и математических моделей формирования рабочих поверхностей с повышенными эксплуатационными характеристиками.

С другой стороны, из-за неизбежной приближенности моделей в связи со сложностью и комплексности проблемы, возникает необходимость разработки методики и модернизации оборудования для триботехнических испытаний конструкционных и смазочных материалов с использованием современных методов сбора и обработки результатов экспериментальных исследований.

Проведенный выше аналитический обзор позволяет сформулировать задачи исследований:

-проанализировать условия и режимы работы основного технологического оборудования и технологической оснастки предприятий кожевенно-обувного производства;

-разработать теоретические положения повышения основных параметров технологического оборудования и технологической оснастки предприятий кожевенно-обувного производства технологиями металлоплакирования;

-провести модернизацию средств для лабораторных триботехнических испытаний и создана методика их выполнения;

-провести комплексные исследования предложенных технических решений;

- разработать рекомендация для внедрения в производство.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА КОЖЕВЕННО- ОБУВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПЛАКИРУЮЩИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

2.1. Выбор и обоснование направлений повышения ресурса деталей машин и инструмента

Реализация эффекта «безызносности» в узлах трения

Одним из перспективных направлений борьбы с износом является реализация в узлах трения режима избирательного переноса (эффекта безызносности) [19, 76]. Явление избирательного переноса наблюдается при трении деталей из медьсодержащих сплавов по стали в среде глицерина и проявляется в виде избирательного растворения и переноса меди на поверхность стальной детали и обратно. При этом на трущихся поверхностях образуется защитная пленка меди, предотвращающая изнашивание металла и обеспечивающая режим «безызносного» трения. Механизм избирательного переноса при трении медных сплавов по стали в среде глицерина в настоящее время достаточно хорошо изучен [34] однако, в технике подобные пары трения и среда находят ограниченное применение.

Изучение условий работы деталей узлов трения компрессоров бытовых холодильников и анализ возможных физико-химических процессов в зоне

фрикционного контакта показали, что во время работы на трущихся поверхностях деталей самопроизвольно образуется защитная медная пленка.

Характерной особенностью данного процесса является то, что омеднению подвергаются трущиеся детали, изготовленные из стали и чугуна, в состав которых медь не входит. Медь переходит в раствор в результате взаимодействия масло-хладоновых смесей с медными трубопроводами. Образующиеся химические соединения попадают в зазоры трущихся деталей, и там происходит обратный процесс — восстановление меди [65].

В компрессорах, например, бытовых холодильников имеет место избирательное растворение, перенос и осаждение меди на площадях фактического контакта. Образуется тонкая медная пленка, препятствующая возникновению задиров во время пуска компрессора, когда смазка в зазорах отсутствует. Наличие высших жирных кислот в масле способствует улучшению его смазывающей способности и образованию защитного адсорбционного слоя на получившейся пленке меди.

Следовательно, имеются все признаки для того, чтобы отнести данное явление к одной из форм избирательного переноса, характерной при использовании металлоплакирующего смазочного материала [19].

В последние годы группой ученых, в состав которой входил и автор настоящей работы, проведены комплексные исследования по улучшению эксплуатационных характеристик и повышению срока службы трущихся деталей и инструмента машин легкой промышленности и оборудования бытового назначения с использованием металлоплакирующих нанотехнологий [64].

Разработаны составы маслорастворимых металлосодержащих присадок к смазочным материалам, металлосодержащие технологические среды для нанесения противоизносных покрытий фрикционным способом. Получены положительные практические результаты, накоплен большой экспериментальный материал и созданы предпосылки для разработки

теоретических основ повышения срока службы деталей машин реализацией режима металлоплакирования.

Формирование защитного поверхностного слоя металла с заданными характеристиками в направленных потоках энергии

Опыт эксплуатации различных механизмов показал, что заданный срок службы может быть получен в том случае, когда максимально будут учтены возможные условия работы деталей и выбранные методы подготовки поверхностей будут им соответствовать [6, 7, 46].

Поверхностный слой детали представляет собой сложное структурное образование, полученное путем воздействия на материал детали обрабатываемым инструментом и взаимодействия металлической основы детали и нанесенного покрытия с рабочей эксплуатационной или технологической средой [53, 16].

Перспективным методом повышения износостойкости деталей является создание поверхностного слоя с минимальным количеством дефектов в структуре, способным выдержать большие удельные нагрузки при работе и подвергаться сдвиговым деформациям без разрушения. Кроме этого, поверхностный слой должен быть способен к самовосстановлению при использовании специальных рабочих сред.

Формирование поверхностного слоя металла с помощью плазменных импульсных искровых разрядов

Этот метод получил название электроискрового легирования или электроискрового нанесения покрытий [21]. Данный процесс подразделяется на ручной, механизированный, вибрационный (контактный) и безвибрационный (бесконтактный). Сущность ручного вибрационного процесса основана на использовании плазменных импульсных искровых

разрядов в воздушной среде при периодическом касании электрода с изделием, вследствие чего осуществляется перенос и осаждение расходуемого материала электрода на поверхность изделия. При этом электрод является анодом и на него подается плюс от источника генератора импульса, а изделие является катодом и на него подается минус от источника. Аналогами данного процесса, но при использовании дугового разряда, являются импульсная аргонодуговая наплавка плавящейся проволокой, микроплазменная импульсная сварка неплавящимся электродом дугой обратной полярности (применяемой для получения эффекта катодной очистки при сварке алюминиевых и магниевых сплавов) или традиционный процесс сварки плавящимся расходуемым электродом. В отличие от других технологий этот метод основан на использовании искрового разряда с малой длительностью его существования $10^{-6} \leq t_i \leq 10^{-3}$ с и прохождении мощных импульсных токов при разряде конденсатора с плотностью тока до 10^6 А/мм². При этом температура плазмы в межэлектродном зазоре может достигать 7 000-11 000 °С. В результате теплового и газодинамического воздействия искрового разряда происходит эрозия материала электрода (анода) и перенос продуктов эрозии в жидкой, твердой и паровой фазах на изделие (катод). При этом на поверхности изделия за счет протекания металлургических процессов образуется композиционный материал, в составе которого присутствуют материалы электрода и изделия, продукты их взаимодействия друг с другом и с элементами межэлектродной среды. Многократное воздействие искровых разрядов и соответственно циклов нагрев – охлаждение приводит к ограничению толщины нанесенного покрытия. Увеличение длительности обработки ведет к постоянной перекристаллизации материала микрованны, а также к созданию повышенных растягивающих внутренних напряжений в поверхностном слое, которые вызывают хрупкое разрушение нанесенного покрытия с образованием трещин, сколов и выкрашивания материала катода.

Для упрочнения инструмента и технологической оснастки в качестве электродов применяют твердые сплавы (Т15К6, Т17К12, ВК6, ВК8, ВК20 и др.), материалы на основе карбидов и боридов металлов (TiC, WC, Mo₂B₅, CrB₂, TaB₂ и др.). Покрытия на основе этих материалов обладают высокой твердостью и износостойкостью. Также в качестве материалов для электродов получили распространение медь, латунь, бронза, алюминиевые сплавы, вольфрам и его сплавы с медью. Их применяют для повышения коррозионной стойкости и жаростойкости поверхностей деталей [26, 59].

Представляет значительный интерес разработка теоретических основ создания композиционного покрытия, где матрица будет сформирована из твердого сплава электроискровым методом и заполнена более пластичным материалом.

Холодное газодинамическое напыление

При холодном напылении [8] речь идёт о новом поколении сверхзвукового газодинамического напыления (ГНД). Кинетическая энергия напыляемых частиц при этом увеличивается, а термическая энергия уменьшается. Тем самым можно создавать почти полностью безоксидные покрытия. Названный авторами методом «холодного» газодинамического напыления этот способ формирования покрытий за счет высокой кинетической энергии нерасплавленных металлических частиц в настоящее время широко известен в мире как «холодное напыление» («Cold Spray»).

Суть ГДН состоит в том, что мелкие металлические частицы, находящиеся в твердом состоянии, ускоряются сверхзвуковым газовым потоком до скорости 500-800 м/с и направляются на восстанавливаемую поверхность детали. Сталкиваясь с поверхностью в процессе высокоскоростного удара, частицы закрепляются на ней, формируя сплошное покрытие [40].

Суть ГДН состоит в том, что мелкие металлические частицы, находящиеся в твердом состоянии, ускоряются сверхзвуковым газовым потоком до скорости 500-800 м/с и направляются на восстанавливаемую поверхность детали. Сталкиваясь с поверхностью в процессе высокоскоростного удара, частицы закрепляются на ней, формируя сплошное покрытие [45].

В наиболее распространенных газотермических способах нанесения покрытий для их формирования из потока частиц необходимо, чтобы падающие на основу частицы имели высокую температуру, обычно выше температуры плавления материала. При газодинамическом напылении, это условие не является обязательным, что и обуславливает ее уникальность. В данном случае с твердой основой взаимодействуют частицы, находящиеся в нерасплавленном состоянии, но обладающие очень высокой скоростью.

Преимущество применения технологии ГДН состоит в том, что оборудование и создаваемые с его помощью покрытия свободны от большинства недостатков, присущих другим способам нанесения покрытий, и обладают рядом технологических, экономических и экологических достоинств [39].

Основными достоинствами такого метода являются:

- возможность получения покрытий как защитных, так и декоративных на изделиях и конструкциях из самых различных металлических и неметаллических материалов;
- возможность нанесения покрытий из органических, в том числе полимерных и неорганических материалов: металлов и тугоплавких материалов (оксидов, карбидов, боридов, силицидов, нитридов и др.);
- равномерное покрытие можно напылить как на большую площадь, так и ограниченные участки больших по площади изделий, при этом толщина покрытий регулируется в широких пределах (от 0,01 до 10 мм);
- высокая производительность процесса;
- покрытия наносятся в воздушной атмосфере при нормальном давлении;

- при напылении отсутствует нагрев напыляемого изделия (температура поверхности не превышает 100 – 150 °С), а, следовательно, деформации и снижение прочности защищаемых и восстанавливаемых изделий;
- отсутствие высоких температур, опасных газов, пламени и излучения;
- низкая трудоемкость и простота оборудования;
- высокая надежность и компактность;
- возможность автоматизации процессов напыления и др., а также относительно низкая стоимость оборудования.

2.2. Теоретические основы создания режима металлоплакирования при трении материалов

Для реализации режима металлоплакирования при работе деталей машин, большинство из которых изготовлены из железо-углеродистых сплавов (сталей и чугунов), в обычные смазочные материалы необходимо вводить в малых концентрациях поверхностно-активные маслорастворимые металлосодержащие химические соединения, способные восстанавливаться на трущихся поверхностях деталей [19].

Механизм металлоплакирования при этом может быть следующим.

Наличие в смазочной среде поверхностно-активных веществ способствует диспергированию частиц износа и удержанию их в зоне трения.

Медь восстанавливается на освобожденных от оксидов поверхностях деталей и частицах износа.

Железо переходит в раствор, образуя железные мыла, которые также являются поверхностно-активными веществами и положительно влияют на процесс трения.

На поверхности деталей формируется защитная пленка, состоящая из продуктов износа, продуктов износа с медным покрытием и меди. Образующаяся пленка имеет множество пор, которые заполняются

медьсодержащими и железосодержащими поверхностно-активными веществами.

Механизм формирования защитного покрытия на поверхностях деталей определяется следующими основными факторами: характером и скоростью относительного движения сопрягаемых поверхностей; величинами и характером рабочих нагрузок, действующих на сопряжение; геометрическими параметрами сопряжений; тепловым режимом работы; компонентами смазочной среды и ее физико-химическими свойствами.

Реальный процесс формирования защитного покрытия при использовании металлоплакирующей технологической среды очень сложен. Условно его можно разделить на одиннадцать отдельных этапов (рис. 2.1.)

Изначально, поверхностный слой детали по своему строению неоднороден. Граничный слой состоит из адсорбированной пленки газов, влаги, смазочно-охлаждающей жидкости. Слой окислов образуется в результате диффузии кислорода воздуха в металл поверхностного слоя. В нем образуются твердые химические соединения FeO , Fe_2O_3 и F_3O_4 . В результате упругих и пластических деформаций формируется зона наклепа (этап 1).

Непосредственному контакту и адгезионному сцеплению металла препятствуют оксидные пленки на поверхности металлов и разная ориентация кристаллических зерен после поверхностной обработки деталей. Идеально чистая, свободная от оксидных пленок и слоев абсорбционных молекул газов, воды и жирных веществ ювенильная поверхность может быть создана в особых условиях глубокого вакуума.

В реальных условиях работы трибосопряжения данная поверхность образуется на доли секунд в момент возникновения микротрения.

В зонах фактических пятен контакта поверхностей деталей возникают значительные температуры и давления. При таких условиях компоненты смазочной и обкаточной сред подвергаются химическим превращениям, идет перестройка химических связей и замена одних связей другими. В результате

на поверхностях трения формируется дополнительная металлоорганическая пленка.

В начальный период нанесения покрытия под воздействием механического фактора происходит поверхностное диспергирование материалов пары трения. Причем в первую очередь подвергаются диспергированию сильно деформированные или наклепанные участки, так как они обладают относительно высокой плотностью упругой энергии и имеют повышенную активность. Обнажаются ювенильные поверхности (этап 2).

Используемая технологическая среда содержит в своем составе поверхностно-активные вещества (ПАВ) и ионы металла. Следует отметить, что эти ионы в соответствии с рядом напряженности металлов должны иметь более высокую активность по отношению к железу. Тогда, на третьем этапе, образующиеся по действием механического фактора свободные атомы железа, переходят в технологическую смазочную среду.

На четвертом этапе на обнаженных неокисленных участках поверхности произойдет реакция химического замещения и осаждения на железосодержащей поверхности потенциально более активных ионов металла смазочной среды. То есть произойдет реакция обмена между ионом железа высвободившегося с поверхности детали и ионом металла входящего в состав технологической среды.

Пятый этап обусловлен протеканием химических реакций образования на поверхности из отдельных ионов соединений чистого металла.

На шестом этапе формирования защитного покрытия на поверхности детали, образовавшиеся в результате диспергирования частицы изнашивания, покрываются более потенциально активным металлом, входящем в состав технологической среды. И в свою очередь, эти вновь образованные биметаллические частицы под воздействием механо-физико-химических факторов «упаковываются» в образующееся на поверхности детали покрытие.

Следующий этап обусловлен наличием в технологической среде отдельных частиц изнашивания, покрытых окисными пленками. Под действием вышеназванных факторов они также участвуют в формировании защитного покрытия.

Отдельные продукты диспергирования имеют размер, позволяющий при сохранении на отдельном участке окисной пленки вступить в соединение на ювенильной поверхности с ионом металла технологической среды. В свою очередь, так же «упаковываясь» в формирующееся покрытие, они обуславливают восьмой этап.

Девятый этап характеризуется диффузией металла, осажденного на поверхности детали, в тончайший приповерхностный слой железоуглеродистого сплава.

В заключение, ПАВ, адсорбируясь на поверхности и проникая в поры приповерхностного слоя основного металла, придают ему особые свойства: низкую плотность дислокаций, высокую избыточную концентрацию вакансий, низкое сопротивление сдвигу. В нем отсутствуют продукты коррозии, и при ее пластической деформации в меньшей степени происходит накопление дислокаций, что создает лучшие условия для их разряжения. Пленка эта очень тонкая, что также благоприятствует выходу дислокаций на поверхность (10 этап).

Образованная таким образом металлоплакирующая пленка вместе с высококонцентрированной суспензией частиц вблизи поверхностей трения представляет собой квазиожиженный слой, который может многократно деформироваться без разрушений (11 этап).

Следует отметить, что все, выше описанные процессы при фрикционном взаимодействии рабочих поверхностей происходят одновременно и взаимно дополняют друг друга.

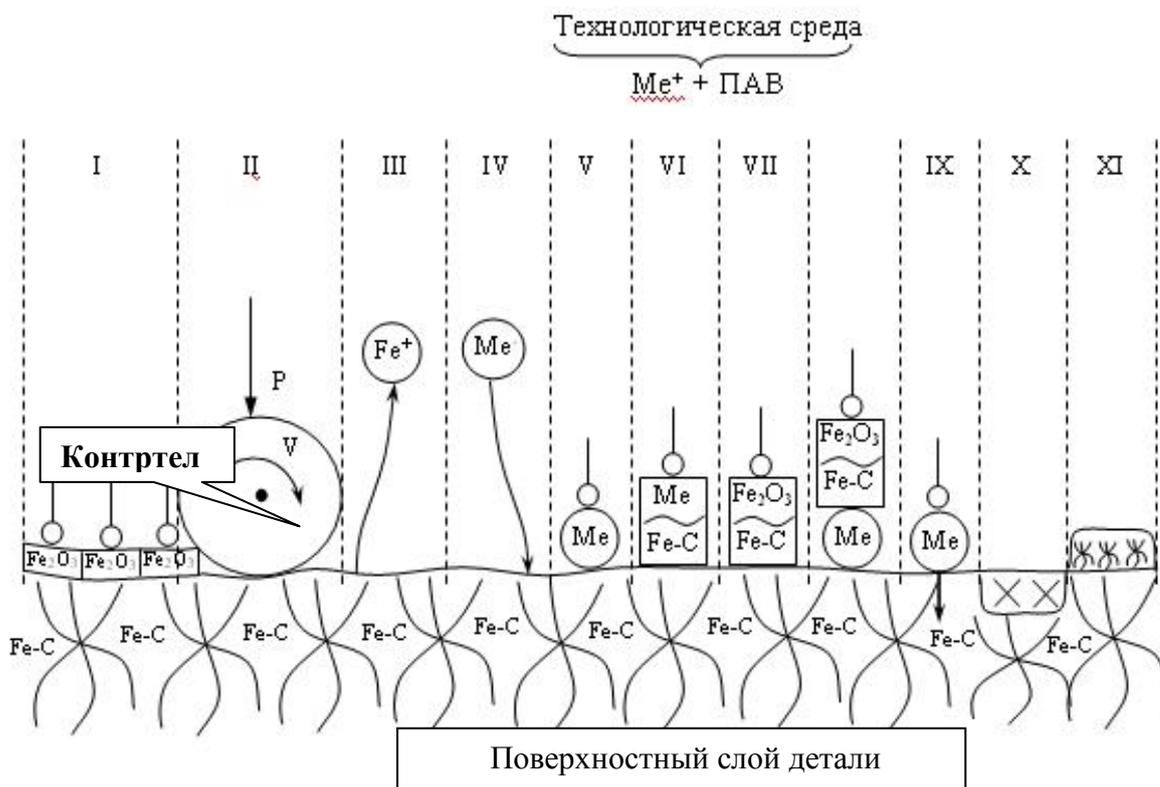


Рис. 2.1. Основные этапы формирования защитного покрытия на поверхности детали из железо-углеродистых сплавов

Предложенная физическая модель формирования защитного покрытия деталей машин и механизмов представлена на рис. 2.2.

При трении деталей из железоуглеродистых сплавов данный механизм может быть реализован применением в качестве легирующей добавки к смазочному материалу органических соединений меди.

Реализация режима металлоплакирования может происходить в результате взаимодействия одного из материалов трущихся деталей с металлоплакирующей рабочей средой, при этом второй материал (пластмасса, керамика, резина и т.п.) будет выполнять функцию активации поверхностного слоя детали из железоуглеродистого сплава.

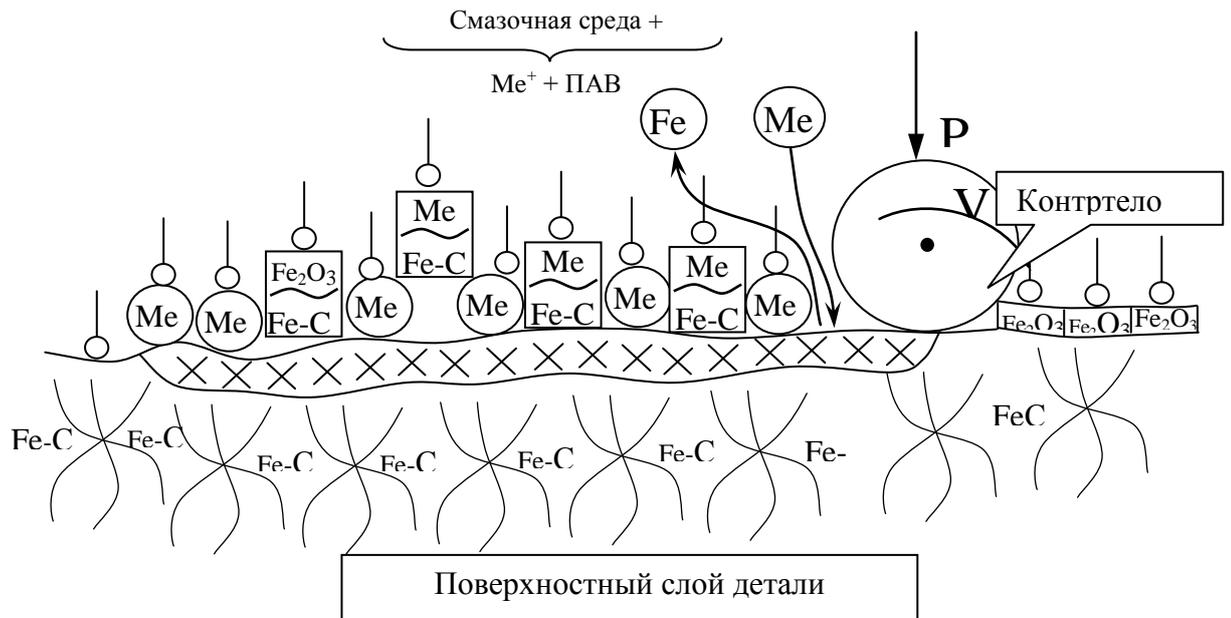


Рис. 2.2. Физическая модель формирования защитного покрытия в металлсодержащей смазочной среде

Режим металлоплакирования может быть реализован нанесении противоизносного покрытия фрикционной обработкой (рис.2.3).

В качестве металлоплакирующего компонента рабочей среды в этом случае используется неорганическое соединение меди (например, CuCl). Инструмент, изготовленный из металла или неметалла, активирует обрабатываемую поверхность из железоуглеродистого сплава и способствует образованию защитного покрытия. В отличие от предыдущей модели, металлсодержащая пленка может иметь толщину в несколько микрон, чему способствуют ионы хлора, образующиеся в результате механо-химических процессов.

Предложенные модели металлоплакирования позволят обеспечить практическую безыносность трущихся деталей только в тех случаях, когда на процесс трения не будут влиять отрицательные внешние факторы: абразив, прекращение подачи смазочного материала и т.д.

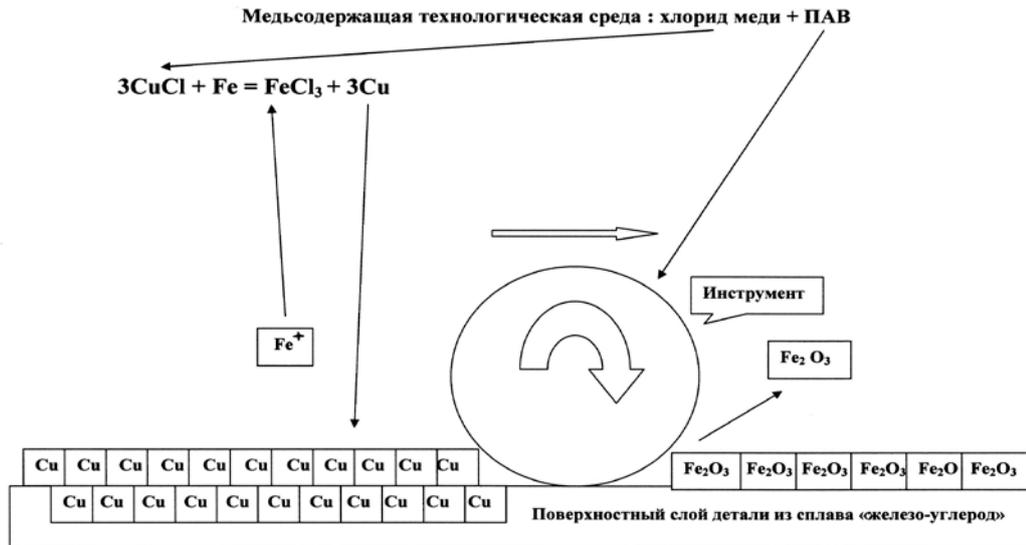


Рис. 2.3. Физическая модель формирования защитного покрытия на поверхности детали фрикционной обработкой в металлоплакирующей среде

В реальных условиях это невозможно и в этом случае можно говорить только о продлении срока службы узла трения настолько, насколько будут устранены такие нежелательные факторы.

Особенно эффективным должно оказаться применение металлоплакирования в тяжелом режиме работы узла трения, когда масляные пленки на поверхностях трения разрушаются, и происходит сухое трение. В этом случае пористые защитные пленки будут выполнять функцию твердосмазочного материала и не допустят катастрофического износа деталей.

Положительным окажется действие этих смазочных материалов и при эксплуатации машин во влажных средах. Медьсодержащие пленки будут защищать поверхности трения от водородного изнашивания. Поверхность металла не будет шероховатой, материал уплотнений сохранит свои исходные характеристики.

Как было показано ранее, износ нитенаправляющих происходит также в результате водородного изнашивания металла. Введение медьсодержащих легирующих добавок в составы для обработки нитей и пряжи позволит при их движении сформировать на рабочих поверхностях направляющих

покрытие, являющееся препятствием для атомарного водорода, в результате чего нить не будет изнашивать металл и не потеряет свои свойства при взаимодействии с металлом.

Предлагаемые модели металлоплакирования позволят осуществить формирование трущихся поверхностей с высокими антифрикционными свойствами на всех этапах эксплуатации деталей машин:

- в период подготовки и технического обслуживания путем фрикционной безабразивной обработки (натираем) поверхностей трения в металлсодержащих средах;

- в период обкатки узлов трения в сборе (например, подшипник качения) в металлоплакирующих обкаточных средах;

- во время эксплуатации узлов трения (в том числе, уплотнительных устройств, нитенаправляющих и т.п.) при смазывании металлоплакирующими смазочными материалами или обычными смазочными материалами с металлоплакирующими присадками.

2.3. Теоретические основы поверхностно-пластического деформирования металла в металлоплакирующих средах

Среди преимуществ резания лезвийным инструментом следует отметить высокую производительность и качество линии среза, которые достигаются благодаря значительным скоростям перемещения инструмента – до 20 м/с. В связи с этим к инструменту скользящего резания предъявляют определенные требования, связанные с его геометрией и качественными показателями поверхности лезвия (шероховатость, твердость и т. д.). Однако наиболее важным для инструмента является поддержание минимального радиуса затупления при вершине лезвия в пределах от 0,01 до 0,005 мм [13, 18, 56].

Процесс резания носит динамический характер, и разделение полимерного материала происходит в результате создания напряжений

сжатия режущей кромкой лезвия, изменяющихся в широком диапазоне. В результате указанных воздействий в материале лезвия вблизи вершины лезвия возникают контактные напряжения, часто превышающие предельные напряжения на сжатие и изгиб. Это приводит к увеличению радиуса затупления вследствие пластической деформации вершины лезвия.

Наличие пары трения металл-полимер с высокими скоростями взаимного перемещения и значительными контактными давлениями приводит к сложным физико-химическим превращениям в зоне контакта, что подтверждается опытными данными. Сочетание механического и температурного воздействия на полимерный материал приводит к изменению его состояния вплоть до деструкции. В результате этого в зоне резания создаются условия для наводороживания поверхностных слоев металла, что вызывает охрупчивание инструмента, его быстрый износ и даже перенос металла на полимер [59].

В работе [53] показано, что одним из наиболее перспективных способов формирования требуемой геометрии режущей кромки инструмента во время работы, является пластическая деформация. При этом требуемый угол заточки инструмента обеспечивается без снятия металла с одновременным повышением твердости и чистоты поверхностей граней. Однако, при этом в поверхностном слое металла происходит образование дефектных зон на уровне кристаллической решетки, что отрицательно сказывается на сроке службы режущего инструмента усиливая эффект водородного изнашивания.

Нами предлагается вести пластическое деформирование металла в поверхностно-активной металлоплакирующей среде, в результате чего формирование режущей кромки будет осуществляться без образования дефектов в поверхностном слое металла с одновременным нанесением защитного покрытия из пластичного металла. Схема формирования режущей кромки лезвийного инструмента в металлоплакирующей среде показана на рис. 2.4.

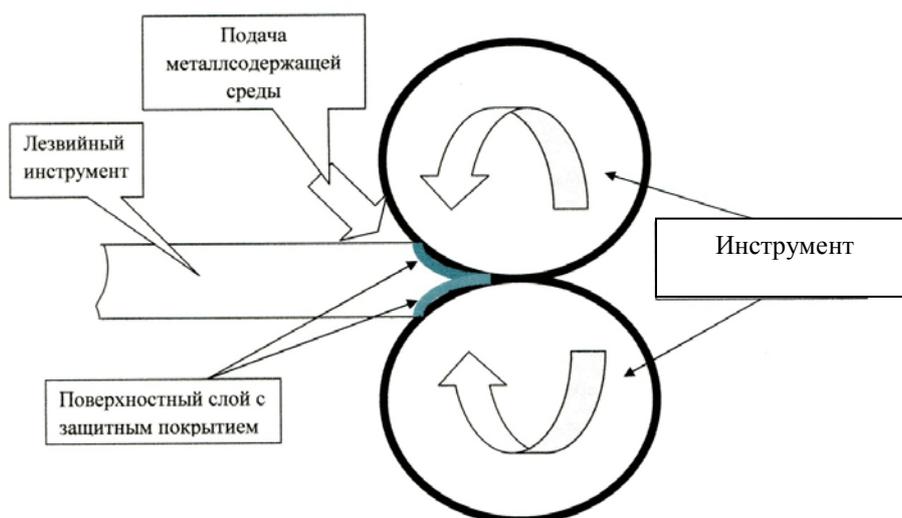


Рис. 2.4. Схема формирования режущей кромки лезвийного инструмента в металлоплакирующей среде

Предложенная модель позволяет формировать режущую кромку лезвия инструмента и одновременно наносить защитное покрытие в процессе резания. Отличительной особенностью устройств для обработки является наличие рабочих органов в виде деформирующих шариков или роликов, обкатывающих поверхности лезвия, причем в зону деформирования подается металлоплакирующая среда, обеспечивающая создание защитной пленки в результате фрикционного взаимодействия формообразующих элементов с режущей кромкой инструмента.

2.4. Разработка теоретических основ повышения срока службы деталей машин и режущего инструмента

Физическая модель повышения стойкости инструмента скользящего резания микроплазменным легированием с поверхностно-пластическим деформированием в металлоплакирующей среде

Для повышения стойкости режущего инструмента предложен способ комбинированной обработки режущей кромки путем легирования и

упрочнения металла с помощью плазменных импульсных искровых разрядов с последующим поверхностно-пластическим деформированием поверхностного слоя в металлоплакирующей среде. Формирование поверхностного слоя импульсным электрическим разрядом с последующим поверхностно-пластическим деформированием в металлоплакирующей среде представляет собой очень сложный процесс. Выполненный в ходе исследования анализ происходящих процессов при данном виде обработки позволил предложить физическую модель формирования поверхностного слоя детали комбинированным методом, основанным на микроплазменном легировании и последующей обработке поверхностно-пластическим деформированием в металлоплакирующей среде (рис. 2.5).

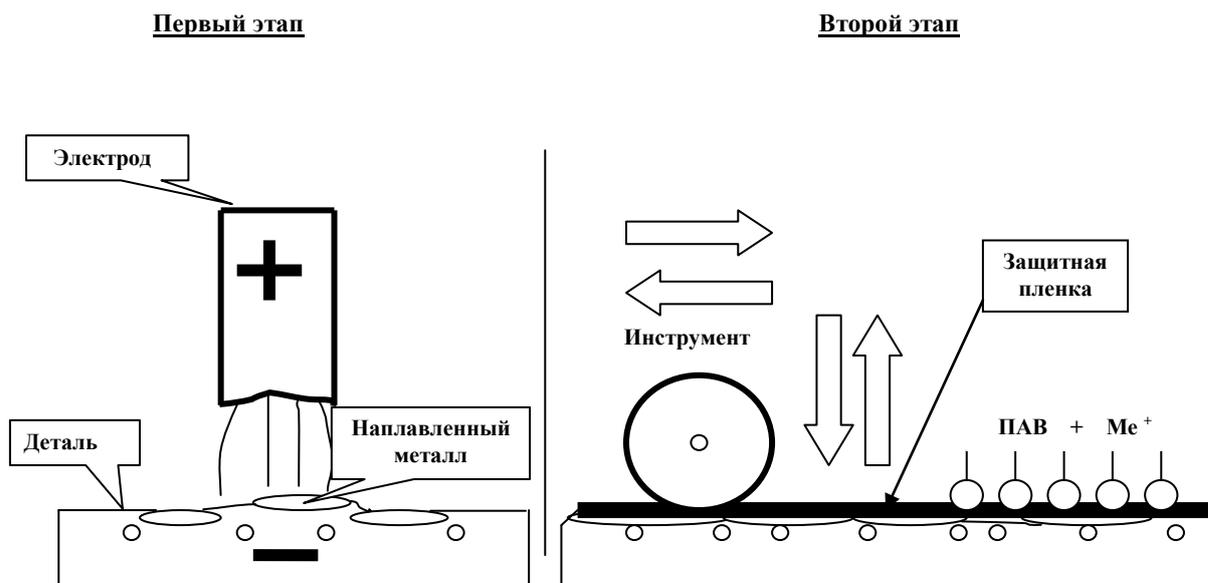


Рис. 2.5. Схема электроискрового легирования металла с последующим поверхностно-пластическим деформированием в металлоплакирующей среде

При легировании лезвия импульсным электрическим разрядом с последующей упрочняющей обработкой в металлсодержащей поверхностно-активной среде достигается получение промежуточного упрочненного бездефектного покрытия, зоны упрочнения, сохранение вязкой сердцевины

лезвия и формирование защитно-восстановительного покрытия из плакирующего металла (рис.2.6).

Во время процесса резания сформированный поверхностный слой обеспечит высокую стойкость за счет улучшенной в результате легирования структуры и существенного уменьшения водородного изнашивания, которому будет препятствовать защитно-восстановительное покрытие из пластичного металла.

На рис. 2.6а представлена схема структуры ножа с двухсторонней обработкой режущей кромки. При сохранении вязкой сердцевины на поверхности создается упрочненный слой, защищенный наплавленным металлом и пластичной металлической пленкой. На рис.2.6б представлена схема структуры ножа с односторонней обработкой режущей кромки и эффектом самозатачивания. Легирование лезвия газодинамическим методом производят на одной стороне режущей кромки. В результате образуется режущая кромка со сторонами, имеющими различные характеристики. Разная скорость изнашивания сторон режущей кромки обеспечит эффект самозатачивания и продлит время работы инструмента до процесса перезаточки.

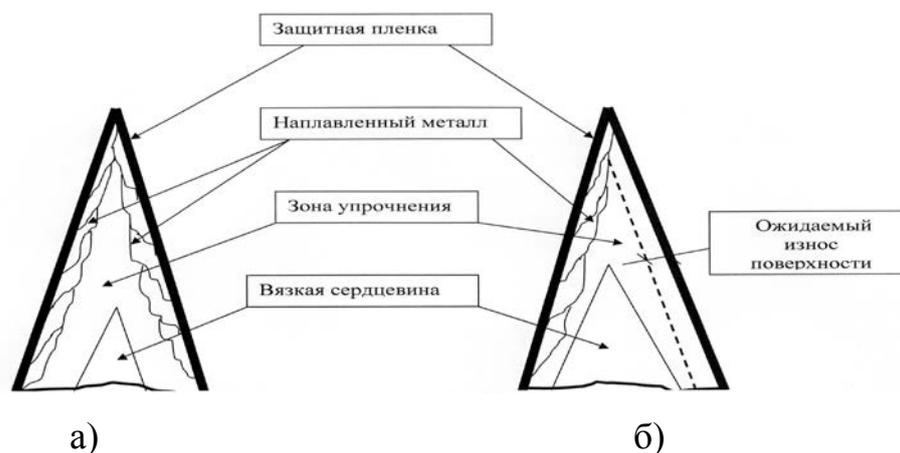


Рис. 2.6. Схемы структуры режущей кромки ножа

а) с двухсторонней обработкой ; б) с односторонней обработки

На способы формирования рабочих поверхностей микроплазменным легированием с последующей обработкой поверхностно-пластическим деформированием в металлолакирующей среде поданы заявки на получения патента РФ на полезную модель № 2012153738 и № 2012153742.

Физическая модель повышения стойкости инструмента скользящего резания электроискровым методом с газодинамическим холодным напылением и последующим поверхностно-пластическим деформированием в металлолакирующей среде

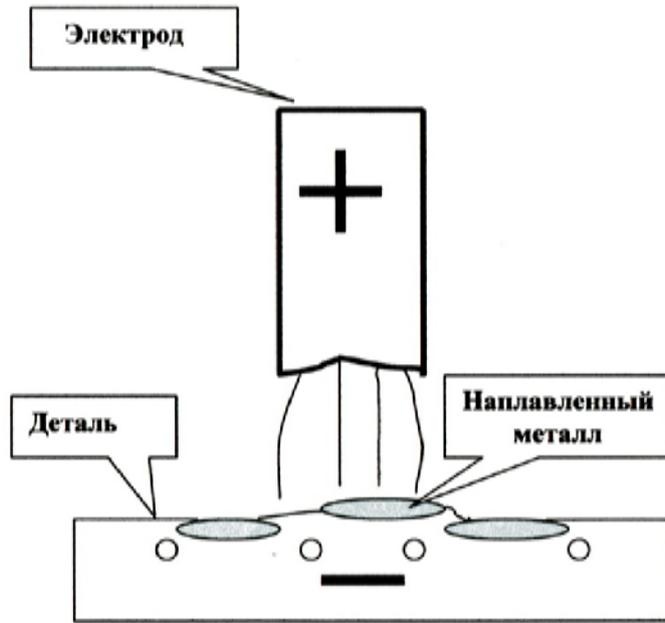
Задачей перед разрабатываемым способом является снижение отрицательного влияния водородного изнашивания, упрощение технологического процесса и повышение производительности обработки поверхностей, обеспечение обработки режущей кромки без демонтажа инструмента с основного оборудования.

Поставленная задача решается за счет того, что на начальном этапе стороны режущей кромки инструмента подвергаются обработке электроискровым методом. Газодинамическим холодным напылением наносят покрытие заданного химического состава и требуемой твердости. Затем методами поверхностно-пластического деформирования в поверхностно-активной металлолакирующей среде производят улучшение структуры поверхностного слоя, с одновременным формированием защитной пленки из лакирующего металла. При этом устраняются дефекты на поверхности режущей кромки и в сформированном покрытии.

Созданное на режущей кромке композиционное покрытие, предотвращает проникновение атомарного водорода в структуру металла, защищает поверхностный и подповерхностный слои металла от разрушения. Кроме того, часть компонентов покрытия проникает в металл, улучшая его структуру и повышая прочность.

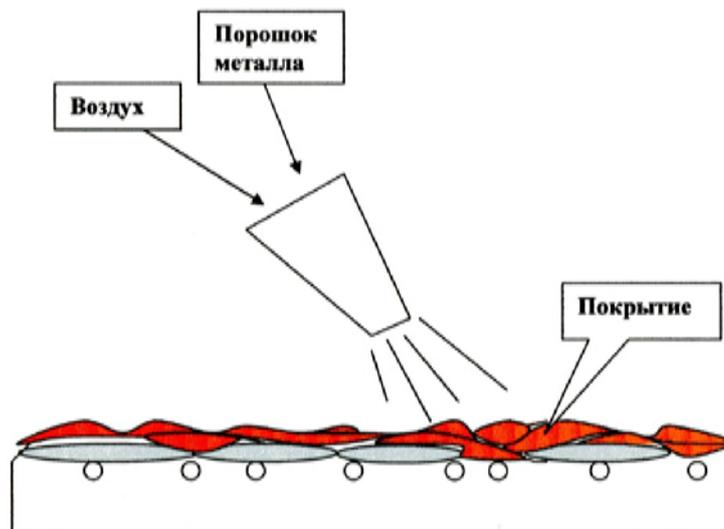
Сущность физической модели показана на рис. 2.7.

Первый этап

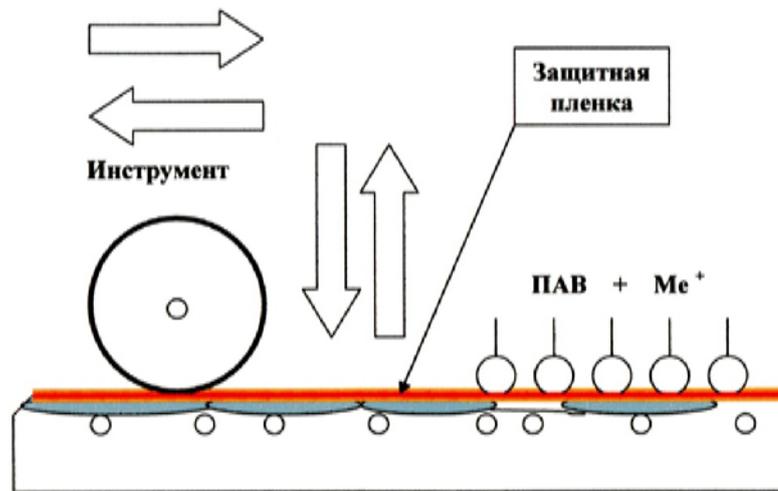


а)

Второй этап



б)

Третий этап

в)

Рис. 2.7. Физическая модель формирования композиционного покрытия на режущей кромке ножа комбинированной обработкой

- а) первый этап - электроискровое легирование;
- б) второй этап – газодинамическое холодное напыление;
- в) третий этап – поверхностно-пластическим деформирование в металлолакирующей среде

При легировании и упрочнении лезвия методом газодинамического напыления с последующей упрочняющей обработкой в металлсодержащей поверхностно-активной среде достигается получение упрочненного бездефектного подслоя и сохранение вязкой сердцевины лезвия.

Во время процесса резания сформированный поверхностный слой обеспечит высокую стойкость за счет улучшенной в результате легирования структуры и существенного уменьшения водородного изнашивания, которому будет препятствовать защитная пленка из пластичного металла.

При обработке лезвия на одной стороне режущей кромки образуется режущая кромка со сторонами, имеющими различные характеристики. Разная скорость изнашивания сторон режущей кромки обеспечит эффект самозатачивания и продлит время работы инструмента до перезаточки.

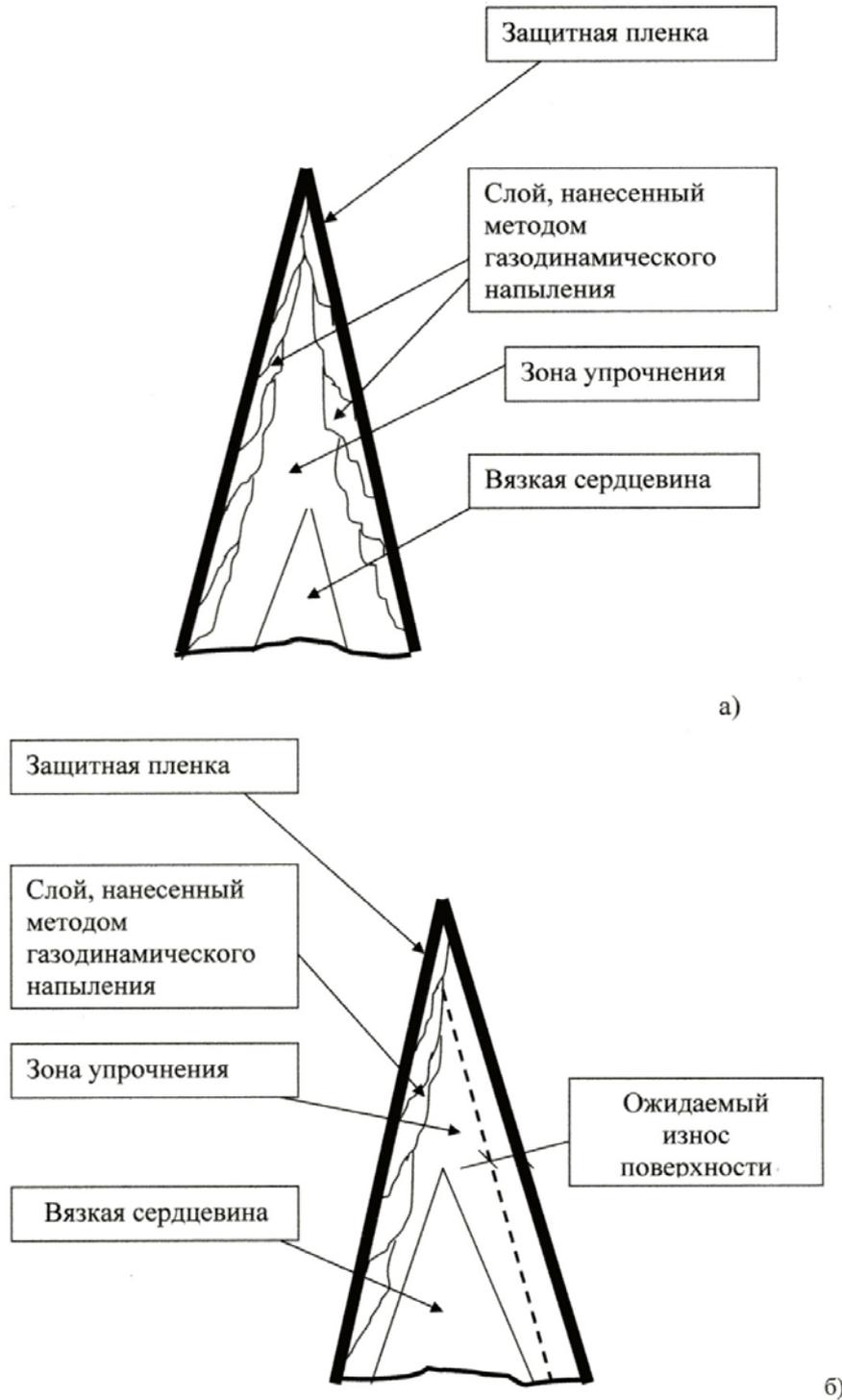


Рис.2.8. Схема структуры режущей кромки после комбинированной обработки:

а) двухсторонняя; б) односторонняя

Разработка теоретических основ нанесения на поверхности деталей и элементов конструкций рельефных многослойных покрытий газодинамическим холодным напылением

При нанесении покрытия на металл на начальном этапе осуществляется формирование несущей матрицы. Матрица может формироваться, как методом электроискрового легирования с применением карбидов титана или вольфрама, так и методом газодинамического напыления с получением, например при нанесении медного покрытия, твердостью до 1250 МПа, что соответствует твердости латуни со степенью деформации 30...50 %.

На втором этапе на необработанные участки поверхности детали методом газодинамического холодного напыления наносится слой мягкого металла, например, олова, цинка и т.д. (рис. 2.9).

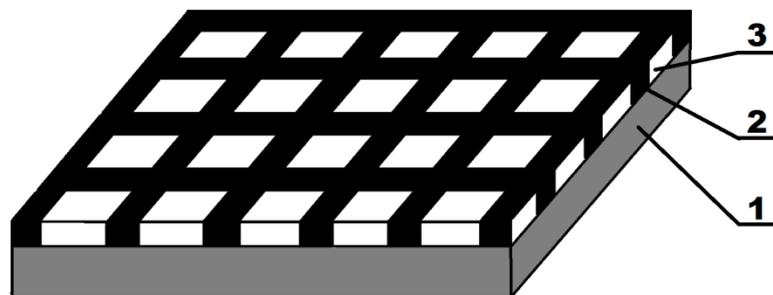


Рис. 2.9. Модель формирования композиционного покрытия
1- металлическая основа; 2- матрица из твердого материала;
3- мягкий металл

Нанесение композиционного покрытия на металл может производиться послойно, причем каждый последующий слой должен формироваться из металла меньшей твердости, чем предыдущий. Толщина наносимого покрытия зависит от исходных требований. Так для рабочих поверхностей подшипника скольжения не должна превышать 5...10 мкм.

Для улучшения адгезии нанесенного газодинамическим способом первого слоя с металлической поверхностью детали перед нанесением второго слоя можно применить электроискровую обработку. Электрическая искра через нанесенный металл проходит в поверхность детали, обеспечивая сварку металлов в местах их касания. Затем газодинамическим способом производят нанесение следующих слоев покрытия. Схема структуры полученного покрытия представлена на рис. 2.10.

При нанесении рельефных многослойных покрытий толщину наносимого слоя можно регулировать временем удержания на одном месте сопла напыляющего устройства. Толщина наносимого покрытия при этом не ограничивается.

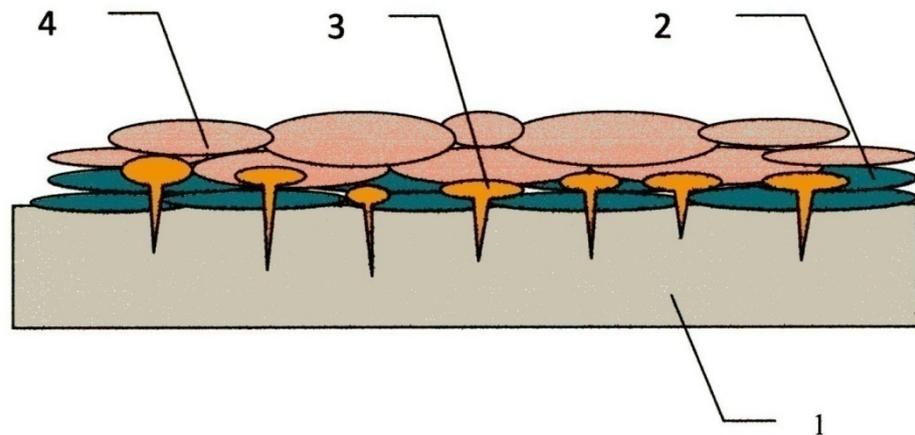


Рис. 2.10. Схема структуры композиционного покрытия к поверхности детали приваренного электрической искрой

- 1- поверхность детали; 2- первый слой металла; 3- наплавленный электрической искрой металл; 4- второй слой металла

Формирование покрытий на стекле, фарфоре и керамике принципиально не отличается от процесса нанесения покрытий на металл.

Отличительной особенностью при этом является ограничение толщины наносимого при каждом проходе слоя. Это ограничение вызвано тем, что во время осаждения частиц металла на поверхность выделяется большое количество теплоты, которое может вызвать разогрев нанесенного металла и его отслоение в результате температурных деформаций.

Нанесение цинкового или оловянного покрытия может служить надежной защитой от коррозии, в том числе сварного шва.

*Тепловой обмен при газодинамическом нанесении покрытий на
неметаллические материалы*

В технологическом оборудовании для легкой промышленности широко применяются неметаллические конструкционные материалы, эксплуатационные и эстетические свойства которых можно улучшить путем нанесения различных металлических покрытий.

При нанесении металлических покрытий на неметаллические материалы газодинамическим методом, качество покрытия и адгезионная прочность в значительной степени зависят от условий, в которых теплота от воздушного потока с частицами напыленного металла передается напыляемой подложке.

Низкая температура воздушного потока с частицами наносимого металла, несмотря на высокую скорость (~300 м/сек) не вызывает адгезии частиц металла на поверхности подложки и сдувается с поверхности воздушным потоком.

При избыточном количестве тепла, передаваемого подогретой воздушной струей, поверхностный слой подложки перегревается. Тепло не успевает отводиться вглубь подложки и концентрируется на поверхности. При охлаждении подложки с нанесенным металлом происходит тепловые деформации, разрушающие поверхностный слой подложки, как имеющую наименьшую прочность по сравнению с наносимым металлом.

Наиболее благоприятным условием нанесения покрытия газодинамическим методом является формирование стационарного потока теплоты, не вызывающего со временем непрерывного чрезмерного повышения температуры на напыляемой поверхности.

Поток теплоты Q (рис.2.11), подводимый к поверхности напыляемой подложки подогретой воздушной струей имеющей температуру T_1 проходит через слой подложки и уходит наружу через противоположную сторону, имеющую температуру T_2 .

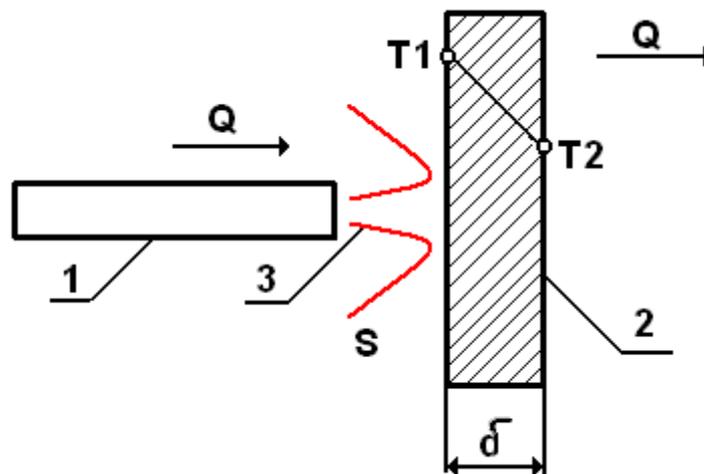


Рис.2.11. Схема теплового воздействия воздушного потока при газодинамическом напылении

(1 – сопло, 2 – подложка, 3 – воздушная тепловая струя)

При стационарном потоке, согласно формуле Фурье, количество теплоты Q подводимой подогретым воздушным потоком и проходящей через плоскую стенку подложки толщиной δ в единицу времени прямо пропорционально площади поверхности стенки S , разности температур $T_1 - T_2$ и обратно пропорционально толщине стенки δ .

$$Q = \lambda S \frac{T_1 - T_2}{\delta},$$

где λ – коэффициент теплопроводности $\frac{Вт}{м \cdot К}$, зависящей от материала стенки подложки и ее температуры.

Коэффициент теплопроводности показывает, какое количество теплоты проходит за 1 сек. через однородную стенку толщиной 1 м, если ее площадь равна 1 м² и разность температур между поверхностями составляет 1К.

Значение коэффициента теплопроводности для различных материалов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Теплопроводность материалов

Материал	λ , Вт/(мК)
Медь	380
Сталь углеродистая и чугун	45 – 60
Алюминий	200 -230
Латунь	100
Дерево (вдоль волокна)	0,35 – 0,7
Бетон	1,3
Кирпичная кладка	0,25
Кладка бутовая	1,3
Шамотный кирпич	0,14 – 0,18
Карборундовый кирпич	11,0
Стекло обыкновенное	0,75
Штукатурка	0,7 – 0,9
Асбест	0,10 – 0,20

Из приведенной таблицы видно, что наименьшей теплопроводностью обладают неметаллы и создание оптимального режима нанесения покрытия газодинамическим методом весьма затруднено.

С одной стороны, для создания оптимальных условий газодинамического нанесения покрытий невозможен перегрев воздушной струи и подложки, которая подвержена температурному разрушению, с другой стороны, низкая энергия частиц напыляемого металла снижает адгезию и при дальнейшем снижении температуры, процесс нанесения покрытия становится невозможным.

Если пренебречь зависимостью теплопроводности от температуры (в интервале рассматриваемых температур она малозначима), то температура внутри плоской однородной пластины, при перемещении от одной поверхности к другой, изменяется по линейному закону.

При нанесении газодинамических покрытий на неметаллические материалы, последние представляют собой, как правило, многослойные стенки (керамические нитенаправляющие детали, керамические плитки с глазурью, уплотненный верхний слой, ранее нанесенное покрытие, обожжённая поверхность из глины и др.).

При различной теплопроводности слоев, теплообмен между ними затруднен. При избыточном подводе тепла к наружной поверхности на границе материалов, ввиду их различных механических характеристик, образуются усадочные трещины, раковины, отслоения. Поэтому очень важно, чтобы тепловой поток при нанесении покрытия газодинамическим методом был стационарным при многослойной подложке.

Рассмотрим процесс теплопередачи при газодинамическом нанесении покрытия на многослойную подложку.

Пусть стенка (подложка) состоит из 2-х слоев толщиной δ_1 и δ_2 , коэффициент теплопроводности λ_1 и λ_2 , пропускает стационарный поток теплоты Q приносимый подогретой воздушной струей с напыляемым металлом (рис. 2.12).

Наружные поверхности имеют соответственно температуры T_1 и T_2 , а на границе раздела T_1^1 .

На основании уравнение количества теплоты при стационарном потоке для каждой стенки составим соответствующие зависимости:

$$Q = \frac{\lambda_1 S(T_1^1 - T_2)}{\delta_1}$$

$$Q = \frac{\lambda_2 S(T_1^1 - T_2)}{\delta_2}$$

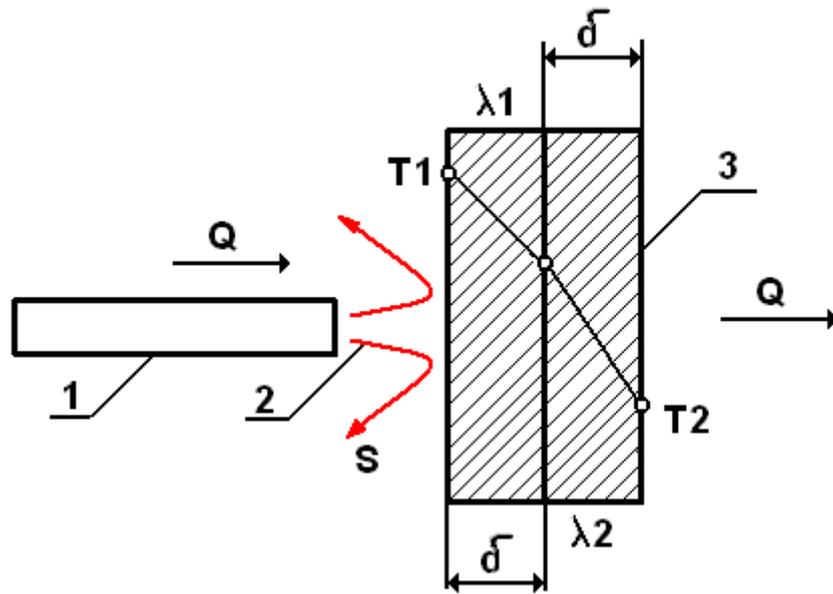


Рис. 2. 12. Схема газодинамического напыления многослойной стенки
(1 – сопло, 2 – воздушная струя, 3 – многослойная подложка)

Решив уравнения относительно разности температур имеем:

$$T_1 - T_1^1 = \frac{Q\delta_1}{\lambda_1 S}$$

$$T_2^1 - T_2 = \frac{Q\delta_2}{\lambda_2 S}$$

Сложив левые и правые части получим уравнение:

$$T_1 - T_2 = \frac{Q}{S} \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right)$$

Количество теплоты, передаваемой многослойной стенкой при стационарном потоке:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} S$$

Для многослойной стенки с различной теплопроводностью уравнение принимает вид:

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}}$$

, где n – количество слоев стенки.

При истечении газовой струи с напыляемым металлом на поверхность материала происходит теплообмен между газом и твердым телом, сопровождающейся одновременной теплопроводимостью и конвекцией.

Слои газа перемешиваются при соприкосновении со стенкой, и теплообмен между газом и напыляемой поверхностью идет более интенсивно. Пограничный слой твердой подложки представляет собой большое сопротивление, поэтому потеря теплоты газа является максимальной в этом месте.

Количество теплоты Q , которым обмениваются между собой в единицу времени стенка, имеющая температуру T_1 и газовая смесь имеющая температуру T_2 прямо пропорциональна разности температур и площади соприкосновения

$$Q = \alpha S^1 (T_1 - T_2) , \text{ где}$$

α – коэффициент теплоотдачи Вт/м²К

Коэффициент теплоотдачи показывает, каким количеством теплоты в течение 1 сек. обмениваются газ и стенка, если разность между ними 1К, а площадь поверхности обдуваемой газом, равна 1м².

Помимо характера движения газа, коэффициент теплоотдачи зависит от свойств газа, количества примеси и свойства твердого тела, температуры газа и твердого тела, и др. параметров.

Теоретически коэффициент теплоотдачи α составляет 5,834,7 Вт/м²К, при естественной конвекции и 11,6...116 при движении газа под давлением.

Рассмотренная методика позволяет определить оптимальные условия нанесения покрытий на неметаллические поверхности газодинамическим методом.

2.5. Выводы по главе

1. Выбраны и обоснованы методы повышения срока службы деталей машин и инструмента с использованием «эффекта безызносного трения», нанесения покрытий потоками энергии.

2. Предложена физическая модель и описан механизм «безызносного трения» металлических и неметаллических материалов при использовании металлоплакирующих рабочих сред, обоснованы составы металлоплакирующих смазочных материалов и технологических сред.

3. Разработаны модели формирования композиционных многофункциональных покрытий на рабочих поверхностях режущего инструмента с одновременным использованием микроплазменного легирования, газодинамического холодного напыления и фрикционной обработки в металлоплакирующих средах в различных сочетаниях и комбинациях.

4. Предложены модели многофункциональных покрытий на детали машин и инструмента, нанесенных холодным газодинамическим напылением.

ГЛАВА 3. СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Методика триботехнических лабораторных исследований покрытий

Процесс пленкообразования при триботехнических исследованиях металлоплакирующих явлений на поверхностях носит ярко выраженный динамический характер. Поэтому во время испытаний необходимо непрерывно с высокой точностью регистрировать все основные параметры процесса трения: величину изнашивания образцов, силу (момент) трения, температуру образцов и смазочной среды.

Кроме того, необходимо учитывать, что сдерживание в режиме металлоплакирования процесса изнашивания и быстрый выход на установившийся режим трения существенно сокращают период приработки испытываемых образцов.

Учитывая перечисленные особенности проведения исследования конструкционных и смазочных материалов при трении в режиме пленкообразования, были усовершенствованы существующие и разработаны новые методики для триботехнических испытаний позволяющие определять оптимальные сочетания трущихся конструкционных материалов и соотношения составляющих компонентов смазочных и рабочих сред, оценки их эффективности.

3.1.1. Модернизация автоматизированного комплекса для триботехнических испытаний

При разработке автоматизированного комплекса для триботехнических испытаний была поставлена основная цель - он должен обеспечивать повышение эффективности и достоверности результатов испытаний

трибосопряжений, а также расширение функциональных возможностей за счет максимального приближения условий испытаний к реальным условиям функционирования узлов трения аппаратов, машин и механизмов. При этом исключалось использование дорогостоящего оборудования из-за длительного периода его окупаемости.

Были поставлены основные задачи, которые необходимо было решить при создании комплекса:

- предусмотреть возможность бесступенчатого изменения скорости скольжения;
- осуществить полную автоматизацию процессов управления комплексом и последующей обработки регистрируемой информации;
- компактность, мобильность, простота конструкции, невысокая стоимость.

В качестве программно-управляемых определены параметры:

- скорость относительного перемещения испытуемых образцов,
- усилие нормального нагружения трибосопряжения,
- температура смазочной среды в камере трения.

А в качестве программно-регистрируемых параметров предложено применить:

- линейный износ трибосопряжения;
- момент трения;
- усилие нормального нагружения;
- температура поверхности испытуемых образцов.

Для достижения поставленной цели и решения обозначенных задач была разработана блок-схема комплекса (рис.3.1), в которую в качестве основных элементов были включены преобразователь частоты и портативный регистратор аналоговых сигналов - электронный многоканальный самописец.

Исходя из типа и мощности используемого в лабораторном комплексе электродвигателя, точности и диапазона регулирования скорости, точности

поддержания момента вращения на валу двигателя был выбран миниатюрный преобразователь частоты (инвертор) фирмы «Delta Electronics» серии VFD-L, позволивший изменять частоту двигателя и, соответственно, скорость относительного перемещения образцов от 0,2 до 3,0 м/с (рис.3.2).

Компактный переносной регистратор аналоговых и цифровых сигналов «Flash-Recorder-2-16RTC-SD», представляет собой устройство сбора данных во Flash-память на съёмную SD-карту или на жесткий диск компьютера. Он конструктивно выполнен в ударопрочном пластиковом корпусе и способен работать автономно от внешнего источника питания или аккумулятора с последующим считыванием информации из карты в память персонального компьютера (рис.3.3).

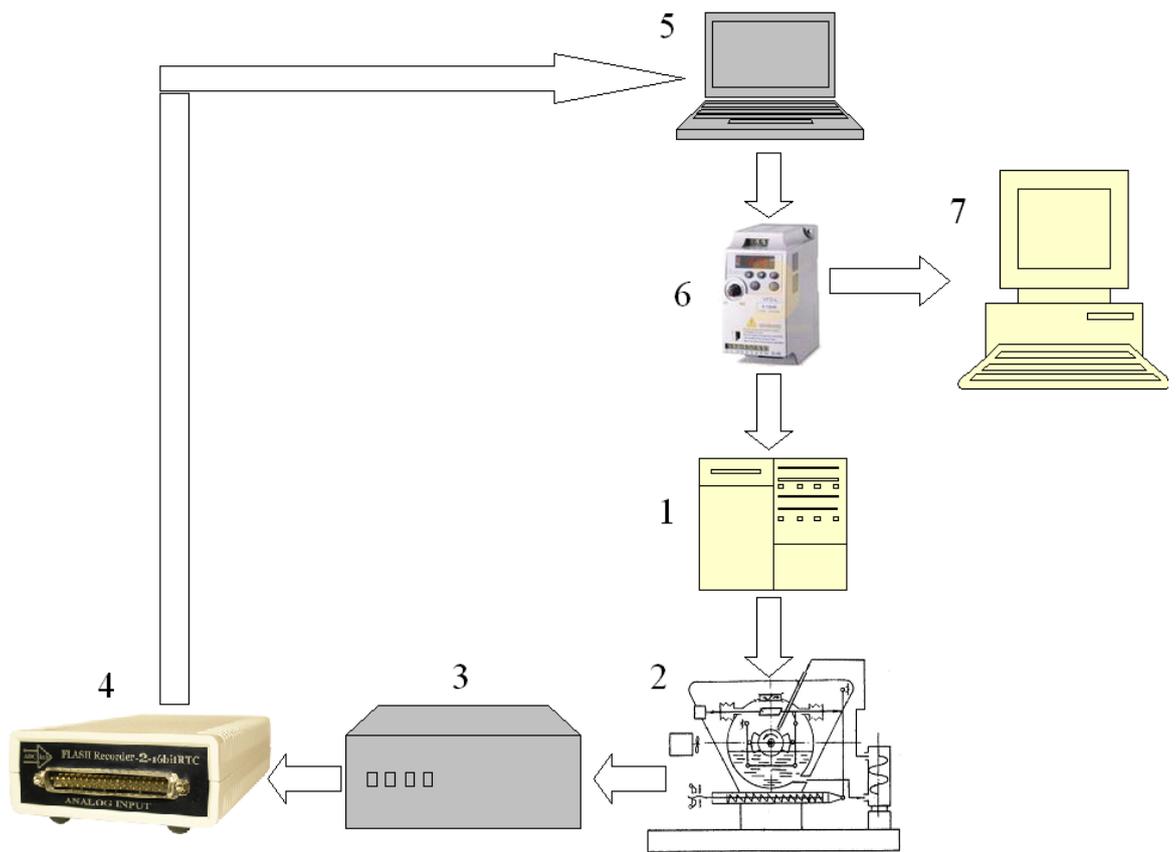


Рис. 3.1. Блок- схема автоматизированного комплекса для проведения триботехнических испытаний: 1 – блок управления триботехнической установки; 2 – механическая часть триботехнической установки; 3 - датчики

(суммарного линейного износа, момента трения, температуры образцов и смазочной среды); 4 - переносной регистратор аналоговых и цифровых сигналов; 5- персональный компьютер; 6 - портативный миниатюрный преобразователь частоты (бесступенчатого изменения скорости скольжения); 7 - экран монитора компьютера



Рис. 3.2. Общий вид преобразователя частоты



Рис. 3.3. Общий вид регистратора аналоговых и цифровых сигналов

При подключении к USB-порту компьютера, регистратор выполняет функции цифрового многоканального самописца S-Recorder-2, т.е. позволяет производить запись на жесткий диск по продолжительности практически неограниченной длины (ограничена объёмом свободного места на диске) с одновременным отображением информации в виде сдвигающихся во времени графиков (режим самописца), выбранного количества каналов и надлежащего их представления на экране компьютера (рис.3.4).

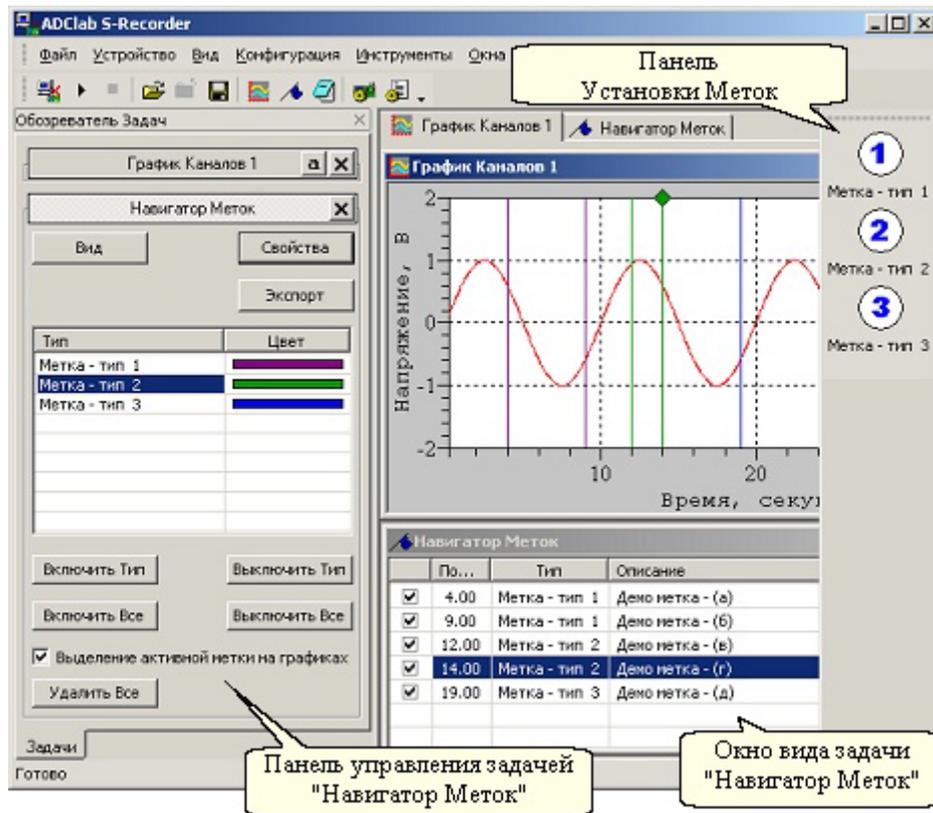


Рис. 3.4. Пример экранной формы представления результатов испытаний

Устройство сбора данных имеет цифровые линии ввода вывода, которые возможно использовать для управления внешними устройствами, сигнализации, внешнего запуска и т.п.

Отличительными особенностями регистратора являются 2 синхронных 16-ти разрядных АЦП и наличие встроенных часов реального времени, предназначенных для синхронизации момента регистрации данных.

Модернизированный триботехнический комплекс способен при решении научно-технических задач выполнять функции автоматизации, контроля и управления.

Для повышение точности, сходимости и достоверности результатов испытаний, а так же расширения функциональных возможностей (области использования) комплекса за счет создания и применения новых технических возможностей предложено использовать стробоскопический эффект (Патент

на полезную модель № 136170 «Комплекс для измерения параметров трения при испытании конструкционных и смазочных материалов»).

Применение стробоскопического эффекта обусловлено тем, что снятие параметров трения осуществляется в строго установленных на испытываемых образцах точках измерения. При этом используются трибологические установки различных схем нагружения испытываемых образцов, позволяющие с высокой точностью регистрировать все основные параметры процесса трения: величину изнашивания образцов, силу (момент) трения, температуру образцов и смазочной среды в непрерывном режиме обработки полученной информации. Применение стробоскопического эффекта позволяет снизить инструментальную составляющую погрешности измерения.

3.1.2. Методика проведения ускоренных триботехнических испытаний материалов на автоматизированном комплексе

Лабораторные триботехнические испытания трущихся материалов и смазочных сред осуществлялись в соответствии с методом [2].

Сначала определялась предельная нагрузка на испытываемые образцы P_{\max} , при которой проявлялись признаки заедания или разрушения материалов. Нагрузка лабораторных испытаний выбиралась из условия $P=0,5P_{\max}$.

Окончание периода приработки определялось по стабилизации момента трения, интенсивности изнашивания и температурного режима.

Эксперимент заканчивался после одного часа работы пары трения в установившемся режиме. Суммарный линейный износ образцов рассчитывался по формуле:

$$\sum h = l_n \cdot K_h - \Delta h_T \cdot \Delta T , \quad (3.1)$$

где l_n - показания прибора на ленте (мкм); K_h - чувствительность прибора при изменении износа образцов;

Δh_T - изменение линейного размера образцов при нагреве (охлаждении) на 1°C (мкм);

ΔT - изменение температуры образцов за время испытаний ($^\circ\text{C}$).

Интенсивность изнашивания определялась по формуле:

$$I = h / S , \quad (3.2)$$

где S - путь трения.

Коэффициент трения образцов рассчитывался по уравнению:

$$f = M_{тр} / (P \times r) = (L_m \times K_m) / (P \times r) \quad (3.3)$$

где $M_{тр}$ - момент трения;

L_m и K_m - соответственно, показания прибора для измерения момента трения и его чувствительность;

P - нагрузка испытаний;

r - расстояние от оси вращения подвижного образца до поверхности трения.

3.2. Методика нанесения износостойких многофункциональных металлолакирующих покрытий фрикционным способом

Технологические методы повышения износостойкости деталей машин основаны на проведении безабразивной обработки посредством

фрикционного воздействия на поверхности трения специальным инструментом в присутствии металлоплакирующей технологической среды.

В этом случае может быть применен металлический инструмент (латунный или медный пруток, щетка и т.п.), эластичный инструмент (фетр, резина и т.п.), что позволяет обрабатывать поверхности сложной формы и обеспечивать создание однородного плакирующего слоя. Усилие поджатия инструмента при этом от 5 – 10 кг/см², и обработку можно вести при повышенных скоростях - до 5 м/с.

В качестве технологических сред можно применять составы на основе галогенидов металлов переходной валентности, например, меди.

После чего обработанные детали промываются водой, ацетоном и бензином, сушатся и смазываются минеральным маслом.

3.3. Методика формирования поверхностного слоя металла нанесением покрытий импульсным искровым разрядом

Электрод при обработке является анодом и на него подается плюс от источника генератора импульса, а изделие является катодом и на него подается минус от источника расходуемым электродом.

Для нанесения покрытия заданной толщины и площади требуется как периодический контакт электрода с изделием, так и перемещение электрода по обрабатываемой поверхности изделия или перемещение последнего относительно неподвижного изделия. Количество материала электрода, переносимого за один разряд, например, для твердого сплава Т15К6 при энергии разряда порядка 1 Дж составляет $(2-3) \cdot 10^{-6}$ г. Осуществление непрерывного процесса реализуется для ручного метода с помощью колебательных движений от электромагнитных вибраторов с частотой вибрации 50-400 Гц.

Для упрочнения инструмента и технологической оснастки в качестве электродов применяют твердые сплавы (Т15К6, Т17К12, ВК6, ВК8, ВК20 и

др.), материалы на основе карбидов и боридов металлов (TiC, WC, Mo₂B₅, CrB₂, TaB₂ и др.), графит и др. Покрытия на основе этих материалов обладают высокой твердостью и износостойкостью.

Процесс легирования начинается со сближения анода (электрода) с катодом (деталью). При расстоянии между ними равном пробивному начинается развитие искрового разряда длительностью 10^{-6} - 10^{-3} с, который во многих случаях завершается при контакте электродов.

В большинстве случаев можно использовать рекомендованные режимы по нанесению покрытий из карбидов вольфрама и титана установками серии «Элитрон»[348].

Максимальная толщина покрытия может достигать 20 мкм микротвердость обработанных поверхностей составляет от 1000 до 1700 кг/мм², что обеспечивает повышение износостойкости до 4..10 раз.

3.4. Методика нанесения покрытий сверхзвуковым холодным напылением

Покрытия наносятся с помощью комплекса оборудования созданного на базе установки типа ДИМЕТ.

Общий вид комплекса для нанесения покрытий представлен на рис. 3.5.

Для нанесения покрытий газодинамическим холодным напылением использовались следующие порошковые материалы:

А-20-11(алюминий, цинк, корунд) для герметизации отверстий и щелей в металлических радиаторах, конденсорах, теплообменниках и иных изделиях, ремонта коррозионных и механических повреждений, сколов, пробоин, прогаров, заполнение трещин, промоин и других дефектов в алюминиевых, стальных и чугунных деталях;

А-40-01 (алюминий) для восстановления формы алюминиевых деталей, герметизации сквозных дефектов в металлических деталях;



Рис. 3.5. Комплекс для нанесения покрытий сверхзвуковым холодным напылением

А-80-13(алюминий, цинк, корунд) для восстановления формы металлических деталей, заполнения каверн, пор, трещин и других дефектов в изделиях из алюминия и его сплавов, восстановления посадочных мест подшипников в алюминиевых, стальных и чугунных деталях;

С-01-01 (медь, корунд) для нанесения электропроводящих покрытий на алюминий, сталь, металлические сплавы, стекло, керамику, покрытия поверхности алюминиевых, стальных, чугунных, керамических и стеклянных деталей для пайки оловом.;

С-01-11 (медь, цинк, корунд) для заполнения каверн, трещин и других дефектов в стальных, чугунных, бронзовых и латунных деталях, ремонта деталей, работающих при температуре от 600 до 800°С, восстановления посадочных мест подшипников в стальных и чугунных деталях;

К-00-04-16 (оксид алюминия) для очистки и струйно-абразивной подготовки поверхности стали и чугуна при нанесении металлических покрытий;

N3-00-02(никель, корунд) для электропроводящих покрытий контактных площадок электрооборудования, антикоррозионных и жаростойких покрытий применяемых при защите стальных деталей;

N7-00-14(никель, цинк, корунд) для заполнения каверн, прогаров, трещин и других дефектов в изделиях, работающих при температуре от 900 до 1200°С;

P1-00-01(свинец, корунд) для антикоррозионной защиты в кислотных и щелочных средах, герметизация пористости, микротрещин, резьбовых соединений;

T2-00-05(олово, корунд) для электропроводящих покрытий контактных площадок электрооборудования;

Z-00-11(цинк, корунд) для антикоррозионной защиты локальных участков стальных деталей и элементов стальных конструкций (в том числе сварных швов);

БК2-100-60(баббит БК-2) и Б83-100-40(баббит Б-83) для восстановления подшипников скольжения;

A-10-00(алюминий, цинк) для нанесения покрытий с ограничением толщины слоя, нанесения светоотражающих покрытий на стекло, с повышенной коррозионной стойкостью;

A-10-01(алюминий, корунд) для восстановления формы алюминиевых деталей, создания диффузионного защитного слоя на стальных деталях, работающих при температуре 800...1000°С;

A-20-01(алюминий, корунд) для нанесения антикоррозионных покрытий, восстановления формы алюминиевых деталей, защитного покрытия стальных деталей, работающих при температуре 500...600°С, герметизация сквозных дефектов в металлических деталях;

A-20-10(алюминий, цинк), для нанесения зеркальных покрытий на стекло;

А-30-01(алюминий, корунд) для нанесения антикоррозионных покрытий, восстановления слоя плакировки на деталях при пониженных температурах.

Для получения качественного покрытия необходимо:

- подготовить поверхность изделия (в некоторых случаях);
- правильно выбрать порошковый материал;
- настроить производительность питателя;
- правильно провести напыление.

Чистые металлические и керамические поверхности обычно не требуют специальной подготовки. Нанесение покрытия возможно даже на поверхности, загрязненные маслом и краской. Однако при нанесении покрытий на сталь, покрытую остатками ржавчины или окалиной желательна предварительная пескоструйная обработка. Струйно-абразивная (пескоструйная) подготовка поверхности под напыление увеличивает прочность сцепления покрытия с этой поверхностью. Струйно-абразивную подготовку можно осуществлять с помощью оборудования ДИМЕТ, например, порошковым материалом К-00-04-16, другим абразивным порошком или песком. При этом размер частиц используемого порошка не должен превышать 0,2 мм.

Нанесение покрытий проводилось с помощью стандартных сопел, а для обработки неметаллических поверхностей применялись модернизированные. Общий вид последних показан на рис. 3.6.

Рабочие порошки обладают различной сыпучестью и настройка производительности питателя (количество порошка, выдаваемого питателем в единицу времени в тракт подачи порошка в сопло) должна осуществляться индивидуально для каждого порошка. Настройка производительности питателя может производиться визуально, по видимой скорости напыления покрытия или более точно - путем взвешивания. Рекомендуемая производительность питателя для порошкового материала С-01-01 – 0,3-0,5 г/с. Рекомендуемая производительность питателя для порошковых

материалов типа А-80-13, А-20-11, С-01-11 - 0,1-0,4 г/с; для порошкового материала К-00-04 – 0,1-0,2 г/с.



Рис. 3.6. Общий вид модернизированных сопел для холодного напыления порошковых материалов высокоскоростным воздушным потоком

Нанесение цинковых покрытий для защиты стальных поверхностей производится порошковым материалом Z-00-11 или Z-00-13. Рекомендуемая толщина наносимого слоя – 0,05-0,2 мм. Для повышения адгезии цинкового покрытия рекомендуется предварительная обработка поверхности абразивом.

Для нанесения цинковых покрытий относительно небольшой толщины (10-30мкм) целесообразно использовать порошковый материал Z-00-13. Использование этого порошкового материала позволяет вообще не очищать подложку от загрязнений, ржавчины, краски, окалины, масла и т.п.

Нанесение медных покрытий производится порошковым материалом С-01-01. Для повышения адгезии покрытия рекомендуется предварительная обработка поверхности абразивом.

Покрытия, включающие цинк и медь, при последующей термообработке обеспечивают образование латуни. Для нанесения таких покрытий применяется порошковый материал С-01-11. Для прохождения диффузионных процессов, обеспечивающих получение латунного покрытия, достаточно прогреть покрытие при температуре 250 – 300°С в течение 30 –

40 минут. При обработке стальных поверхностей рекомендуется предварительная обработка поверхности абразивом.

Покрытие на основе никеля для защиты металлической поверхности в агрессивных средах наносится порошковым материалом N3-00-02. Рекомендуемая толщина слоя 30-50 мкм.

Для защиты от высокотемпературной коррозии предназначен порошковый материал N7-00-14. Он обеспечивает заделку каверн и течей в деталях, работающих при температурах 1000-1100°C.

Заделка сквозных отверстий и щелей размером менее 0,5 мм возможна при нанесении покрытия непосредственно в область дефекта порошковым материалом А-80-13 или А-20-11. При заделке более крупных сквозных дефектов рекомендуется предварительно зачеканить (или просто заткнуть) их металлической, алюминиевой или медной пробкой.

При работе необходимо поддерживать расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности в пределах от 5 до 15 мм. При меньших расстояниях возможно перекрывание воздушного потока, что может привести к нарушению работоспособности оборудования. Кроме того, при расстояниях менее 5 мм и более 15 мм снижается эффективность использования порошка.

При напылении покрытий желательно ориентировать ось сопла перпендикулярно обрабатываемой поверхности, так как при отклонении от перпендикулярности уменьшается эффективность напыления. При отклонении от перпендикуляра в пределах $\pm 10^\circ$ уменьшение эффективности незначительно. Предельный угол отклонения – 45° для порошковых материалов типа А, Z и Р, 30° - для порошковых материалов типа С и N.

При необходимости напыления покрытия на некоторую площадь под косым углом к поверхности рекомендуется напыление начинать с дальнего участка этой поверхности и постепенно продвигаться в сторону напылителя («на себя»).

3.5. Выводы по главе

1. Модернизирована лабораторная установка для триботехнических исследований.

2. Создан малогабаритный автоматизированный комплекс для триботехнических испытаний с использованием современных цифровых методов сбора и обработки результатов экспериментальных исследований.

3. Предложены методики нанесения износостойких многофункциональных металлоплакирующих покрытий на поверхности различных материалов

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ИНСТРУМЕНТА НА ПОВЫШЕНИЕ ИХ СРОКА СЛУЖБЫ

4.1. Лабораторные триботехнические исследования

Испытания проводились на парах трения: вал - колодки в масле И20А и масле с присадкой на основе олеата меди с концентрацией 0,05 % от массы масла.

Скорость скольжения составляла 2м/с при удельной нагрузке на образцах до 150 кг/см². Время испытаний 3 часа. Режим смазывания – фитильный.

Вал и колодки изготавливались из Стали 45.

Испытывались следующие колодки:

- №1 без покрытия;

-№2- с покрытием Т15К6 после алмазного шлифования

-№3- с покрытием Т15К6 + медь-оловянистое покрытие (медь-90%, олово -10 %), нанесенное сверхзвуковым холодным напылением.

Результаты испытаний показаны на рис. 4.1.

Как видно из приведенных данных, лучшие результаты получены при трении стальных образцов, на один из которых нанесено композиционное покрытие из твердого сплава и порошковое покрытие из меди и олова, которое в процессе трения образовало на рабочей поверхности бронзовый сплав с улучшенными триботехническими характеристиками. При этом отмечается, что коэффициент трения при трении с присадкой снизился на 20% по сравнению с трением образцов без присадки.

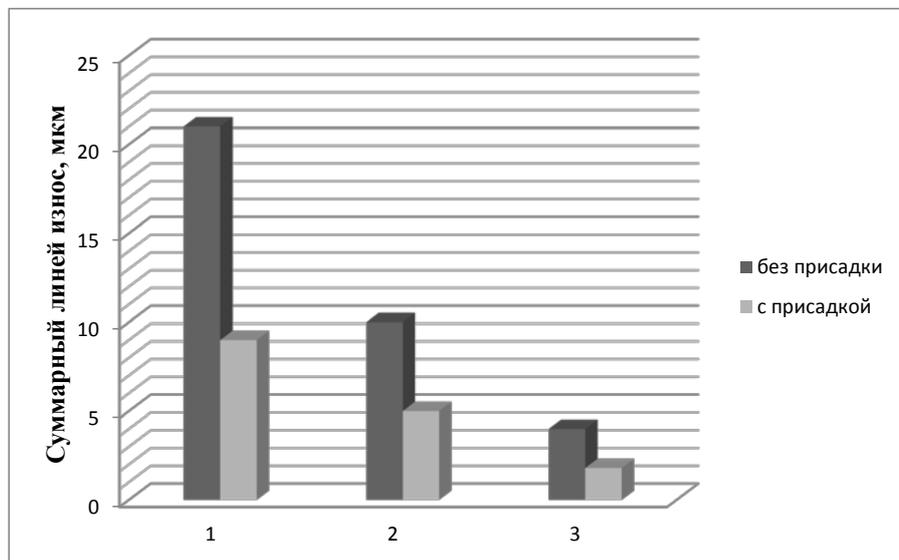


Рис. 4.1. Суммарный линейный износ (мкм) образцов из Стали 45: 1- без покрытия; 2 - покрытие T15K6 после алмазного шлифования; 3- с покрытием T15K6 + медь-оловянистое покрытие (медь - 90%, олово -10 %), нанесенное сверхзвуковым холодным напылением

При испытании образца под №3 через 2 часа работы отмечался переход в режим «безыносного трения» - показания приборов, регистрирующих момент трения и суммарный линейный износ образцов, со временем не изменялись.

Сочетание механического и температурного воздействия в зоне контакта лезвийного инструмента скользящего резания и обрабатываемого материала приводит к изменению его состояния, и создаются условия для наводороживания поверхностных слоев металла, приводящего к охрупчиванию инструмента, его быстрому изнашиванию и даже переносу металла на полимер.

Поэтому были проведены исследования по определению количественной характеристики наводороживаемости поверхности лезвия инструмента при обработке полимеров, в результате которых было подтверждено повышенное содержание водорода в режущей кромке дисковых ножей. Если до проведения процесса резания содержание водорода в металле составляло 0,0103%, или $4,47 \text{ см}^3$ на 100 г металла, то после резания (через 16 ч) оно оказалось 0,126%, или $54,68 \text{ см}^3$ на 100 г металла, что соответствует увеличению содержания водорода в лезвии почти в 10 раз.

Одним из наиболее перспективных способов формирования требуемой геометрии режущей кромки инструмента во время работы на основе ранее проведенного анализа, является пластическая деформация. При этом требуемый угол заточки инструмента обеспечивается без снятия металла с одновременным повышением твердости и чистоты поверхностей граней.

Испытаниям подвергали образцы в виде дискового ножа из стали ШХ15 с твердостью 58-60 HRC при частоте вращения $46,7 \text{ с}^{-1}$ (линейная скорость перемещения лезвия инструмента относительно разрезаемого материала 15 м/с).

Режущая способность оценивалась путем разрезания образцов из эталонного материала (обувной винилискожи толщиной 1,7 мм и плотностью $1100 + 50 \text{ г/м}^2$) после разрезания жесткой подошвенной кожи, Длина пути резания эталонного образца равнялась 300 мм, а длина пути резания подошвенной кожи - 1,5 м. Усилие прижатия образцов эталонного материала составляло 3,0 Н, подошвенной кожи - 9,5 Н.

Установлено, что при упрочняющей обработке лезвия дисковых ножей в чистом масле происходило разрушение лезвия вследствие перенаклепа граней, на поверхностях наблюдались вырывы металла. При использовании масла с металлоплакирующей присадкой разрушения поверхности не наблюдалось.

Радиус затупления после безабразивной обработки находится в пределах 10 мкм. Вследствие пластической деформации структура пластинчатого перлита металла разрушена, и остатки этой структуры появляются по мере удаления от вершины лезвия (темные пятна со светлыми параллельными полосками).

По измерению микротвердости установлено, что в результате деформации произошло упрочнение лезвия, причем максимальное упрочнение произошло в зоне, находящейся на продольной оси лезвия, на расстоянии около 100 мкм от вершины.

Поверхностные слои вблизи граней лезвия на расстоянии до 50 мкм упрочнены так же, как и на расстоянии 500 мкм от вершины. На расстоянии 300-350 мкм от вершины сердцевина лезвия упрочнена больше, чем грани. Таким образом, безабразивная обработка в металлоплакирующих средах создает условия для самозатачивания лезвия при эксплуатации.

Испытания обработанных в металлоплакирующих средах дисковых ножей показали, что их стойкость при резании повысилась до 2 раз.

При сопоставлении данных, полученных при испытаниях ножей при резании, и данных исследований по определению содержания водорода в режущей кромке инструмента скользящего резания обнаруживается прямая связь между стойкостью ножа и его наводороживанием.

Автором предложена комбинированная технология обработки режущей кромки инструмента скользящего резания: электроискровое легирование твердым сплавом ВК8 с последующим пластическим деформированием поверхности в медьсодержащей поверхностно-активной среде.

При легировании на установке для ручного электроискрового легирования «Элитрон 22 А» с частотой колебаний 100 Гц и со скоростью 2 см²/мин была получена средняя шероховатость Ra 8,9 мкм и микротвердость 700 кг/мм².

Режущая способность обработанного ножа оценивалась путем разрезания образцов из эталонного материала (обувной венилискожи толщиной 1,7 мм и плотностью 1100...1150 г/м²) после разрезания жесткой подошвенной кожи на экспериментальной установке. Длина пути реза эталонного образца составляла 300 мм при усилии поджатия – 3 Н, длина реза подошвенной кожи – 1,5 м при усилии поджатия 9,5 Н. Линейная скорость на режущей кромке составляла 15 м/с.

Испытания показали, что поверхностно-пластическое деформирование в металлоплакирующей среде в сочетании с легированием поверхностного слоя позволяет повысить стойкость режущей кромки до 5 раз.

В качестве электродного материала для формирования поверхностного слоя с высокой износоустойчивостью был выбран сплав на основе карбидов титана (15%), карбидов вольфрама (79%) и кобальта (6 %), позволяющий получить на поверхности твердость до 79 HRC. Рабочий ток при обработке определялся опытным путем в зависимости от требуемой шероховатости получаемой поверхности и составлял 1,5 А.

Устанавливая максимальные значения тока можно получить ярко выраженную рельефную поверхность, а при малых значениях тока - почти гладкую поверхность.

Электроискровой обработкой можно наносить покрытие по контуру рисунка и создавать матрицу композиционного покрытия с последующим ее заполнением другим металлом или полимерным материалом.

На рис. 4.2. показана поверхность ножа с композиционным покрытием, матрица которого нанесена электроискровым методом и ячейки заполнены другим металлом.



Рис.4.2. Поверхность ножа с композиционным покрытием

Нанесение покрытий проводилось при следующих режимах:

- расстояние от сопла до поверхности образцов 10...15 мм;
- положение ручки « режим » на установке ДИМЕТ - «3», «4»;
- время обработки - определялось получением необходимой толщины или требуемого рельефа поверхности;
- положение ручки « расход » на установки ДИМЕТ «4», «5».

Многослойное композиционное покрытие получалось путем последовательного чередования подачи порошков различных металлов при нанесении объемного покрытия.

На рис. 4.3 показан микрошлиф фрагмента режущей кромки ленточного ножа после комбинированной обработки в следующей последовательности: нанесение методом ХДН медного покрытия и после микроплазменного легирования (МПЛ) осуществлено напыление алюминиевого покрытия.

На рис. 4.4 представлен микрошлиф фрагмента режущей кромки ножа после комбинированной обработки по схеме: микроплазменное легирование, затем нанесение методом ХДН последовательно алюминиевого и медного покрытий.

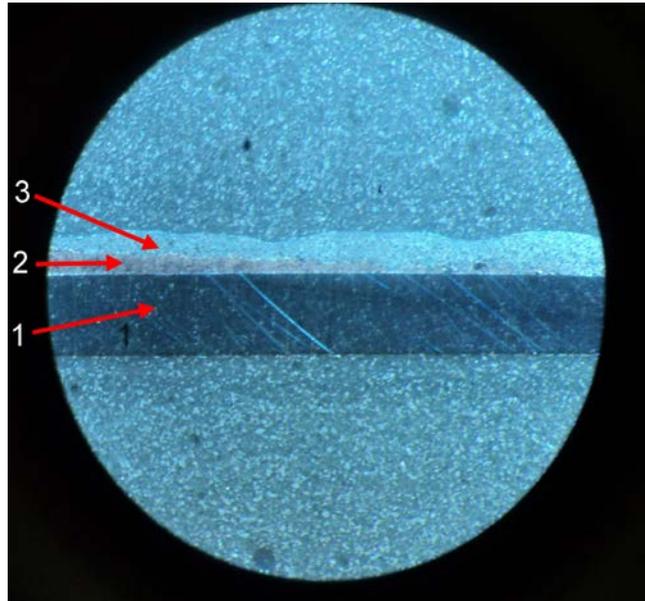


Рис. 4.3. Микрошлиф фрагмента режущей кромки ножа
после комбинированной обработки:

1 - нож; 2 – медь; 3 –алюминий

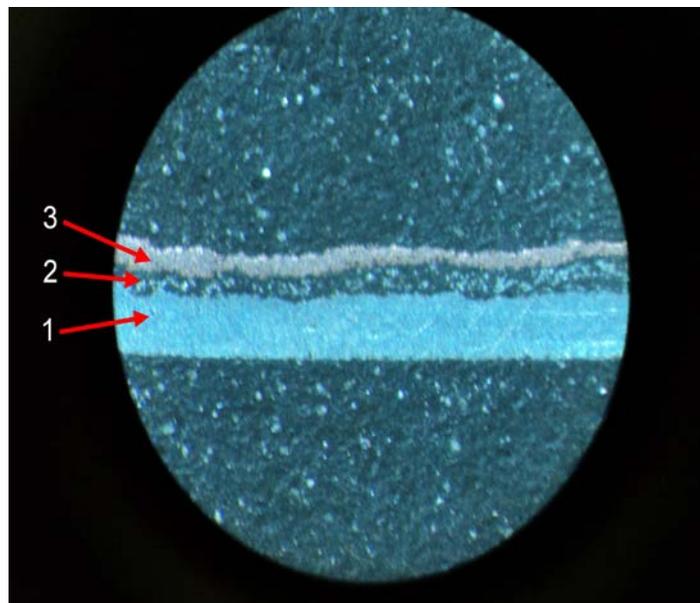


Рис. 4.4. Микрошлиф фрагмента режущей кромки ножа
после комбинированной обработки:

1 - нож; 2 – алюминий; 3 – медь

Микрошлиф фрагмента режущей кромки ножа после микроплазменного легирования, и последующего нанесения методом ХДН последовательно медного и алюминиевого покрытий представлен на рис. 4.5.

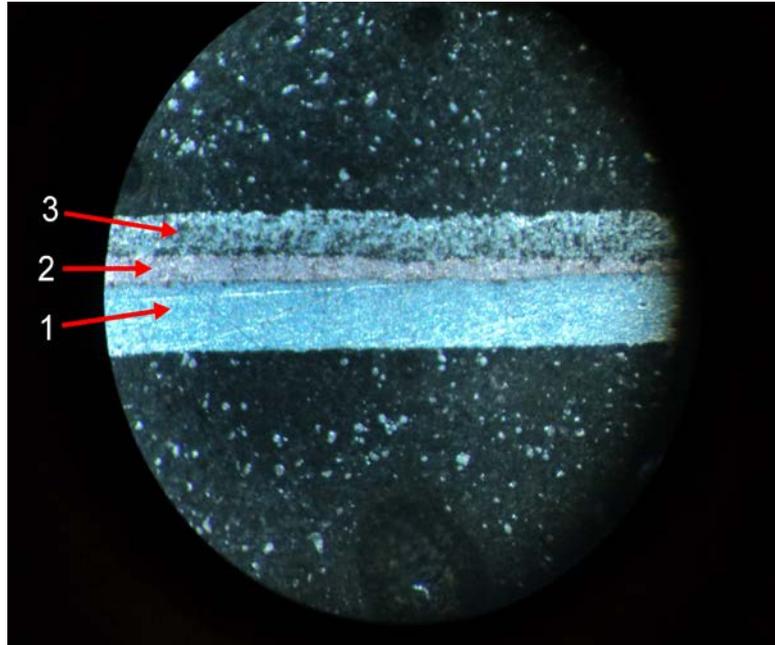


Рис. 4.5. Микрошлиф фрагмента режущей кромки ножа после комбинированной обработки:
1 - нож; 2 – медь; 3 –алюминий

Проводились триботехнические испытания в паре: вал - колодка, причем использовался вал без покрытия и с покрытием Т15К6.

Длительность испытаний определялась опытным путем: до устойчивых значений износа контрольной пары образцов без покрытий.

Покрытие из Т15К6 наносилось в два прохода при угловой скорости вращения вала 80 оборотов в минуту при подаче инструмента 0,05 мм на 1 оборот заготовки. На рис. 4.6 показаны фотографии поверхностей после

нанесения покрытий при отработке оптимальных режимов нанесения покрытия и шероховатости поверхностей.

Устойчивая работа вибратора достигалась при амплитуде 0,5 мм.

Как видно из приведенных фотографий лучшее по плотности и однородности покрытие было получено при рабочем токе 1,5 А.

После обработки во всех случаях проводилось алмазное шлифование рабочих поверхностей.

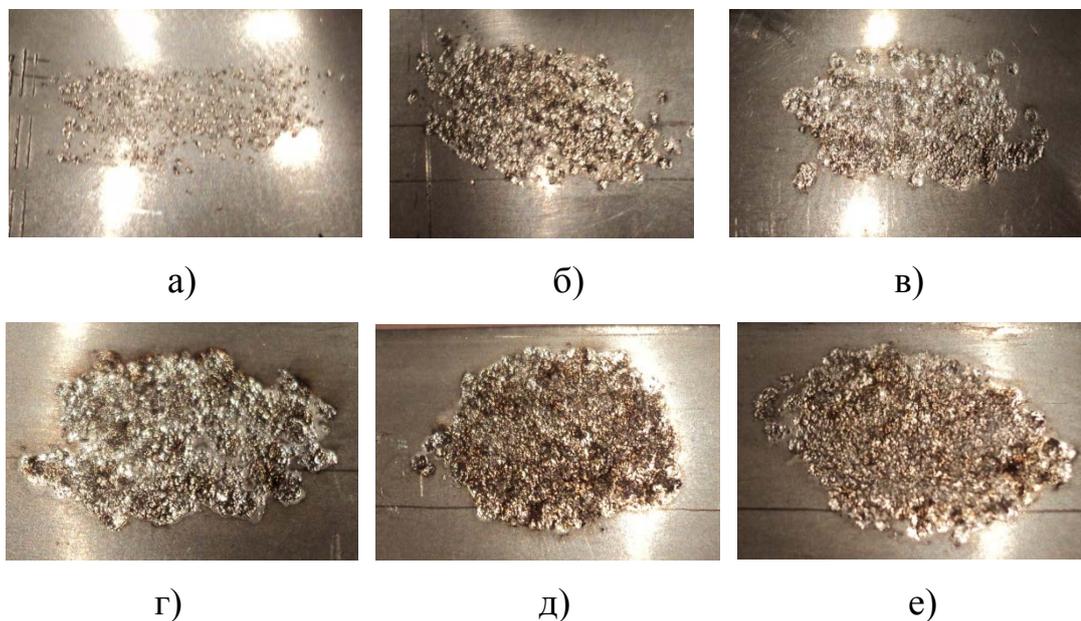


Рис. 4.6. Фотографии поверхностей стали У7 с покрытием Т15К6: а) при 0,5А; б) при 1,0А; в) при 1,5А; г) при 2,0А; д) при 2,5А; е) при 3,0А

Испытания контрольных образцов в течение 50 часов показали, что характер износа проявился через 30 часов работы.

Подготовленные образцы без покрытий и с покрытиями испытывались в течение 30 часов при удельной нагрузке 50 кг / см^2 (5 МПа). Оценка износа и шероховатости образцов производилась путем измерения и сравнения выработки металла на дорожках трения, образующихся на рабочих поверхностях во время испытаний. Измерение производилось профилографом – профилометром, или другим контактным или оптическим

методами. В качестве основного прибора используется портативный измеритель шероховатости TR 200, разработанный компанией Time Group. Измеритель предназначен для работы в условиях производства и может быть использован для измерения шероховатости поверхности различных машиностроительных деталей. Измеритель производит расчёт параметров шероховатости в соответствии с выбранной методикой и чётко отображает на жидкокристаллическом экране график профиля и все измеренные параметры.

Испытаниям подвергались образцы из стали У7 без покрытий (№1), с покрытием T15K6 (№2) и с покрытием T15K6 + медное покрытие (№3), нанесенное сверхзвуковым холодным напылением.

Результаты испытаний представлены на рис. 4.7.

Визуальный осмотр поверхностей трения показал следующее:

На дорожке трения образца №1 видна ярко выраженная полоса, образовавшаяся в результате износа металла.

На поверхностях трения образцов №2 и №3 такая дорожка отсутствует, что свидетельствует об уменьшении водородного износа металла.

Износ при этом происходит на уровне шероховатости обработанной поверхности и имеет меньшее значение при нанесении композиционного покрытия (до 6 раз), являющимся лучшей защитой от водородного изнашивания.

Для исследования процесса формирования поверхностных слоев разработанным комбинированным методом и определения рациональных режимов обработки с целью подтверждения предложенной в главе 2 модели процесса были выполнены лабораторные исследования по установлению совместного влияния методов и соответствующих им параметров обработки.

Предварительно проведенные исследования свидетельствуют о том, что для каждого режима работы установок для легирования и нанесения покрытий в потоках энергии существует рациональное время формирования поверхностного слоя, необходимое для получения наиболее качественной режущей кромки лезвийного инструмента.

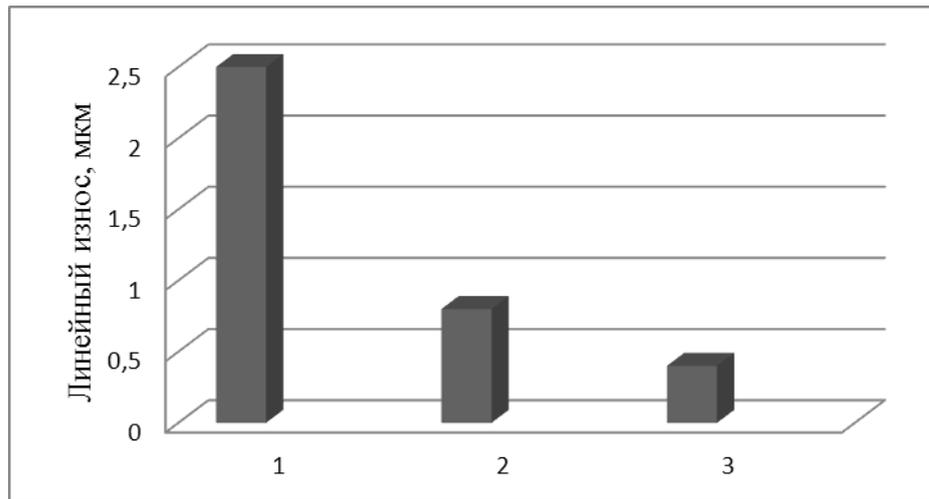


Рис. 4.7 Линейный износ (мкм) образцов из стали У7 в зависимости от вида нанесенного покрытия:

- 1 - без покрытия; 2 - с покрытием T15K6; 3- с покрытием T15K6 + медное покрытие, нанесенное сверхзвуковым холодным напылением

Исследования проводились в ручном режиме на установке ЭИЛ модели «Элитрон -22 А». В данном случае критерием выбора легирования по показателю времени являлось получение покрытий со 100% сплошностью, с исключением главной причины брака – расслоения покрытия.

Основные показатели процесса ЭИЛ (производительность, толщина слоя, равномерность, сплошность сформированной поверхности и т.п.) обусловлены энергией разряда, которая определяется дискретно задаваемыми режимом и амплитудой.

Установлено, что данная зависимость носит экстремальный характер, и при превышении некоторого порогового значения качество легируемой на воздухе поверхности снижается.

Для легирования поверхности лезвия из стали У7 (начальная шероховатость $R_a = 0,9$) твердыми сплавами использовалась установка «Элитрон-22А» (основные режимы обработки: режим «2» рабочий ток $I=0,8\pm 0,24$, режим «3» рабочий ток $I=1,3\pm 0,39$ А, режим «4» рабочий ток $I=1,8\pm 0,54$ А, $U\approx 60$ В, $F=100$ Гц). Материал электрода T15K6 (HRC 65). Время

нанесения 4 минуты (240 секунд), амплитуда «9». Данные по режимам (рабочий ток) соответствовали паспорту на «Элитрон-22А» (АИИЗ.299.282 ПС) – $A \pm 30\%$.

Для построения кинетических зависимостей изменения массы электродов использовались аналитические весы VIC- 300d3: s/n 21857930, НВП = 300 г, с точностью измерения до 0,001г.

Газодинамическое напыление осуществлялось на установке «Димед-404». При этом режимы работы оборудования соответствовали следующим параметрам: режим подачи – «б», режим температуры – «3». Состав загружаемого бункера - порошок меди с цинком.

Определялась удельная производительность нанесения покрытия.

Удельная производительность нанесения покрытия в зависимости от режима электроискровой обработки представлена на рис. 4.8.

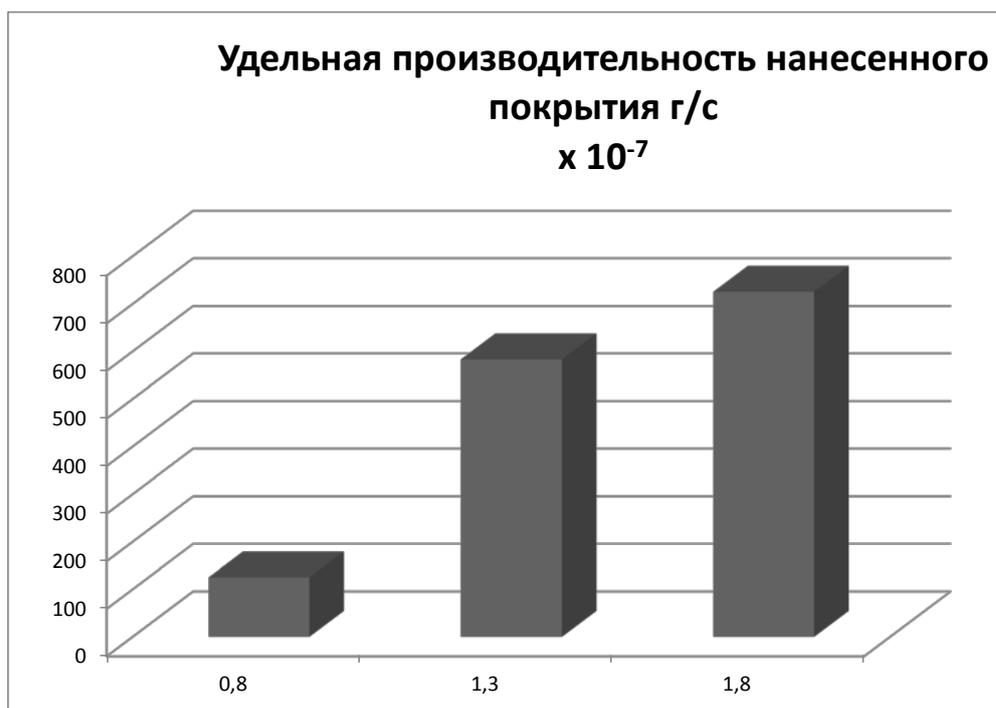


Рис. 4.8 Удельная производительность нанесения покрытия в зависимости рабочего тока электроискровой обработки

На рис. 4.9 представлены результаты по определению динамики шероховатости в процессе применения разработанных технологий формирования рабочей поверхности лезвийного инструмента. Технология обработки осуществлялась в следующей последовательности: электроискровое легирование стали У7 в режиме «амплитуда - 9», «режим - 3» (позиция 1); алмазное выглаживание (позиция 2); нанесение покрытия (Cu+Zn) и последующее повторное алмазное выглаживание (позиция 3).

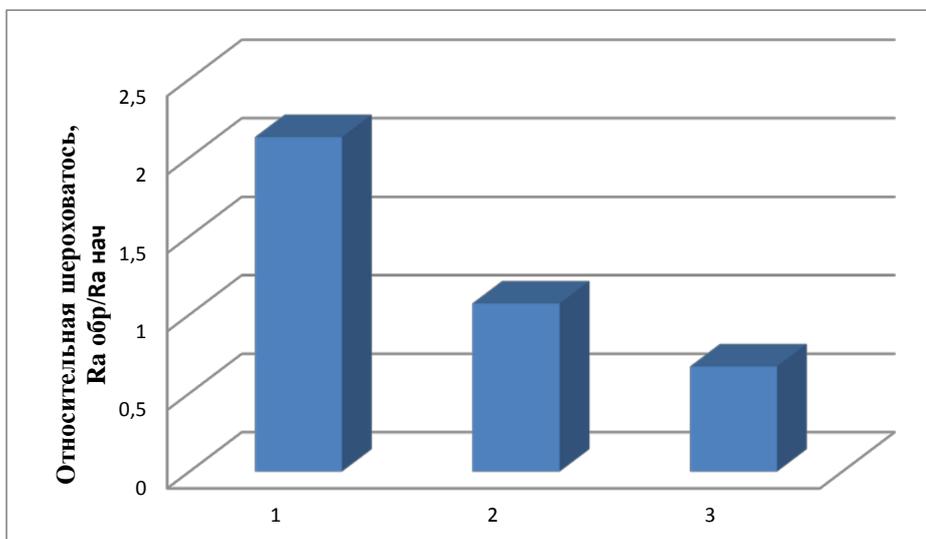


Рис. 4.9. Шероховатость поверхности стали У7 после обработки относительно начальной:

- 1- после электроискрового легирования;
- 2- после алмазного выглаживания;
- 3- после холодного газодинамического напыления медно-цинкового покрытия и последующего алмазного выглаживания

Установлено, что электроискровое легирование повышает начальную шероховатость обрабатываемой поверхности при данных режимах почти в 2 раза. Последующее алмазное выглаживание снижает шероховатость

практически до первоначального значения. Дальнейшее нанесение методом холодного газодинамического напыления медно-цинкового покрытия и применяемое алмазное выглаживание снижает шероховатость по сравнению с исходной на 30...40 %.

При этом выявлено, что заполнение микронеровностей, образующихся в процессе электроискрового легирования, методом газодинамического напыления мягких металлов, не требует нанесения толстого слоя, т.к. это приводит к расслоению покрытия.

4.2. Исследование режущей способности инструмента скользящего резания с защитным покрытием

В соответствии с ранее изложенными теоретическими положениями для упрочнения режущей кромки лезвийного инструмента нами была применена комбинированная технология обработки: электроискровое легирование твердым сплавом Т15К6 с последующим нанесением медного покрытия сверхзвуковым холодным напылением и алмазным шлифованием.

Легирование проводили с помощью установки «Элитрон 22А» на «4-м» режиме (частота колебаний 100 гц) на максимальном значении параметра «Амплитуда» со скоростью 2 см²/мин. При этом была получена средняя шероховатость Ra 8,9 мкм и микротвердость 700 кг/мм².

После нанесения покрытий из Т15К6 и меди и последующего алмазного шлифования шероховатость уменьшалась до 0,5- 1,0 мкм.

Режущая способность оценивалась путем разрезания образцов из эталонного материала (обувной венилискожи толщиной 1,7 мм и плотностью 1100 - 1150 г/ м²) после предварительного затупления путем разрезания жесткой подошвенной кожи. Длина пути реза эталонного образца составляла 300 мм при усилии поджатия – 3 Н, длина реза подошвенной кожи – 1,5 м при усилии поджатия 9,5 Н. Линейная скорость на режущей кромке составляла 15 м/с.

Испытания показали, что комбинированная обработка режущей кромки позволяет повысить стойкость режущего инструмента не менее чем в 5...7 раз.

4.3. Исследования возможности нанесения многослойных композиционных покрытий в потоках энергии на неметаллические поверхности

При нанесении покрытия на стекло и кафельную плитку после формирования каждого слоя требовалось некоторое время для медленного охлаждения покрытия, так как нанесение подряд нескольких слоев металла приводило к отслаиванию нанесенного покрытия в результате температурных деформаций на границе раздела системы «металл-неметалл».

Контур зоны покрытия задавался шаблоном из металла толщиной 3...4 мм.

Нанесение покрытия сверхзвуковым напылением на мягкие материалы (бумагу, картон, гипс, дерево и т.п.) невозможно из-за высокой скорости металлических частиц, которые разрушают основной материал.

Для нанесения металлических покрытий на мягкие неметаллические материалы (дерево, гипс, картон, пластмассу и др.) холодным газодинамическим способом требуется предварительное упрочнение поверхностного слоя обрабатываемого изделия.

Формирование поверхностного слоя будет включать в себя несколько процессов: нанесение токопроводящего слоя и затем металлического подслоя – покрытия гальваническим способом.

Нанесение токопроводящего слоя графитированием

Слой начинают наносить густым опудриванием предмета графитом, который затем растирают кистью, тем более жесткой, чем прочнее

поверхность, или матерчатым тампоном, слегка смоченным машинным маслом. Графитируют до получения черной блестящей пленки. Для ускорения работы можно использовать графит, растертый с клеем БФ-2 (для уменьшения вязкости его несколько разбавляют спиртом). Клей наносят на модель кистью. Но поверхность в этом случае получается более грубая и зернистая.

Нанесение токопроводящего слоя бронзированием

Выполняют с помощью бронзового порошка и двухлористого олова. Небольшие предметы окунают в жидкий нитролак (НЦ-222, НЦ-218) или клей БФ-2. Затем, быстро стряхнув капли лака, густо обсыпают бронзовым порошком. Излишки его удаляют. На более крупные предметы наносят кистью клей БФ-2 (здесь замена другим клеем или лаком не допускается) и по высохшей клеевой пленке кистью же наносят бронзовый порошок, смешанный с ацетоном до полужидкой консистенции. Очень важно, чтобы клеевой слой был без пропусков и пузырей, а порошок наложен ровным слоем. После просушки и последующей промывки бронзированную поверхность смачивают раствором двухлористого олова (5 г на 20 мл воды) в течение одной минуты, а затем промывают в проточной воде. Если поверхность не полностью смачивается водой, обработку оловом повторяют.

Нанесение медного подслоя

Чтобы получить слой меди заданной толщины, нужно в цепи ванны установить определенный ток и знать время, в течение которого толщина меди достигнет желаемой величины. Для этого необходимо подсчитать площадь поверхности предмета. При сложной конфигурации поверхность разделяется на отдельные части, площади которых могут быть подсчитаны и суммированы.

Зная площадь поверхности, можно вычислить массу осажденной меди при заданной толщине слоя по формуле

$$M = (S * 0.9) * C$$

где M — масса меди в граммах, S — площадь в см^2 , C — толщина в мм.

Время, необходимое для отложения такого количества меди, и величина тока в ванне обратно зависимы: время сокращается, если увеличивать ток. Чаще всего используют плотность тока от 0,5 до 1,5 ампера на кв. дециметр (А/дм^2). Выбор плотности тока зависит от конфигурации модели и фактуры ее поверхности. Например, для плоских предметов, особенно если предполагается их последующая механическая обработка, можно взять верхний предел плотности. Для предметов с тонкими деталями, где важно получить гладкую поверхность, — нижний предел.

Величину тока, которую нужно установить реостатом в цепи ванны при выбранной плотности тока, определяют по формуле

$$I = D \cdot S,$$

где I — ток в амперах, D — плотность тока в А/дм^2 , S — площадь поверхности в дм^2 .

Можно подсчитать и сколько времени займет металлизация M ,

$$T = M / (1,2 \cdot I)$$

где T — время в часах, M — масса меди в граммах, I — ток в амперах.

Рабочую величину тока устанавливают только после окончания затяжки поверхности первоначальным слоем меди и уже с этого момента ведут отсчет времени.

Процесс ведется в ванной, которой может служить прочный сосуд из стекла, оргстекла, винипласта прямоугольной формы емкостью 15—20 литров.

В гальванической установке происходит электролиз раствора сернокислой меди (медного купороса), в результате на катоде осаждается чистая медь. Простой электролит меднения состоит из 720 г сернокислой меди, 27 мл серной кислоты. И все доливается водой до 1 литра. Рабочая

температура электролита 18 — 24 °С. На 1 дм² металлируемой поверхности должно быть 3—4 литра электролита. Толщина слоя меди зависит от продолжительности процесса осаждения и плотности тока (таблица 4.1).

На полученный гальванопластикой медный подслоу наносится покрытие ранее описанным холодным газодинамическим способом. Материал покрытия и его толщина выбирается исходя из поставленных задач.

Таблица 4.1. Зависимость толщины слоя меди от плотности тока и продолжительности процесса

Толщина слоя меди (мм)	Плотность тока (А/дм ²)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Продолжительность осаждения (минуты)								
0,001	4,5	2,25	1,5	1,12	0,9	0,75	0,64	0,56	0,5
0,002	9,0	4,5	3,0	2,25	1,8	1,5	1,29	1,13	1,0
0,003	13,5	6,75	4,5	3,37	2,7	2,25	1,93	1,69	1,5
0,004	18,0	9,0	6,0	4,5	3,6	3,0	2,57	2,25	2,0
0,005	22,5	11,25	7,5	5,62	4,5	3,75	3,21	2,81	2,5
0,006	27,0	13,5	9,0	6,75	5,4	4,5	3,86	3,38	3,0
0,007	31,5	15,75	10,5	7,87	6,3	5,25	4,5	3,94	3,5
0,008	36,0	18,0	12,0	9,0	7,2	6,0	5,14	4,5	4,0
0,009	40,5	20,25	13,5	10,12	8,1	6,75	5,79	5,07	4,5

Образцы с нанесенными с объемными и многослойными покрытиями представлены на рис. 4.10 - 4.15.



Рис.4.10. Покрытие из алюминия на бетоне толщиной 2 мм

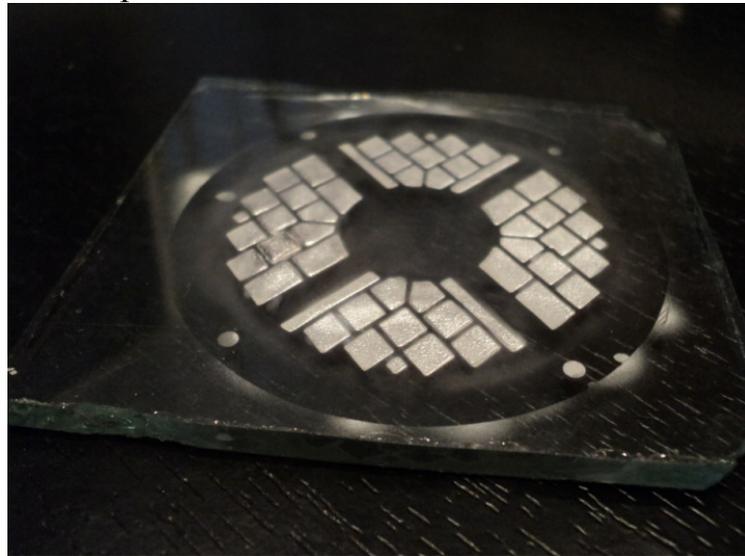


Рис. 4.11. Рельефный рисунок из алюминия на стекле

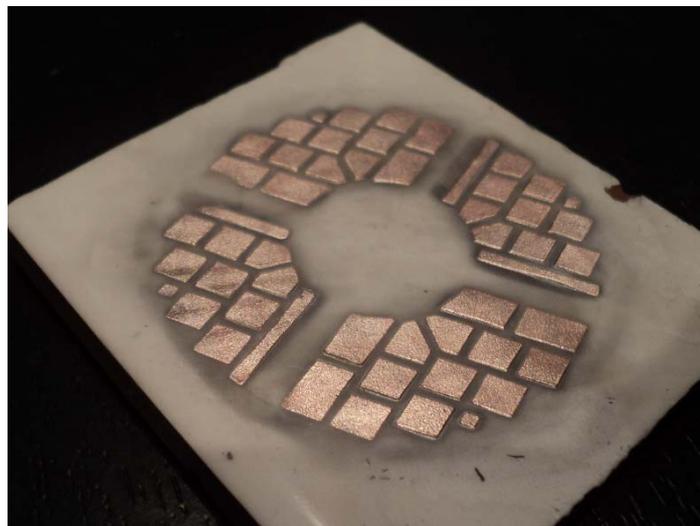


Рис. 4.12. Рельефный рисунок из меди на кафельной плитке

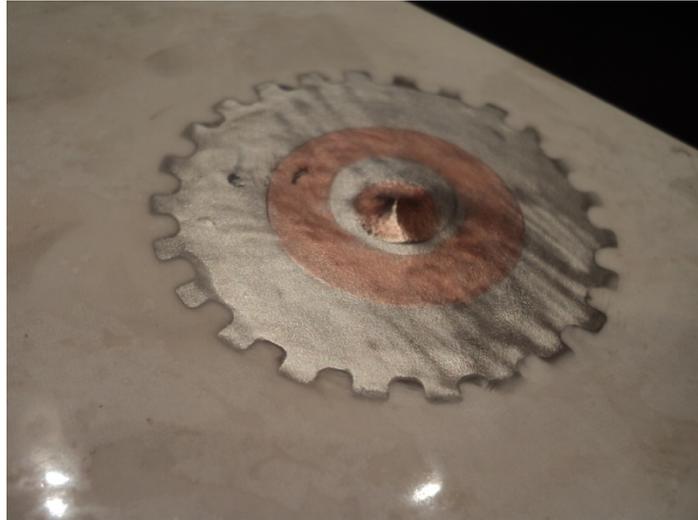


Рис. 4.13. Объемный рисунок из алюминия и меди на кафельной плитке



Рис. 4.14. Объемный рисунок из меди и алюминия на стекле



Рис. 4.15. Орнамент из алюминия на кафельной плитке

Выполненные исследования позволили определить возможности формирования защитного поверхностного слоя металла нанесением композиционных покрытий в потоках энергии. Предложить

комбинированные технологии обработки режущей кромки инструмента скользящего резания: электроискровое легирование твердым сплавом с последующим пластическим деформированием поверхности в медьсодержащей поверхностно-активной среде.

Установлено, что комбинированная обработка режущей кромки позволяет повысить стойкость режущего инструмента не менее чем в 5...7 раз.

4.4. Внедрение результатов исследований

Инструкции по повышению износостойкости узлов трения и механизмов металлоплакирующими технологиями

Основа предлагаемых технологий состоит в том, что при их применении на поверхностях трения деталей и узлов машин и механизмов на различных стадиях их жизненного цикла (при изготовлении, ремонте, обкатке и эксплуатации) может быть сформирована металлсодержащая защитная пленка из пластичного металла, которая надежно предохраняет различные по материалу и форме детали от износа, в том числе, водородного, и от коррозии.

Предлагаемые методы обработки подразделяются на эксплуатационные и технологические.

Эксплуатационные – позволяют формировать поверхности трения с высокими противоизносными свойствами в процессе эксплуатации машины.

Технологические – во время ремонта или технического обслуживания посредством безабразивной обработки поверхности деталей предварительно разобранной машины.

Примечание.

Противоизносные свойства поверхностей возрастают в результате формирования на них в присутствии металлоплакирующих

сред тончайшей металлической пленки, защищающей основной металл от интенсивного изнашивания. Металлоплакирование не позволяет восстановить работоспособность деталей механизмов, физический износ у которых достиг предельного значения, но дает возможность продлить сроки службы изношенных сопряжений.

Выбор методов определяется техническим состоянием оборудования, поставленными задачами и условиями конкретного производства

Эксплуатационные методы рекомендуется применять для повышения срока службы малоизношенного или нового оборудования, а также для увеличения стойкости режущего инструмента.

Технологические – при среднем или капитальном ремонте оборудования, связанном с разборкой и заменой изношенных узлов и деталей.

Эффективность применения тем выше, чем раньше оборудование будет переведено на работу с металлоплакирующими смазочными материалами.

Применение рекомендуемых технологий в период обкатки оборудования позволяет более чем в два раза сократить время и снизить величину приработочного износа.

Наилучший результат достигается при комплексном применении эксплуатационных и технологических методов, что позволяет добиться увеличения длительности межремонтного цикла от двух до пяти, а в отдельных случаях – до десяти раз.

Металлоплакирующие технологии особенно эффективны для тяжело нагруженных узлов трения, при ограниченной подаче смазочного материала к трущимся поверхностям и в случаях, когда ускоренный износ приводит к потере эксплуатационных характеристик машин.

Предлагаемые технологии целесообразно применять:

- в зубчатых передачах и червячных парах различных механизмов;
- в опорах качения и скольжения валов, шпинделей, транспортеров и других механизмов;
- в цепных передачах приводов транспортирующих и других устройств;
- в направляющих скольжения станков, прессов и другого технологического оборудования;
- в винтовых парах различных механизмов;
- в направляющих качения и шарнирно-винтовых парах механизмов;
- в узлах трения воздушных компрессоров;
- в гидронасосах, гидроцилиндрах и другой гидравлической аппаратуре.

Повышение износостойкости трущихся деталей во время эксплуатации основано на использовании в узлах трения металлоплакирующих смазочных материалов, обкаточных сред, гидравлических жидкостей, моторных и трансмиссионных масел и смазочно-охлаждающих жидкостей. При использовании штатных смазочных материалов режим металлоплакирования может быть реализован введением в смазочный материал маслорастворимой металлсодержащей присадки.

Образующаяся на рабочих поверхностях и самовосстанавливающаяся в процессе трения металлсодержащая пленка толщиной до 1 мкм снижает интенсивность изнашивания, практически исключает возможность задиров в узлах трения и наростообразования на режущих кромках инструмента.

В качестве металлоплакирующей присадки могут быть использованы маслорастворимые медьорганические соединения на основе жирных кислот, представляющие собой однородную жидкость темно-зеленого цвета, не коррозионную по отношению к металлам, практически не токсичную, не

обладающую сенсibiliзирующим действием и кожно-резорбтивными свойствами, по степени воздействия на человеческий организм относящиеся к малотоксичным продуктам четвертого класса опасности по ГОСТ 12.1.007-76.

Смазывание машин и оборудования металлолакирующими смазочными материалами и эксплуатацию гидроагрегатов осуществлять в соответствии с инструкциями по эксплуатации данной техники.

Обкатку машин и отдельных узлов трения в металлолакирующих обкаточных средах следует производить в соответствии с указаниями заводов – изготовителей, а при их отсутствии – в режиме холостого хода.

Время обкатки при этом снижается в 2-5 раз, после чего обкаточная среда заменяется на смазочный материал с оптимальной концентрацией присадки, и машина может эксплуатироваться в рабочем режиме.

Технологические методы повышения износостойкости деталей машин основаны на проведении безабразивной обработки посредством фрикционного воздействия на поверхности трения специальным инструментом в присутствии металлолакирующей технологической среды. Образующаяся при этом металлическая пленка толщиной до 5 мкм защищает поверхности от задиров и интенсивного изнашивания в начальный период эксплуатации машины или при ее обкатке.

Инструкции по нанесению покрытий импульсным искровым разрядом

На поверхности катода под действием значительных тепловых нагрузок происходят микрометаллургические и сопутствующие им процессы (термомеханические, гидродинамические, диффузионные), осуществляющие перемешивание материала катода и анода, при взаимодействии с компонентами газовой среды, что способствует образованию высокой адгезии между основой и формируемым слоем. Поэтому электроискровое легирование следует считать методом создания

новых композиционных материалов. В первую очередь это относится к тугоплавким покрытиям, наиболее существенно и принципиально изменяющим свойства верхнего слоя материала. Величина этих изменений определяется составом, структурой, свойствами материалов электродов и технологическими параметрами процесса.

Микротвердость обработанных поверхностей составляет от 1000 до 1700 кг/мм², что обеспечивает повышение износостойкости до 4 ..10 раз.

Улучшение свойств поверхностного слоя после электроискрового легирования может быть достигнуто поверхностно-пластическим деформированием в металлоплакирующей среде.

Применение дополнительной операции целесообразно при обработке режущего инструмента (ленточных и дисковых ножей, вырубного инструмента и т.п.).

Высокая эффективность применения электроискрового легирования для упрочнения деталей и инструмента, работающих в условиях абразивного и водородного износа.

Инструкции по нанесению покрытий сверхзвуковым холодным напылением

Для нанесения покрытий газодинамическим холодным напылением промышленностью освоено производство различных порошковых материалов. Некоторые из них могут успешно применяться для повышения срока службы деталей и элементов конструкций при проведении ремонтно-восстановительных и реставрационных работ:

Для получения качественного покрытия необходимо:

- подготовить поверхность изделия (в некоторых случаях);
- правильно выбрать порошковый материал;
- настроить производительность питателя;
- правильно провести напыление.

Подготовка поверхности под покрытие

Чистые металлические и керамические поверхности обычно не требуют специальной подготовки. Нанесение покрытия возможно даже на поверхности, загрязненные маслом и краской. Однако при нанесении покрытий на сталь, покрытую остатками ржавчины или окалиной желательна предварительная пескоструйная обработка. Струйно-абразивная (пескоструйная) подготовка поверхности под напыление увеличивает прочность сцепления покрытия с этой поверхностью. Струйно-абразивную подготовку можно осуществлять с помощью оборудования ДИМЕТ, например, порошковым материалом К-00-04-16, другим абразивным порошком или песком. При этом размер частиц используемого порошка не должен превышать 0,2 мм.

Восстановление алюминиевых деталей или деталей из сплавов на основе алюминия производится порошковым материалом А-80-13 или А-20-11. Прочность покрытия близка к прочности технического алюминия. Покрытие может наноситься с целью восстановления формы, заделки царапин или трещин, устранения течей.

Нанесение цинковых покрытий для защиты стальных поверхностей производится порошковым материалом Z-00-11 или Z-00-13. Рекомендуемая толщина наносимого слоя – 0,05-0,2 мм. Для повышения адгезии цинкового покрытия рекомендуется предварительная обработка поверхности абразивом.

Для нанесения цинковых покрытий относительно небольшой толщины (10-30мкм) целесообразно использовать порошковый материал Z-00-13. Использование этого порошкового материала позволяет вообще не очищать подложку от загрязнений, ржавчины, краски, окалины, масла и т.п.

Более подробно технологии применения вышеописанных методов изложены в работе автора [14].

Изложенные в рекомендациях способы повышения срока службы деталей машин и режущего инструмента отличаются высокой

эффективностью и могут с успехом применяться на кожевенно-обувных предприятиях легкой промышленности.

В рекомендациях приведены типовые решения производственных задач. В некоторых случаях для достижения максимального эффекта целесообразно одновременное применение вышеописанных способов и уточнения режимов обработки с учетом конкретных условий эксплуатации.

Разработанные рекомендации переданы для внедрения в производство.

Демонстрация на выставках

Выполненные автором разработки неоднократно экспонировались на научно-технических выставках у нас в стране и за рубежом, где удаивались Дипломов и медалей (см. приложение):

- выставке « TerraТес – enertec 2009» в г. Лейпциг, Германия, 2009 г.;
- Международном салоне инноваций в г. Женева, Швейцария, 2009 г.;
- фестивале науки в г. Москва, 2011г.;
- выставке «Инновационные достижения российских вузов» г. Рим, Италия, 2011 г.
- выставке 2-ой научно-практической конференции « Нанотехнологии в текстильной и легкой промышленности» МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011 г.

Внедрение в учебный процесс

Результаты данной диссертационной работы внедрены в учебный процесс многоуровневой подготовки инженеров-механиков и технологов по производству обуви и используются при чтении лекций и проведении лабораторных работ.

На рис.4.16, 4.17, 4.18 показана работа студентов на лабораторных занятиях по изучению новых технологий нанесения покрытий.



Рис. 4.16. Нанесение противозносного покрытия на каблук обуви



Рис. 4.17. Нанесение покрытия на рычаг



Рис. 4 18. Нанесение покрытия на вал

*Применение новых технологий в дизайне в качестве художественной
обработки материалов*

При использовании предложенных методов нанесения металлических покрытий на элементы конструкций и дизайна удастся передать рельеф поверхности художественного изделия с сохранением геометрии и размеров отдельных элементов, формирующих особенности ее дизайна.

Открываются широкие перспективы конструирования и изготовления элементов дизайна с новыми потребительскими характеристиками.

Простота, экологическая безопасность, отсутствие значительных капитальных затрат при использовании делает предложенные технологии доступными для специалистов, производящих элементы конструкций и

дизайна и выполняющих ремонтно-восстановительные и реставрационные работы.

Образцы с нанесенными с объемными и многослойными покрытиями представлены на рис. 4.19 - 4.24.

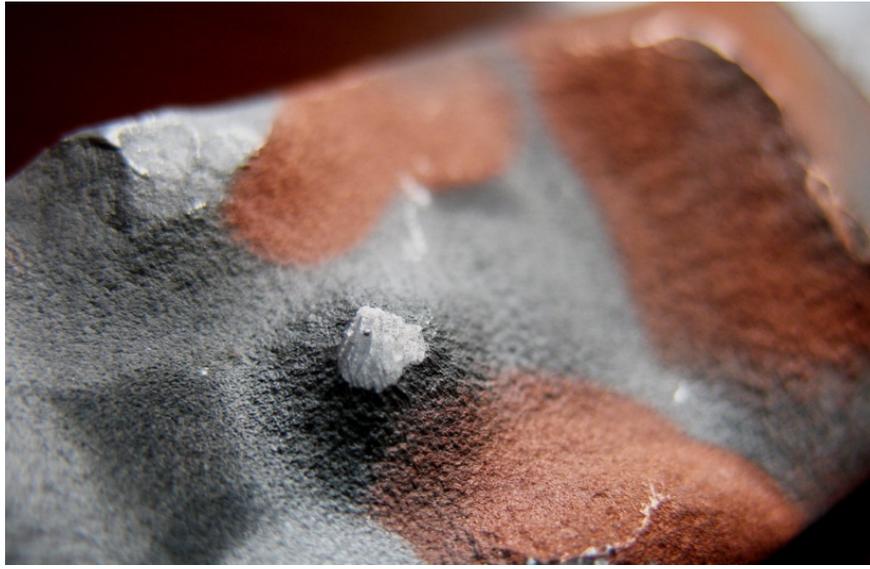


Рис. 4.19. Объемное рельефное покрытие из меди и алюминия на стальной пластине



Рис. 4.20. Объемная фигура из меди на стальной поверхности

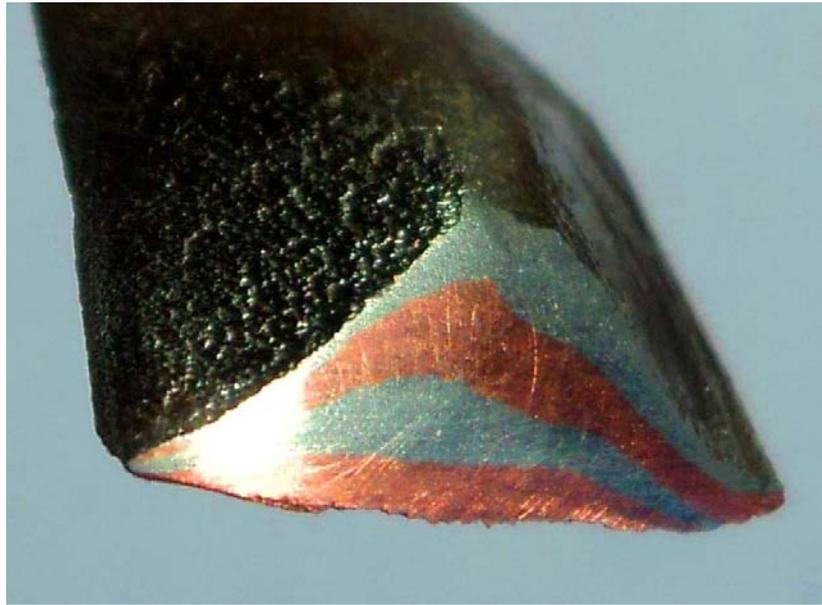


Рис. 4.21. Срез многослойной объемной фигуры



Рис. 4.22. Объемная фигура из меди с алюминиевой подложкой на бетоне



Рис. 4.23. Антикоррозионное покрытие из цинка на сварном шве



Рис. 4.24. Соединение медного прутка с кафельной плиткой алюминием

*Предполагаемая эффективность от внедрения композиционных
многофункциональных покрытий*

*Экономическая эффективность от внедрения предлагаемых
технологий по повышению срока службы пресс-форм*

По среднестатистическим данным отечественных промышленных предприятий-изготовителей обуви одна пресс-форма в настоящее время стоит порядка 220 т. руб. и в среднем на предприятии их используется в количестве 20 штук.

Использование разработанных технологий при их многократном восстановлении пресс-форм позволит продлить их срок службы не менее чем 2 раза.

Затраты по приобретению нового оборудования:

- установка для холодного газодинамического напыления (ХДН) – 400 т. руб.;
- установка для микроплазменного легирования – 40 т. руб.

Затраты по приобретению расходных материалов:

- расходные материалы для ХДН – 1 000 руб.;
- расходные материалы для микроплазменного легирования -300 руб.

Затраты на электроэнергию – 500 руб.

Заработанная плата исполнителя - 2 000 руб.х 20 = 40 т. руб.

Итого затраты на внедрение технологий для продления ресурса пресс-форм составят:

$$400 + 40 + 1 + 0,3 + 0,5 + 40 = 481,8 \text{ тыс. руб.}$$

В течении 5 лет обычно пресс-формы полностью выходят из строя и предприятие закупает новые, затрачивая при этом

$$220 \times 20 = 4400 \text{ т. руб.}$$

Таким образом, продлевая ресурс пресс-форм в 2 раза предприятие может получить следующую экономию за 5 лет:

$$4400 - 481,8 = 3918,2 \text{ тыс. руб.}$$

или 783,64 тыс. рублей в год.

Экономический эффект по предприятию будет значительно больше, так как приобретенное оборудование для нанесения покрытий может быть использовано и для продления срока службы и улучшения эксплуатационных характеристик резачков, дисковых, чашечных и ленточных ножей и других деталей машин и технологической оснастки.

Социальная эффективность

Внедрение экологически чистых инновационных технологий повышения срока службы деталей машин и инструмента кожевенно-обувных производств позволяет сократить количество обуви, поступающих в ремонт по причине обнаруженных дефектов на 50 %. В соответствии с Законом Российской Федерации «О защите прав потребителей» по вопросу замены ненадлежащего качества обуви потребитель может сэкономить два рабочих дня для сдачи в ремонт или приема для обмена обуви, и получения ее обратно.

Предложенные технологии используют отечественное оборудование и материалы и могут быть рекомендованы к массовому применению на предприятиях легкой промышленности и оказании платных услуг населению технического характера. При этом могут открываться новые рабочие места.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Проведенный анализ конструктивных особенностей, условий, режимов работы деталей оборудования и режущего инструмента кожевенно-обувных производств, позволил установить основные причины низкого ресурса быстроизнашивающихся деталей машин и режущего инструмента при изготовлении и ремонте обуви.

2. Разработаны теоретические основы повышения срока службы деталей машин и инструмента кожевенно-обувных производств экологически безопасными плакирующими технологиями, в том числе с использованием «эффекта безызносного трения».

3. Предложены модели формирования композиционных многофункциональных покрытий на рабочих поверхностях деталей и режущих инструментов с одновременным использованием микроплазменного легирования, газодинамического холодного напыления и фрикционной обработки в металлоплакирующих средах в различных сочетаниях и комбинациях.

4. Разработаны методика и прибор для триботехнических испытаний конструкционных и смазочных материалов с использованием современных цифровых методов сбора и обработки результатов экспериментальных исследований. Получен патент на полезную модель № 136170 «Комплекс для измерения параметров трения при испытании конструкционных и смазочных материалов».

5. Предложены конструктивные решения режущей части инструмента для раскроя кожевенно-обувных материалов, обеспечивающие режим его самозатачивания. Поданы заявки на получение патентов РФ на полезную модель № 2012153738 и № 2012153742.

6. Обоснованы и экспериментально определены режимы формирования многофункциональных композиционных покрытий на рабочих поверхностях деталей и режущего инструмента, повышающих

технические характеристики производственного кожевенно-обувного оборудования и потребительские свойства выпускаемой продукции.

7. Экспериментально подтверждена возможность формирования в потоках энергии на рабочих поверхностях деталей многослойных покрытий с различными эксплуатационными характеристиками и повышенной адгезией с обрабатываемым материалом.

8. Показана возможность повышения срока службы трущихся деталей машин не менее чем в 1,5...2,0 раза и режущих инструментов кожевенно-обувных производств до 7 раз.

9. Выполненные разработки неоднократно экспонировались на научно-технических выставках у нас в стране и за рубежом и награждались Дипломами и медалями.

10. Разработаны и переданы для внедрения на предприятия кожевенно-обувных производств рекомендации по повышению сроков службы деталей оборудования и режущих инструментов с использованием разработанных инновационных технологий.

11. Предполагаемая эффективность, от внедрения композиционных многофункциональных покрытий на рабочих поверхностях оборудования обувного предприятия составит порядка 780 тыс. рублей в год.

**Основные положения диссертационной работы нашли отражение в
следующих публикациях автора:**

Научные статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Голубев А.П., Беляев В.И., Прокопенко А.К., Лохманов В.Н. Формирование поверхностного слоя на режущей кромке инструмента скользящего резания неметаллических материалов. Научно-технический и теоретический журнал «Электротехнические и информационные комплексы и системы» № 4, т.8, 2012, С. 56-63.

2. Голубев А.П., Лохманов В.Н., Беляев В.И., Голубев А.А. Выбор критериев для установления допусков на входные параметры технологического процесса. Электронное периодическое издание «Сервис в России и за рубежом», 2013. № 1. С. 174-181.

3. Голубев О.П., Голубев А.П., Лохманов В.Н., Беляев В.И. Определение оптимального интервала дискретизации при контроле округлости деталей. Электронное периодическое издание «Сервис в России и за рубежом», 2013. № 1. С. 191-198.

4. Прокопенко А.К., Беляев В.И., Голубев А.П., Голубев О.П., Тюфтяев А.С., Мордынский В.Б.. Перспективные методы повышения срока службы деталей оборудования и инструмента на предприятиях легкой промышленности и сферы обслуживания. Электронное периодическое издание «Сервис в России и за рубежом», №10 (48), 2013. DOI: 10.12737/2555.- 10 с.

Статьи в сборниках научных трудов, конференций и семинаров:

5. Федоров М.В., Лохманов В.Н., Беляев В.И. Формирование поверхностных слоев неметаллических деталей с заданными характеристиками плазменным напылением. Инновации и перспективы сервиса: Сборник научных статей VIII Международной научно-технической конференции, 7 декабря 2011 г. Ч. IV. – Уфа: Уфимская государственная академия экономики и сервиса, 2011. – 328 с. С. 291-294.

6. Прокопенко А.К., Беляев В.И., Голубев А.П. Предотвращение и устранение аварийных ситуаций технических систем жизнеобеспечения методами металлоплакирования. Техника и технологи трибологических исследований: Трибология и проблемы МЧС: тезисы докладов III Международного семинара, Иваново, 18-19 октября 2012 г. – Иваново: Иван. Гос. Ун-т, 2012.-72 с.

7. Беляев В.И., Лохманов В.Н. Повышение срока службы трущихся деталей машин кожевенно-обувного и мехового производств плакирующими нанотехнологиями. Труды Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов «Проблемы машиноведения: трибология – машиностроению» в 2-х томах, 29-31 октября 2012 г, г. Москва, т.2, С. 11-13.

8. Прокопенко А.К., Волкодаева И.Б., Беляев В.И. Использование инновационных производственных технологий в многоуровневой подготовке специалистов в области дизайна среды. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну №5, Київ, 2013 С. 185-187.

9. Прокопенко А.К., Беляев В.И., Козлов А.С., Федоров М.В. Экологически безопасные инновационные технологии для предприятий легкой и текстильной промышленности. Материалы международной

научной конференции «Новое в технике и технологии в легкой промышленности», Витебск, ноябрь, 2013 г. (в печати)

10. Прокопенко А.К., Беляев В.И., Голубев А.П., Тюфтяев А.С., Мордынский В.Б. Модернизированный мобильный комплекс для ускоренных испытаний конструкционных материалов в режиме пленкообразования. Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, окт. 2013 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2013.

11. Прокопенко А.К., Беляев В.И., Голубев А.П., Чабан В.В., Тюфтяев А.С., Мордынский В.Б.. Формирование поверхностей трения металлоплакирующими нанотехнологиями. Новые материалы и технологии их получения: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, окт. 2013 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2013.

12. Прокопенко А.К., Беляев В.И., Голубев А.П., Чабан В.В. Повышение срока службы оборудования предприятий легкой промышленности экологически чистыми нанотехнологиями» Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., г. Новочеркасск, 19 нояб. 2013 г./ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2013- 104 с., С. 60-64.

13. Патент на полезную модель № 136170 «Комплекс для измерения параметров трения при испытании конструкционных и смазочных материалов». Опубликовано 27.12.2013. Бюл. № 36.

14. Беляев В.И. Повышение срока службы деталей оборудования и режущего инструмента кожевенно-обувных производств инновационными технологиями. /Рекомендации/ М. МГУДТ. 2013, 60 с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития легкой промышленности России на период до 2020 года// <http://www.minpromtorg.gov.ru/ministry/strategic/sectoral/3>.
2. ГОСТ 23.216 – 84. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний материалов на трение и изнашивание при смазывании маслохладоновыми смесями. М. - 11 с.
3. Абрамов В.Ф., Соколов В.Н. Процессы, инструмент и устройства резания в производстве одежды, обуви, кожи и меха. Учебное пособие. - М.: Московский государственный университет дизайна и технологии, КноРус, 2002. - 256 с.: ил.
4. Абрамов В.Ф., Соколов В.Н., Татарчук И.Р., Литвин Е.В. Технология и моделирование процессов резания в швейном и обувном производстве:- М.: МГУДТ, 2003. - 384 с., ил.
5. Адигамаев К. А. Научные основы разработки и совершенствования оборудования подготовительных производств предприятий сервиса по изготовлению и ремонту обуви. Дисс. ... д-р техн. наук, М.,2003, – 320 с.
6. Александров С. П., Каспар З. Обувные машины Чехии. Журнал «Мир оборудования». М., №5, 2011.
7. Алхимов А. П., Нестерович Н. И., Папырин А.Н. Экспериментальное исследование обтекания тел сверхзвуковым двухфазным потоком. — ПМТФ, 1982, №2, с.66-74.
8. Алхимов А.П., Клинков В.Ф., Косарев В.Ф., Фомин В, М. Холодное газодинамическое напыление /Теория и практика/Монография/ ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 536 с.
9. Алхимов А.П., Клинков В.Ф., Косарев В.Ф., Плохов А.В. Научные основы технологии холодного газодинамического напыления (ХГН) и свойства напыленных материалов/ Новосибирск: Издательство НГТУ, 2006. - 280 с.

10. Анциферов В.Н., Смышляев Т.В., Шацов А.А. Самосмазывающийся псевдосплав на основе меди для изделий антифрикционного и конструкционного назначения// Трение и износ, 1996. Т. 17, №4. С. 497–502.
11. Архипов В.Е., Мельшанов А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачёв М.С. Свойства медных покрытий, нанесенных газодинамическим напылением// Упрочняющие технологии и покрытия Изд-во Машиностроение, М. (сентябрь 2011), <http://mashin.ru/zhurnalap/?id=&idar=1457024>
12. Бабич М., Еремич Б., Майер М., Милич Н. Трибологическое поведение твердосмазочных покрытий // Трение и износ, 1995. Т.16, №2. С. 284–290.
13. Базюк Г.П. Резание и режущие инструменты в швейном производстве. М.: Легкая индустрия, 1980, – 192 с.
14. Беляев В.И. Повышение срока службы деталей оборудования и режущего инструмента кожевенно-обувных производств инновационными технологиями/ Рекомендации/ М., МГУД,Т 2013, - 60 с.
15. Бородин А.В. Улучшение триботехнических свойств металлополимерной цилиндропоршневой группы// Трение и износ, 1998. Т.19, №4. С. 547–549.
16. Бурак П.И., Газодинамическое напыление металлических покрытий [Сетевой научно-методический электронный «Гро журнал» Московского государственного агроинженерного университета] Выпуск № 16 от 06.05.12 <http://agromagazine.msau.ru/index.php/issue-9/articles/209-burak.html>.
17. Бурмистров А. Г. Машины и аппараты предприятий производства кожи и меха. /Учебное пособие., "КолосС" 2006.-384 с.

18. Быстров В.Н. Исследование изнашивания и безабразивной обработки лезвия инструмента машин скользящего резания кожевенно-обувных и текстильных материалов. Дисс... канд. техн. наук. – М., 1984, - 175 с.
19. Гаркунов Д.Н. и др. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения. М.: Машиностроение, 1982, - 207 с.
20. Гартман Е.В., Миронович Л.Л. Износостойкие защитные полимерные покрытия // Трение и износ, 1996. Т. 17, №4. С. 682–685.
21. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В., Парканский Н.Я., Ревуцкий В.М./ Электроискровое легирование металлических поверхностей. Кишинев, «Штиница», 1985. - 196 с.
22. Голубев А.П. Повышение основных параметров компрессоров бытового назначения металлоплакированием: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, Москва, МГУС, 2000 – 26 с.
23. Горбань В.Ф. Исследование структурных превращений в напыленном слое хромовых покрытий при трении// Трение и износ, 1996. Т. 17, №6. С. 810–815.
24. Горбань В.Ф., Сычов В.В. Сравнительные характеристики изнашивания хромовых гальванических и газотермических покрытий// Трение и износ, 1997. Т.18, №1. С. 125–128.
25. Дарда И. В. Разработка теоретических основ совершенствования технологического оборудования кожевенно-мехового производств. Дисс. ... д-ра техн. наук: М., 2004 325 с.
26. Желоманова А.М. Прогрессивные методы нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент. – М.: НИИМаш, 1979, - 46 с.
27. Дроздов Ю.Н. и др. Трение и износ в экстремальных условиях: Справочник, – М.: Машиностроение, 1986.- 224 с.
28. Дроздов Ю.Н. Состояние и перспективы развития трибологии механических систем// Научные проблемы машиноведения. Сборник научных статей. Наука, 1988, - С. 102-111.

29. Дэйвис Дж.А., Вилбур П.Дж. Имплантация ионов бора для трибологического применения// Трение и износ, 1997. Т.18, №6. - С. 722–729.
30. Ерохин А.Л., Мэттьюз А., Доун С., Любимов В.В. Повышение фрикционных характеристик МДО–покрытий вакуумно-плазменной обработкой// Трение и износ, 1998. Т.19, №5. - С. 625–634.
31. Жаринов С.П. Фторосодержащие ПАВ как противоизносные покрытия и компоненты композиционных смазочных материалов// Трение и износ, 1999. Т. 20, №1. С. 95–102.
32. Зайцев Б. В. Технологическое оборудование для сушки и отделки кож. - М.: КолосС, 2009. - 191 с.: ил.
33. Защита от водородного износа в узлах трения/ под ред. А.А. Полякова. – М.: Машиностроение, 1980, - 135с.
34. Зенкин Н.А. Повышение долговечности деталей механизма вязания кругловязальной машины. Дисс... канд. техн. наук, Киев, ГАЛПУ, 1995. - 19 с.
35. Иванов В.А. Совершенствование оборудования легкой промышленности на основе анализа условий динамики взаимодействия рабочих органов с объектом обработки: Дис... докт. техн. наук. М.: МТИЛП, 1988. -386 с.
36. Иванов В.А., Корушкин Е.Н., Павлович А.Г., Балагуров И.А. Совершенствование машин за счет увеличения долговечности быстроизнашивающихся деталей. – Кожевенно-обувная промышленность, № 5, 1990, - с. 51-55 .
37. Инновационные производственные технологии для малых предприятий: процессы, инструменты и устройства: Справочное пособие под редакцией проф. Белгородского В.С./ М.; МГУДТ, 2011г - 149с.
38. Исследование водородного износа. Сб. ст./ Под ред. А.А. Полякова и Ю.С. Симакова. – М.: Наука, 1977, - 84с.

- 39.Каширин А. И., Шкодкин А. В. Газодинамическое напыление металлических покрытий — возникновение метода и его современное состояние. — Упрочняющие технологии и покрытия. 2007, № 12(36), - с. 22-33.
- 40.Клюев О.Ф., Каширин А.И., Буздыгар Т.В., Шкодкин А.В. Оборудование ДИМЕТ для нанесения металлических покрытий и его применение в производстве и ремонте деталей машин и механизмов. М. «Тяжелое машиностроение», 4/2005, - с. 25-27.
- 41.Колесниченко К.С., Баландин Г.Ф., Дальский А.М. и др. Технологические основы обеспечения качества машин./ Под общ. ред. К.С. Колесниченко. – М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
- 42.Коломейченко, А.В. Восстановление деталей из алюминиевых сплавов шестеренных насосов типа НШ-У пластическим деформированием с последующим упрочнением микродуговым оксидированием: монография/ В.Н. Хромов, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев и др.- Орел: Изд. Орел ГАУ, 2010. – 108 с.
- 43.Коломейченко А. В. Технологии повышения долговечности деталей машин восстановлением и упрочнением рабочих поверхностей комбинированными методами. Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук, 2011 -365 с.
- 44.Композиционные покрытия при восстановлении деталей: Обзорная информ. Госагропром СССР: Сост. М.И. Черновол, И.Г. Голубев – М.: 1989. - 40 с.
- 45.Косарев В. Ф. Физические основы холодного газодинамического напыления: Дис. ... д-ра физ.-мат. наук: Новосибирск, 2003. - 292 с.
- 46.Костецкий Б.И. Задачи трибологии в машиностроении// М.:Вестник машиностроения. 1989. №9, - С. 9-15.
- 47.Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа. Киев: Об-во Знание, 1987, - 30 с.
- 48.Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968, - 480 с.

49. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин: Справочник. – М.: Машиностроение. 1984.- 280 с.
50. Краснов А.П., Грибова И.А., Чумаевская А.Н. Химическое строение полимеров и трибохимические превращения в полимерах и наполненных системах// Трение и износ, 1997. Т.18, №2. С. 258–279.
51. Кремешный В.М. Новые способы повышения износостойкости тяжелонагруженных узлов трения машин. Обзорн. информ. ЛатНИИНТИ. Рига. 1987.- 48 с.
52. Кулаков А. А. Взаимодействие рабочих органов и материалов при обработке резанием по сложным контурам. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук, МГУДТ, М, 2010 - 26 с.
53. Кулаков К. В. Технология восстановления деталей из алюминиевых сплавов газодинамическим напылением с упрочнением микродуговым оксидированием: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 Орел, 2006 - 142 с.
54. Львов Д. Л. Совершенствование процесса скользящего резания пищевых полуфабрикатов пластинчатыми ножами. Дисс. ... канд. техн. наук: Кемерово, КТИПП, 2009.- 163 с.
55. Майзель М.М. Автоматизация и комплексная механизация процессов легкой промышленности/ учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автоматизация и комплексная механизация процессов легкой промышленности"/М. М. Майзель, Л. И. Пятов.- Москва: Машиностроение, 1973. - 318, с.
56. Мехтиев Ф.М. Повышение стойкости режущего инструмента машин кожевенно-обувного производства обработкой в металлоплакирующих технологических средах. Дисс... канд. техн. наук. – М., 1990,- 168 с.
57. Мулин Ю.И., Верхотуров А.Д. Электроискровое легирование рабочих поверхностей инструментов и деталей машин электродными материалами, полученными из минерального сырья. – Владивосток: Дальнаука, 1999.
58. Мур Д. Основы и применение триботехники. – М.: Мир. 1978. - 487 с.

59. Новые высокоэффективные производственные технологии: Справочное пособие / Под общ. ред. А.К. Прокопенко. – Мытищи, Талант, 2008, - 80 с.
60. Обеспечение износостойкости изделий. Повышение износостойкости деталей машин и приборов на основе использования структурной приспособляемости материалов. Конструкторские, технологические и эксплуатационные метод и средства регулирования поверхностной прочности материалов при трении: Методические рекомендации. УКРЦСМ. Киев, 1985. - 22 с.
61. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987.- 328 с.
62. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 1978.- 152 с.
63. Пархимович Э.М., Голозубов А.Л. Исследование физико-механических и триботехнических свойств тонкопленочных упрочняющих покрытий// Трение и износ, 1995. Т.16, №4. - С. 766–771.
64. Повышение срока службы деталей машин и инструмента металлоплакированием (монография)/ Прокопенко А.К., Голубев А.П., Корнеев А.А., Зикеев Г.П.- М.; МГУДТ, 2010, - 87 с.
65. Прокопенко А.К. Избирательный перенос в узлах трения машин бытового назначения: Моногр.- М.: Легпромбытиздат, 1987, -104 с.
66. Прокопенко А.К. Повышение срока службы трущихся деталей и инструмента машин легкой промышленности и бытового назначения в процессе эксплуатации. - Теоретические и прикладные проблемы сервиса, Научн. журнал, №3/ 4, 2002, - С.39-47.
67. Прокопенко А.К., Зикеев Г.П. Повышение надежности и экологической безопасности механических систем применением металлоплакирующих нанотехнологий. В сб. Энергетика и экология.- 4-й Межд. форум, Тезисы докл.-М., 2008, - с.101-105.

68. Пушкин С.А., Карагезян Ю.А., Роот В.Г., Тополиди К.Г. Оборудование обувного, кожгалантерейного и мехового производств/ Серия «Учебники, учебные пособия».- Ростов н/Д., Издательство «Феникс», 2002, - 512 с.
69. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. Киев: Наука думка, 1984. - 271 с.
70. Симаков Ю.С., Михин Н.М. О механизме избирательного переноса. – В кн.: Избирательный перенос при трении. – М.: Наука, 1975, - С. 6-9.
71. Сторожев В.В. - Машины и аппараты легкой промышленности. Учебник для студ. высш. учебн. заведений/ М.: Издательский центр "Академия", 2010. - 400 с.
72. Сторожев В.В., Жуков В.В., Зайцев Б.В., Соколов В.Н. и др., Кинематика процесса резания механическими ножами. – М.: МГУДТ, - 2007.
73. Струк В.А., Чижик С.А., Овчинников Е.В., Гурьянов В.А., Тройчанская П.Е. Структурно-морфологические закономерности трения и изнашивания пленок фторосодержащих олигомеров "Фолеокс"// Трение и износ, 1995. т.16, №5. С. 974–980.
74. Трение, изнашивание и смазка. – Справочник. Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978, т. 1, - 400 с.
75. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979., т. 2 – 358 с.
76. Триботехника: учебное пособие/ Д.Н. Гаркунов, Э.Л. Мельников, В.С. Гаврилюк. - М.: КНОРУС, 2011.- 408 с.
77. Францев В.Н. Повышение срока службы деталей трикотажных машин реализацией избирательного переноса в узлах трения: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук М., 1987.- 24 с.
78. Фукин В.А., Калита А.Н. Технология изделий из кожи. В 2-х ч. Часть 1 – М.: Легпромбытиздат, 1988, - 272с

- 79.Хопин П.Н. Оценка долговечности твердосмазочных покрытий на основе анализа топографии поверхности трения// Трение и износ, 1995. Т.16, №4. С. 787–793.
- 80.Хрущов М.М. Развитие учения об износостойкости машин в Советский период. (1917–1970). // Трение и износ, 1998. Т. 19, №1. С. 124–136.
- 81.Чихос Х. Системный анализ в триботехнике. Пер. с англ. – Мир, М.: 1982. – 352 с.
- 82.Шелестова В.А., Иванов Л.Ф., Гракович П.Н., Озолин А.А., Коваль И.В. Введение волокон фторпласта–4 в углепластики как метод повышения их износостойкости// Трение и износ, 1996. Т. 17, №5. С. 699–702.
- 83.Habig K.H. Vergleich der Eigenschaften verschiedener Verschleibschutzschichten// Oberflächentechnik, 1985. - P. 149-156.
- 84.Victor K. Champagne. The Cold Spray Materials Deposition Process: Fundamentals and Applications. US Army Research Laboratory, USA, 2007 by CRC Press- 362 Pages.

Приложение



Рис. Дипломы, полученные на выставках