

САМОЙЛОВ Валерий Викторович

**ЗАЩИТНО–УПРОЧНЯЮЩИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ
ПОКРЫТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И КАЧЕСТВА**

Специальность: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск 2011

Работа выполнена на кафедре материаловедения и сварочного производства Юго-Западного государственного университета (г. Курск).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Гадалов Владимир Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Борсяков Анатолий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Серебровская Людмила Николаевна

Ведущая организация: ГОУ ВПО «Тверской государственный
технический университет»

Защита диссертации состоится «28» июня 2011 года в 13 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.105.01 Юго-Западного государственного университета по адресу: 305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета.

Автореферат разослан «26» мая 2011 г.

Ученый секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций
Д 212.105.01 — кандидат технических
наук, доцент

Б.В.Лушников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В современных условиях при высоких темпах развития производства в различных отраслях машиностроения возникает необходимость разработки новых и усовершенствования уже имеющихся материалов и технологий для повышения эксплуатационных свойств деталей и инструмента, работающих в экстремальных или неблагоприятных условиях.

В процессе эксплуатации деталей и инструментов их поверхностные слои оказываются наиболее нагруженными вследствие взаимодействия с соприкасаемыми деталями, а также они непосредственно подвергаются воздействию со стороны внешней среды. Таким образом, состояние поверхностного слоя (ПС) деталей и инструмента определяет их долговечность, работоспособность и надежность. Применение современных специальных технологических методов позволяет формировать ПС со свойствами, соответствующими условиям эксплуатации.

Нанесение защитно-упрочняющих покрытий на рабочие органы машин и инструмента – наиболее эффективный способ повышения их работоспособности и качества.

Разрабатывая новые и используя существующие материалы и технологии нанесения электрофизических покрытий, возможно значительно уменьшить отрицательное влияние таких процессов, как изнашивание, эрозия, коррозия (в т.ч. высокотемпературная) и др.

Успех решения задач по созданию и усовершенствованию защитно-упрочняющих покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами во многом определяется глубиной раскрытия характера структуры поверхностных слоев и физической сущности процессов, управляющих их формированием.

Общеизвестно, что качество покрытий определяет их эксплуатационные показатели. Поры, дефекты, значительные внутренние напряжения, высокая шероховатость поверхности снижают эти показатели-характеристики. Для их повышения в последнее время широко используется комбинированная обработка (КО), сочетающая нанесение покрытий с последующей обработкой поверхности выглаживанием, лазерным излучением и др., приводящая к повышению качества поверхностных слоев и изменению в положительную сторону структуры покрытия.

Повышение надежности и качества современной техники, обеспечение ее конкурентоспособности, а также продление ресурса (долговечности) машин и оборудования и их реновация до уровня новых изделий являются весьма актуальной проблемой современного машиностроительного производства.

Работа выполнена в соответствии с координационным планом НИР «Реализация региональных научно-технических программ Центрально-Черноземного района» и в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Цель работы состоит в повышении долговечности и качества деталей и инструмента из машиностроительных материалов электрофизическими покрытиями в сочетании с КО, включающей нанесение покрытий с последующей обработкой их поверхности выглаживанием, приводящей к изменению структуры покрытия и улучшению эксплуатационных, физико-химических и механических свойств.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие **задачи**:

1. Систематизировать, проанализировать и обобщить научно-техническую литературу по данной проблеме, обосновать и сформулировать цель работы и задачи исследования.

2. Выбрать, обосновать и изучить электродные материалы, применяемые для электроискрового легирования (ЭИЛ) и электроакустического напыления (ЭН), обеспечивающие получение качественных электрофизических покрытий с требуемым уровнем физико-химических и эксплуатационных свойств.

3. Методом математического планирования оптимизировать технологический режим ЛЭНП сплавом ВК6М на сталь ШХ15, обеспечивающий минимальную шероховатость.

4. Провести комплексные металлофизические исследования: стали ШХ15 с ЛЭНП электродом ВК6М с добавками 5...10 мас. % самофлюсующегося сплава «Колмоной» и без них, стали Р12М3К8Ф2-МП с ЛЭНП электродом «Колмоной», а также стали Р6М5Ф3 с ЛЭНП электродом ПГ-СР2 и с ЭЛАНП электродом Т15К6.

5. Определить основные структурные факторы и закономерности формирования поверхностного слоя (ПС) покрытий, установить их взаимосвязь с эксплуатационными характеристиками.

6. Исследование влияния выглаживания на структуру, фазовый состав, качество и эксплуатационные характеристики ПС электрофизических покрытий.

7. Разработать новые конструкции выглаживателей и усовершенствованный метод оценки качества поверхности электрофизических покрытий.

8. Разработать рекомендации по формированию ЛЭН и ЭЛАН покрытий различного состава, обеспечивающих повышение их долговечности и качества.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

1. Научно обоснован и экспериментально подтвержден процесс формирования комплекса физико-химико-механических и эксплуатационных свойств следующих конструкций композитов: сталь ШХ15 с ЛЭНП электродом ВК6М с добавками самофлюсующегося сплава «Колмоной» и без них, стали Р12МЗК8Ф2-МП с ЛЭНП электродом «Колмоной», стали Р6М5Ф3 с ЛЭНП электродом ПГ-СР2 и с ЭЛАНП электродом Т15К6.

2. Предложен и научно обоснован критерий оценки микрорельефа поверхности металлических материалов и покрытий в виде параметра относительной шероховатости (Δ), который позволяет до 10 раз точнее, по сравнению с показателями шероховатости R_a и R_{max} , оценить качество поверхности, образованной электрофизическими методами нанесения.

3. Научно обоснован оптимизированный технологический процесс локального электроискрового нанесения покрытий с последующим выглаживанием, позволяющий достичь шероховатости поверхности покрытия на уровне $R_a = 0,28 \dots 1,28$ мкм ($\Delta = 0,08 \dots 0,10$).

4. На научной основе разработаны новые конструкции оборудования, обеспечивающие, по сравнению с существующими конструкциями, более высокую производительность процесса выглаживания за счет возможности быстрого перемещения гладилки как по высоте, так и вокруг ее оси, а также повышение стойкости выглаживателя за счет предварительного подогрева рабочей части.

Объектами исследования являлись композиты из инструментальных и конструкционных материалов с нанесенными электроискровыми и электро-

акустическими покрытиями, а также вышеуказанные покрытия до и после выглаживания.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели применялся современный комплекс металлофизических методов исследований. При проведении экспериментов применялись методы математического планирования эксперимента и другие методы определения физико-механических и эксплуатационных свойств металлов и покрытий, о которых более подробно будет сказано ниже.

Практическая значимость работы. Разработаны и апробированы в производственных условиях высокоэффективные, экологически чистые технологии поверхностного упрочнения и восстановления инструмента и деталей из машиностроительных материалов путем нанесения электроискровых и электроакустических покрытий с последующей комбинированной обработкой. КО включала нанесение электрофизических покрытий с последующим выглаживанием. КО обеспечивает за короткое время и при минимальных затратах значительное повышение вышеуказанных свойств, а также качества поверхности. Так, экспериментально доказана и практически подтверждена эффективность применения ЛЭН и электроакустических покрытий с КО и без нее деталей машин и инструмента, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Разработана новая конструкция выглаживателей и определены рациональные режимы выглаживания. Предложен и обоснован критерий оценки микрорельефа поверхности в виде параметра относительной шероховатости, обеспечивающей повышение точности определения шероховатости металлов и покрытий.

Результаты работы используются в ООО «Завод по ремонту горного оборудования», г. Железногорск (ожидаемый экономический эффект внедрения в производство более 250 тыс. руб. в год), и в учебном процессе кафедры материаловедения и сварочного производства Юго-Западного государственного университета, о чем имеются акты внедрения.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве и лично, автором проведены: теоретические и экспериментальные исследования формирования покрытий, полученных электрофизическими и комбинированными методами обработки; комплексные металлофизические исследования электрофизических покрытий; рентгенографические исследования микротвердости композита с электроакустическими покрытиями, подвергну-

тыми выглаживанию; анализ влияния комбинированной обработки на стойкость и качество поверхности покрытий металлорежущих инструментов из быстрорежущих сталей; исследования внутренних напряжений и коррозионных свойств электрофизических покрытий на эксплуатационные характеристики материалов; повышение точности при оценке шероховатости поверхности покрытия.

Достоверность основных положений и выводов диссертационной работы определяется согласованностью полученных результатов с общепринятыми представлениями теории и практики электрофизической и комбинированной обработки, отсутствием противоречий с результатами работ российских и зарубежных ученых, работающих в этих направлениях. Достоверность результатов исследований также основывается на комплексном использовании взаимодополняющих высокочувствительных металлофизических методов исследований, применении их в соответствии с действующими государственными стандартами и с учетом особенностей изучаемых объектов, а также апробацией полученных результатов.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на XIV Российской НТК с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии – 2007» (Курск, 2007 г.); IV Международной НТК «Прогрессивные технологии в современном машиностроении» (Пенза, 2008 г.); XII Международной НПК «Современные технологии в машиностроении» (Пенза, 2008 г.); XV Российской НТК с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии – 2008» (Курск, 2008 г.); III Всероссийской НТК «Проектирование механизмов и машин» (Воронеж, 2009 г.); Международной НПК «Актуальные проблемы химической науки, практики и образования» (Курск, 2009 г.); XVI НТК с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии – 2009» (Курск, 2009 г.); V Общероссийской научной конференции «Актуальные вопросы науки и образования» (Москва, 2009 г.); II Международной НПК «Молодежь и наука: реальность и будущее» (Невинномысск, 2009 г.); XVII НТК с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии – 2010» (Курск, 2010 г.); V Международной НТК «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (Минск, 2010 г.); XVII Международной НТК «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь, 2010 г.); Международной НТК «Современное материаловедение и нанотехнологии» (Комсомольск-на-Амуре, 2010 г.); II международной НТК «Современные автомобильные мате-

риалы и технологии («САММИТ – 2010»)» (Курск, 2010 г.), XVIII НТК с международным участием «Материалы и упрочняющие технологии – 2011» (Курск, 2011 г.); на заседании кафедры материаловедения и сварочного производства Юго-Западного государственного университета (29 марта 2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка использованной литературы. Общий объем работы составляет 116 страниц машинописного текста, включая 27 рисунков и 5 таблиц. Список литературы содержит 245 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении представлена оценка современного состояния решаемой проблемы, обоснована актуальность темы диссертации, показана связь работы с научными программами.

Первая глава посвящена обзору литературы по теме диссертации. Освещены вопросы современного состояния электроискровой обработки: ЭИЛ, ЛЭНП и ЭЛАНП. Представлен обзор литературы по применению вышеуказанных технологий в науке и технике. Рассмотрены вопросы развития метода ЭИЛ, а также приработки электроискровых покрытий.

Во второй части главы представлены сведения по применению комбинированной обработки, включающей обработку электрофизических покрытий поверхностно-пластическим деформированием, в частности выглаживанием.

На основании проведенного анализа в соответствии с поставленной проблемой сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе приводятся сведения о материалах, являющихся объектами исследования; установках и применяющихся технологиях для нанесения покрытий, а также методах исследований, применяемых в работе, как общеизвестных, так и специально усовершенствованных методик.

Объектами изучения являлись следующие материалы:

1) быстрорежущие стали Р6М5Ф3 и Р12М3К8Ф2-МП; шарикоподшипниковая сталь ШХ15; твердые сплавы ВК6М (состав, масс. %: 94WC + 6Co) и Т15К6 (состав, масс. %: 79WC + 15 TiC + 6 Co); для выглаживания использовалась минералокерамика ВОК-60, относящаяся к классу оксидно-карбидной

режущей керамике состава, ат. %: $76\text{Al}_2\text{O}_3 + 20\text{TiC} + (3...5)(\text{WCo})\text{C} + (<)1\text{Mg}$; самофлюсующиеся порошковые сплавы систем: $(\text{Ni}-\text{Cr}-\text{Fe}-\text{Si}-\text{B}-\text{C})$ и $(\text{Ni}-\text{Cr}-\text{Si}-\text{B}-\text{C})$ – ПГ–СР2 и «Колмоной» соответственно.

Объектами изучения являлись композиции:

1) подложка сталь ШХ15+ЛЭНП или упрочнение поверхности на универсальной установке [10] электродом ВК6М с добавками 5...10 мас. % сплава «Колмоной» и без них;

2) подложка сталь Р12МЗК8Ф2-МП + ЛЭНП электродом из сплава «Колмоной» состава, вес. %: Cr 15; Si 2,5; B 2,5; C 0,3; Ni остальное до и после выглаживания;

3) подложка сталь Р6М5Ф3 + ЛЭНП электродом из сплава ПГ–СР2 состава (Cr15; Si2,5; B1,8; Fe5; CO3; Ni ост % вес);

4) подложка сталь Р6М5Ф3 + ЭЛАНП электродом Т15К6.

Электроискровая обработка осуществлялась методами ЭИЛ, ЛЭНП и ЭЛАНП на установках «ЭФИ-45», «ЭЛФА-541» и «ЭЛАН-3» соответственно. Кратко рассмотрена физическая модель электроакустического напыления. Выглаживание осуществлялось на специально разработанных установках с применением оригинальных инструментов. В качестве выглаживателей применялась минералокерамика ВОК 60 или твердые сплавы.

Далее в главе приведены сведения о применяемом исследовательском оборудовании и оригинальных методиках исследований. Представлены сведения об оценке качества электрофизических покрытий.

В третьей главе показано, что при рассмотрении вопросов работоспособности и долговечности необходимо принимать во внимание целый спектр технологических, конструкторских, металлофизических, экономических и некоторых других задач.

В то же время технологические направления повышения долговечности и работоспособности заключаются в определении технологии получения покрытий при обеспечении заданных параметров качества. Это нашло отражение в таблице, где приведены характеристики поверхностей прочности, а также определяющие технологические методы получения.

Далее в главе представлены исследования шарикоподшипниковой и инструментальных сталей с электрофизическими покрытиями, полученными различными технологиями. Изучен композит: шарикоподшипниковая сталь ШХ15 с ЛЭНП из твердого сплава ВК6М с добавками 5...10 мас. % сплава «Колмоной» и без них. Проведена оптимизация режимов ЛЭНП по шерохо-

ватости поверхности с применением метода математического планирования эксперимента. Получено уравнение регрессии, описывающее влияние параметров обработки на шероховатость поверхности покрытия [3].

Определен оптимальный режим ЛЭНП, обеспечивающий минимальную шероховатость $Ra = 1,6 \dots 2,0$ мкм. В результате упрочнения образуется микрорельеф высокой микротвердости ($H_{\mu} = 10 \dots 13$ ГПа), состоящий из полос по образующей конуса вдоль оправки притира толщиной $h = 20 \dots 25$ мкм. Установлено, что перед нанесением покрытия на деталь ранее не использованным анодом надо проводить приработку, заключающуюся в том, что оператор определенное время (4...5 с) на рабочей поверхности площадью $\sim 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ новым анодом обрабатывает материал, который по составу соответствует материалу детали. Изучена структура и фазовый состав покрытия. При исследовании микроструктуры поверхностного слоя выявлено наличие «белого» слоя (рис. 1) с изменением микротвердости по толщине покрытия (рис. 2), а также зона термического влияния (ЗТВ) с микротвердостью $H_{\mu} = 4,5 \dots 5,1$ ГПа.

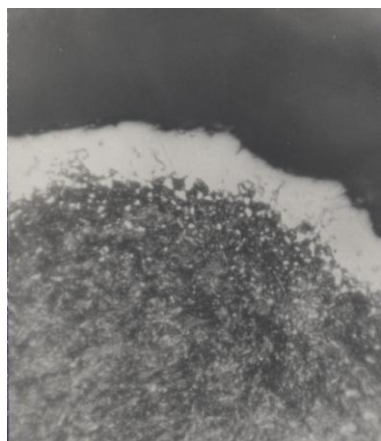


Рис. 1. Микроструктура ПС покрытия, полученного методом ЛЭН на стали ШХ15 электродом ВК6М. Поперечный шлиф ($\times 800$)

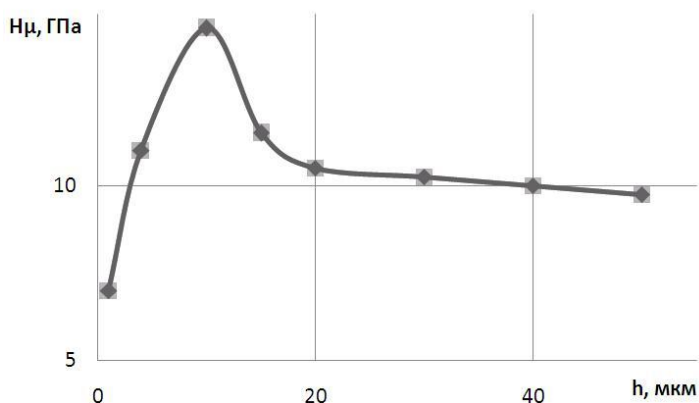


Рис. 2. Изменение микротвердости (H_{μ}) по толщине покрытия (h) методом ЛЭН на стали ШХ15 электродом ВК6М

Белый слой (БС) – это слаботравящаяся структура, насыщенная дисперсными карбидами W, Cr, Mo и Fe. Под этим слоем находится ЗТВ – зона отпуска. БС образуется из жидкой фазы путем перемешивания с подложкой и взаимопроникающей диффузии. В составе ЛЭНП присутствуют также α -Fe и оксиды Fe_2O_3 и WO_3 . Наличие α -Fe и тройного карбида Fe_3W_3C обусловлено

микрометаллургическими процессами, протекающими на катоде, и химическим взаимодействием компонентов сплава ВК6М с основой материала катода (Fe). Фаза W_2C образуется в результате диссоциации WC.

Исследована кинетика процесса ЛЭНП и его эффективность, а также гранулометрический состав продуктов эрозии. Суммарные значения привеса катода и эрозии анода имеют тенденцию к росту при времени легирования до 10 мин/см^2 . Порог хрупкого разрушения за это время не достигнут. Наибольший суммарный привес при ЛЭН стали ШХ15 (катода) электродом (анодом) ВК6М составляет $\sim (2,86 \text{ и } 3,41) \times 10^4 \text{ см}^3$ за время t_x . Анализ продуктов эрозии показал, что содержание частиц шарообразной формы составляет 45...46% с размером 12...145 мкм, а частиц хрупкого разрушения 54...55% с размером 45...670 мкм. Количество пор составляет 4...5%.

Испытания на износ притиров топливной аппаратуры из стали ШХ15 с ЛЭНП из твердого сплава ВК6М повышает их долговечность в 1,5...1,7 раза.

Далее в главе исследовано влияние добавки к электроду из сплава ВК6М 5...10 мас. % сплава «Колмоной» при ЛЭН стали ШХ15. С увеличением содержания сплава «Колмоной» в составе продуктов эрозии значительно увеличивается количество жидкофазной составляющей (до 86...87 % частиц шарообразной формы с размером 12...80 мкм). Установлено, что с увеличением количества добавки повышается сплошность и толщина ЛС. Количество пор уменьшается до 2...3%. Максимальное значение микротвердости наблюдается при содержании добавки 7,5...10%. Максимальные значения микротвердости серой фазы $H_{\mu} = 29...30 \text{ ГПа}$, белой – $H_{\mu} = 25...26 \text{ ГПа}$. Увеличение содержания сплава «Колмоной» свыше 7,5% было признано экономически нецелесообразным, поскольку не приводит к существенному повышению микротвердости ПС при значительном росте стоимости электродного материала.

Далее в главе представлено исследование ЛЭН покрытий из самофлюсующихся сплавов «Колмоной» и ПГ-СР2 на стали Р12МЗК8Ф2 и Р6М5Ф3 соответственно. Проведены комплексные металлофизические исследования вышеуказанных композитов.

При металлографическом исследовании во всех случаях обнаружено, что в материале покрытия по контрасту изображения присутствуют два слоя: «белый», более плотный, прилегающий к основе и имеющий микротвердость 5...8 ГПа, близкую к твердости подложки. Над ним находится менее плотный «серый» слой, который просматривается как отколовшиеся участки БС (рис.

3.а). У «серого» слоя $H_{\mu} = 11 \dots 15$ ГПа. Образование серого слоя объясняется переносом материала в твердой фазе.

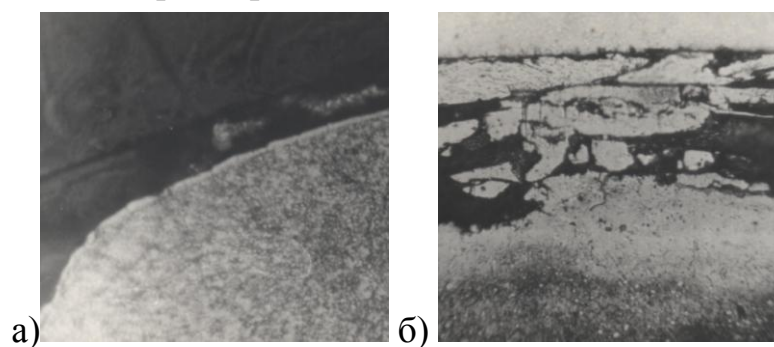


Рис.3. Характерный вид микроструктуры ЛС после ЛЭНП на сталях:
а – Р12М3К8Ф-М2 материалом «Колмоной» ($\times 200$); б – Р6М5Ф3 материалом ПГ-СР2 ($\times 600$).

Вышеуказанные покрытия, кроме основной фазы γ -твердого раствора на основе Ni, состоит из эвтектической смеси γ -фазы, боридов никеля Ni_3B , Ni_2B , NiB , хрома Cr_2B , силицида никеля Ni_2Si_5 и карбидов хрома – Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$ с незначительной пористостью от 3 до 5 %. Гамма-фаза неоднородна по составу – в ней есть участки, метастабильные по составу, пересыщенные бором и с ликвациями Cr и Fe в сплаве ПГ-СР2. При нагреве в этих участках происходит дополнительное выделение NiB , $Cr_{23}C_6$ и Fe_3C в покрытии ПГ-СР2. В покрытии ПС-СР2 и «Колмоной» по поверхности катода образуется «серобелый» слой толщиной 30...50 мкм сложной микрокристаллической, частично аморфизированной, структуры. Определены главные структурные факторы, отвечающие за повышение эксплуатационных характеристик, это ультрамикродисперсная фрагментированная структура с аморфной фазой, распределение и количество которой определяется $\Sigma(B, Si, C)$ и технологическим режимом ЛЭН. Установлено, что ЛЭНП приводит к повышению износо- и коррозионной стойкости в 1,5...1,8 раза.

В заключительной части главы представлены исследования композита (подложка Р6М5Ф3 + ЭЛАНП электродом Т15К6) на установке «ЭЛАН-3» на оптимизированном режиме. По данным металлографического анализа ЭЛАНП, как и все электрофизические покрытия, имеют «белый» слой с $H_{\mu} = 9,5 \dots 10,5$ ГПа, переходящий в мелкодисперсную ЗТВ. Выявить четкую границу между покрытием и основой стали металлографией не удастся. Установлено, что БС образуется путем как переноса материала на подложку, так и химического взаимодействия материалов электродов друг с другом и окружающей средой. Фазовыми составляющими структуры слоя после

ЭЛАН являются аустенитная и мартенситная фазы, карбиды вольфрама, титана и железа, а также нитриды и карбонитриды. Установлено, что в состав БС входят элементы легирующего электродного материала и окружающей среды. Их содержание убывает по глубине слоя, а общее содержание элементов в слое повышается с ростом мощности режима обработки.

Для дисковых фрез с ЭЛАН покрытием характерно увеличение скорости резания при приблизительно одинаковой подаче на зуб. Это обуславливает повышение производительности, увеличение стойкости инструмента и существенное снижение стоимости обработки.

В четвертой главе представлены исследования по влиянию КО на структуру, фазовый состав и физико-механические свойства электрофизических покрытий после выглаживания специально разработанным инструментом и приспособлениями. Установлено, что достигаемые при обработке выглаживанием на оптимальном режиме инструмента и деталей с покрытиями, высокое качество поверхности $Ra\ 0,3 \dots 0,5$ мкм и упрочнение поверхностного слоя на 20...35 % являются факторами, определяющими важнейшие эксплуатационные свойства и долговечность их работы.

Для реализации ППД использовался метод ротационного выглаживания; специально разработанный инструмент (выглаживатели, гладилки) и приспособления [1, 2, 15]. Сравнительную оценку раздельной и комбинированной обработки проводили по критериям эксплуатационных свойств (износо- и коррозионной стойкости [7] и усталостной прочности [14]) и параметрам качества обработанных поверхностей: Ra и по комплексному параметру шероховатости (Δ) [2]:

$$\Delta = R_{\max}/(r \cdot b^{1/v}), \quad (1)$$

а также распределению в поверхностном измененном слое (ПИС) технологических остаточных напряжений по методике [8]. Установлено уменьшение пор в ПИС до 0,8...1,2 % и их залечивание (рис. 4) после выглаживания. Определены оптимальные режимы выглаживания для выглаживателя из ВОК-60. Скорость выглаживания значительно меньше влияет на Ra , чем сила выглаживания P . Увеличение силы выглаживания выше оптимальной 300...350 Н приводит к перенаклепу и, соответственно, к хрупкому разрушению покрытия. Разрушение этих покрытий происходит при появлении отдельных трещин (рис. 5), развивающихся как вглубь, так и параллельно ПИС под влиянием разной концентрации напряжений у концов микротрещин.

После выглаживания на оптимизированном режиме в структуре ПИС обнаружены полигональные структуры, положительно влияющие на усталостную прочность композита.

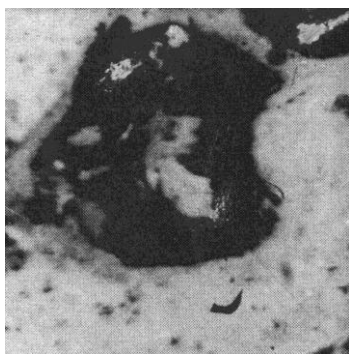


Рис. 4. Поры в ЛЭНП на стали P12M3K8Ф2-МП электродом «Колмоной» после выглаживания минералокерамикой ВОК-60 ($\times 600 \times 2$)



Рис. 5. Структура ЛЭНП на стали P12M3K8Ф2-МП электродом «Колмоной» при силе выглаживания выше 350 Н ($\times 1500$)

Исследование внутренних напряжений в электрофизических покрытиях после выглаживания выявило более пологое изменение растягивающих остаточных напряжений по толщине покрытий за счет поведения остаточных напряжений сжатия. Наклеп и остаточные напряжения сжатия, достигающие 140...150 МПа в поверхностных слоях покрытий, после выглаживания повышают на 20...30 % коррозионно-усталостную прочность изучаемых композитов. По величине смещения стационарного потенциала коррозии, который фиксировали потенциостатом П-5848, установлено повышение на 25...27% коррозионной стойкости ЛЭН и ЭЛАН покрытий после выглаживания.

После выглаживания минералокерамикой ВОК-60 ЛЭНП порошковой стали P12M3K8Ф2-МП электродом из сплава «Колмоной» Ra составило 0,28...1,28 мкм. Определенный по формуле (1) комплексный параметр шероховатости Δ до и после выглаживания составлял 1,55 и 0,08...0,10 соответственно.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

На основании проведенных исследований решены задачи по повышению долговечности и качества ряда машиностроительных материалов за счет применения электрофизических покрытий с последующей обработкой ППД, в частности выглаживанием:

1. Разработана и рекомендована к внедрению КО, включающая: нанесение ЛЭН и ЭЛАН покрытий плюс выглаживание; выбор материала электродов и оптимизацию режимов.

2. Проведены комплексные металлофизические исследования, подтверждающие основные положения диссертационной работы.

3. Установлены главные структурные факторы, обеспечивающие повышение физико-механических и эксплуатационных свойств (ЛЭН и ЭЛАН) покрытий. Это мелкокристаллическая и метастабильная аморфные фазы, размер, количество и распределение которых определяют повышенные показатели износо- и коррозионной стойкости.

4. Экспериментально доказано, что выглаживание электрофизических покрытий повышает долговечность и качество композитов, а именно уменьшает количество пор и частично их залечивает, уменьшает шероховатость до R_a (0,3...0,5) мкм, уменьшает уровень растягивающих напряжений за счет наведения сжимающих напряжений, повышает усталостную прочность поверхностных слоев нанесенных покрытий.

5. Разработаны и применены новые конструкции инструмента и приспособлений для выглаживания. Это специальные гладилки и выглаживатели, обеспечивающие повышенную стойкость инструмента и качество обработанной поверхности покрытий.

6. Установлено, что качество поверхности, образованной после ЛЭНП, по показаниям R_a и R_{max} является недостаточным. Комплексный параметр шероховатости (Δ) позволяет на порядок более точно оценить эту характеристику после выглаживания электрофизических покрытий, в частности полученных методом ЛЭНП.

7. Для повышения достоверности полученных данных усовершенствованы методики исследований: потенциодинамических коррозионных испытаний; внутренних напряжений и усталостной прочности неразрушающим экспесс-методом.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки выглаживанием [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.В. Чернышова, **В.В. Самойлов** [и др.] // Технология металлов. 2010. № 4. С. 41-44.

2. Методика оценки шероховатости поверхности электроискрового покрытия после выглаживания минералокерамикой [Текст] / В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, **В.В. Самойлов** [и др.] // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2010. № 4. С. 44-46.

3. К вопросу оптимизации технологии электрофизической обработки шарикоподшипниковых и инструментальных сталей [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.В. Агеев, **В.В. Самойлов** [и др.] // Изв. вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 2. С. 38-42

Статьи и материалы конференций:

4. Гадалов, В.Н. Электроискровые покрытия из самофлюсующихся материалов на никельхромовой основе на быстрорежущей стали [Текст] / В.Н. Гадалов, **В.В. Самойлов**, А.И. Лыткин // Фундаментальные исследования. 2009. № 5, прил. С. 43-45.

5. Роль покрытия и влияние некоторых факторов на работоспособность инструментов [Текст] / В.Н. Гадалов, Р.Е. Абашкин, **В.В. Самойлов** [и др.] // Прогрессивные технологии в современном машиностроении: сб. материалов IV Междунар. науч.-техн. конф. Пенза: Приволж. Дом Знаний, 2008. С. 23-25.

6. Приработка электроискровых покрытий [Текст] / Р.Е. Абашкин, В.Н. Гадалов, **В.В. Самойлов** [и др.] // Современные технологии в машиностроении: сб. статей XII междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Приволж. Дом Знаний, 2008. С. 48-49.

7. Методика потенциодинамических коррозионных испытаний [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.А. Вармунд, **В.В. Самойлов** [и др.] // Актуальные проблемы химической науки, практики и образования: сб. статей междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. / Курск. гос. техн. ун-т, 2009. Ч. 1. С. 66-68.

8. Методика и исследования внутренних напряжений в покрытиях по методу М.М. Северина [Текст] / В.Н. Гадалов, С.Б. Григорьев, **В.В. Самойлов** [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии – 2009: Сб. материалов XVI Росс. науч.-техн. конф. с междунар. участием: в 2 ч. / Курск. гос. техн. ун-т, 2009. Ч. 1. С. 120-123.

9. Вопросы развития метода электроискрового легирования [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.В. Чернышова, **В.В. Самойлов** [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии – 2009: Сб. материалов XVI Росс. науч.-техн. конф. с междунар. участием: в 2 ч. / Курск. гос. техн. ун-т, 2009. Ч. 2. С. 32-40.

10. Универсальная установка для упрочнения поверхности [Текст] / В.Н. Гадалов, С.Б. Григорьев, **В.В. Самойлов** [и др.] // Материалы и упрочняющие технологии – 2009: Сб. материалов XVI Росс. науч.-техн. конф. с междунар. участием: в 2 ч. / Курск. гос. техн. ун-т, 2009. Ч. 2. С. 98-100.

11. Восстановление и упрочнение дисковых рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин сваркой, электрофизическими покрытиями и комбинированной обработкой [Текст] / В.Н. Гадалов, К.А. Крючков, **В.В. Самойлов** [и др.] // Молодежь и наука: реальность и будущее: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Невинномысск: НИЭУИП, 2009. Т. VIII. С. 121-124.

12. **Самойлов, В.В.** Практические проблемы и перспективы развития метода электроискровой обработки [Текст] / В.В. Самойлов // Материалы и упрочняющие технологии – 2010: Сб. материалов XVII Росс. науч.-техн. конф. с междунар. участием: в 2 ч. / Курск. гос. техн. ун-т, 2010. Ч. 1. С. 163-165.

13. Применение метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для повышения эксплуатационных свойств деталей и инструмента [Текст] / В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, **В.В. Самойлов** [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. матер. V Междунар. науч.-техн. конф. Книга 2. Высокоэнергетические технологии получения и обработки материалов. Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2010. С. 85-89.

14. Изучение усталостной прочности ферромагнитных материалов неразрушающим экспресс-методом [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.В. Агеев, **В.В. Самойлов** [и др.] // Современное материаловедение и нанотехнологии: сб. материалов междунар. науч.-техн. конф. Комсомольск-на-Амуре: КНАГТУ, 2010. Т. 1. С. 196-202.

15. Повышение стойкости инденторов при выглаживании изделий минералокерамикой и твердыми сплавами [Текст] / В.Н. Гадалов, Е.Ф. Романенко, В.В. Самойлов [и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов XVII междунар. науч.-техн. конф. Донецк: ДонНТУ, 2010. Т. 1. С. 169-172.

Подписано в печать 26.05.2011. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 1,0. Тираж 130 экз. Заказ ____.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94
Отпечатано в ЮЗГУ.