

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 621.791.9:621.78

ПЕТРИШИН Григорий Валентинович

**ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ
ИЗ БОРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ОТХОДОВ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ, НАНЕСЕННЫЕ
МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

05.02.01 - Материаловедение (машиностроение)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новополоцк 2006

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси *Пантедеенко Ф. И.*, Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет», заведующий кафедрой порошковой металлургии, сварки и технологии материалов, г. Минск

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор *Акулович Л. М.*, Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», профессор кафедры «Технология металлов», г. Минск

кандидат технических наук *Снарский А. С.*, Учреждение образования «Полоцкий государственный университет», заместитель директора по учебной работе института повышения квалификации и переподготовки руководящих работников и специалистов

Оппонирующая организация: Государственное научное учреждение «Физико-технический институт» Национальной академии наук Беларуси, г. Минск

Защита состоится 27 июня 2006 г. в 11— часов на заседании совета по защите диссертаций К 02.19.03 при Учреждении образования «Полоцкий государственный университет» по адресу: 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, Блохина, 29. Тел. ученого секретаря 8(0214)53-10-47.

Отзывы на автореферат диссертации в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать на адрес университета и предварительно отправлять по факсу 8(0214) 53-06-79 на имя ученого секретаря по защите диссертаций.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Полоцкий государственный университет».

Автореферат разослан 26 мая 2006 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций К 02.19.03, канд. техн. наук, доц.

Д /
ш «П
/вЛУ^!

В. М. Константинов

© Петришин Г. В., 2006
© Оформление. Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2006

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Современные тенденции развития машиностроения направлены на повышение надежности деталей машин. Повышаются требования к износостойкости, усталостной прочности, сопротивлению ударным нагрузкам, антикоррозионным свойствам различных поверхностей деталей машин. При этом большинство деталей машин отказывает не из-за поломок, а в результате изнашивания тонкого рабочего слоя. В связи с этим актуальным является разработка новых и совершенствование известных методов упрочняюще-восстанавливающих технологий, позволяющих получать поверхностные слои с заданными физико-механическими свойствами.

Существует ряд деталей машин и механизмов, работающих в условиях трения с ограниченной смазкой или в ее отсутствии, при наличии загрязнения абразивными частицами (песок, окалина), а также с наличием ударных нагрузок. К таким деталям относятся отдельные элементы металлургического оборудования, режущие элементы сельскохозяйственных, дорожно-строительных машин. Как правило, к рабочим поверхностям таких деталей не предъявляются жесткие требования по шероховатости. В этом случае повышение срока их службы целесообразно путем нанесения на их рабочие поверхности износостойких покрытий магнитно-электрическим методом, обладающим такими достоинствами, как отсутствие специальной предварительной подготовки обрабатываемой поверхности, простота оборудования, высокая производительность, надежная адгезионная связь покрытия с основным материалом детали, а также незначительная зона термического влияния.

В настоящее время недостаточно полно изучено влияние наплавленных материалов на физико-механические свойства покрытий, получаемых методом магнитно-электрического упрочнения (МЭУ). В процессе МЭУ в качестве наплавленных материалов используется ферробор (ФБ-6, ФБ-10, ФБ-17), феррохромбор (ФХБ-1, ФХБ-6-2), а также некоторые легированные стали и чугуны. Основное достоинство указанных наплавленных материалов – их распространенность и доступность. Однако применяемые в данной технологии материалы не отвечают всем требованиям, обусловленным особенностями процесса. В то же время при формировании износостойких покрытий традиционными методами (газопламенный, плазменный, лазерный и др.) хорошо себя зарекомендовали и получили широкое применение самофлюсующиеся порошки на никелевой основе. Эти порошки наряду с высокой износостойкостью обеспечивают комплекс эксплуатационных характеристик (коррозионную стойкость в ряде агрессивных сред, жаростойкость). При этом в большинстве случаев этот комплекс свойств остается невостребованным, а покрытия используются преимущественно в качестве износостойких. Поэтому в последнее время дорогие са-

мофлюсующиеся порошки на никелевой основе вытесняются более дешевыми самофлюсующимися диффузионно-легированными порошками на железной основе, но возможность применения их для процесса МЭУ в настоящее время не исследовалась. В то же время, учитывая высокие физико-механические свойства покрытий из самофлюсующихся порошков на железной основе, простоту и дешевизну их получения, использование их в качестве многокомпонентных ферропорошков для МЭУ представляется весьма перспективным направлением.

Таким образом, повышение срока службы отдельных быстроизнашиваемых деталей машин и механизмов путем нанесения покрытий из самофлюсующихся диффузионно-легированных порошков на железной основе методом МЭУ в силу своей новизны и перспективности представляет широкое поле деятельности по исследованию закономерностей формирования покрытий, по совершенствованию технологии и применяемых в ней наплавочных материалов, обеспечивающих надежное получение требуемых эксплуатационных характеристик наносимых покрытий. Это и обусловило актуальность данной работы и необходимость ее выполнения.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в соответствии с госбюджетной научно-исследовательской темой «Создание теоретических и технологических основ магнитно-электрического упрочнения плоских поверхностей с использованием диффузионно-легированных ферропорошков» ГПФИ «Поверхность», номер гос. регистрации 20051864 (2005 г.), продолжает выполняться в рамках работы по ГПОФИ «Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии» на 2006-2010 годы по теме «Исследование и разработка технологии получения износостойких многокомпонентных покрытий высокоэнергетическим воздействием электромагнитного поля концентрированного магнитно-электрического потока на самофлюсующиеся ферромагнитные диффузионно-легированные порошки».

Цель и задачи исследования. Цель работы - повышение срока службы деталей металлургического оборудования нанесением на их рабочие поверхности износостойких покрытий с заданными физико-механическими свойствами магнитно-электрическим методом при невысокой стоимости материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. На основании анализа особенностей технологии МЭУ определить перспективные направления разработки новых наплавочных материалов, обеспечивающих получение покрытий с заданными физико-механическими свойствами.

2. Исследовать особенности диффузионного легирования (химико-термической обработки) порошковых материалов с неравновесной (мар-

тенситной) структурой с частицами размером 0,40...0,63 мм на основе стали 40Л, используемой в качестве сырья.

3. Выявить физико-механические свойства полученных из отходов производства дробы диффузионно-легированных порошков, определить влияние режимов химико-термической обработки на состав и физико-механические свойства порошков.

4. Разработать технологический процесс МЭУ с использованием в качестве наплавочных материалов разработанных самофлюсующихся порошков на железной основе, обеспечивающих создание упрочненного слоя с заданными характеристиками.

5. Исследовать влияние применяемых порошков при МЭУ на физико-механические свойства покрытий.

6. Провести производственную апробацию результатов исследований.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются износостойкие покрытия из ферромагнитных борированных порошков, в том числе недорогих порошков, получаемых из отходов металлообработки.

Предмет исследований - закономерности получения покрытий с повышенной износостойкостью методом МЭУ из ферромагнитных борированных порошков (получаемых из отходов производства стальной дробы).

Гипотеза. В работе сделано научное предположение, что использование в качестве наплавочных материалов в процессе МЭУ самофлюсующихся диффузионно-легированных (ДЛ) порошков со сферической формой частиц позволит повысить качество и износостойкость наносимых покрытий, а использование в качестве исходного сырья при производстве таких порошков отходов производства стальной дробы существенно снизит себестоимость наплавочных материалов и, соответственно, себестоимость упрочняющей обработки.

Методология и методы проведения исследований. Проводимые в работе исследования направлены на изучение кинетики диффузионного легирования частиц порошка на основе отходов производства стальной дробы, исследование свойств покрытий, наносимых методом МЭУ, а также проведение эксплуатационных испытаний упрочненных образцов. При выполнении диссертационной работы был использован комплексный подход, включающий анализ проблемы, разработку технологии получения диффузионно-легированных порошков, исследование технологических режимов МЭУ и эксплуатационные испытания. Химико-термическую обработку порошков производили в лабораторной электропечи модели СНОЛ 1,6.2,5.2,5-2.0 в контейнере из жаростойкой стали марки 12Х18Н10Т. Для выполнения металлографических исследований частиц порошков и покрытий использовали микроскопы МИМ-7, МеоpЬol-21, микротвердомер модели ПМТ-3. Фазовый состав порошковых материалов и покрытий определяли на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-3,0. Сравнительные испытания на износостойкость при тре-

нии скольжения исследовали на машине трения СМЦ-2 по методу Шкода-Савина, при абразивном изнашивании - на установке специальной конструкции. Эксплуатационные испытания проводились в производственных условиях на РУП «Белорусский металлургический завод».

Научная новизна и значимость полученных результатов заключается в следующем:

1. Установлено, что нанесение на рабочие поверхности деталей прессвязальных машин гетерогенных износостойких покрытий из борированных диффузионно-легированных порошковых материалов магнитно-электрическим методом обеспечивает повышение их срока службы в 4,0...4,5 раза. Использование таких материалов в технологии МЭУ обеспечивает образование в упрочненном слое гетерогенной структуры, состоящей из мелкозернистых боридов железа Fe_2B (размером 5...10 мкм), равномерно распределенных в металлической матрице, что обеспечивает высокую износостойкость покрытий в различных условиях механического изнашивания.

2. Выявлено, что диффузионно-легированный порошок с содержанием бора $6,9 \pm 0,1$ мас.% обеспечивает получение покрытий с максимальной износостойкостью в условиях трения скольжения без смазки, равной 100 м/мг. При абразивном изнашивании максимальную износостойкость обеспечивает порошок с содержанием бора 8,5 мас.%.

3. Впервые в качестве наплавочного материала для получения покрытий с заданными физико-механическими свойствами были использованы новые борированные порошки [16], изготовленные диффузионным легированием отходов производства стальной дроби с размером частиц 0,40...0,63 мм.

4. Получило развитие исследование особенностей диффузионного легирования порошков с неравновесной структурой на основе стали 40Л и закономерностей нанесения покрытий из диффузионно-легированных борированных порошков с частицами сферической формы размером 0,40...0,63 мм в связи с составом порошка и технологическими режимами МЭУ.

Научная новизна подтверждена 4 поданными заявками на изобретение [12]—[14], [16] и патентом Республики Беларусь на полезную модель [15].

Научная значимость диссертационной работы состоит в решении задачи повышения срока службы деталей металлургического оборудования путем нанесения износостойких покрытий из борированных наплавочных материалов магнитно-электрическим методом, основанном на установленных закономерностях влияния состава материалов и технологических режимов МЭУ на структуру и свойства полученных покрытий.

Практическая и экономическая значимость результатов:

1. Выявлено, что использование в качестве наплавочного материала при МЭУ борированных порошков на основе отходов производства сталь-

ной дроби [16] позволило получить качественные износостойкие покрытия с гетерогенной структурой, что обеспечило достижение комплекса заданных физико-механических свойств покрытий.

2. Разработаны рекомендации по выбору состава наплавочных материалов в зависимости от условий изнашивания деталей: при трении скольжения без смазки или абразивном изнашивании. Установлена парная корреляция между интенсивностью изнашивания при абразивном изнашивании и микротвердостью, выведено уравнение регрессии, что позволяет по результатам измерения микротвердости покрытий прогнозировать интенсивность их изнашивания в соответствующих условиях эксплуатации.

3. Разработаны практические рекомендации по выбору технологических режимов МЭУ при использовании борированных порошков со сферической формой частиц размером 0,40...0,63 мм, обеспечивающие высокое качество и физико-механические свойства покрытий.

4. Предложена модернизированная технология диффузионного борирования порошка с размером частиц 0,40...0,63 мм, отличающаяся способом закладки активатора в контейнер, за счет чего обеспечивается повышение эффективности ХТО в 2,0...2,5 раза.

Результаты исследований внедрены на РУП «Белорусский металлургический завод» (г. Жлобин). Срок службы деталей прессвязальных машин, упрочненных методом МЭУ с использованием разработанных ДЛ порошков, увеличился в 4,0...4,5 раза по сравнению с серийно выпускаемыми. Ожидаемый экономический эффект от применения при изготовлении быстроизнашиваемых деталей разработанной упрочняющей технологии составляет 55037 тыс. р.

Результаты исследований в виде лекционного материала, лабораторных работ и учебного пособия внедрены в учебный процесс обучения студентов специальности 1-36 01 01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» по специальному курсу «Технология и оборудование магнитно-электрических способов обработки» в Учреждении образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Влияние химического состава ДЛ наплавочного порошкового материала на структуру и свойства наносимых магнитно-электрическим методом покрытий.

2. Закономерности влияния технологических режимов МЭУ на структуру и физико-механические свойства покрытий.

3. Особенности диффузионного легирования порошка из стали 40Л с частицами сферической формы размером 0,40...0,63 мм.

4. Результаты экспериментальных исследований по влиянию состава наплавочного материала на износостойкость покрытий.

Личный вклад соискателя. Основные результаты диссертационной работы получены автором лично или в соавторстве. Автором предложен усовершенствованный способ закладки смеси в контейнере. Постановка экспериментов, их проведение, анализ полученных результатов также проводились автором лично. Работы по исследованию особенностей ХТО частиц порошка и кинетики формирования диффузионного слоя проводились совместно с инженером Пантелеенко Е. Ф. и доцентом Сороговцом В. И. В совместно опубликованных работах автор предлагал и обосновывал направления решения научных проблем, анализировал полученные результаты и формулировал основные выводы.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты работы докладывались на 7 международных научно-технических конференциях: IV Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов, магистрантов (г. Гомель, 2004); V Международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» (г. Гомель, 2004); III Международной научно-практической конференции «Материалы, технология и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин» (г. Новополоцк, 2005); V Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов, магистрантов (г. Гомель, 2005); V Международной научно-технической конференции молодых специалистов, инженеров и рабочих «Металл-2005» (г. Жлобин, 2005); Международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (ФТИ НАН Беларуси, г. Минск, 2006).

Опубликованность результатов. Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 13 печатных работах общим объемом 42 страницы. Из них 7 статей в научных журналах, 2 статьи в сборниках материалов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 178 страниц, в том числе 73 иллюстраций на 64 страницах, 7 таблиц на 5 страницах, 4 приложения на 21 странице, 14 страниц списка литературных источников (173 наименования).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы раскрыта актуальность темы диссертации, показана связь с крупными научными программами, сформулированы цель и задачи исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту, научная и практическая значимость диссертации.

В первой главе рассмотрены особенности процесса магнитно-электрического упрочнения. Показано, что процесс МЭУ наиболее полно изучен для деталей класса валов, для них же разработаны схемы стабилизации: сообщение полному наконечнику осциллирующих движений, дополнительного поверхностного пластического деформирования, подачи порошков в среде жидкости или в виде паст. Рассмотрены типовые схемы МЭУ плоских поверхностей, изучены разработанные для них системы стабилизации. Показана недостаточная изученность процесса МЭУ для плоских поверхностей, определены основные направления исследований.

Определен основной класс деталей, имеющих быстроизнашиваемые плоские поверхности, для которых применим процесс МЭУ. Установлено, что к таким деталям относятся быстроизнашиваемые детали сельскохозяйственной, дорожностроительной техники, работающие в условиях трения без смазки, абразивного или ударно-абразивного изнашивания. Показана перспективность метода МЭУ для упрочнения отдельных деталей металлургического технологического оборудования, и, в частности, прессываляльных машин.

Изучены основные технологические режимы и существующие схемы стабилизации МЭУ плоских поверхностей, рекомендуемые такими учеными, как Е. Г. Коновалов, П. И. Ящерицын, Л. М. Кожуро, Л. М. Акулович, Б. П. Чемисов, М. Л. Хейфец, М. А. Мрочек, И. Ф. Марченко, Г. С. Шулев, Ю. П. Александров, В. П. Ананьев, В. А. Люцко и другими учеными, работающими по данной тематике. Установлено, что большинство технологических режимов привязано к конкретным установкам, системам стабилизации и применяемым наплавочным материалам, вследствие чего показана необходимость дополнительных исследований влияния режимов обработки для каждого конкретного производственных условий.

Рассмотрены основные наплавочные материалы, применяемые в МЭУ. В процессе МЭУ в основном используются ферромагнитные порошковые наплавочные материалы, изготовленные на основе железа с большим содержанием бора, такие как ферробор (ФБ-6, ФБ-10, ФБ-17), феррохромбор (ФХБ-1, ФХБ-6-2), а также некоторые легированные стали и чугуны. Выбор указанных наплавочных материалов обусловлен их пространственностью и доступностью. При этом данные материалы не обеспечивают высокого качества покрытий и значительного повышения износостойкости упрочненных деталей. В качестве наплавочных порошков применяются также двухкомпонентные сплавы на основе железа (Fe-V, Fe-Ti); высокохромистого чугуна эвтектического состава (С-300); быстрорежущие стали (Р6М5ФЗ, Р6М5К5). Однако они являются более дорогими по сравнению с вышеуказанными. Кроме того, практически все описанные выше порошковые материалы имеют частицы неправильной формы, что снижает текучесть порошков и тем самым снижает стабильность подачи порошка в зону обработки.

Приведены основные требования, предъявляемые к порошкам, применяемым в технологиях упрочнения и наплавки. Сделано предположение о высокой эффективности применения в процессе МЭУ самофлюсующихся диффузионно-легированных порошков на железной основе.

Во второй главе приведен общий методический подход к выполнению работы и используемые методики исследований.

Свойства порошков и покрытий исследовали, используя в основном стандартные методики. Гранулометрический состав и размер частиц исследовали по ГОСТ 18318 методом просеивания пробы через набор сит, микроскопическим анализом с помощью оптической системы прибора ПМТ-3, а также на автоматическом анализаторе изображения Mini-Magiscan фирмы Jouse Loebel. Микротвердость определяли по ГОСТ 9450 на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,987 и 1,974 Н.

Текучесть порошковых материалов оценивали в соответствии с ГОСТ 20899. Толщину диффузионного слоя на частицах диффузионно-легированного порошка оценивали с использованием оптической системы ПМТ-3 на микрошлифах, подготовленных в соответствии с ГОСТ 9.302. Металлографический анализ порошков проводили на микроскопах МММ-7, Neophot-21.

Рентгенофазовый анализ порошковых материалов и покрытий на рентгеновском дифрактометре общего назначения ДРОН-3,0 в SiK_α монохроматизированном излучении, монохроматизация - вторичная, осуществляется пиролитическим графитом, щели после трубки - Соллера $2^\circ 30'$, 1, 6, перед счетчиком - Соллера $2^\circ 30'$, 0,25, вращение образца в собственной плоскости. Управление дифрактометром, сбор и обработка информации выполняются с применением программы «X-RAY» автоматизации рентгеноструктурного анализа. Рентгеновская съемка проводилась в диапазоне углов $2\theta = 15-120^\circ$ с шагом $0,1^\circ$; режим съемки - непрерывный.

Покрытия получали методом МЭУ на лабораторной установке. В качестве источника технологического тока применялся выпрямитель сварочного тока ВДУ-600. Микротвердость покрытий определяли по ГОСТ 9450 на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 0,987 и 1,974 Н. Микрошлифы для исследований изготавливались в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302, при этом образцы предварительно заливались в обойме эпоксидной композицией. Твердость покрытий измеряли по методу Роквелла на приборе ТК2М по шкале «А» в соответствии с требованиями ГОСТ 20017. Ударную вязкость покрытий оценивали по нестандартной методике на образцах с размерами $10 \times 10 \times 110$.

Сравнительные испытания на износостойкость при трении скольжения исследовали на машине трения СМЦ-2 по методу Шкода-Савина. Условия испытаний выбирались исходя из максимального их приближения к условиям эксплуатации на прессвязальной машине. Сравнительные ис-

пытания на износостойкость при абразивном изнашивании проводились на машине трения типа Х4-Б специальной конструкции. Испытания проводили при трении о закрепленный абразив в соответствии с ГОСТ 17367. В качестве абразива использовались зерна в составе шлифовальной шкурки П2Г 43А 2СНМ ГОСТ 6456.

Эксперименты проводились с использованием теории планирования эксперимента, данные обрабатывались на ПЭВМ в пакете прикладных программ «Statistica 99». Эксплуатационные испытания проводились в сталеплавильном цехе на РУП «Белорусский металлургический завод».

В третьей главе отражены исследования особенностей технологии изготовления диффузионно-легированных порошков для МЭУ. Отмечено, что для производства порошковых материалов для МЭУ наиболее приемлемо использование самофлюсующихся порошков на основе железа со сферической формой частиц. В этом случае обеспечивается высокое качество покрытий за счет стабилизации расхода порошка и, соответственно, процесса упрочнения. При этом при изготовлении таких материалов в качестве сырья целесообразно использовать отходы производства стальной дробы, широко используемой на машиностроительных предприятиях. Анализ фракционного состава отходов показал, что количество порошка нужной фракции (0,315...0,630 мм) составляет около 80 %. Кроме того, технология диффузионного легирования частиц исходного порошка дает возможность контролировать химический состав получаемых порошков, тем самым снизить их себестоимость, а также управлять технологическими свойствами покрытий в зависимости от условий их работы (требуемой твердости, ударной вязкости и др.).

Выявлены особенности химико-термической обработки порошков на основе отходов производства стальной дробы. Установлено, что оптимальное количество активатора NaF в рабочей смеси составляет 1...1,5 % (по объему), при котором достигается максимальная толщина диффузионного слоя. Также установлено оптимальное соотношение насыщаемой и насыщающей сред, которое составило 1 : 7 (по объему). Разработана технология диффузионного легирования частиц порошка, основное отличие которой заключается в чередовании тонких слоев активатора и рабочей смеси (смесь металлического порошка и карбида бора в соотношении 1 : 7) толщиной 10...15 мм при ее закладке в контейнер. Это обеспечивает повышение толщины диффузионного слоя в 2,5 раза по сравнению со способом закладки активатора на дно контейнера. Исследована кинетика формирования диффузионного слоя для стального порошка сферической формы размером 0,4...0,63 мм на основе стали 40Л. Установлено, что при обработке в течение 1 часа при температуре 900°C средняя толщина диффузионного слоя составляет 35 мкм. На фотографии видна фаза Fe_2B (светлая оболочка) и ферритно-перлитная структура ядра (рис. 1).

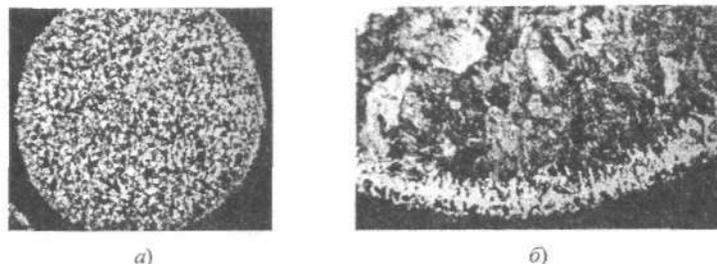


Рис. 1. Микроструктура частицы порошка после химико-термической обработки при 900 °С в течение 1 часа:
а – х200; б – х400

Максимальная толщина слоя (сквозное насыщение) достигается обработкой при температуре 950 °С в течение 4,5...5 часов. На рис. 2 показана микроструктура частицы порошка со сквозным диффузионным слоем. С повышением продолжительности обработки исходного порошка до 5 часов происходит скачкообразное увеличение толщины борированного слоя, состоящего в основном из фазы Fe_2B , и наблюдается сквозное насыщение частицы порошка бором. При этом между боридными иглами наблюдается выделение компактного углерода и бороцементита $Fe_3(C, B)$. Выделение углерода в виде графита хлопьевидной формы обусловлено повышением его концентрации во всем объеме частицы выше предельной его растворимости в аустените при температуре диффузионного легирования. Одновременно с этим диффузионный фронт перестает встречать сопротивление диффузии вследствие исчезновения в центре частицы перлита с высоким содержанием углерода, тормозящего насыщение частицы бором. При этом вырастает скорость диффузии и происходит резкое увеличение толщины боридного слоя вплоть до сквозного.

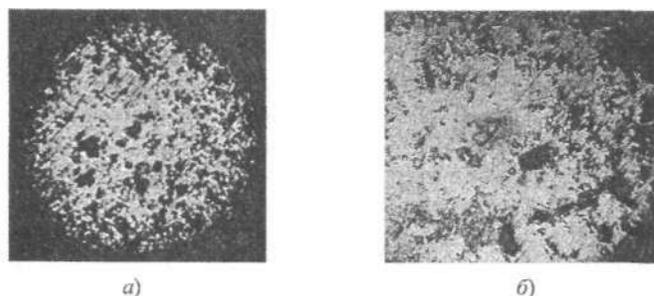


Рис. 2. Микроструктура частицы порошка после химико-термической обработки при 950 °С в течение 5 часов:
а – х200; б – х400

Результаты металлографического исследования фазового состава исследуемых порошков, исходных и подвергнутых химико-термической обработке на различных температурно-временных режимах, подтверждены фазовым рентгеноструктурным анализом.

Диффузионное борирование снижает текучесть порошка. Вследствие проникновения в частицу бора ее поверхность становится более неровной, пористой. Обусловлено это характером борирования частицы порошка: при обработке в среде карбида бора образуется двухфазный боридный слой – FeB и Fe_2B . При этом хрупкая фаза FeB частично выкрашивается, а к поверхности частицы припекаются мелкие элементы порошка карбида бора, что и определяет увеличение ее шероховатости. Такой микрорельеф и объясняет ухудшение свойств текучести порошка.

Для удобства обработки экспериментальных данных каждому порошку, полученному на определенных режимах, присвоен номер. Технологические режимы химико-термической обработки с присвоенными им номерами сведены в таблицу.

Нумерация порошков, полученных на соответствующих им температурно-временных режимах ХТО

Номер порошка		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Режимы ХТО	Температура, t , °С	850	850	850	900	900	900	950	950	950	950
	Время обработки t , час	1	3	5	1	3	5	1	3	5	7

В четвертой главе рассмотрены особенности технологии магнитно-электрического упрочнения разработанными самофлюсующимися диффузионно-легированными порошками.

На основании исследований процесса МЭУ с использованием борированных порошков установлено, что мощность электрических разрядов играет важную роль при формировании физико-механических свойств наносимых покрытий: толщины «белого» слоя, суммарной толщины упрочненного слоя («белого» и подслоя с измененной структурой), их микротвердости, коэффициента сплошности. Увеличение мощности разряда приводит к увеличению толщины упрочненного слоя, причем это увеличение особенно заметно при измерении общей толщины слоя. Толщина «белого» слоя плавно растет пропорционально мощности электрического разряда до 3100 Вт. Дальнейшее увеличение мощности не приводит к значительному росту толщины «белого» слоя, однако суммарная толщина упрочненного слоя («белый» слой и переходной слой с измененной структурой) увеличивается за счет большей глубины разогрева поверхности упрочняемой детали до закалочных температур. Анализ микроструктур

упрочненных образцов показывает, что переходной слой имеет мелкозернистую мартенситную структуру. Такая структура подслоя обусловлена кратковременным нагревом металла подложки разрядом тока до закалочных температур и быстрым охлаждением нагретых и расплавленных участков. Дальнейшее увеличение мощности разряда (от 3100 Вт до 4800 Вт) приводит к дальнейшему росту переходного слоя с измененной структурой, но снижает толщину «белого» слоя вплоть до его исчезновения при мощности разряда свыше 3500 Вт. При этом верхний слой упрочненной поверхности имеет структуру мелкоигольчатого мартенсита с твердостью несколько меньшей, чем твердость подслоя с мелкозернистой мартенситной структурой. Дендриты здесь ориентированы преимущественно по направлению к телу детали, т. е. в направлении теплоотвода (рис. 3). Данные металлографических исследований упрочненных образцов на данном режиме МЭУ подтверждены рентгеноструктурным фазовым анализом. Согласно его результатам, нанесенное покрытие состоит в основном из альфа-железа (96,7 %), что соответствует структуре мартенсита, а также боридов железа $\text{Fe}_{2,12}\text{B}_{103,36}$ (2,1 %), Fe_2B (0,3 %), FeB (0,6 %) и карбидов железа FeC (0,3 %).

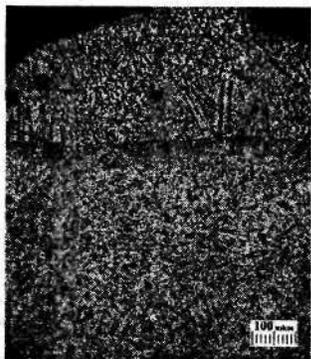


Рис. 3. Микроструктура покрытий, нанесенных методом МЭУ при мощности разряда 3900 Вт диффузионно-легированным порошком, $\times 200$

Классический упрочненный слой, характерный для технологии электроискрового легирования и магнитно-электрического упрочнения, наблюдается при мощности электрических разрядов 800...3100 Вт. В этом случае упрочненный слой представляет собой «белый» слой и подслоя с измененной структурой, имеющей, в основном, структуру мелкозернистого мартенсита (рис. 4). «Белый» слой при этом обладает высокой микротвердостью, которая при использовании в качестве упрочняющего материала порошка с содержанием бора 6,9 мас.% достигает 19,0 ГПа. Столь

высокая микротвердость является следствием карбидных, боридных и нитридных образований в слое, внедренных в аустенитной основе. На микроструктуре эти включения видны как более светлые кристаллы на фоне не травящегося слоя. Это подтверждает рентгеноструктурный анализ, проведенный для данного покрытия. Согласно его данным, верхний «белый» слой состоит в основном из боридов железа Fe_2B (85,7 %), Fe_3B (11,7 %), Fe_7B (0,2 %) и карбидов железа FeC (2,1 %).

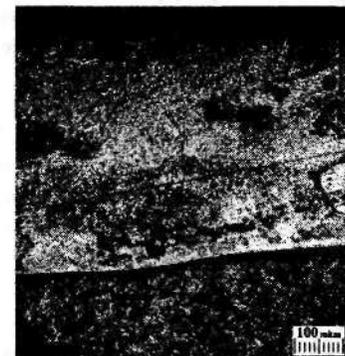


Рис. 4. Микроструктура покрытий, нанесенных методом МЭУ при мощности разряда 2900 Вт диффузионно-легированным порошком, $\times 200$

Отмечено, что величина рабочего зазора, определяющая величину технологического тока, влияет на суммарную толщину упрочненного слоя, их микротвердость, коэффициент сплошности. Экспериментально установлена оптимальная толщина рабочего зазора 0,6...0,7 мм, обеспечивающая максимальную толщину упрочненного слоя (до 0,4 мм), высокую микротвердость (до 19,0 ГПа) и коэффициент сплошности 100 %. Уменьшение зазора вызывает ускоренную эрозию металла подложки, увеличение приводит к снижению коэффициента сплошности за счет сокращения числа токопроводящих цепочек при нанесении покрытий.

Показано, что величина магнитной индукции в рабочем зазоре и расход порошка заметно влияют на качество наносимых покрытий, количественно в данной работе определяемое коэффициентом сплошности покрытий. Оптимальная величина магнитной индукции для разработанных самофлюсующихся порошков составляет 0,4 Тл, оптимальный расход порошка 9...10 г/с \cdot мм². Снижение величины этих параметров приводит к ухудшению качества наносимых покрытий, превышение же оптимальных значений величины магнитной индукции и расхода порошка дестабилизирует процесс и при значениях 0,6 Тл и 17...18 г/с \cdot мм² приводит к короткому замыканию.

Установлено, что оптимальные режимы исследуемых порошков в большинстве имеют отличия от рекомендуемых режимов для известных материалов. Лишь расход порошка соответствует данным, определенным для исследованных ферромагнитных материалов. Для МЭУ с использованием разработанных порошков можно рекомендовать следующие режимы: мощность разряда 2900...3100 Вт; величина магнитной индукции 0,4...0,5 Тл; величина рабочего зазора 0,6...0,7 мм; расход порошка 9...10 г/с • мм².

В пятой главе содержатся результаты исследований влияния наплавочных материалов на микротвердость и износостойкость покрытий, нанесенных методом МЭУ на установленные ранее технологических режимах.

Исследована микротвердость покрытий, нанесенных с использованием разработанных ДЛ порошков на основе стали 40Л. Установлено, что максимальная микротвердость покрытий (18,5...19,0 ГПа) достигается использованием в технологии МЭУ порошка с наибольшим суммарным содержанием боридных фаз. Сравнительный анализ физико-механических свойств нанесенных покрытий с использованием известных и новых разработанных порошковых материалов показал, что увеличение в наплавочном материале количества бора приводит к монотонному росту микротвердости, что обусловлено увеличением доли избыточных боридов, придающих покрытиям высокую твердость.

Выявлено влияние содержания в наплавочном материале бора на ударную вязкость магнитно-электрических покрытий. С увеличением количества бора в порошке ударная вязкость нанесенных покрытий снижается.

Проведены лабораторные испытания по определению износостойкости покрытий в условиях трения скольжения без смазки. Установлено, что разработанный диффузионно-легированный порошок с содержанием бора $6,9 \pm 0,1$ мас.% обеспечивает получение покрытий с максимальной износостойкостью, равной 100 м/мг, и оказывается лучше высоколегированного самофлюсующегося порошка ПР-Х4Г2С2ФЮД, показывающего износостойкость покрытий 67 м/мг. Это обусловлено гетерогенной структурой «белого» слоя в покрытиях, нанесенных разработанным порошком, состоящей из вязкой матрицы и твердых мелкозернистых включений - боридов Re_2B и ReB .

Выявлено влияние количества в наплавочном материале бора на износостойкость покрытий в условиях сухого трения скольжения. Установлено, что эта зависимость носит экстремальный характер, и максимальная износостойкость наблюдается при содержании в материале бора 6,5...7,5 мас.%. В итоге рассматриваемые материалы с точки зрения обеспечения ими износостойкости магнитно-электрических покрытий при трении скольжения без смазки можно расположить следующим образом (в порядке убывания износостойкости): Порошок №9-» ПР-Х4Г2С2ФЮД-» Порошок № 10-»

-» Порошок №8-» Порошок №6-» Порошок №5-» СЧЛ-» Порошок №7- *
-» Порошок №3-» Порошок №4- * ФБ-17.

Проведены лабораторные испытания по определению износостойкости покрытий в условиях абразивного изнашивания. Выявлено, что максимальную абразивную износостойкость имеют наиболее твердые покрытия, полученные методом МЭУ с использованием порошка ПР-Х4Г2С2ФЮД и разработанного порошка с содержанием бора 8,5 мас.%. Максимальная относительная износостойкость при этом составляет 6,2...6,5. Установлена парная корреляция между интенсивностью изнашивания /, ' мг/м • мм² и микротвердостью Y_m , ГПа, выведено уравнение регрессии: $I_m = 30,466 - 1,553 H_r$, т. е. с повышением твердости материалов интенсивность изнашивания падает.

Шестая глава посвящена оптимизации технологии МЭУ и промышленной апробации результатов исследований. Результаты оптимизации режимов химико-термической обработки порошков и технологических режимов МЭУ показали, что оптимальные технологические факторы для разных условий изнашивания несколько отличаются. Установлено, что для обеспечения максимальной износостойкости при трении скольжения оптимальные параметры ХТО: выдержка при температуре 950 ± 10 °С в течение 4,5...5 ч, оптимальные режимы МЭУ: мощность разряда 2900...3100 Вт; величина магнитной индукции 0,4...0,5 Тл; величина рабочего зазора 0,6...0,7 мм; расход порошка 9...10 г/с • мм². Для обеспечения максимальной износостойкости при абразивном изнашивании оптимальные параметры ХТО: выдержка при температуре 950 ± 10 °С в течение 7,0...7,5 ч при тех же режимах МЭУ.

Практическим результатом проведенных исследований явилась установка опытной партии деталей (фланец, направляющая проволоки, шток прижимной) в сталеплавильном цехе на РУП «Белорусский металлургический завод» (г. Жлобин), упроченных методом МЭУ с использованием разработанных порошков. Испытания подтвердили существенное повышение износостойкости упроченных деталей по сравнению с серийно выпускаемыми, подвергнутыми закалке и низкому отпуску. На эксплуатационных испытаниях зафиксировано повышение срока службы деталей в 4,5 раза: со 160 до 720 ч. Проведенные технико-экономические расчеты эффективности применения разработанной упрочняющей технологии показали, что ожидаемый экономический эффект от упрочнения рассматриваемых деталей составит 55037 тыс. р. (фактический экономический эффект для опытной партии в 50 шт. 7,644 млн р., в расчете на одну деталь 152,88 тыс. р.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Повышен срок службы деталей прессвязальных машин путем нанесения на их рабочие поверхности износостойких покрытий из борированных наплавочных порошковых материалов с заданными физико-механическими свойствами, обеспечивающих повышение износостойкости упрочненных деталей до 100 м/мг в условиях сухого трения. Изучены их структура и физико-механические свойства в зависимости от состава наплавочных материалов и технологических режимов МЭУ, выявлены особенности химико-термической обработки порошков из стали 40Л с неравновесной структурой частиц размером 0,40...0,63 мм [2]-[7], [9].

2. Впервые предложено применение в технологии МЭУ диффузионно-легированных порошков на основе отходов производства стальной дроби [16]. Выявлено, что формирование покрытий с гетерогенной структурой, обуславливающей высокие физико-механические свойства покрытий, происходит при МЭУ из борированных порошков с содержанием бора от 4,3 мас.%. Установлено, что максимальная микротвердость покрытий (18,5... 19,0 ГПа) достигается использованием в технологии МЭУ порошка с наибольшим суммарным содержанием боридных фаз (с содержанием бора до 8,5 мас.%). Отмечено, что увеличение в наплавочном материале количества бора приводит к монотонному росту микротвердости, что обусловлено увеличением доли избыточных боридов, придающих покрытиям высокую твердость. Установлено, что с увеличением количества бора в материале ударная вязкость нанесенных покрытий снижается, что обусловлено увеличением в покрытии количества хрупких боридных фаз Fe₂B, HFeB [1], [3], [5], [6], [8Н1], [16].

3. Порошок с содержанием бора 6,9 ± 0,1 мас.% обеспечивает получение покрытий с максимальной износостойкостью в условиях сухого трения, равной 100 м/мг. Повышение в исходном материале количества бора приводит к охрупчиванию наносимых покрытий и, соответственно, к снижению износостойкости при сухом трении скольжения. Выявлено, что зависимость влияния количества бора в порошке на износостойкость покрытий при сухом трении скольжения носит экстремальный характер, и максимальная износостойкость наблюдается при содержании в материале бора 6,5...7,5 мас.%. При абразивном изнашивании максимальную износостойкость имеют наиболее твердые покрытия, полученные методом МЭУ с использованием порошка ПР-Х4Г2С2ФЮД и борированного порошка с содержанием бора 8,5 мас.% [1], [3], [5], [6], [8]-[11], [13]—[15].

4. Установлено, что мощность электрических разрядов играет важную роль при образовании структуры и свойств наносимых покрытий – суммарной толщины упрочненного слоя («белого» и подслоя с измененной структурой), их микротвердости, коэффициента сплошности, износостойкости – за счет влияния на температурный режим упрочняющей обработ-

ки, от которого зависит степень термического воздействия на подложку и порошок. Также установлено, что величина рабочего зазора, определяющая величину технологического тока, влияет на суммарную толщину упрочненного слоя, их микротвердость, коэффициент сплошности. Оптимальные режимы для МЭУ с использованием разработанных ДЛ порошков следующие: мощность разряда 2900...3100 Вт; величина магнитной индукции 0,4...0,5 Тл; величина рабочего зазора 0,6...0,7 мм; расход порошка 9... 10 г/с • мм² [3], [5], [7], [8], [10], [12].

5. Предложена усовершенствованная технология диффузионного борирования частиц порошка, основное отличие которой заключается в чередовании тонких слоев активатора и рабочей смеси толщиной 10... 15 мм при ее закладке в контейнер. Это обеспечивает повышение толщины диффузионного слоя в 2,0...2,5 раза по сравнению со способом закладки активатора на дно контейнера вследствие большей эффективности действия активатора [6].

6. Результаты апробированы на РУП «Белорусский металлургический завод» и показали повышение стойкости упрочненных деталей прессвязальных машин в 4,0...4,5 раза. Использование отходов производства стальной дроби в качестве сырья для изготовления наплавочных материалов позволило снизить стоимость используемого упрочняющего материала в 4...7 раз и получить ожидаемый годовой экономический эффект в размере 55037 тыс. р. (фактический экономический эффект для опытной партии в 50 шт. 7,644 млн р., в расчете на одну деталь 152,88 тыс. р.) [11].

Автор благодарен канд. техн. наук, доценту В. А. Люцкоба научнометодическую помощь в процессе выполнения данной работы и при обсуждении полученных результатов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в научных журналах

1. Петришин Г.В. Применение самофлюсующихся порошков в процессе магнитно-электрического упрочнения // Вести. Брест, гос. техн. ун-та. Машиностроение. - 2004. - № 4. - С. 37-38.
2. Пантелеенко Ф.И., Акулич А.П., Люцко В.А., Петришин Г.В., Дмитриченко Е.Э. Исследование износостойкости покрытий из ферромагнитных порошков в условиях трения скольжения со смазкой // Вестн. Брест, гос. техн. ун-та. Машиностроение. - 2004 - № 4 - С. 39-42.
3. Люцко В.А., Петришин Г.В., Соболев В.Ф. Исследование комплексного изнашивания поверхностей, упроченных электромагнитным способом // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В, Прикладные науки. Материаловедение. - 2004. - № 12. - С. 63-65.
4. Афанасьев Н.И., Демиденко Е.Н., Петришин Г.В. Управление надежностью зубчатых передач на этапе финишной обработки // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2004. - № 1. - С. 42-45.
5. Пантелеенко Ф.И., Люцко В.А., Петришин Г.В. Дмитриченко Е.Э. Влияние термической обработки на свойства покрытий из ферромагнитных порошков // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В, Прикладные науки. Материаловедение. - 2005. - № 6. - С. 47-49.
6. Петришин Г.В., Пантелеенко А.Ф., Пантелеенко Е.Ф. Диффузионно-легированные порошки для магнитно-электрического упрочнения // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2006. - № 4. - С. 26-31.
7. Пантелеенко Ф.И., Петришин Г.В., Пантелеенко Е.Ф. Технологические режимы магнитно-электрического упрочнения с использованием диффузионно-легированного стального порошка // Вестн. Брест, гос. техн. ун-та. Машиностроение. - 2006. - № 4. - С. 69-75.

Статьи в сборниках материалов конференций

8. Петришин Г.В. Материалы, применяемые при магнитно-электрическом упрочнении // Сб. материалов IV Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов, магистрантов. - Гомель: ПГТУ им. П.О. Сухого. - 2004. - С. 30-32.
9. Петришин Г.В. Исследование свойств диффузионно-легированных порошков и покрытий из них // Сб. материалов V Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов, магистрантов. - Гомель: ПТУ им. П.О. Сухого. - 2005. - С. 99-102.

Тезисы докладов на конференциях

10. Люцко В.А., Петришин Г.В., Соболев В.Ф. Исследование влияния материалов порошков и условий обработки на износостойкость фер-

ромагнитных покрытий // Современные проблемы машиноведения: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. - Гомель: ПГТУ им. П.О. Сухого, 2004. - С. 28-29.

И. Петришин Г.В., Дмитриченко Е.Э. Повышение долговечности быстроизнашиваемых деталей металлургического оборудования методом магнитно-электрического упрочнения // Сб. материалов V Междунар. науч.-техн. конф. молодых специалистов, инженеров и рабочих «Металл-2005». - Жлобин: РУП «Белорусский металлургический завод», 2005. - С. 84—85.

Авторские свидетельства, заявки на изобретения

12. Заявка МПК⁷ В 23/1. Устройство для магнитно-электрического нанесения покрытий из ферромагнитных порошков / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, Г.В. Петришин, В.Ф. Соболев (BY). - № а 20040289; Заявлено 01.04.04.
13. Заявка МПК⁷ С22С 37/00. Самофлюсующийся материал для износостойких покрытий / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, Г.В. Петришин (BY). - № а 20040949; Заявлено 15.10.04.
14. Заявка МПК⁷ С22С 37/00. Самофлюсующийся материал на железной основе для износостойких покрытий / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, Г.В. Петришин, М.Л. Кульгейко (BY). - № а 20050278; Заявлено 03.10.05.
15. Пат. № 2411 Респ. Беларусь, МПК⁷ G 01N 3/56. Устройство испытания материалов на ударно-абразивную износостойкость / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Люцко, Е.Э. Дмитриченко, Г.В. Петришин (BY). - № и 20050298; Заявлено 25.05.05; Опубл. 28.02.06 // Афшыйны бюллетень / Нац. центр штэлектуал. уласнасч. - 2006. - № 1. - С. 212-213.
16. Заявка МПК⁷ С22С 37/00. Порошок для магнитно-электрического упрочнения / Ф.И. Пантелеенко, П.С. Гурченко, М.И. Демин (BY). - № а 20050945; Заявлено 03.10.05.

ПЕТРИШИН Григорий Валентинович

**ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ
ИЗ БОРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ОТХОДОВ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ, НАНЕСЕННЫЕ
МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Ключевые слова: износостойкие покрытия, магнитно-электрическое упрочнение, химико-термическая обработка, диффузионно-легированный порошок, отходы производства, стальная дробь, бориды, гетерогенная структура, износостойкость.

Объект исследования - износостойкие покрытия из ферромагнитных борированных порошков.

Предмет исследований - закономерности получения покрытий с повышенной износостойкостью методом МЭУ из ферромагнитных борированных порошков (получаемых из отходов производства стальной дроби).

Цель работы - повышение срока службы деталей металлургического оборудования нанесением на их рабочие поверхности износостойких покрытий с заданными физико-механическими свойствами магнитно-электрическим методом при невысокой стоимости материалов.

Предложены новые порошковые материалы для процесса МЭУ, обеспечивающие значительное повышение износостойкости. Исследованы особенности химико-термической обработки порошковых материалов на основе стали 40Л с частицами сферической формы размером 0,40...0,63 мм. Усовершенствован способ закладки рабочей смеси в контейнер при химико-термической обработке порошковых материалов, обеспечивающий повышение толщины диффузионного слоя в 2,0...2,5 раза при прочих равных условиях. Установлено влияние основных параметров процесса МЭУ на физико-механические свойства упрочненного слоя. Получены экспериментальные данные по влиянию состава порошковых материалов на износостойкость покрытий, нанесенных методом МЭУ. Приведены практические рекомендации по выбору порошковых материалов в зависимости от условий изнашивания: изнашивании при трении скольжении без смазки или абразивном изнашивании. Проведены эксплуатационные испытания деталей прессвязальных машин, упрочненных методом МЭУ с использованием разработанных борированных порошковых материалов. Испытания показали повышение срока службы упрочненных деталей в 4,0...4,5 раза по сравнению с серийными деталями.

Область применения разработок - упрочнение и восстановление поверхностей быстроизнашиваемых деталей машин и технологического оборудования в различных отраслях машиностроительного производства.

ПЯТРЫШЫН Рыгор Валянцінавіч

**ЗНОСАЎСТОЙЛІВЫЯ ГЕТЕРАГЕННЫЯ ПАКРЫЦЦІ
З БАРЫРАВАННЫХ МАТЭРЫЯЛАЎ НА АСНОВЕ АДХОДАЎ
СТАЛЬНОГА ШРОТУ, ЯКІЯ НАНЕСЕНЫ
МАГНІТНА-ЭЛЕКТРЫЧНЫМ МЕТАДАМ**

Ключавыя словы: зносаўстойлівыя пакрыцці, магнітна-электрычнае ўзмацаванне, хіміка-тэрмічная апрацоўка, дыфузійна-легіраваны парашок, адходы вытворчасці, сталны шрот, барыды, гетерагенная структура, зносаўстойлівасць

Аб'ект даследавання – зносаўстойлівыя пакрыцці з ферамагнітных барыраваных парашкоў.

Прадмет даследаванняў – заканамернасці атрымання пакрыццяў з павышанай зносаўстойлівасцю метадам МЭУ з ферамагнітных барыраваных парашкоў (якія атрыманы з адходаў вытворчасці сталнога шроту).

Мэта работы – павышэнне тэрміна службы дэталей металургічнага абсталявання нанясеннем на іх рабочыя паверхні зносаўстойлівых пакрыццяў з зададзенымі фізіка-механічнымі ўласцівасцямі магнітна-электрычным метадам пры невысокім кошту матэрыялаў.

Прапанаваны новыя парашковыя матэрыялы для працэсу МЭУ, забяспечваючы значнае павышэнне зносаўстойлівасці. Даследаваны асаблівасці хіміка-тэрмічнай апрацоўкі парашковых матэрыялаў на аснове сталі 40Л з часцінкамі сферычнай формы размерам 0,40...0,63 мм. Удасканален спосаб закладкі рабочей сумесі ў кантэйнер пры хіміка-тэрмічнай апрацоўке парашковых матэрыялаў, які забяспечвае павышэнне таўшчыні дыфузійнага слою ў 2,0...2,5 разы пры іншых аднолькавых умовах. Вызначана ўплыванне асноўных параметраў працэса МЭУ на фізіка-механічныя ўласцівасці ўзмацаванага слою. Атрыманы эксперыментальныя даныя па ўплыве саставу парашковых матэрыялаў на зносаўстойлівасць пакрыццяў, нанесеных метадам МЭУ. Прыведзены практычныя рэкамендацыі па выбары парашковых матэрыялаў у залежнасці ад умоў знашвання: знашванне пры трэнні скальжэнні без смазкі ці абразіўным знашванні. Прыведзены эксплуатацыйныя выпрабаванні дэталей прэсвязальных машын, узмацаваных метадам МЭУ з выкарыстаннем распрацаваных барыраваных парашковых матэрыялаў. Выпрабаванні адзначылі павышэнне тэрміну службы ўзмацаваных дэталей у 4,0...4,5 разы ў параўнанні з серыйнымі дэталямі.

Галіна ўжывання распрацовак – узмацаванне і аднаўленне паверхняў хутказношваемых дэталей машын і тэхналагічнага абсталявання ў розных галінах машынабудаўнічай вытворчасці.

SUMMARY

PIATRYSHIN Grigory V.

WEARPROOF HETEROGENEOUS COVERINGS PRODUCED
FROM THE BORATED MATERIALS ON THE BASIS
OF STEEL FRACTION WASTES, PLATED BY
THE MAGNETO-ELECTRIC METHOD

Key words: antiwear coating, magneto-electric strengthening, chemical-thermal processing, diffusion alloying of a powder, wastes of manufacture, steel fraction, borides, heterogeneous structure, durability.

The object of research - antiwear coatings produced from ferromagnetic borated of powders.

The subject of research - the law of reception of coatings with high durability by the method of magneto-electric strengthening from ferromagnetic borated of powders (received from wastes of manufacture of steel fraction).

The purpose of the work - increase of service life of details of the metallurgical equipment by plating antiwear coatings on their working surfaces with the prespecified physic-mechanical properties by a magneto-electric method under low cost of materials.

The new powder materials for process of magneto-electric strengthening (MES), ensuring significant increase durability are offered. The features of chemical-thermal processing of powder materials are investigated on the basis of steel 40Л with particles of the spherical form by the size 0,40...0,63 mm. The way of bookmarking of a working mix in the container is advanced at chemical-thermal processing of powder materials ensuring increase of thickness diffusion of a layer in 2,0...2,5 times under other equal conditions. The influence of the basic parameters of process MES about physic-mechanical properties of a coating is established. The experimental data on influence of structure of powder materials on durability of coverings plating by a method MES are received. The practical recommendations are given of the choice of powder materials depending on conditions of wear process: wear process at friction sliding without greasing or abrasive wear process. The operational tests of parts of press-bind machines, which were harden by the method of MES with use developed borated powder materials are carried out. The tests have shown increase of service life of details, which were harden, in 4,0...4,5 times in comparison with serial details.

The area of developments application - strengthening and restoration of wear parts surfaces of machines and technological equipment in various branches of machine-building manufacture.

Научное издание

ПЕТРИШИН Григорий Валентинович

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ
ИЗ БОРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ
ОТХОДОВ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ, НАНЕСЕННЫЕ
МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

05.02.01 - Материаловедение (машиностроение)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Редакторы: *Н. Г. Мансурова*
Е. О. Шульгина
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 25.05.06.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Тайме».
Ризография. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,5.
Тираж 100 экз. Заказ № *i%\$91*.

Издательский центр
Учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».
ЛИ № 02330/0133207 от 30.04.2004 г.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
Учреждения образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого».
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.