

A-36134

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО - ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

УДК 621.762

ПАНТЕЛЕЕНКО
Екатерина Федоровна

**САМОФЛОСУЮЩИЕСЯ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОРОШКИ
ИЗ БОРИРОВАННЫХ ОТХОДОВ СТАЛЬНОЙ И ЧУГУННОЙ
ДРОБИ ДЛЯ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ
И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности

05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Минск, 2009

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель **Руденская Наталия Александровна**,
доктор технических наук, старший научный сотрудник УП «Технопарк БНТУ «Метолит»

Официальные оппоненты: **Дорошкевич Евгений Адамович**, доктор технических наук, профессор, советник ГНПО ПМ НАН Беларуси;

Белоцерковский Марат Артемович, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией газотермических методов упрочнения деталей машин государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения» Национальной академии наук Беларуси

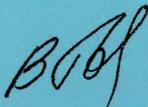
Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Физико-технический институт» Национальной академии наук Беларуси

Защита состоится «19» июня 2009 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.40.01 в Государственном научно-производственном объединении порошковой металлургии по адресу: 220005, г. Минск, ул. Платонова, 41, тел. +375 17 293-98-42, факс +375 17 210-05-74, E-mail: gorokhov47@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научно-производственного объединения порошковой металлургии

Автореферат разослан « ____ » _____ 2009 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций



В.М. Горохов

© Пантелеенко Е.Ф., 2009
© БНТУ, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Самофлюсующиеся композиционные порошки на основе железа, полученные методом диффузионного борирования, являются перспективными материалами для защитных покрытий. Несмотря на успешное использование таких порошков, актуальной остается задача поиска недефицитного сырья для их производства и выведения процесса на стабильный промышленный уровень. При этом необходимо использовать широкий фракционный состав порошков, предназначенных для борирования; систематизировать получаемый продукт в соответствии с методом формирования покрытий. Изучение взаимосвязи интенсивности борирования с размером частиц, процессов структурообразования в частицах и покрытиях, разработка доступного для технологов метода прогнозирования толщины боридного слоя на частицах имеют важное значение при разработке состава и структуры композиций.

Особый интерес представляет возможность получения самофлюсующихся композиционных порошков из отходов производства дробы и на их основе магнитно-электрических покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками.

Таким образом, в данной работе объектом исследования являются самофлюсующиеся композиционные порошки на основе борированных отходов стальной и чугунной дробы для применения в технологиях восстановления и упрочнения деталей машин и оборудования, предметом исследования – закономерности формирования структуры и свойств самофлюсующихся композиционных порошков из отходов стальной и чугунной дробы в процессе их борирования и режимы их получения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнена в рамках:

- ГПФИ «Поверхность» задание «Создание теоретических и технологических основ магнитно-электрического упрочнения плоских поверхностей с использованием диффузионно-легированных ферропорошков» на 2005 г., №ГР 20051864;

- ГПОФИ "Высокоэнергетические, ядерные и радиационные технологии" задание "Исследование и разработка технологии получения износостойких многокомпонентных покрытий высокоэнергетическим воздействием электромагнитного поля концентрированного магнитно-электрического потока на са-

моффлюсующиеся ферромагнитные диффузионно-легированные порошки" на 2006 – 2010 гг., №ГР 20064560;

- гранта Министерства образования Республики Беларусь «Получение износостойких восстановительно – упрочняющих покрытий из диффузионно-легированных самоффлюсующихся порошков, изготовленных из отходов производства чугунной дроби» на 2008 г., №ГР 20080679;

- раздела 2 плана научно-исследовательских и технических разработок РУП «МАЗ» по разработке новых материалов, приборов и металлических конструкций от 14.03.08, «Разработка и исследование технологий и оборудования получения диффузионно-легированных порошков из отходов производства дроби»;

- международного контракта между БНГУ (Республика Беларусь) и Vex Engineering Co., LTD (Республика Корея) № В-005/8764 от 28.03.2008 г. «Исследование структуры, свойств и преимуществ износостойких покрытий из борированных железных порошков, полученных индукционной и плазменной наплавкой» на 2008 – 2009 гг.

Цель и задачи исследования. Цель работы – создание композиционных самоффлюсующихся порошков борированием отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Проанализировать состояние проблемы получения порошков на основе железа методом борирования и выбрать сырьё для разработки самоффлюсующихся материалов;
2. Исследовать структуру и свойства отходов стальной и чугунной дроби как исходных материалов для получения самоффлюсующихся композиционных диффузионно-легированных бором порошков;
3. Изучить особенности борирования отходов стальной и чугунной дроби и разработать метод прогнозирования толщины боридного слоя для частиц различного размера;
4. Разработать самоффлюсующиеся борированные порошки с использованием отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин;
5. Исследовать структуру и свойства покрытий, полученных магнитно-электрическим упрочнением из разработанных самоффлюсующихся порошков.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Фазовые и структурные особенности частиц отходов производства стальной и чугунной дроби, являющиеся причиной ускорения диффузии бора на начальной стадии химико-термической обработки: дефекты; неравновес-

ность структуры; оксидные оболочки, состоящие из зерен оксида железа, разделенных связкой из силико-оксида железа.

2. Зависимости толщины боридного слоя от температуры и времени борирования для диапазона фракций 100–630 мкм, отличающихся от классических трехстадийностью.

3. Процессы структурообразования (формирование боридной оболочки, изменение структуры ядра, графитизация), протекающие при борировании отходов производства дробы, представленные во взаимосвязи с интенсивностью роста боридного слоя. Впервые обнаруженный при борировании чугунных частиц эффект Френкеля.

4. Метод, позволяющий прогнозировать толщину боридного слоя и учитывающий дисперсность частиц.

5. Самофлюсующиеся порошки типа $\text{Fe-Fe}_2\text{B-FeB}$ из диффузионно легированных отходов производства стальной и чугунной дробы, содержащие от 4,4 до 13,4 масс.% бора, и износостойкие магнитно-электрические покрытия из них, характеризующиеся доэвтектическим, эвтектическим или заэвтектическим типом структуры.

Личный вклад соискателя. Основные положения, выводы и рекомендации диссертации принадлежат автору, который, совместно с руководителем работы д-ром. техн. наук Руденской Н.А., выбрал научно-техническое направление и определил задачи исследования, провел комплекс теоретических и экспериментальных исследований и создал самофлюсующиеся композиционные порошки из отходов стальной и чугунной дробы для получения функциональных износостойких покрытий.

Совместно с канд. техн. наук Петрипиным Г.В. (УО ГГТУ им. П.О. Сухого) проведены исследования свойств магнитно-электрических покрытий из разработанных самофлюсующихся композиционных диффузионно-легированных бором порошков.

Апробация результатов диссертации.

Основные результаты работы были доложены на: VI Республиканской студенческой научно-технической конференции «Новые материалы и технологии их обработки» (БНТУ, Минск, 2005 г.); Международной научно-технической конференции «Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения» (Новополоцк, 2005, 2007 гг.); V, VI Konferencja naukowo-praktyczna ENERGIA W NAUCE I TECHNICE (Белосток, Польша, 2006 г., Сувалки, Польша 2007 г.); International conference on Industrial Tribology ICIT-2006 (Бангалор, Индия, 2006 г.); 14th International scientific conference CO-MAT-TECH 2006 (Словакия, Трнава, 2006 г.); 10-й Международной научно-практической конференции «Технологии ремонта,

восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки» (Россия, Санкт-Петербург, 2008 г.); международной научно-технической конференции «Современные методы и технологии создания и обработки материалов» (ФТИ, Минск 2007, 2008 гг.); Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности» (Брест, 25-27 октября 2007 г.); VII международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения», (Гомель, 23–24 октября 2008 г.); международной научно-технической конференции «Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении» (Минпром Республики Беларусь, РУП «МАЗ», БНТУ, НАН Беларуси, 19–21 ноября 2008 г.); 60 и 61 научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БНТУ (Минск, 2007, 2008 гг.).

Опубликованность результатов. Основные результаты работы опубликованы в 15 научных работах, в том числе 5 статьях в рецензируемых журналах и сборниках (2 авторских листа), а также 8 статьях и тезисах докладов на конференциях, 1 патенте и 1 заявке на патент Республики Беларусь (2,7 авторских листа).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации 163 страниц. Работа содержит 83 страницы машинописного текста, 65 рисунков на 40 страницах, 13 таблиц на 4 страницах, список использованных источников в количестве 119 наименований на 11 страницах, список публикаций соискателя в количестве 16 наименований на 2 страницах и приложения на 23 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы и необходимость решения некоторых вопросов в выбранной области исследований.

В первой главе рассмотрены основные методы получения самофлюсующихся порошков: объемное и диффузионное легирование сплавов на основе железа бором и кремнием. Особое внимание уделено последнему методу, показаны его преимущества, в частности, возможность регулирования содержания бора и кремния в частицах порошка. Представлены основные достижения в разработке и совершенствовании методов диффузионного легирования металлами при создании самофлюсующихся композиционных порошков. Метод создания таких порошков описан в работах Пантелеенко Ф.И., Любецкого С.Н., Константинова В.М., Снарского А.С., Сороговца В.И., Штемпеля О.П., Жабу-

ренка С.Н. В разработанных технологиях получения самофлюсующихся порошков на основе железных сплавов преимущественно использовали следующие стандартные порошки: железа – ГЖВ, сталей – ПР-Сталь 45, ПР-Х18Н9, ПР-10Р6М5, чугуна – ПР-СЗ. Изучение влияния соотношения насыщающая среда : насыщаемая среда, а также влияния условий химико-термической обработки (ХТО) на интенсивность роста диффузионного слоя проводили для монодисперсной композиции, поэтому, при легировании полидисперсной системы возможно получение достаточно высокой погрешности, сведения о взаимосвязи размера диффузионно-легируемых бором частиц и кинетики роста боридного слоя отсутствуют.

Важной задачей является прогнозирование толщины диффузионного слоя бора при заданных условиях ХТО и свойствах обрабатываемого порошка. Предложенные математические модели процессов получения самофлюсующихся диффузионно-легированных порошков (СДЛП) не учитывают влияние размера частиц порошка, и соответственно площади насыщаемой поверхности, что не позволяет вести сравнительный анализ систем различной дисперсности. Ряд моделей является трудно применимым на практике, поскольку отличается большим числом вводимых параметров и не вскрывает сущности процессов изменения структуры частиц при ХТО. Значения некоторых параметров можно получить только экспериментально.

В связи со значительным подорожанием производимых порошков особую актуальность приобретают вопросы снижения стоимости исходных материалов и полуфабрикатов для их получения. В работе рассмотрены и классифицированы по методам формирования промышленные металлосодержащие отходы (преимущественно металлообработки), а также проведен обзор методов их переработки. Большая часть дисперсных отходов (стружка, опилки, шламы) пригодна для производства порошков, что является оптимальным с точки зрения экономики и экологии технологических цепочек. Однако отходы производства дробы, несмотря на очевидные преимущества их как исходного сырья, для нужд порошковой металлургии не нашли применения. Это обусловило необходимость постановки настоящей работы, определило ее цель и задачи.

Во второй главе представлен общий методический подход к выполнению работы, технология проведения ХТО порошков; описаны стандартные методики исследований и измерений, процесс и особенности метода нанесения магнитно - электрических покрытий.

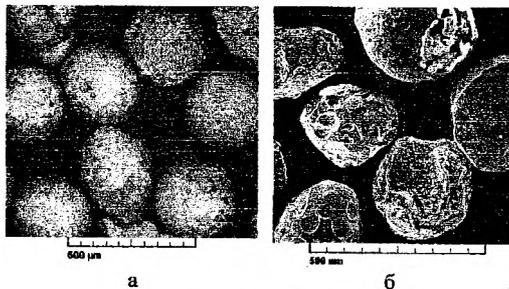
Гранулометрический состав порошков определяли по ГОСТ 18318 ситовым методом, текучесть – в соответствии с ГОСТ 20899–98, насыпную плотность – по ГОСТ 19440. Определение фактора формы частиц проводили на сканирующем электронном микроскопе "Mira" фирмы "Tescan" (Чехия) с помо-

щью программного комплекса обработки и анализа изображений «Autoscan», разработанного НИИ ПФП им. А.Н. Севченко, г. Минск. Толщину боридного слоя на частицах и особенности структуры последних, а также морфологию порошков исследовали металлографическим методом с помощью металлографических микроскопов Альтами MET-1, AXIOVERT 40MAT фирмы METCO, спектрального электронного микроскопа Vega II LMU и растрового электронного микроскопа LEO1455VP. Микродрометрические исследования проводили на приборах ПМТ-3, METCON 3/6 и Leica VMHT MOT с камерой Leica DFC 280 по ГОСТ 9450–76 при нагрузках 0,981, 1,962 и 4,9 Н. Химический и фазовый состав частиц порошков и магнитно-электрических покрытий из них оценивали микрорентгеноспектральным анализом на электронном микроскопе «CamScan 4» с энергодисперсионным анализатором «INCA 350» фирмы «Oxford Instruments» (Англия). Рентгеновский фазовый анализ исследуемых материалов проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3. Шаг сканирования – 0,1°; время набора импульсов в точке 10–30 с. Рентгеновскую съемку выполняли в монохроматизированном $\text{Co}_{\text{K}\alpha}$ излучении с фокусировкой по Брегу-Брентано при ускоряющем напряжении 30 кВ и анодном токе 10 мА. Дифракционную картину регистрировали в диапазоне углов рассеяния ($2\theta = 10\text{--}150^\circ$). В качестве образцов для исследований брали насыпку порошков и шлифы магнитно-электрических покрытий.

Технологические параметры процесса магнитно-электрического упрочнения были следующими: частота вращения ротора $n = 60$ об/мин, подача образца $S = 200$ мм/мин, величина магнитной индукции $B = 0,2$ Тл, напряжение холостого хода $U_{\text{х.х}} = 21$ В, сила тока $I = 120$ А, рабочий зазор $\delta = 0,7$ мм. Испытания на износостойкость при трении скольжения проводили на машине трения СМЦ-2 по методу Шкода-Савина при следующих условиях испытаний: нагрузка $P = 147$ Н (15 кгс, удельная нагрузка 5 МПа), частота вращения $n = 730$ мин⁻¹ (скорость скольжения $V = 126$ м/мин), диаметр диска 55 мм, ширина диска 10 мм, материал контртела Ст 3. Образец с покрытием был закреплен неподвижно. Рабочая поверхность диска имела шероховатость Ra 6,3 мкм, шероховатость покрытия составляла Ra 10–12,5 мкм. Эталонном служил образец из стали 45 ГОСТ 4543–71 твердостью 45–50 HRC₂. Износостойкость в условиях абразивного изнашивания при трении о закрепленный абразив в соответствии с ГОСТ 17367–71 определяли используя машину трения типа Х4-Б специальной конструкции. В качестве абразива использовали шлифовальную шкурку П2Г 43А 2СНМ ГОСТ 6456–82. Математические расчеты, статистическую обработку результатов измерений, построение графиков и гистограмм, а также наложение линий тренда на участки полученных зависимостей и получение их уравнений осуществляли с помощью приложения Microsoft Excel.

В третьей главе содержатся результаты исследований отходов производства дроби из стали 40Л (РУП «Минский автомобильный завод», рисунок 1, а) и чугунной ДЧЛ 545 (ОАО «Могилевский металлургический завод» рисунок 1, б) размером от 0,05 до 1 мм, выбранных для создания самофлюсующихся композиционных порошков и магнитно-электрических покрытий. Установлено влияние особенностей технологии получения порошков на их структуру и свойства.

Сравнительный анализ granulометрического состава исследуемых порошков и литературных данных, регламентирующих размер фракций порошка, применяемых для различных методов нанесения покрытий, позволил сделать вывод о возможности применения всего диапазона размеров частиц из стальной



а – стальная дробь (сталь 40Л);
б – чугунная дробь (ДЧЛ545)

Рисунок 1 – Морфология частиц

и чугунной дроби. Максимальные по содержанию фракции (400–630 мкм для отходов литой дроби из стали 40Л; 200–315 (29 %) и 400–630(70 %) мкм для сферических отходов из белого ваграночного чугуна) наиболее пригодны для процессов магнитно-электрического упрочнения (МЭУ) и наплавки ТВЧ.

Исследования морфологии и зависимости фактора формы от размера частиц показали, что максимальным фактором формы (0,86) характеризуется порошок из стали 40Л фракции 400–630 мкм. Для чугунного порошка данный показатель несколько ниже – 0,62, однако, является достаточным для обеспечения хорошей текучести в процессе нанесения покрытий. Технологические свойства также зависят от дисперсности порошка: для трех основных исследуемых фракций чугунного порошка 100–160, 200–315 и 400–630 мкм с увеличением размера частиц значение насыпной плотности снижается с 4,2 до 3,2 г/см³, а текучесть возрастает с 1 до 1,48 г/с. На поверхности чугунных (~ 20 %) и стальных (~ 30 %) частиц присутствует оксидная оболочка толщиной от 7 до 67 мкм и 3 до 26 мкм соответственно, появление которой обусловлено особенностями технологического процесса производства дроби. Установлено, что в процессе транспортировки и рассеивания порошка оксидные оболочки скалываются и переходят в более мелкую фракцию, уменьшая тем самым значение фактора формы последней.

Структура порошков, вследствие быстрого их охлаждения в процессе производства дробы, неравновесная: стальной порошок имеет структуру мелко-иглочатого (3–15 мкм) мартенсита, чугунный – доэвтектического белого чугуна (размер дендритных включений перлита 1–15 мкм). Примерно в 10 % частиц, как стального, так и чугунного порошков, обнаружено наличие дефектов в виде трещин и пор. В структуре частиц присутствуют следующие фазы: α -железо, цементит, оксид железа FeO и силикооксид железа Fe_2SiO_4 . Порошки стали и чугуна отличаются лишь количественным содержанием этих фаз, кроме того в чугуне наблюдается присутствие остаточного аустенита – γ -железа. Выявлено, что оксидный слой состоит из зерен оксидов железа, распределенных в материале матрицы – Fe_2SiO_4 , причем структура оболочек на частицах стали и чугуна одинакова (рисунок 2).

В четвертой главе изучены структура и свойства самофлюсующихся композиционных порошков из отходов производства стальной и чугунной дробы фракций 100–160, 200–315 и 400–630 мкм после их химико-термической обработки (борирования). В процессе борирования частиц порошка отмечен рост их массы и размера. Установлено, что

поверхность частиц становится более шероховатой из-за образования наростов призматической формы размером 2–5 мкм, что приводит к изменению технологических свойств порошка: уменьшению его текучести на 10–15 %, снижению показателя насыпной плотности (на 12–30 %, в зависимости от толщины боридного слоя). Ранее считалось, что причиной изменения указанных технологических характеристик является выкрашивание хрупкой боридной фазы с поверхности частиц.

Сравнительный анализ структуры и зависимостей роста толщины боридного слоя порошков – отходов производства стальной и чугунной дробы позволил установить следующее:

1. Диффузионные процессы по интенсивности их протекания во времени можно разделить на три стадии (рисунок 3): начальной, умеренной и интенсивной (аномальной) диффузии. Факторами, влияющими на скорость диффузии

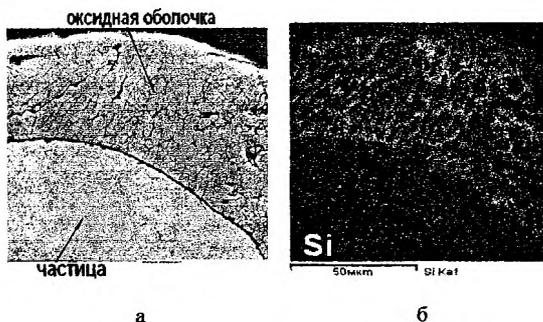
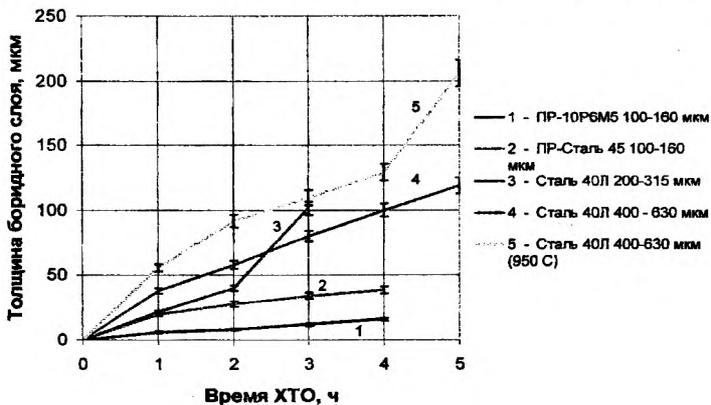
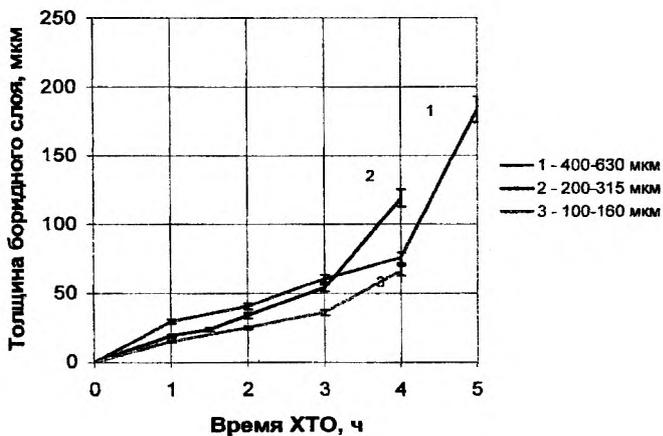


Рисунок 2 – Строение оксидной оболочки во вторичных электронах (а) и в характеристическом излучении кремния (б)

для каждой стадии, являются: морфология и количество дефектов – для начальной; содержание углерода – для умеренной; формирование зоны, насыщенной вакансиями, и изменение структуры – для стадии аномальной диффузии.



а

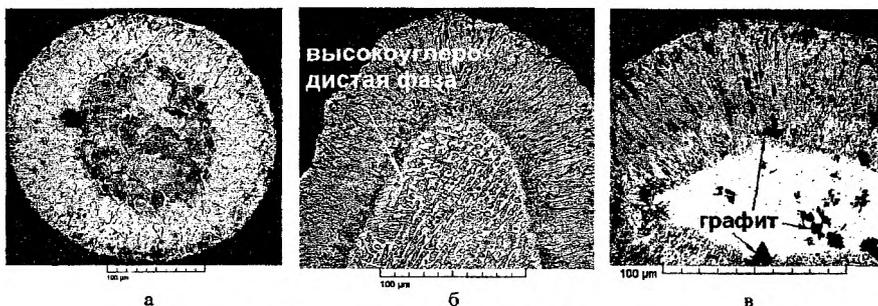


б

Рисунок 3 – Зависимости толщины боридного слоя от времени ХТО для частиц стальной (а) и чугунной (б) дроби

На стадии умеренной диффузии возрастает количество вакансий, диффундирующих к поверхности частиц (источниками образования вакансий могут быть поры исходных частиц), при этом углерод диффундирует вглубь частиц, где в результате происходит повышение его концентрации, в частицах чугуна проте-

кают процессы графитизации. О диффузии углерода к центру частицы, наряду с результатами металлографического анализа, свидетельствуют повышение концентрации высокоуглеродистой фазы (перлита и цементита для стальных и чугуновых частиц соответственно) в центре частицы, особенно в подборидной зоне (рисунок 4, а,б); изменение микротвердости, а увеличение концентрации дефектов на границе боридный слой – ядро (рисунки 4, б, 5, б) можно рассматривать как результат диффузии вакансий. Подтверждением этого является следующее: на частицах чугуна выявлен эффект образования диффузионной пористости под слоем боридов (рисунок 5), по механизму образования соответствующий эффекту Френкеля, и на борированных микрокомпозитах обнаруженный впервые.



а – сталь, 3 часа, 900 °С; б – чугун, 2 часа, 900 °С; в – чугун, 4 часа, 900 °С

Рисунок 4 – Микроструктура борированных частиц

На стадии интенсивной диффузии углерод не препятствует диффузии бора вглубь частицы. Углы наклона к осям графиков роста толщины боридного слоя

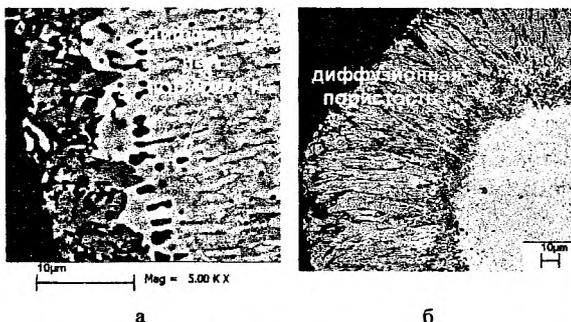


Рисунок 5 – Слой диффузионной пористости в подборидном слое частицы чугуна после ХТО в течение 1 часа при $t = 900\text{ }^{\circ}\text{C}$

для стали и чугуна становятся одинаковым (рисунок 3), что свидетельствует о подобии протекающих процессов.

2. В частицах из стали диффузионные процессы отличаются большей интенсивностью, чем в частицах из чугуна, что объясняется различным содержанием углерода, замедляющим процесс борирования.

3. Большая скорость диффузии установлена на крупных частицах. Основную роль здесь играет и различие удельных поверхностей, количество дефектов, толщина и сплошность оксидных оболочек на поверхности частиц.

4. Точки перегиба графиков роста толщины боридного слоя при ХТО частиц из стали и для более дисперсных частиц обнаруживаются при меньших временных интервалах, чем для частиц из чугуна и соответственно большей дисперсности. Временной интервал, разделяющий стадии начальной и интенсивной диффузии, соответствует периоду, в течение которого протекает процесс графитизации.

5. На интенсивность диффузии влияет также химический состав легируемого материала (присутствие легирующих элементов замедляет процесс), что подтверждается различным наклоном графиков роста толщины боридного слоя к осью (рисунок 3).

Для более полного изучения происходящих в частицах чугуна процессов проводили отжиг порошка в температурно-временных условиях, идентичных режимам борирования. Обобщенный анализ структуры подвергнутых отжигу и борированных частиц позволил описать протекающие процессы структурообразования.

В исходных частицах стали, благодаря их неравновесной структуре, наличию дефектов и оксидной оболочки, на начальной стадии ХТО происходит ускоренная диффузия бора и образуется однофазный боридный слой (Fe_2B). При температуре борирования ($900\text{ }^\circ\text{C}$) мартенсит превращается в аустенит. В результате диффузии углерода к центру частицы, в подборидном слое образуется область пересыщенного аустенита (при охлаждении структура ядра становится ферритно-перлитной). С увеличением времени диффузионного легирования боридный слой становится двухфазным ($\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$), пересыщенный аустенит занимает весь объем ядра (при охлаждении структура ядра преимущественно перлитная, рисунок 4, а).

В частицах чугуна, как и в стальных, на начальном этапе ХТО происходит ускоренная диффузия, обусловленная неравновесной структурой, дефектами, наличием оксидной оболочки. При нагреве до $900\text{ }^\circ\text{C}$ структура частицы представляет собой аустенит с включениями избыточного цементита, образуется однофазный боридный слой. Со временем избыточный цементит постепенно растворяется, в подборидном слое образуется область пересыщенного аустенита, диффузия вакансий приводит к образованию пор, которые играют роль центров графитизации. Образуется двухфазный слой боридов, протекает процесс перехода связанного углерода в графит (хлопьевидный), аустенит обедняется углеродом и при охлаждении структура ядра становится ферритно-перлитной с включениями графита. Графитные включения остаются в растущем боридном

слое. На последней стадии, исчезает тормозящее диффузию бора влияние углерода, возрастает интенсивность роста боридного слоя.

На основании проведенных исследований разработан технологический процесс получения композиционных самофлюсующихся порошков из отходов производства дробы (ТП 04–08) и технические условия для этих порошков (ТУ ВУ 100354447.078), содержащих 3,4–13,4 масс.% бора, отличающихся от промышленно производимых аналогов на основе железа более низкой стоимостью (в 2–8 раз) и по свойствам получаемых покрытий не уступающие им.

В ходе исследований выявлена возможность прогнозирования толщины боридной оболочки после химико-термической обработки частиц стали и чугуна в зависимости от их дисперсности, предложены полуэмпирический способ расчета данного параметра. Для этого введен промежуточный параметр, характеризующий толщину боридного слоя независимо от удельной поверхности частиц – приведенная толщина боридного слоя (h_{Π}). Способ основан на различном представлении объема боридов: в виде полый сферы (характерно для микрочастиц, рисунок 6, а) и в виде цилиндра (характерно для макрообъектов, рисунок 6, б).

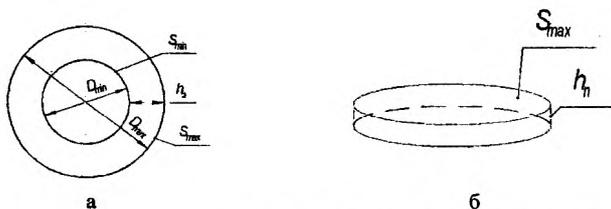


Рисунок 6 – Варианты представления объема боридов для микрочастиц (а) и для макрообъектов (б)

Из уравнений объемов полый сферы и цилиндра получено выражение для расчета h_s и h_{Π} :

$$h_{\Pi} = \frac{1}{6D_{\max}^2} h_s^3 - \frac{1}{2D_{\max}} h_s^2 + \frac{1}{2} h_s, \quad (1)$$

из которого

$$h_s = D + \sqrt[3]{6D^2 h_{\Pi} k - D^3}, \quad (2)$$

где h_s – экспериментальная толщина боридного слоя (искомый параметр для порошка заданной фракции); h_{Π} – приведенная толщина боридного слоя, полу-

ченная в результате обработки экспериментальных данных (базовая фракция); D – средний диаметр борлируемых частиц заданной фракции.

Для зависимостей приведенной толщины боридного слоя на частицах разных фракций сохраняются как различия в интенсивности борирования, так и обнаруженные точки перегиба, в которых изменяется скорость диффузии бора. Поскольку, несмотря на приведение по площади, значения $h_{\text{п}}$ отличаются в 1,2–2,1 раза, причем, в среднем с увеличением размера частиц в 2 раза происходит возрастание искомого параметра в 1,25–1,9 раза, при расчетах необходимо учитывать и данный коэффициент. Тогда, проведя для конкретного материала (например, порошка определенного размера) одну серию экспериментов для построения зависимости роста толщины диффузионного слоя, с достаточно высокой точностью можно будет прогнозировать толщину этого слоя для порошка другой фракции из такого же материала.

В пятой главе показана возможность получения износостойких покрытий высокого качества методом магнитно-электрического упрочнения из композиционных самофлюсующихся диффузионно-легированных бором порошков-отходов производства стальной и чугуновой дроби. Приведены результаты исследования таких покрытий из порошков дисперсностью 200–315 и 400–630 мкм и их практического применения на предприятиях Республики Беларусь. Осуществлено внедрение разработанных покрытий.

Для покрытий, полученных методом МЭУ, характерно возрастание степени рельефности поверхности при увеличении фракции наносимого порошка. Покрытия отличаются высокой степенью сплошности и отсутствием дефектов на границе раздела покрытие – подложка. В материале подложки возле границы раздела присутствует переходная зона, имеющая структуру мелкозернистого мартенсита. Структура покрытий гетерогенная и, в зависимости от количества бора, содержащегося в наносимом самофлюсующемся порошке, может быть доэвтектической (с дендритными включениями избыточной железной фазы) или заэвтектическими (с микродисперсными включениями избыточных боридов, рисунок 7), причем, эвтектическая матрица состоит из феррита, цементита и бориды железа Fe_2B . Эвтектическая структура покрытия формируется при содержании в СДПП из стальной и чугуновой дроби бора в количестве $9 \pm 0,5$ и $12 \pm 0,5$ масс.% соответственно. Во всех полученных образцах покрытий присутствуют фазы: $\alpha\text{-Fe}$, мартенсит, цементит, бориды железа FeB и Fe_2B . Полученные слои различаются в основном количественным их содержанием.

Зависимость износостойкости в условиях трения скольжения без смазки от содержания бора в наплавляемом материале и структуры покрытия носит экстремальный характер: максимальной износостойкостью отличаются покрытия с

эвтектической структурой ($9 \pm 0,5$ масс.% бора в стальном и $12 \pm 0,5$ масс.% бора в чугунном порошке). Причем, график для покрытий из стального борированного порошка смещен в сторону меньшего содержания бора относительно графика для покрытий из чугуна.

Показатель относительной износостойкости (эталон сталь 45, 45–50 HRC) в данном случае составляет 8 и 7,3 для покрытий из порошков стали и чугуна соответственно. В условиях абразивного изнашивания износостойкость покрытий возрастает с увеличением содержания бора в наплавляемом стальном (чугунном) порошке, поэтому максимальной относительной износостойкостью, равной 6,2 (6,6), характеризуются заэвтектические покрытия.



Рисунок 7 – Структура гетерогенного заэвтектического магнитно-электрического покрытия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате исследования отходов стальной и чугунной дробы установлено, что эти материалы характеризуются высоким показателем фактора формы (сталь – 0,86, чугун – 0,62) и хорошей текучестью, зависящими от дисперсности частиц (с увеличением дисперсности возрастает текучесть и снижается показатель фактора формы); количеством порошка с размером частиц от 160 до 630 мкм, составляющим 98 и 74 % от общего количества для стальной и чугунной дробы соответственно; высокой степенью неравновесности структуры (мелкоигольчатый мартенсит и доэвтектический белый чугун) и дефектностью, обусловленными технологией получения; наличием оксидной оболочки (толщиной от 3 до 26 мкм и от 7 до 67 мкм для стальной и чугунной дробы соответственно), состоящей из зерен оксида железа FeO , разделенных силикооксидом железа Fe_2SiO_4 . Сочетание таких свойств ускоряет диффузию бора на начальной стадии ХТО и определяет эффективность применения исследованных отходов для получения самофлюсующихся композиционных порошков и магнитно-электрических покрытий из них [2, 3, 5, 6, 11].

2. Получены новые самофлюсующиеся диффузионно-легированные бором порошки, содержащие от 4,4 до 13,4 масс.% бора, частицы которых состоят из ядер исходных материалов – отходов производства дробы и боридных оболо-

чек, типа Fe_xB_y (патент РБ №11033 и заявка на патент № а 20090167 от 6.02.2009, ТП 04–08, ТУ ВУ 100354447.078). Установлено, что одной из причин снижения текучести (на 10–15 %) и насыпной плотности (на 12–30 % в зависимости от толщины боридного слоя), служит формирование многочисленных призматических образований боридов неправильной формы размерами 2–5 мкм на поверхности частиц [14, 15].

3. Установлены зависимости толщины боридного слоя от температуры и времени ХТО, являющиеся трехстадийными, представленные во взаимосвязи с составом и дисперсностью порошков и зависящие от морфологии и количества дефектов – для начальной стадии; содержания углерода – для умеренной стадии; процесса формирования зоны, насыщенной вакансиями, и отсутствием связанного углерода – для стадии аномальной диффузии. Впервые обнаружен эффект формирования диффузионной пористости (эффект Френкеля) в частицах чугуна. Выявлен механизм структурообразования при диффузионном борировании, в том числе графитизации в частицах чугуна, заключающейся в диффузии атомов углерода и концентрировании их в центрах графитизации, которыми служат скопления вакансий [2, 3, 4, 5, 6, 13, 11, 8, 10].

4. Предложены способ и полуэмпирическое уравнение для расчета экспериментальных значений толщины боридного слоя $h_{\text{э}}$, основанные на введении величины приведенной толщины боридного слоя $h_{\text{п}}$, учитывающей площадь борлируемой поверхности частиц, что позволяет сравнивать искомые параметры для систем различной дисперсности и прогнозировать содержание бора в порошке [4].

5. Магнитно-электрические покрытия, полученные из новых самофлюсующихся порошков на основе стальной и чугунной дроби характеризуются гетерогенной структурой. Установлено влияние содержания бора (масс.%) в наносимых порошках на фазовый состав, тип структуры покрытия, а также его износостойкость: при заданных технологических параметрах нанесения покрытия из стального (чугунного) борированного порошка с содержанием бора до $9 \pm 0,5$ ($12 \pm 0,5$) масс.% формируется доэвтектическая структура слоя с избыточными включениями железной фазы, из порошка с содержанием бора $9 \pm 0,5$ ($12 \pm 0,5$) масс.% – эвтектическая, а из материала, содержащего более $9 \pm 0,5$ ($12 \pm 0,5$) масс.% бора – заэвтектическая с избыточными боридными включениями. Максимальной относительной износостойкостью в условиях трения скольжения без смазки (8 – из стального, 7,3 – из чугунного порошка) характеризуются эвтектические покрытия, а в условиях абразивного изнашивания максимальной относительной износостойкостью (6,2 – из стального, 6,6 – из чугунного порошка) характеризуются заэвтектические покрытия [1, 2, 6, 12, 9, 10].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Организацию производства самофлюсующихся порошков из отходов производства дробы, отличающихся от промышленных аналогов меньшей стоимостью (в 2–8 раз), и содержащих 4,4–13,4 бора, масс.%, можно рекомендовать для предприятий Республики Беларусь, осуществляющих выпуск дробы, например, РУП «МАЗ» и ОАО «ММЗ».

Метод магнитно-электрического упрочнения деталей машин с применением разработанных порошков использован на следующих предприятиях:

- РУП «БМЗ» - восстановлена опытная партия зажимных фланцев, получен экономический эффект 7,644 млн.руб;
- ОАО «Бобруйскагроماش»: проводятся промышленные испытания ножей для измельчения соломы;
- ОАО «Райагросервис» (г. Гомель): в стадии промышленных испытаний находятся лемех плуга и зуб бороны;
- фирма Vex.Engineering (Республика Корея): на металлургическом производстве проводятся испытания восстановленных боковых пластин стана горячей прокатки.

На РУП «МЗШ» разработан техпроцесс наплавки износостойкого сплава ПЛП.01.030У «О1» представляющего собой самофлюсующийся композиционный порошок на основе отходов чугуновой дробы.

Магнитно-электрические покрытия из самофлюсующихся композиционных порошков позволяют повысить износостойкость упрочненных деталей в 3–4,5 раза и могут применяться в области упрочнения деталей сельскохозяйственных машин, в частности, почвообрабатывающих, работающих в условиях абразивного изнашивания, а также деталей металлургического оборудования.

Осуществлено внедрение результатов исследований, выполненных в диссертации, в учебный процесс по дисциплине «Теория и практика нанесения покрытий» (для студентов специальности 1–42 01 02 «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия») и по дисциплине «Упрочнение и восстановление деталей машин» (для студентов специальности 1–36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства») в качестве лабораторной работы «Диффузионно-легированные порошки из вторичных отходов для восстановительно-упрочняющих технологий».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках

1. Петришин, Г.В. Технологические режимы магнитно-электрического упрочнения с использованием диффузионно-легированных порошков / Г.В. Петришин, Ф.И. Пантелеенко, Е.Ф. Пантелеенко, А.Ф. Пантелеенко // Вестник Брестского гос.ун-та. – 2005. – № 4. – С. 69–75.
2. Петришин, Г.В. Диффузионно-легированный стальной порошок для магнитно-электрического упрочнения / Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелеенко, А.Ф. Пантелеенко // Упрочняющие технологии и покрытия. 2006. – № 4. – С. 26–31.
3. Пантелеенко, Ф.И. Самофлосующиеся порошки для восстановительно-упрочняющих технологий / Ф.И. Пантелеенко, Е.Ф. Пантелеенко // Порошковая металлургия. Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – 2006. – Вып. 29. – С. 122–128.
4. Пантелеенко, Е.Ф. Особенности диффузионного легирования и расчет толщины боридного слоя полидисперсных систем частиц чугуна / Е.Ф. Пантелеенко // Вестник ГГТУ им.П.О. Сухого. – 2009. – № 1. – С. 3–9.
5. Пантелеенко, Е.Ф. Исследование механизмов структурообразования в процессе диффузионного борирования отходов производства стальной и чугунной дроби / Е.Ф. Пантелеенко // Вестник БНТУ. – 2009. – № 2. – С. 25–30.

Статьи в научных сборниках и материалах конференций

6. Пантелеенко, Е.Ф. Морфология и свойства диффузионно-легированных порошков для магнитно-электрического упрочнения / Е.Ф. Пантелеенко // Вестник БрГТУ. – 2007. – № 4. – С.29 – 33.
7. Пантелеенко, Е.Ф. Наплавленные износостойкие покрытия из борированных порошков на железной основе / Е.Ф. Пантелеенко, Г.В. Петришин, П.С. Гурченко // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития: монография / В.И. Кравченко, А.А. Дудук, В.А. Струк, Г.А. Костюкович, О.В. Авдейчик, А.И. Гордиенко, М.Е. Кипнис, Е.В. Овчинников. – Гродно, 2008. – С.334–340.
8. Пантелеенко, Е.Ф. Порошковые материалы для магнитно-электрического упрочнения и гетерогенные покрытия из них / Е.Ф. Пантелеенко, Г.В. Петришин, П.С. Гурченко // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: материалы X Международной научно-практической конфе-

ренции, апрель 2008 г. – СПб.: Издательство Политехнического университета. – Ч. 1. – С.267–271.

9. Пантелеенко, Ф.И. Триботехнические свойства магнитно-электрических покрытий из самофлюсующихся порошков на основе чугунной дробы / Ф.И. Пантелеенко, Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелеенко // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы III Международной научно-технической конференции: в 4 кн. г. Минск, 15 – 17 октября 2008 г./ ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик [и др.]. – Минск, 2008. – Кн. 2. – С.187–193.

10. Пантелеенко, Е.Ф. Использование отходов производства дробы для получения износостойких покрытий / Е.Ф. Пантелеенко, П.С. Гурченко // Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении: сборник трудов Международной научно-технической конференции, г.Минск, 19–21 ноября 2008 г./ Мин-во пром.Респ. Беларусь, МАЗ, БНТУ, НАН Беларуси; редкол.: П.С. Гурченко [и др.]. – Минск, 2008. – С.74–78.

Тезисы докладов

11.Fedor I. Panteleyenکو. Material science of powders for restoringly-strengthening technologies / Fedor I. Panteleyenکو, Natalia A. Rudenskaya, Katerina F. Panteleyenکو.//CO-MAT-TECH 2006: materials of 14th International Scientific Conference, Slovak University of Technology, Trnava, 19-20 oktober 2006./ Slovak University of Technology:[chair: Jozef Sablik et.all.] – Trnava, 2006. – P. 149.

12.Fedor I. Panteleyenکو Wear resistant heterogeneous boron - containing coatings deposited by the high – energy processes / Fedor I. Panteleyenکو, Katerina F. Panteleyenکو. // Abstracts of Conference of industrial tribology 2006, Bangalore, India, 29 nov. – 1 dec. 2006/ Indian Institute of Science – Bangalore, 2006. – P. 42.

13.Пантелеенко, Е.Ф. Особенности строения борированных чугунных порошков для восстановительно-упрочняющих технологий/ Е.Ф. Пантелеенко// Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сборник научных трудов VI Международной научно-технической конференции, ПГУ, Новополоцк, 24–26 апреля 2007 г./ Полоцкий государственный университет; под общ.ред. П.А. Вятзя, С.А. Астапчика. – Новополоцк, 2007. – С.63–65.

Изобретения

14. Порошок для магнитно-электрического упрочнения: пат. 11033 Респ.Беларусь МПК (2006) В 23К 35/30 / Ф.И. Пантелеенко, П.С. Гурченко,

М.И. Демин, В.А. Люцко, Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелесенко, В.И. Сороговец, А.Ф.Пантелеенко; заявитель УО «Полоцкий государственный университет». – № а20050945; заявл.03.10.2005; опубл. 30.06.2007.

15. Самофлосующийся порошок для износостойких покрытий: заявка а20090167 Республика Беларусь: МПК⁸ В 23К 35/30 / Ф.И. Пантелеенко, Г.В. Петришин, Е.Ф. Пантелеенко, М.П. Кульгейко, В.М. Константинов; заявл. 6.02.2009. – 6 с.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Pantel' or similar, written in a cursive style.

РЭЗЮМЕ

Панцялеенка Кацярына Федараўна

Самафлюсуемыя кампазіцыйныя парашкі з барыраваных адыходаў вытворчасці сталёнага і чыгуннага шроту для магнітна-электрычнага ўмацавання і аднаўлення дэталю машыны

Ключавыя словы: адыходы вытворчасці шроту, дыфузійнае барыраванне, кампазіцыйныя самафлосуемыя парашкі, барыдны слой, структура, магнітна-электрычнае ўмацаванне, зносатрывальныя пакрыцці.

Мэта працы: стварэнне кампазіцыйных самафлосуемых парашкоў барыраваннем адыходаў сталёнага і чыгуннага шроту для магнітна-электрычнага ўмацавання і аднаўлення дэталю машыны.

Метады даследавання: мікрадзюраметрычны, металаграфічны, рэнтгенаўскі фазавы, мікравантгенаспектральны аналізы, сканіруючая электронная мікраскапія, макрааналіз, выпрабаванне на зносатрываласць, вызначэнне тэхналагічных уласцівасцей парашкоў.

Атрыманыя вынікі: даследаваны ўласцівасці, фазавы склад і структура адыходаў вытворчасці сталёнага (РУП «МАЗ») і чыгуннага (ААТ «ММЗ») шроту, усталявана мэтазгоднасць іх ужывання ў якасці сыравіны для атрымання самафлосуемых парашкоў метадам дыфузійнага легіравання, вызначаны асаблівасці структуры, якія садзейнічаюць павелічэнню хуткасці дыфузіі бору на пачатковай стадыі апрацоўкі. Пабудаваны залежнасці таўшчыні барыднага слоя ад тэмпературы і часу барыравання для фракцый 100–630 мкм, якія адрозніваюцца ад класічных трохстадыйнасцю. Вывучаны і апісаны механізм працэсаў, якія праходзяць у час барыравання вывучаемых парашкоў, прапанаваны ва ўзаемасувязі з інтэнсіўнасцю росту барыднага слоя. Упершыню пры барыраванні чыгунных часцінак выяўлены эффект Фрэнкеля. Прапанаваны спосаб і паўэмпірычнае ўраўненне для разліку таўшчыні барыднага слоя ў залежнасці ад параметраў барыравання, якія ўлічваюць памер часцінак. Створаны новыя кампазіцыйныя самафлосуемыя парашкі, якія утрымліваюць ад 4,4 да 13,4 мас.% бору, адрозніваюцца ад прамысловых аналагаў больш нізкім (у 2–8 разоў) коштам і не саступаюць ім па ўласцівасцях, а таксама зносатрывальныя магнітна-электрычныя пакрыцці з іх, са структурай, якая залежыць ад утрымання бору ў парашку, які наносыць.

Ступень выкарыстання: распрацаваны тэхналагічныя умовы (ТУ ВУ 100354447.078) і тэхналагічны працэс (ТП 04-08 ад 17.12.2008) для доследнай партыі самафлосуемых парашкоў. Выкарыстанне распрацаваных парашкоў для магнітна-электрычнага ўмацавання дэталю на прадпрыемствах Рэспублікі Беларусь (РУП «БМЗ», ААТ «Бабруйскаграмаш», ААТ «Райаграсэрвіс» (г. Гомель)) дазволіла павялічыць іх зносатрываласць у 3–4,5 разы. Атрыманы эканамічны эффект у памеры 7,644 млн.руб.

Галіна выкарыстання: умацаванне дэталю сельскагаспадарчых машын, якія працуюць ва ўмовах абразіўнага зношвання, а таксама дэталю металургічнага абсталявання.

РЕЗЮМЕ

Пантелесенко Екатерина Федоровна

Самофлюсующиеся композиционные порошки из борированных отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин

Ключевые слова: отходы производства дроби, диффузионное борирование, композиционные самофлюсующиеся порошки, боридный слой, структура, магнитно-электрическое упрочнение, износостойкие покрытия.

Цель работы: создание композиционных самофлюсующихся порошков борированием отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин.

Методы исследования: микродюрOMETрический, металлографический, рентгеновский фазовый, микрорентгеноструктурный анализы, сканирующая электронная микроскопия, макроанализ, испытание на износостойкость, определение технологических свойств порошков.

Полученные результаты: исследованы свойства, фазовый состав и структура отходов производства стальной (РУП «МАЗ») и чугунной (ОАО «ММЗ») дроби, установлена целесообразность их использования в качестве сырья для получения самофлюсующихся порошков методом диффузионного легирования, выявлены особенности структуры, способствующие ускорению диффузии бора на начальной стадии обработки. Построены зависимости толщины боридного слоя от температуры и времени борирования для фракций 100–630 мкм, отличающиеся от классических трехстадийностью. Изучен и описан механизм процессов, протекающих при борировании исследуемых порошков, представленный во взаимосвязи с интенсивностью роста боридного слоя. Впервые обнаружен при борировании чугунных частиц эффект Френкеля. Предложены способ и полуэмпирическое уравнение для расчета толщины боридного слоя в зависимости от параметров борирования, учитывающие размер частиц. Созданы новые композиционные самофлюсующиеся порошки, содержащие от 4,4 до 13,4 масс.% бора, отличающиеся от промышленных аналогов более низкой (в 2–8 раз) стоимостью и не уступающие им по свойствам, а также износостойкие магнитно-электрические покрытия из них, со структурой, зависящей от содержания бора в наносимом порошке.

Степень использования: разработаны технические условия (ТУ ВУ 100354447.078) и технологический процесс (ТП 04–08 от 17.12.2008) для опытной партии самофлюсующихся порошков. Использование разработанных порошков для магнитно-электрического упрочнения деталей на предприятиях Республики Беларусь (РУП «БМЗ», ОАО «Бобруйскгроماش», ОАО Райагросервис (г. Гомель)) позволило повысить их износостойкость в 3–4,5 раза. Получен экономический эффект в размере 7,644 млн. руб.

Область применения: упрочнение деталей сельскохозяйственных машин, работающих в условиях абразивного изнашивания, а также деталей металлургического оборудования.

SUMMARY

Panteleyenko Ekateryna Fedorovna

Self-fluxing composition powders made of boronized steel and cast iron fraction waste products for magnet-electrical strengthening and restoring of machine parts

Key words: fraction production waste products, diffusion alloying, composite self-fluxing powders, boride layer, structure, magnet-electrical strengthening, wear resistant coatings.

Aim of the paper: to create composite self-fluxing powders via steel and cast iron waste products boronizing for machine parts magnet-electrical restoring and strengthening.

Investigation methods and relevant equipment: microhardness, metallographic, X-ray phase, X-ray diffraction analysis, scanning electronic microscopy, macroanalysis, wear resistance test, powders processing characteristics testing.

The results obtained and their novelty: steel and cast iron fraction production waste products properties, phase composition and structure are investigated, the utility of use of the abovementioned materials as an initial products for self-fluxing powders production via diffusion alloying was found out. The specificities of particles structure which result in boron diffusion velocity increase at the first stage of treatment are investigated. Were determined 3-staged relations which differ from classical between boride layer thickness and temperature or time of boronizing for particles of size 100–630 mkm. The mechanism of processes which take place during boronizing in correlation with borides layer growth velocity is investigated and described. First was found out Frenkel effect on cast iron particles. Suggested the way and semiempirical equation for boride layer thickness estimation which takes into account particle size. The new composite self-fluxing powders which contain 4,4–13,4 mass.% boron and have the same properties like manufacturing analogues but cheaper 2–8 times, and new wear resistant magnet-electrical coatings made of this powders are developed. The structure of coatings created depends on boron content in powders deposited.

The application extent: specification (TV BY 100354447.078) and manufacturing process (ТП 04–08) for pilot lot of self-fluxing powders are developed. The use of powders developed for parts magnet-electrical strengthening at the enterprises of the Republic of Belarus (ПУП «БМЗ», ОАО «Бобруйскагромаш», ОАО «Райагросервис» (Gomel)) allows to increase wear resistance in 3–4,5 times. The total saving rate is 7,644 millions BR.

Application field: strengthening of agricultural machinery parts which work under conditions of abrasive wear, and the parts of metallurgical equipment.

Научное издание

ПАНТЕЛЕЕНКО Екатерина Федоровна

**САМОФЛЮСУЮЩИЕСЯ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОРОШКИ
ИЗ БОРИРОВАННЫХ ОТХОДОВ СТАЛЬНОЙ И ЧУГУННОЙ
ДРОБИ ДЛЯ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ
И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности

05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

Подписано в печать 14.05.2009.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,33. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 60. Заказ 555.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ №02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65, 220013, Минск.

