

электродов Т590: при абразивном износе в 1,5–2 раза, в ударно-абразивном износе в 3–4 раза.

Литература

1. **Хрущов, М.М.** Износостойкость и структура твердых наплавов / М.М. Хрущов. – М.: Машиностроение, 1971. – 96 с.
2. **Ворошнин, Л.Г.** Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. – 133 с.
3. **Лахтин, Ю.М.** Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, Б.Н. Арзамасов. – М.: Metallургия, 1985. – 256 с.
4. **Миркин, Л.И.** Рентгеноструктурный анализ / Л.И. Миркин. – М.: Наука, 1976. – 327 с.

УДК 621.762

В.Г. ЩЕРБАКОВ (БНТУ)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАПЛАВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение. Создание новых наплавочных материалов и защитных покрытий с заданными технологическими и эксплуатационными свойствами является одной из приоритетных задач современного материаловедения. Разработкам в данной области посвящено большое количество работ [1–10]. Известно, что в Республике Беларусь ежегодно образуется большое количество отходов в виде стружки, крошки, проволоки и дисперсных порошков. Часть данных отходов успешно используется в виде вторичного сырья, но отходы дробы, используемой в металлургическом производстве для дробеструйной очистки в дробеметных аппаратах, отправляют на переплавку. Данное решение нецелесообразно, так как при переплавке происходит выгорание порошков. В свою очередь, данные отходы являются ос-

новой для использования их при производстве диффузионно-легированных наплавочных материалов.

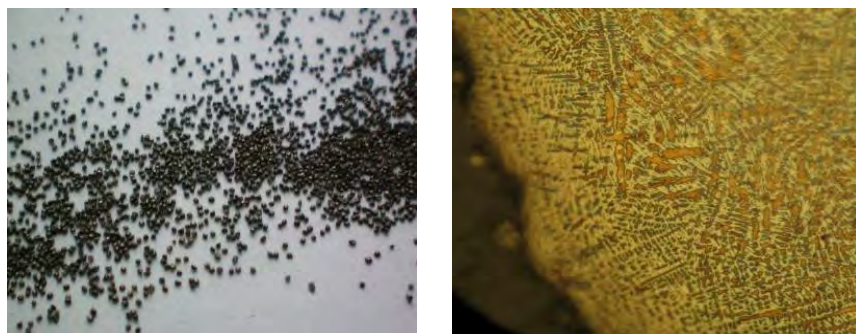
Цель данной работы состояла в следующем: исследование исходных материалов, диффузионное легирование и получение наплавленных покрытий с необходимыми эксплуатационными параметрами.

Материалы и методики исследований. Был проведен анализ отходов чугунной литой дроби ДЧЛ 08 ГОСТ 11964-81. Использовались отходы дроби после дробеструйной обработки деталей, подвергнутых термической обработке на РУП «Минский завод шестерен». Изучение гранулометрического состава проводили ситовым методом по ГОСТ 18318-73. Шлифы частиц и покрытий готовили в соответствии с требованиями ГОСТ 9.302-88. Морфологию и структуру порошков изучали и фотографировали с помощью оптического металлографического микроскопа МИ-1 и фотокамеры Canon PowerShot A620. Микродорометрические исследования проводили на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999-75.

Диффузионное легирование осуществляли на установке для диффузионного легирования. Насыщаемым материалом являлась дробь ДЧЛ 08 с размерами фракции 0,4–0,5 мм. Индукционная наплавка проводилась на высокочастотной установке типа ВЧН-63/0,44-ЗП-Л01 мощностью 63 кВт и частотой 440 кГц на РУП «Минский завод шестерен», применительно к плужным лемехам и накладкам.

Исследование диффузионного легирования и индукционной наплавки отходов чугунной дроби. Химический состав дроби следующий: 2,9–3,5 % С, 0,40–0,70 % Mn, 1,20–2,00 % Si, $\leq 0,12$ % S и P. Исследование гранулометрического состава показало, что содержание годной фракции для индукционной наплавки (200–630 мкм) составляет порядка 65 %. Исходный вид и микроструктура отходов чугунной дроби ДЧЛ 08 представлена на рисунке 1. Исходная микроструктура дроби представляет собой мелкодисперсный ледебурит с мелкими включениями сорбита и тростита отпуска, а также карбидную фазу, входящую в состав эвтектики. Распределение микротвердости по сечению порошинки равномерное и составляет 7730–8880 МПа. Проведенные ранее исследования [1–4] позволили выбрать оптимальные параметры для проведения диффузионного легирования чугунной дроби ДЧЛ 08.

Данные исследования позволили разработать конструкцию промышленной установки для производства диффузионно-легированных наплавочных порошков [11].



a – внешний вид; *б* – микроструктура, $\times 500$

Рисунок 1 – Отходы дробы ДЧЛ 08

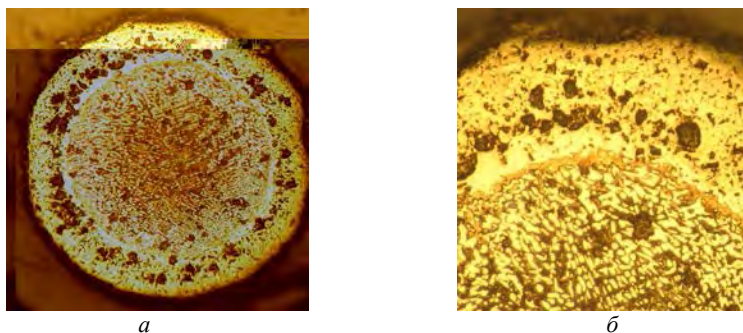
На установке были проведены различные режимы диффузионного легирования. Исследование режима диффузионного легирования с одним контейнером показало что, в порошке присутствует явно выраженный боридный слой толщиной 40–80 мкм. Распределение микротвердости по сечению порошка показано в таблице 1. Микроструктура полученного порошка представлена на рисунке 2.

Таблица 1– Микротвердость дробы ДЧЛ 08 с размером фракции 200–630 мкм

Расстояние от центра, мкм	Микротвердость, МПа						
	Центр	50	100	150	200	250	300
ДЧЛ 08 борированная	2860	3070	3415	4120	5100	8450	11450

Анализ микроструктуры выявил что, в боридном слое присутствует графитные включения размером 4–6 мкм. Также присутствует переходная зона, содержащая, предположительно, бороцементит.

Отличий между борированной дроби на РУП «МЗШ» и борированной в контейнере в лаборатории кафедры не найдено.



a – $\times 200$; *b* – $\times 500$

Рисунок 2 – Борированная дробь ДЧЛ 08 размером 200–630 мкм

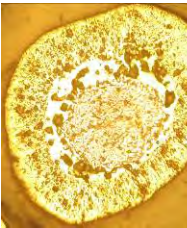
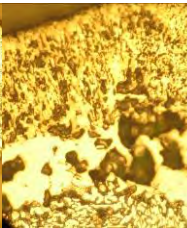

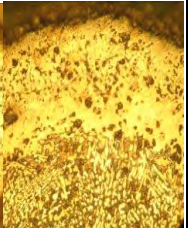
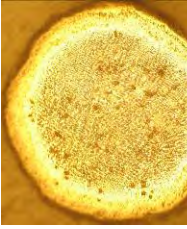
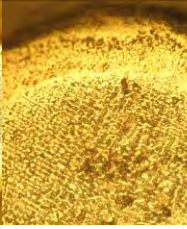

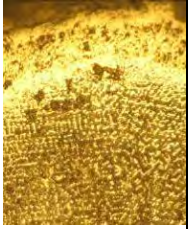
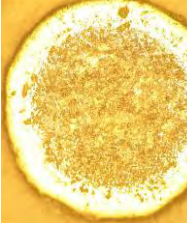
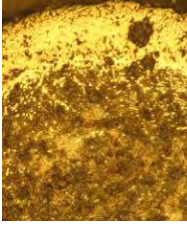

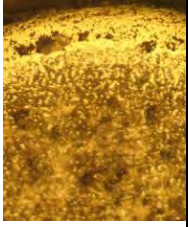
После диффузионного легирования геометрические размеры порошка увеличились и дополнительно проводилось исследование распределения микротвердости по сечению порошка с размерами 200–630 мкм и с размерами более 630 мкм.

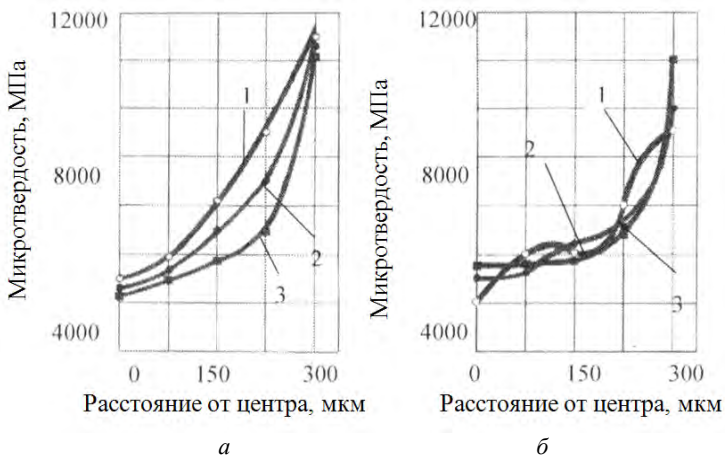
Микроструктура полученных слоев на порошке показана в таблице 2 с учетом гранулометрического размера порошка после просева.

Распределение микротвердости по сечению порошка показано на рисунке 3.

Установлено, что максимальная толщина борированного слоя у диффузионно-легированной дроби из первого контейнера составляет 100–150 мкм, по причине длительности выдержки во время ДЛ. Толщина борированного слоя у дроби из контейнеров № 2 и № 3 составляет 50–80 мкм. Меньшая толщина слоя связана с уменьшением времени обработки и температуры диффузионного легирования.

Таблица 2 – Микроструктуры ДЛ порошков из отходов дробы ДЧЛ 08

Контейнер	Размер фракции порошка, мкм			
	200–630		больше 630	
Увеличение	×200	×500	×200	×500
№ 1				
№ 2				
№ 3				





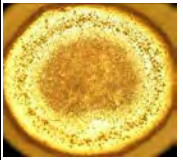

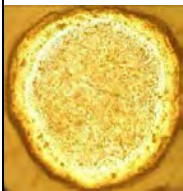
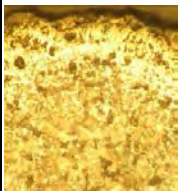

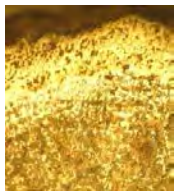
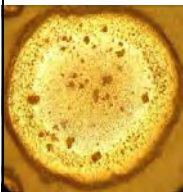
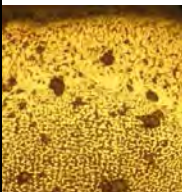
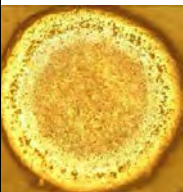

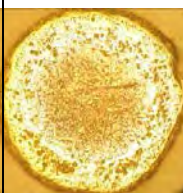

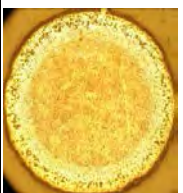
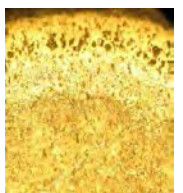
a – размеры частиц 200–630 мкм; *б* – размеры частиц более 630 мкм

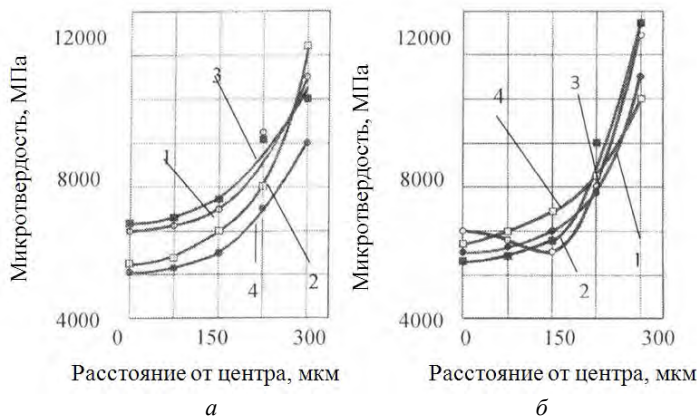
Рисунок 3 – Распределение микротвердости по сечению порошка

При исследовании микротвердости диффузионно-легированной дроби выявлено, что микротвердость дроби, с размерами фракции 200–630 мкм, по сечению выше, чем у дроби с размерами более 630 мкм. Это связано с уменьшением контактных давлений из-за увеличения геометрических размеров дроби и затруднением диффузии бора в центр порошка [6]. Авторы [7–9] считают, что с увеличением геометрических размеров порошка фактическое контактное давление на поверхность уменьшается, а, следовательно, и степень пластической деформации поверхности частиц снижается. Все это приводит к снижению скорости диффузионного легирования.

Исследование третьего режима осуществляли с использованием четырех контейнеров. Микроструктура полученных слоев на порошке показана в таблице 3 также с учетом гранулометрического размера порошка после просева. Распределение микротвердости по сечению порошка приведено на рисунке 4. Максимальная толщина борированного слоя у диффузионно-легированной дроби из первого контейнера и составляет 100–150 мкм, также по причине выдержки контейнера во время ДЛ. Толщина борированного слоя у дроби из контейнеров №№ 2–4 составляет 80–120 мкм. Меньшая толщина связана с уменьшением времени диффузионного легирования.

Таблица 3 – Микроструктуры ДЛ порошков из отходов дробы ДЧЛ 08

Контейнер	Размер фракции порошка, мкм			
	200 – 630		больше 630	
Увеличение	×200	×500	×200	×500
№ 1				
№ 2				
№ 3				
№ 4				

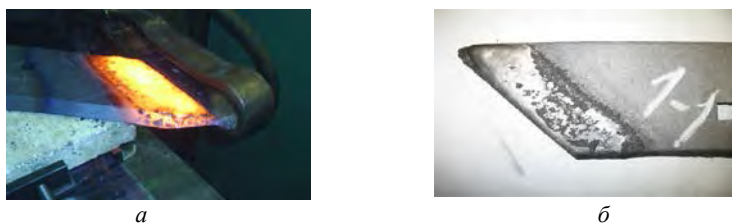


a – размеры частиц 200–630 мкм; *б* – размеры частиц более 630 мкм

Рисунок 4 – Распределение микротвердости по сечению порошка

При исследовании микротвердости диффузионно-легированной дроби установлено, что микротвердость дроби, с размерами фракции 200–630 мкм, по сечению выше, чем у дроби с размерами более 630 мкм. Предположительно, как и в исследовании с тремя контейнерами, это также связано с уменьшением контактных давлений из-за увеличения геометрических размеров дроби и затруднением диффузии бора в центр порошка [6–9].

Совершенствование индукционной наплавки диффузионно-легированных наплавочных материалов. Смеси для наплавки изготавливали на РУП «МЗШ» посредством механического смешивания наплавочного порошка ФБХ-6-2 и диффузионно-легированной в лаборатории кафедры дроби ДЧЛ 08 с плавкой бурой ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) в пропорции 1:1:1. Наплавку осуществляли в индукторе (рисунок 5).



a – наплавка ДЛ порошка на долото; *б* – внешний вид наплавленного слоя

Рисунок 5 – Наплавка ДЛ порошка на РУП «МЗШ»

На рисунке 6–13 представлены микроструктуры, полученные в результате наплавки различных составов.



a – $\times 200$;

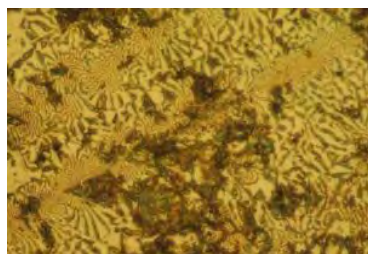


б – $\times 500$

Рисунок 6 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 1

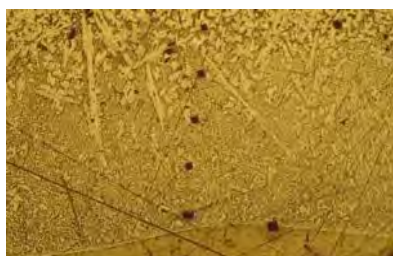


a – $\times 200$;

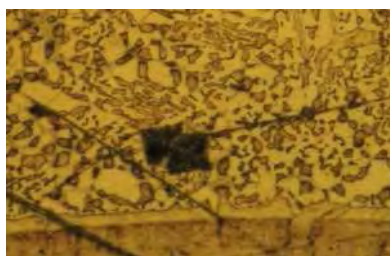


б – $\times 500$

Рисунок 7 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 2

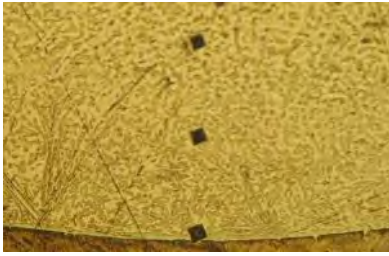


a – $\times 200$;

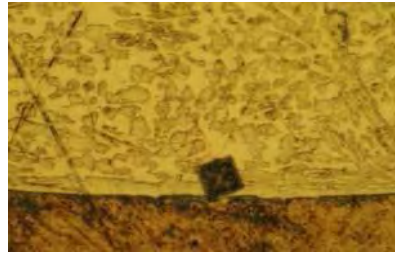


б – $\times 500$

Рисунок 8 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 3

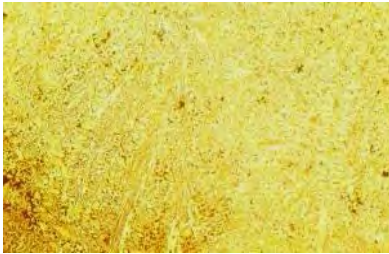


a – $\times 200$;

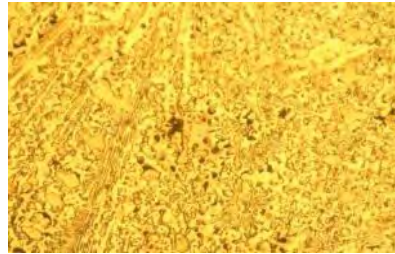


б – $\times 500$

Рисунок 9 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 4

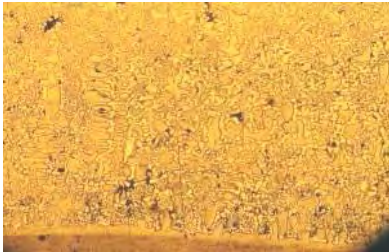


a – $\times 200$;

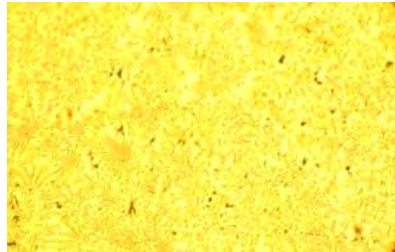


б – $\times 500$

Рисунок 10 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 5

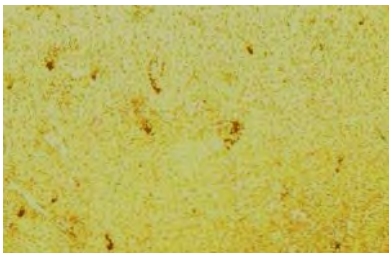


a – $\times 200$;

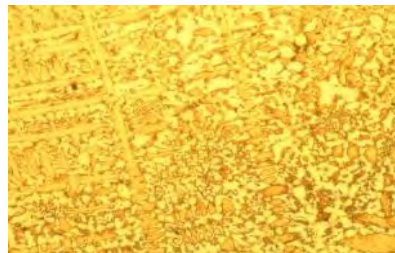


б – $\times 500$

Рисунок 11 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 6



a – $\times 200$;



б – $\times 500$

Рисунок 12 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 7



a – $\times 200$;



б – $\times 500$

Рисунок 13 – Микроструктура наплавленного слоя состава № 8

Наплавленные слои характеризуется доэвтектическим, эвтектическим и заэвтектическим строением. Твердость наплавленных слоев составляет 55–62 HRC. Пористость в слоях не значительная и составляет порядка 3–5 %. У линии сплавления металл имеет четко выраженную дендритную структуру. В верхнем слое наплавленного металла содержатся включения первичных карбидов веерообразной формы. Также между наплавленным металлом и металлической основой обнаружена переходная зона, что свидетельствует о сплавлении основы и слоя.

Микротвердость слоев составляет 7385–9780 МПа, и связана с высокой степенью легированности ее фазовых составляющих [9]. Авторы работ [8–10] считают, что микроструктуры эвтектического типа наиболее соответствуют условиям абразивного изнашивания.

Проведенное исследование установило, что получаемые при использовании диффузионно-легированных отходов чугунной дробы наплавочные покрытия по свойствам соответствуют предъявляемым РУП «Минский завод шестерен» требованиям к изготавливаемым на участке упрочнения рабочим органам почвообрабатывающих машин.

Установлены особенности структуры борированного порошка из чугунной дробы и влияние на него метода ХТО в подвижной порошковой смеси. В частицах ДЧЛ 08 после ХТО происходит процесс графитизации. Показана возможность получения покрытий методом наплавки ТВЧ из разработанного диффузионно-легированного бором порошка отходов дробы ДЧЛ 08.

Некоторые пути снижения технологических свойств диффузионно-легированных наплавочных материалов. Известно, что температура плавления наплавочного порошка для индукционной наплавки составляет порядка 1200 °С, что негативно сказывается на качестве получаемого слоя и подложки, так как высокая температура наплавки способствует выгоранию легирующих элементов в наплавочном порошке, окислению подложки, росту зерна, снижению пластичности и ударной вязкости. При исследовании анализа путей снижения температуры плавления диффузионно-легированных наплавочных материалов [12, 13] установлено, что при предварительном оплавлении порошка в концентрированном тепловом потоке распределение микротвердости по сечению поршинки снижается. Предполагается, что при плавке произошло частичное оплавление боридного слоя в системе Fe–Fe₂B и образование определенного количества эвтектики, что повлекло за собой снижение твердости по краю порошка.

Исходя из анализа поверхности ликвидус части системы Fe–B–C, построенной различными исследователями [9], можно предположить, что оплавление порошка приводит к контактному эвтектическому плавлению и образованию эвтектики, температура плавления которой 1000–1100 °С.

Это в свою очередь приведет к снижению температуры плавления диффузионно-легированного наплавочного порошка, повышению качества наплавляемого слоя и повышению его эксплуатационных свойств.

Заключение. Выполненные исследования показали возможность использования отходов металлургического производства в качестве основы для производства диффузионно-легированных наплавочных материалов для индукционной наплавки.

Проведенные исследования на РУП «МЗШ» показали, что получаемые диффузионно-легированные порошки из отходов чугунной дроби ДЧЛ 08 и наплавленные покрытия по своим свойствам подходят для частичной замены закупаемого заводом наплавочного порошка ПГ-ФБХ-6-2.

Установлено, что оплавление в струе плазмы может являться одним из возможных способов снижения температуры плавления диффузионно-легированных металлических наплавочных порошков для индукционной наплавки, что, в свою очередь, приведет к по-

вышению качества наплавляемого слоя и повышению его эксплуатационных свойств.

Литература

1. Опыт использования отходов металлической дробы для производства наплавочного сплава в условиях ПРУП «МЗШ» / В.М. Константинов [и др.] // Теория и практика энергосберегающих термических процессов в машиностроении: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 19-21 ноября 2008 г. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 107–110.

2. Щербаков, В.Г. Получение износостойких покрытий из диффузионно-легированных отходов чугунной дробы / В.Г. Щербаков // *Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. трудов 7-й МНТК, Новополоцк, 29-30 апреля 2009 г.: в 3 т. / Полоц. гос. ун-т; под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. – Новополоцк, 2009. – Т. 2. – С. 114–117.*

3. Щербаков, В.Г. Опыт производства наплавочного порошка в условиях РУП «МЗШ» / В.Г. Щербаков // *Наука – образованию, производству, экономике: материалы 7-й МНТК, Минск: в 3 т. – Минск: БНТУ, 2009. – Т. 1. – С. 256–257.*

4. Пантелеенко, Е.Ф. Исследование диффузионно-легированных отходов стальной и чугунной дробы для получения защитных покрытий / Е.Ф. Пантелеенко, В.Г. Щербаков // *Литье и металлургия. – 2009. – № 1. – С. 176–181.*

5. Константинов, В.М. Теоретические и технологические аспекты создания экономно-легированных защитных слоев из диффузионно-легированных сплавов / В.М. Константинов // *Вестник БНТУ. – 2007. – № 2. – С. 29–36.*

6. Штемпель, О.П. Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.01 / О.П. Штемпель. – Новополоцк, 2003. – 166 с.

7. Ворошнин, Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов: справ. пособие / Л.Г. Ворошнин. – Минск: Беларусь, 1981. – 205 с.

8. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф.И. Пантелеенко. – Минск: Технопринт, 2001. – 300 с.

9. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ; Новополюцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

10. Ткачев, В.Н. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1970. – 182 с.

11. Вращающаяся электрическая печь для ХТО сыпучего материала / В.М. Константинов, В.Г. Щербаков, О.П. Штемпель; заявитель БНТУ. – Пат. заявка № а-20091415 от 05.10.2009.

12. Щербаков, В.Г. Анализ возможности уменьшения температуры плавления диффузионно-легированных металлических порошков для индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // Новые материалы и технологии их обработки: сб. науч. работ VIII Республ. студ. науч.-техн. конф., Минск, 18-19 апреля 2007 г. / УП «Науч.-произв. парк БНТУ «Метолит». – Минск, 2007. – С. 218.

13. Щербаков, В.Г. Анализ путей снижения температуры плавления диффузионно-легированных наплавочных порошков // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: сб. матер. II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27-28 мая 2010 г. – Минск: БНТУ, 2010. – С. 119–120.

УДК 621.785.539

Л.А. АСТРЕЙКО, канд. техн. наук (БНТУ)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

Защита и сохранение в рабочем состоянии металлического фонда производственных предприятий является важной проблемой, т.к. позволяет провести снижение всех видов затрат: трудовых, материальных и временных на обновление и восстановление различных металлических конструкций и изделий. Покрытия являются одним из самых доступных видов такой защиты. Цинксодержащие покры-