

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫМИ СПЛАВАМИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА

Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Беларусь

*В статье рассмотрены некоторые особенности формирования покрытий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, индукционной наплавкой токами высокой частоты диффузионно-легированными сплавами из металлических отходов производства. Описаны особенности формирования покрытий из сплавов на основе диффузионно-легированной чугушной дроби. Предложен вариант формирования износостойких покрытий, для работы в условиях интенсивного абразивного изнашивания, индукционным нагревом токами высокой частоты из металлических отходов производства, полученных комплексной обработкой, заключающейся в предварительном диффузионном легировании в подвижной порошковой среде и последующей кратковременной обработкой концентрированными источниками энергии.*

*The article reveals the peculiarities of wear resistant coatings formation based on diffusively-alloyed metal discard compounds obtained using induction hard-facing technologies. Some special characteristics of coating formation during the process of diffusively-alloyed iron shot fusing are also described in the article. Proposed a new method of wear resistant coatings formation made of metal discard using the technologies based on complex induction hard-facing process that includes a preliminary diffusive alloying in a fluidized saturating powder mixture and a further short time processing with concentrated energy sources.*

### Введение

За более чем 25 лет авторами работ [1–14] разработано и исследовано новое направление в упрочнении и восстановлении деталей машин, связанное с формированием износостойких покрытий из диффузионно-легированных сплавов на основе металлических отходов производства. Описаны металлургические и технологические особенности получения и применения диффузионно-легированных сплавов из металлических дискретных материалов в виде дроби и стружки при формировании защитных покрытий. Основные работы, связанные с упрочнением и восстановлением деталей машин из диффузионно-легированных сплавов, описывают, в основном, только высокотемпературные методы формирования защитных покрытий (напы-

ление, лазерное оплавление, плазменная наплавка, лазерная наплавка и др.). Только в работах [3, 8] авторы рассмотрели методы и технологии получения защитных покрытий из диффузионно-легированных сплавов индукционной наплавкой токами высокой частоты. Отмечено, что для процессов с высокой удельной тепловой мощностью источника тепла (искровой разряд, электронный луч, непрерывный лазер) обязательным условием сплавления наплавочного сплава с основным металлом является наличие низкобористых фаз  $Fe_2B$  и  $Fe_3(B,C)$ , позволяющих реализовать эффект контактного эвтектического плавления. Известно [15], что при контакте двух кристаллов, имеющих диаграмму состояния с минимумом на линии ликвидуса, в зоне соприкосновения появляется жидкая фаза при температурах, значительно меньших, чем температура плавления контактирующих веществ. Такое плавление кристаллических веществ, нагреваемых в контакте одно с другим, при температуре более низкой, чем температура плавления каждого из веществ, получило название контактного плавления [16–17]. Для процессов нанесения покрытий с низкой удельной тепловой мощностью, обеспечивающих протекание диффузионных процессов (газовое пламя, индукционный нагрев, электроконтактный нагрев), возможно наличие в сплаве высокобористой фазы  $FeB$  и других тугоплавких фаз [3]. Автором ранее [18–21] исследованы вопросы применения металлических отходов производства в качестве основы при получении диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки токами высокой частоты. Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения диффузионно-легированных сплавов при формировании износостойких покрытий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Отмечено, что при формировании износостойких покрытий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, целесообразно использование диффузионно-легированных сплавов на основе металлических отходов взамен дорогостоящих сплавов на никелевой основе. Научно-исследовательских работ, связанных с подробным описанием формирования износостойких покрытий из диффузионно-легированных сплавов индукционной наплавкой токами высокой частоты автором не обнаружено.

**Цель** данной работы заключалась в исследовании и уточнении особенностей сплавления износостойких покрытий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, индукционной наплавкой токами высокой частоты из диффузионно-легированных металлических отходов производства, подвергнутых кратковременной обработке концентрированными источниками энергии.

### Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов были выбраны отходы чугуна дробы ДЧЛ 08 (0,5–0,63 мм), ГОСТ 11964-81. Диффузионное легирование (насыщение бором) проводили во вращающейся электрической печи [20]. Насыщающая смесь — карбид бора с активатором, время обработки 1 ч., температура — 950 °С. Индукционную наплавку диффузионно-легированных сплавов осуществляли на установке ВЧГ2-100/0,066 и на установке [21]. Физическая сущность индукционного нагрева состоит в том, что в электропроводящих телах, помещаемых в переменное электромагнитное поле, индуцируются электродвижущие силы, которые вызывают электрические токи [15]. Контроль температуры нагрева осуществлялся с помощью выносного пирометра «Compac» CTLaser-2МН-CF4. Сепарацию осуществляли ситовым способом. Кратковременную обработку концентрированными источниками энергии диффузионно-легированных сплавов проводили на специальной установке для обработки металлического порошка [22], состоящей из двух графитовых электродов и источника питания. Подготовка образцов для микроанализа проводилась по стандартным методикам. Для выявления микроструктур при травлении использовалась 3 %-ый раствор азотной кислоты в спирте. Микроструктуры покрытий исследовали с помощью металлографических микроскопов МИ-1 и Planar 1М при различных увеличениях. Микродюрметрические исследования проводили на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999-75.

## Результаты исследований и их обсуждение

Сплавление диффузионно-легированных сплавов из отходов чугунной дроби ДЧЛ 08 осуществляли путем предварительного механического смешивания, в различных концентрациях, с ферросплавом ФБХ-6-2 и тетраборатом натрия согласно табл. 1. и последующим нагревом шихтового материала токами высокой частоты.

Табл. 1

Составы смесей для индукционной наплавки

№№ смеси	%-е соотношение компонентов, масс.
1	[50% ДЧЛ 08+50% ФБХ-6-2]+Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
2	[75% ДЧЛ 08+25% ФБХ-6-2]+Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>
3	[100% ДЧЛ 08]+Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>

Температурно-временные характеристики индукционной наплавки токами высокой частоты наплавочных смесей из табл. 1 и микроструктуры полученных износостойких покрытий представлены на рис. 1 и 2.

Микроанализ покрытий из диффузионно-легированных отходов чугунной дроби ДЧЛ 08, полученных индукционной наплавкой, полностью согласуется с полученными авторами [5–6, 15] ранее микроструктурами. В наплавленных покрытиях образуются несколько характерных зон: заэвтектическая, состоящая из первичных карбидов и карбидной эвтектики; эвтектическая — карбидная эвтектика ледебуритного характера и доэвтектическая, характеризующаяся наличием дендритов твердого раствора и карбидной эвтектики, кристаллизующейся в междендритном пространстве. На всех микроструктурах присутствует тонкая полоска твердого раствора толщиной 20–40 мкм, часто с иглами мартенсита, что согласуется с проведенными ранее работами авторов [15].

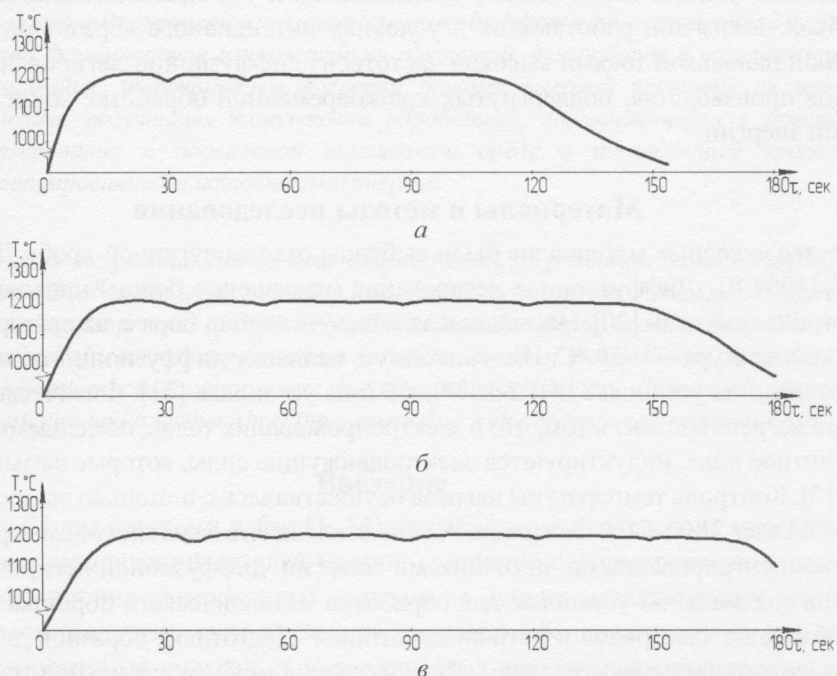


Рис. 1. Температурно-временные параметры формирования износостойких покрытий из наплавочных смесей:  
*a* — №1; *б* — №2; *в* — №3  
 согласно табл. 1



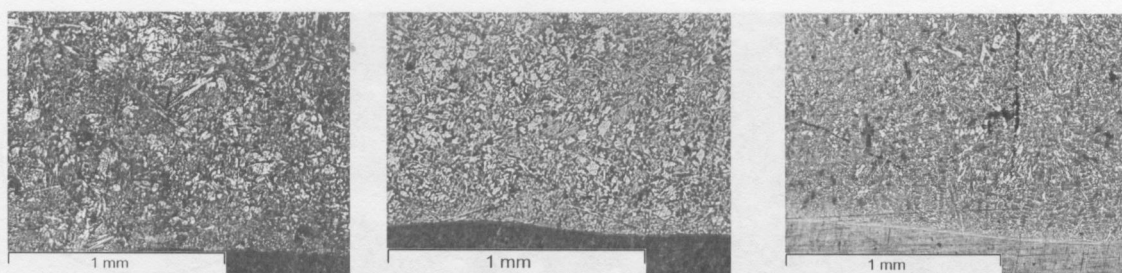


Рис. 2. Микроструктуры износостойких покрытий из наплавочных смесей:  
*a* — №1; *б* — №2; *в* — №3  
 согласно табл. 1,  $\times 50$

Выявлен существенный рост (60–70%) длительности индукционной наплавки с повышением концентрации в шихте диффузионно-легированного сплава из чугунной дроби ДЧЛ 08 (рис. 1, *в*). Рост продолжительности времени формирования износостойкого покрытия с увеличением концентрации диффузионно-легированной чугунной дроби ДЧЛ 08 обуславливается повышением в наплавочной смеси низкобористой и высокобористой фаз, имеющих высокую (1389 °C — Fe<sub>2</sub>B и 1540 °C — FeB [24]) температуру плавления, образующихся на поверхности чугунной дроби вследствие предварительного диффузионного легирования.

Известно [15], что в основе физико-химических процессов на первой стадии сплавления лежит контактно-реактивное плавление. Контактная пара образуется в результате совместной диффузии углерода и бора в тонкий поверхностный слой основного металла. Благодаря малой растворимости бора в железе на поверхности быстро возникает борид железа. Локализация диффузии углерода и бора при низких температурах на границах зерен ускоряет достижение предельных концентраций на межфазовых границах и способствует появлению в этих участках легкоплавкой тройной эвтектики железо–бор–углерод [15].

Продолжительность выдержки во время формирования износостойких покрытий из диффузионно-легированных отходов чугунной дроби ДЧЛ 08 индукционной наплавкой токами высокой частоты определяется оседанием слоя шихты, (она уменьшается почти в 2 раза) [15], что свидетельствует о ее полном расплавлении. Данный показатель считается достаточно надежным для визуального контроля при формировании износостойких покрытий индукционной наплавкой. После кристаллизации сплава формируется монолитное покрытие. Однако при металлографическом анализе износостойкого покрытия из диффузионно-легированной чугунной дроби ДЧЛ 08 обнаружены локальные участки в наплавленном слое с частично сохранившимися частицами диффузионно-легированной дроби (рис. 3).

Наличие в покрытии таких участков свидетельствует о том, что при формировании износостойкого покрытия индукционной наплавкой токами высокой частоты из диффузионно-легированных отходов чугунной дроби ДЧЛ 08 необходимо проводить дополнительную выдержку либо повышать температуру индукционной наплавки выше 1250 °C. Однако, большая длительность металлургического цикла наплавки токами высокой частоты в условиях высоких температур и значительное различие в химическом составе взаимодействующих компонентов создает благоприятную почву для развития диффузионных процессов, как в исходных материалах, так и на взаимных поверхностях раздела между наплавленным сплавом, основным металлом и шлаком, а также увеличение размеров участков с доэвтектической структурой [15], наличие которых в износостойких покрытиях, по мнению авторов [5–6, 15], нежелательно.

Таким образом, возникает необходимость в дополнительной обработке диффузионно-легированного сплава из отходов чугунной дроби ДЧЛ 08, позволяющей при незначительных энергетических затратах сформировать на каждой отдельной самостоятельной частице локальные области с эвтектической структурой, характеризующейся меньшей температурой плавления.

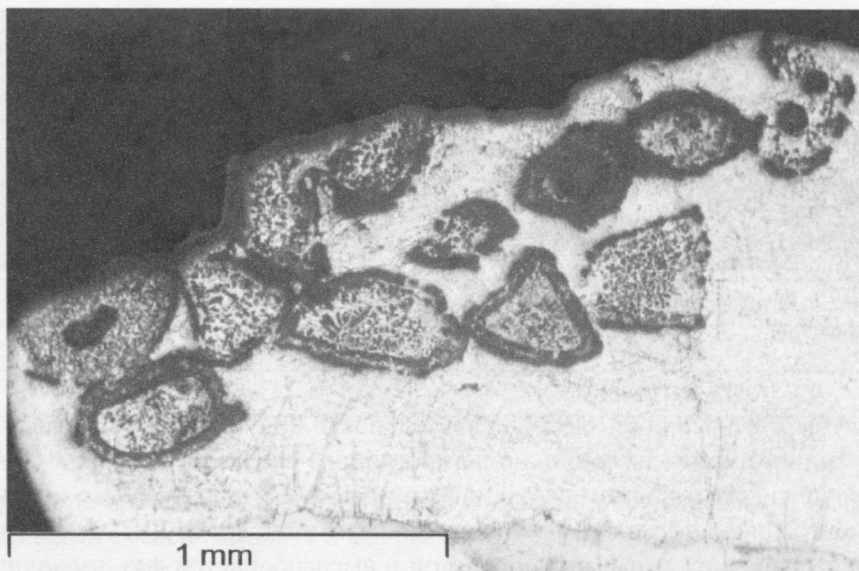


Рис. 3. Микроструктура износостойкого покрытия из предварительно диффузионно-легированной чугунной дроби ДЧЛ 08 с не расплавившимися частицами сплава,  $\times 50$

ния. Наличие локальных областей с меньшей температурой плавления в диффузионно-легированном сплаве приведет к снижению времени сплавления данного сплава при индукционной наплавке токами высокой частоты.

Автором ранее исследованы некоторые пути снижения температуры плавления диффузионно-легированных сплавов из металлических отходов производства [17, 25–29]. Одним из способов снижения температуры плавления диффузионно-легированных сплавов является предварительная кратковременная обработка концентрированными источниками энергии. При предварительной кратковременной обработке концентрированными источниками энергии диффузионно-легированных сплавов из отходов чугунной дроби в плазмотроне УПУ-3Д и на установке дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом [17–18] установлено существенное изменение распределения микротвердости материала по сечению от центра к краю. В поверхностном слое наблюдается снижение значений микротвердости, а в центре, наоборот, микротвердость незначительно возрастает. Автором выдвинута гипотеза о том, что при предварительной кратковременной высокотемпературной обработке диффузионно-легированных сплавов концентрированными источниками энергии на границе тугоплавкой боридной оболочки и металлического ядра за счет эффекта контактного эвтектического плавления происходит частичное оплавление боридного слоя в системе  $\text{FeB}-\text{Fe}_2\text{B}$  и образование локальных областей сплава со структурой эвтектического типа.

Образование локальных областей с эвтектической структурой в предварительно оплавленном диффузионно-легированном сплаве приведет к повышению наплавляемости данного сплава, за счет снижения температуры плавления, при индукционной наплавке токами высокой частоты. Наличие локальных областей с эвтектической структурой приведет к снижению продолжительности сплавления при формировании износостойких покрытий индукционной наплавкой.

На основании проведенных ранее [20, 27–31] собственных исследований, автором предложено объяснение процессов, происходящих за счет контактного эвтектического плавления в диффузионно-легированных сплавах на основе чугунной дроби при кратковременной обработке концентрированными источниками энергии (рис. 4).

В исходном состоянии сплав представляет собой биметаллический материал с металлическим ядром и боридной оболочкой (рис. 4, *a*). При кратковременной обработке концентри-



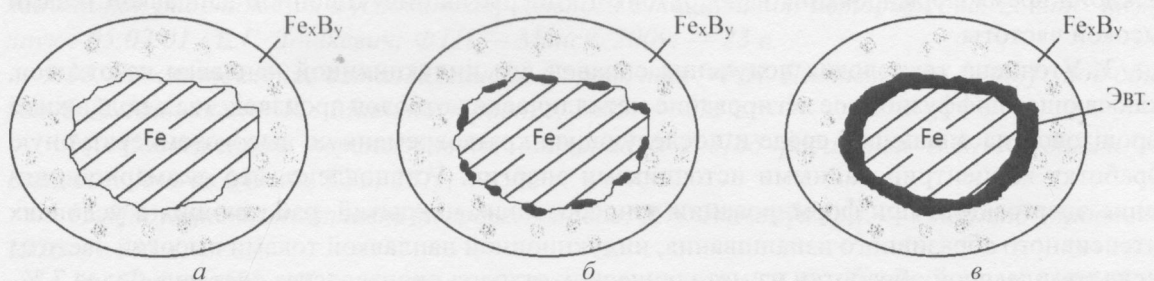


Рис. 4. Схема механизма контактного эвтектического плавления диффузионно-легированных сплавов на основе чугунной дробы при кратковременной обработке концентрированными источниками энергии: *а* — в исходном состоянии; *б, в* — на различных стадиях

рованными источниками энергии, за счет эффекта контактного эвтектического плавления, на границе между тугоплавкой боридной оболочкой и металлическим ядром формируется эвтектическая структура. Регулируя толщину диффузионного слоя, температурно-временные параметры диффузионного легирования и интенсивность оплавления при кратковременной обработке концентрированными источниками энергии, можно влиять на структурообразование в каждой отдельной частице сплава. В структуре диффузионно-легированного сплава после обработки могут присутствовать локальные области с эвтектической структурой (рис. 4, *б*) либо прослойка с эвтектической структурой между ядром и тугоплавкой оболочкой (рис. 4, *в*).

Проведена оценка энергозатрат при получении износостойких покрытий из диффузионно-легированных сплавов на основе отходов чугунной дробы, подвергнутых комплексной обработке [29]. Суммарные энергозатраты на получение 1 кг диффузионно-легированного сплава для индукционной наплавки токами высокой частоты складываются из затрат на изготовление сплава, затраты на предварительное оплавление при комплексной обработке и затраты на формирование износостойкого покрытия. Приближенные расчеты энергозатрат при получении износостойких покрытий из 1 кг диффузионно-легированного сплава на основе чугунной дробы составляют 16,67 кВт, а при комплексной обработке, включающей диффузионное легирование и последующую кратковременную обработку концентрированными источниками энергии — 15,46 кВт, что на более чем 7 % ниже. Таким образом, энергозатраты, расходуемые при комплексной обработке на создание в диффузионно-легированном сплаве локальных участков с эвтектической структурой, компенсируют общие энергозатраты при формировании износостойких покрытий.

## Выводы

1. На основании анализа авторских работ, выполненных ранее, и дополнительных экспериментальных исследований, связанных с индукционной наплавкой, предложено объяснение процессов, происходящих в диффузионно-легированном сплаве на основе чугунной дробы ДЧЛ 08 при кратковременной обработке концентрированными источниками энергии. Данные процессы заключаются в образовании локальных жидкометаллических эвтектических участков на границе металлическое ядро — диффузионный слой и дальнейший их рост за счет растворения приграничных участков, как металлического ядра, так и тугоплавкой боридной оболочки.

2. Предварительная кратковременная высокотемпературная обработка концентрированными источниками энергии в виде электрической дуги между графитовыми электродами, позволяет получить в диффузионно-легированных сплавах, за счет эффекта контактного эвтектического плавления, локальные участки с эвтектической структурой, либо сплошную эвтектическую прослойку между металлическим ядром и тугоплавкой боридной оболочкой. Наличие данных эвтектических зон в сплаве снижает температуру плавления, а, следова-

тельно, и время формирования износостойкого покрытия индукционной наплавкой токами высокой частоты.

3. Уточнена технология получения сплавов для индукционной наплавки из отходов, включающая диффузионное легирование металлических отходов производства в подвижной порошковой насыщающей среде и последующую кратковременную высокотемпературную обработку концентрированными источниками энергии. Установлено, что суммарное снижение энергозатрат при формировании износостойких покрытий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания, индукционной наплавкой токами высокой частоты после комплексной обработки из металлических отходов производства составит более 7 %.

### Список использованных источников

1. Любецкий, С.Н. Разработка технологии диффузионного легирования железных порошков и получение наплавленных износостойких покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / С.Н. Любецкий; БПИ — Минск, 1991. — 20 с.

2. Пантелеенко, Ф.И. Теоретические и технологические основы получения самофлюсующихся порошков на железной основе диффузионным легированием и разработка износостойких композиционных покрытий из них: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.01 / Ф.И. Пантелеенко. — Минск, 1992 — 32 с.

3. Константинов, В.М. Разработка самофлюсующихся наплавочных материалов на железной основе и защитных покрытий из них специализированного назначения с использованием металлоотходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01 / В.М. Константинов; БГПА — Минск, 1992. — 19 с.

4. Сороговец, В.И. Получение износостойких покрытий плазменной наплавкой диффузионно-легированных самофлюсующихся порошков: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / В.И. Сороговец; ПГУ — Новополоцк, 2001. — 23 с.

5. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них. — Мн.: УП «Технопринт», 2001. — 300 с.

6. Ворошин, Л.Г., Пантелеенко Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. — 2-е изд., перераб. и доп. — Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. — 148 с.

7. Штемпель, О.П. Интенсификация диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий в подвижных порошковых смесях: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / О.П. Штемпель; ПГУ — Новополоцк, 2003. — 23 с.

8. Жабуренок, С.Н. Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугунной стружки и последующей термической обработкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / С.Н. Жабуренок; ПГУ — Новополоцк, 2004. — 20 с.

9. Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугунной стружки: монография / В.М. Константинов, Н.В. Спиридонов, О.Г. Девойно, А.М. Авсиевич; под. ред. чл.-корр. НАНБ Ф.И. Пантелеенко — Мн.: Технопринт, 2005. — 146 с.

10. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий: дис. ... докт. техн. наук : 05.02.01 / В.М. Константинов. — Минск, 2008. — 474 л.

11. Пантелеенко, Е.Ф. Самофлюсующиеся композиционные порошки из борированных отходов стальной и чугунной дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.06 / Е.Ф. Пантелеенко; ОПМ — Минск, 2009. — 20 с.

12. Дашкевич В.Г. Поверхностно-легированная стальная проволока для наплавки дета-



лей машин, работающих в условиях абразивного изнашивания: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / В.Г. Дашкевич; ФТИ — Минск, 2009. — 23 с.

13. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под общ. ред. В.П. Иванова. — М.: Машиностроение, 2003. — 672 с.

14. Современные перспективные материалы / Под редакцией В.В. Клубовича — Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2011. — 562 с.

15. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев [и др.]. — «Машиностроение», 1970. — 183 с.

16. Саратовкин, Д.Д. Дендритная кристаллизация / Д.Д. Саратовкин // ГНТИЛ по черн. и цв. мет-ии, 1957. — 129 с.

17. Залкин, В.М. Природа эвтектических сплавов и эффект контактного плавления / В.М. Залкин // М.: Металлургия, 1987. — 152 с.

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

19. Щербаков, В.Г. Некоторые аспекты использования отходов металлургического производства в качестве основы для получения наплавочных материалов. / В.Г. Щербаков // Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов в 2 ч. / БНТУ. — Минск, 2011. — Ч. 2. — С. 200-212.

20. Щербаков, В.Г. Получение диффузионно-легированных сплавов в подвижных порошковых средах из металлических отходов производства для индукционной наплавки и пути повышения их технологических свойств / Щербаков В.Г. // Литейные процессы. — 2014. — №13. — С. 90-98.

21. Щербаков, В.Г. Некоторые особенности получения диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки из дисперсных отходов стали и чугуна в подвижных порошковых смесях / В.Г. Щербаков // Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов. — Минск : БНТУ, 2015. — Вып. 36 — С. 243-249.

22. Щербаков, В.Г. Некоторые особенности диффузионного легирования металлических дискретных металлоотходов во вращающейся электрической печи / В.Г. Щербаков // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра [Електрон. ресурс]: матеріали XIV Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 19 квітня 2016 р. / [редкол.: В. С. Богусевський (відпов. ред.) та ін.]. — К.: НТУУ «КПІ», 2016. — С. 1025-1033.

23. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала : пат. 15412 Респ. Беларусь, МПК7 F27B 7/14 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков ; заявитель Белорусский национальный технический университет. — № а 20091415 ; заявл. 05.10.09 ; опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці, 2012. № 1. — С. 143.

24. Константинов, В.М. Многофункциональная научно-исследовательская установка индукционного нагрева сталей и сплавов / В.М. Константинов и [др.] // Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов. — Минск : БНТУ, 2015. — Вып. 36 — С. 255-262.

25. Установка для обработки металлического порошка : пат.№ 10051 Респ. Беларусь, МПК В 22F 1/00 / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков; заявитель Белорусский национальный технический университет. — № и 20130804; заявл. 08.10.2013; опубл. 30.04.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. — 2014. № 2. — С. 136.

26. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. — М.: ФИЗМАТЛИТ. 2010. — 384 с.

27. Щербаков, В.Г. Снижение температуры плавления диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // Литье и металлургия, 2014. —



№ 1 (74). — С. 97–100.

28. Щербаков, В.Г. Снижение температуры плавления диффузионно-легированных металлических отходов производства, используемых для получения износостойких покрытий с помощью индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // *Металлургия : республиканский межведомственный сборник научных трудов. Вып. 35 / ред. колл.: В.И. Тимошпольский [и др.]*. — Минск : БНТУ, 2014. — С. 207–215.

29. Щербаков, В.Г. Предварительная высокотемпературная обработка диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // *Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки / редколлегия: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]*. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2015. — 360 с.

30. Щербаков, В.Г. Повышение наплавляемости диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки из металлических отходов производства кратковременной высокотемпературной обработкой / В.Г. Щербаков // *Ползуновский альманах, 2015. — Том — 2. — С. 32–36*

31. Щербаков, В.Г. Оплавление диффузионно-легированных сплавов из металлических дискретных металлоотходов для получения защитных покрытий ТВЧ / В.Г. Щербаков // *Литейные процессы, 2015. — №14. — С. 15–23.*

*Статья поступила в редакцию 13.04.2016 г.*