

сидных пленок алюминия / Н.М. Чекан [и др.] // Наука, образованию, производству, экономике: материалы девятой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–14 июля 2011 г. / БНТУ. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 326.

10. Устройство для высоковольтного оксидирования изделий из алюминия и алюминиевых сплавов: пат. 9520 Респ. Беларусь, МПК C25F7/00 / В.А. Томило, И.Л. Поболь, Ю.В. Соколов, А.А. Паршутто, А.Э. Паршутто, В.А. Хлебцевич ; заявитель БНТУ. – № и 20121112; заявл. 17.12.2012; опубл. 30.08.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 4. – С. 232–233.

11. Томило, В.А. Высоковольтное электрохимическое оксидирование алюминия с предварительной электролитно-плазменной обработкой поверхности / В.А. Томило, Ю.В. Соколов, А.А. Паршутто // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. физ.-тех. навук. – 2013. – № 2. – С. 25–27.

12. Судзуки, К. Аморфные металлы / К. Судзуки, Х. Фудзимори, К. Хасимо. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с.

13. Bennet, С.Н. Role of composition in metallic glass formation / С.Н. Bennet, D.E. Polk, D. Turnbull // Acta Metal. – 1971. – V. 19, № 12. – P. 1295–1298.

14. Фазовое расслоение и кристаллизация в аморфном сплаве Ni70Mo10P20 / Г.Е. Абросимова [и др.] // Физика твердого тела. – 1998. – Вып. 40(9). – С. 1577–1584.

УДК 621.762

В.Г. ЩЕРБАКОВ (БНТУ)

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ*

Введение. В настоящее время широкое распространение получили ДЛ сплавы для получения защитных покрытий высокотемпературными способами обработки [1–6]. Использование отходов мелкодисперсных материалов из стальных, чугунных и легирован-

ных сплавов является актуальным при разработке материалов для получения защитных покрытий. Большинство работ по применению сплавов для индукционной наплавки связаны с применением в качестве основы сплава из никельсодержащих отходов [1, 2]. Отходы на железной основе для производства ДЛ сплавов для индукционной наплавки используются реже [1, 3]. К настоящему времени исследованы композиционные покрытия после лазерной обработки [4], получены покрытия магнитно-электрическим упрочнением [5] и разработаны поверхностно-легированные проволоки для наплавки деталей машин [6].

Необходимо отметить, что при получении защитных покрытий из предварительно ДЛ сплавов основное внимание уделяется только высокотемпературным способам их нанесения (электродуговой, электроискровой, лазерной наплавкой, электроискровым упрочнением, напылением, наплавка наплавочными электродами и др.). Вместе с тем требуют изучения вопросы, связанные с повышением технологических свойств ДЛ сплавов преимущественно для индукционной наплавки.

В большинстве случаев для индукционной наплавки при упрочнении и восстановлении используют наплавочные порошки типа У30Х28Н4С4 (сормайт № 1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля и др. [7]. Использование данных материалов для получения износостойких покрытий на рабочих органах почвообрабатывающих машин (РОПМ) является технологически и экономически не выгодным (высокая цена, завышенные свойства, температура плавления порядка 1270 °С). Рекомендуемая температура нагрева детали для индукционной наплавки составляет 1100–1150 °С, при использовании шихтового материала с размерами 400–630 мкм [8].

Большие размеры дискретного ДЛ сплава (0,5–1,0 мм) отрицательно сказываются на расплавлении его тугоплавкой диффузионной оболочки при индукционной наплавке. Для повышения качества наплавленного слоя и снижения термического воздействия на подложку применяют циклический нагрев и (или) добавляют в шихту специальные легкоплавкие флюсы. Эти меры негативно сказываются на продолжительности процесса и на качестве получаемых защитных покрытий.

Цель работы заключалась в анализе влияния предварительной высокотемпературной обработки на технологические свойства ДЛ сплавов для индукционной наплавки.

Материалы и методика исследований. При выполнении данной работы использовались следующие материалы и оборудование. В качестве исходных материалов были выбраны отходы чугуна дробы после дробеструйной обработки ДЧЛ 08 ГОСТ 1412-85, отходы высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 ГОСТ 11547-75, стружка быстрорежущей стали Р6М5 ГОСТ 19265-73 и ферросплав для индукционной наплавки ФБХ-6-2 ГОСТ 21448-75. Гранулометрический состав материалов определяли по ГОСТ 18318-78 ситовым методом. Толщину боридных слоев, особенности структуры и морфологию материалов исследовали металлографическим методом с помощью металлографических микроскопов МИМ-7, ММУ-3У42, МИ-1, Planar 1М. Микродюрметрические исследования проводились на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999-75. Предварительное ДЛ осуществлялось на специальной установке [9] и в стационарных тиглях с плавким затвором. Насыщающие смеси: карбид бора и смеси для одно- и двухфазного борирования, полученные алюминиотермическим способом. Температурно-временные характеристики ДЛ: температура – 950 °С, время – 1 ч (в установке для ДЛ) и 4 ч (в тигле). Сепарация – магнитная и ситовым способом. Для оплавления ДЛ сплавов использовали плазменную установку УПУ-3Д (параметры оплавления: сила тока $I = 330\text{--}350$ А, напряжение $U = 75$ В, газ – азот); установку для дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом (параметры плавки: сила тока – $I = 33\text{--}35$ А, напряжение – $U = 22\text{--}25$ В) и экспериментальную установку [10].

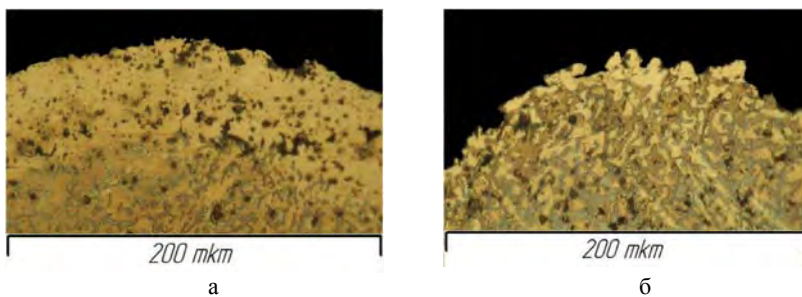
Оплавление в плазмотроне. При оплавлении ДЛ сплава из дробы чугуна ИЧХ28Н2 в плазмотроне УПУ-3Д установлено, что распределение микротвердости по сечению порошинки изменилось, относительно исходного. Причем в поверхностном слое наблюдается резкое снижение значений микротвердости с 10 000–12 000 МПа до 8 000–9 000 МПа. Предположительно, при воздействии концентрированными потоками энергии на ДЛ сплав произошло частичное оплавление боридного слоя в системе FeB-Fe₂B и образование эвтектики, что повлекло за собой снижение микротвердости в приповерхностном слое ДЛ сплава.

Микроструктура оплавленного ДЛ сплава по слоям представляет следующее: стекловидный фрагментарный слой оксида бора на поверхности частицы вследствие испарения бора в процессе оплавления; высокобористая эвтектика вследствие оплавления боридного слоя на поверхности частицы; неоплавленный частично сохранившийся боридный слой; низкобористая эвтектика, полученная при контактном эвтектическом плавлении боридного слоя и металлического ядра; металлическое ядро [11].

Анализ тройной диаграммы Fe-B-C, построенной различными исследователями [2], позволил предположить, что оплавление ДЛ сплава приводит к образованию эвтектики, температура плавления которой 1 000–1 100 °С. Образование эвтектики в оплавленном ДЛ сплаве повышает качество получаемого индукционной наплавкой защитного покрытия и его эксплуатационные свойства.

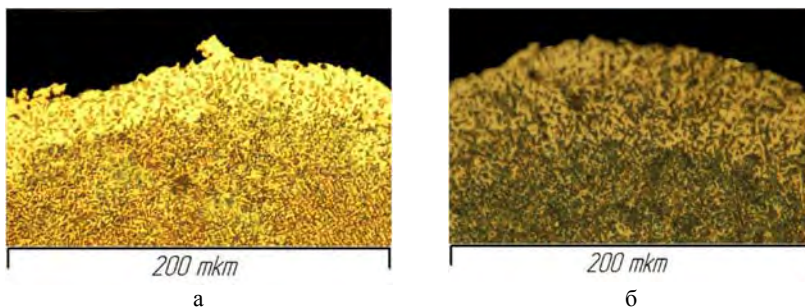
Оплавление ДЛ сплавов вольфрамовым электродом. Для оплавления на установке дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом были выбраны предварительно ДЛ сплавы из отходов ДЧЛ 08, ИЧХ28Н2 и Р6М5.

Определено, что изменение микротвердости по сечению ДЛ сплавов аналогично описываемым в работах [11, 12]. Микроструктуры исходных и оплавленных ДЛ сплавов представлены на рисунках 1–3.



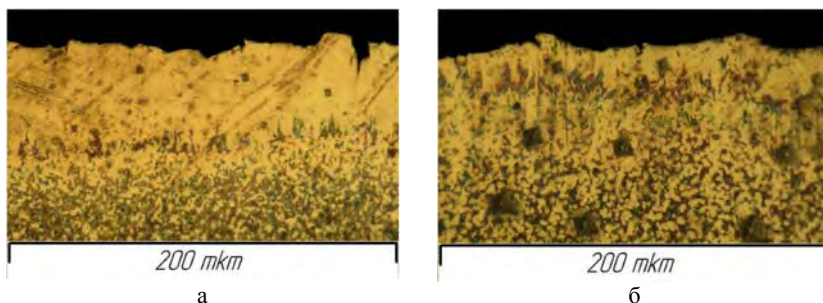
а – ДЛ отходы ДЧЛ 08; б – ДЛ отходы ДЧЛ 08 после оплавления

Рисунок 1 – Микроструктура ДЛ отходов ДЧЛ 08



а – ДЛ отходы ИЧХ28Н2; б – ДЛ отходы ИЧХ28Н2 после оплавления

Рисунок 2 – Микроструктура ДЛ отходов ИЧХ28Н2



а – ДЛ отходы Р6М5; б – ДЛ отходы Р6М5 после оплавления

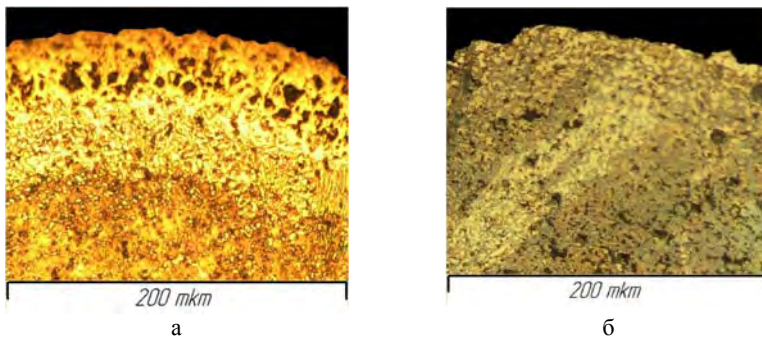
Рисунок 3 – Микроструктура ДЛ отходов Р6М5

Кратковременная обработка ДЛ сплавов на установке с вольфрамовым электродом приводит к резкому снижению микротвердости в приповерхностных слоях ДЛ сплавов, что обуславливается подплавлением тугоплавкой боридной оболочки и образование эвтектических сплавов во время обработки.

Исследование предварительного оплавления ДЛ сплавов на установке УПУ-3Д и на установке для дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом позволило разработать экспериментальную установку для предварительного высокотемпературного воздействия на ДЛ сплавы [10].

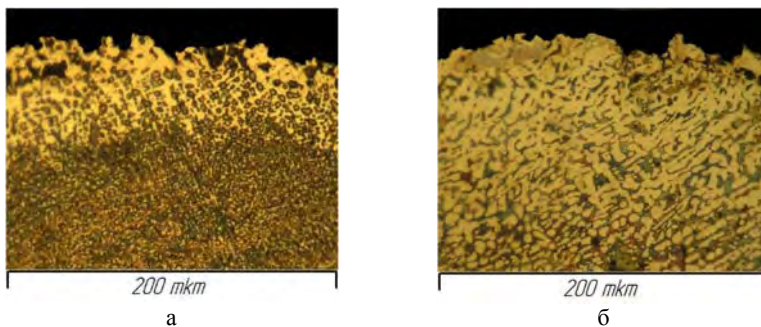
Для обработки были выбраны ДЛ сплавы из отходов дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2, стружка Р6М5 и наплавочный сплав ФБХ-6-2.

При обработке ДЛ сплавов из отходов ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 произошло полное расплавление тугоплавкой боридной оболочки с последующей кристаллизацией и образованием эвтектики (рисунки 4, 5), а также частичное оплавление боридных покрытий на сплавах Р6М5 и ФБХ-6-2 (рисунки 6, 7).



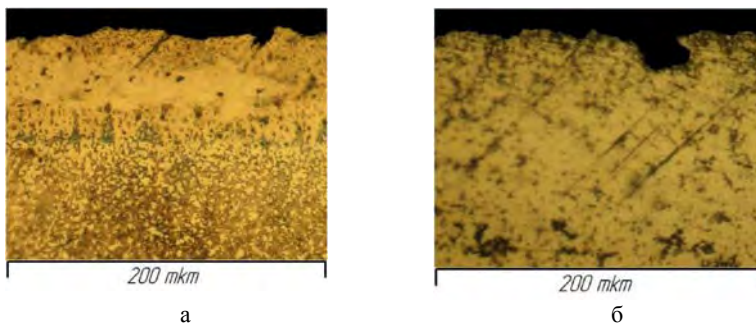
а – ДЛ отходы ДЧЛ 08; б – ДЛ отходы ДЧЛ 08 после оплавления

Рисунок 4 – Микроструктура ДЛ отходов ДЧЛ08



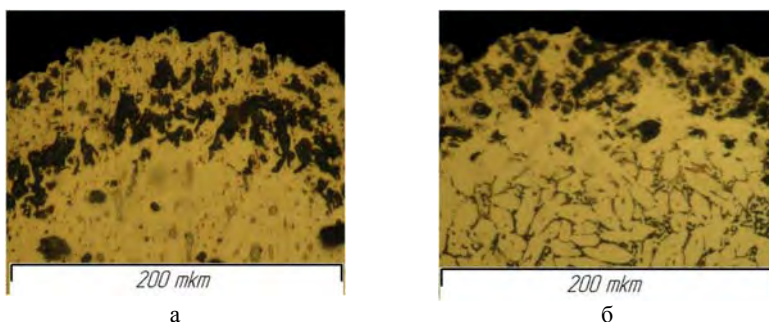
а – ДЛ отходы ИЧХ28Н2; б – ДЛ отходы ИЧХ28Н2 после оплавления

Рисунок 5 – Микроструктура ДЛ отходов ИЧХ28Н2



а – ДЛ отходы Р6М5; б – ДЛ отходы Р6М5 после оплавления

Рисунок 6 – Микроструктура ДЛ отходов Р6М5



а – ДЛ ферросплав ФБХ-6-2; б – ДЛ ферросплав ФБХ-6-2 после оплавления

Рисунок 7 – Микроструктура ДЛ ферросплава ФБХ-6-2

Установлено изменение значений микротвердости в ДЛ сплавах по сечению до и после высокотемпературной обработки. Микротвердость в ДЛ сплавах на основе ДЧЛ и ИЧХ снизилась с 12 000–14 000 МПа до 8 000–10 000 МПа, а в ДЛ сплавах на основе Р6М5 и ФБХ с 10 000–12 000 МПа до 6 000–8 000 МПа.

Заключение. Предложен технологический подход, позволяющий предварительным кратковременным высокотемпературным воздействием на ДЛ сплав получить сплав с эвтектической структурой и пониженной температурой плавления (с отсутствием тугоплавкой боридной оболочки), а, следовательно, значительно повы-

сильные технологические и эксплуатационные свойства защитных покрытий, получаемых индукционной наплавкой.

Литература

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

2. 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; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

3. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.01 / В.М. Константинов. – Минск, 2008. – 474 л.

4. Девойно, О.Г. Лазерная обработка износостойких газотермических композиционных покрытий / О.Г. Девойно, А.С. Калиниченко, М.А. Кардопалова. – Минск: БНТУ, 2011. – 161 с.

5. Пантелеенко, Е.Ф. Самофлюсующиеся композиционные порошки из борированных отходов стальной и чугуновой дроби для магнитно-электрического упрочнения и восстановления деталей машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.06 / Е.Ф. Пантелеенко; Беларус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2009. – 22 с.

6. Дашкевич, В.Г. Поверхностно-легированная стальная проволока для наплавки деталей машин, работающих в условиях абразивного изнашивания : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / В.Г. Дашкевич; Беларус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2009. – 23 с.

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

8. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев [и др.] ; под общ. ред. В.Н. Ткачева. – М.: Машиностроение, 1970. – 183 с.

9. 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. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – С. 143.

10. Заявка № и20130804 от 08.10.2013 на выдачу патента РБ на полезную модель «Установка для обработки металлического порошка» авторы – В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков.

11. Щербаков, В.Г. Анализ технологических свойств диффузионно-легированных наплавочных материалов, подверженных предварительной высокотемпературной обработке / В.Г. Щербаков // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-ой Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2011 г.: в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 346.

12. Щербаков, В.Г. Влияние кратковременного высокотемпературного воздействия и предварительного диффузионного легирования на температуру плавления сплавов на железной и медной основах / В.Г. Щербаков, П.С. Чугаев // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка: материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 12–14 сент. 2012 г. / Нац. акад. наук Беларуси; редкол.: П.А. Витязь (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 325 с.

УДК 621.777.016.2:666.63:519.2

Е.С. ГОЛУБЦОВА, д-р техн. наук (БНТУ),
Н.Б. КАЛЕДИНА (БГТУ),
В.С. НИСС, канд. техн. наук (БНТУ)

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
ГОРЯЧЕПРЕССОВАННОЙ НИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ
ИЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ. СООБЩЕНИЕ I.
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ И МАССОВОЙ
ДОЛИ Y_2O_3 НА ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ**

Исследованию и усовершенствованию структуры горячепрессованных материалов посвящено много работ [1–3], в результате чего достигнуты определенные успехи в повышении уровня характеристик конструкционной и инструментальной керамики, расширены