

ПОВЫШЕНИЕ НАПЛАВЛЯЕМОСТИ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КРАТКОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

В. Г. Щербаков

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В статье исследовано влияние предварительной кратковременной высокотемпературной обработки диффузионно-легированных сплавов из металлических отходов производства на наплавляемость при получении износостойких покрытий индукционной наплавкой. Установлено существенное изменение микроструктуры и микротвердости диффузионно-легированных сплавов после обработки. Показана перспективность данной обработки при получении защитных покрытий из диффузионно-легированных сплавов с помощью токов высокой частоты.

Ключевые слова: индукционная наплавка, температура плавления, защитное покрытие, абразивный износ

A SHORT-TIME HIGH TEMPERATURE TREATMENT FOR IMPROVEMENT OF SURFACING ABILITY OF DIFFUSIVELY ALLOYED MATERIALS MADE OF METAL WASTE FOR HARD-FACING TECHNOLOGIES

V. G. Shcherbakou

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

The article investigates the influence of preliminary short-time high temperature treatment of diffusively alloyed materials made of metal waste on surfacing ability of the materials during the hard-facing process of obtaining a wear-resistant coating. It was established a dramatic change in microstructure and microhardness of a hard-faced alloy after implementation of preliminary short-time high temperature treatment. It is shown that usage of high-frequency current processing can be successfully used for obtaining a hard-faced wear resistant coating.

Ключевые слова: induction hard-facing, melting point, protective coating, abrasive wear

Введение. Исследования в области получения диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов из металлических отходов производства применяемых при получении защитных покрытий (ЗП) не потеряли свою научную значимость и в настоящее время. Авторами [1 – 3] подробно описаны различные способы использования мелкодисперсных материалов из стальных, чугуновых и легированных отходов при разработке ДЛ сплавов. Исследованы композиционные покрытия после лазерной обработки [4]. Успешно используются покрытия, полученные магнитно-электрическим упрочнением [5]. Разработаны поверхностно-легированные проволоки для наплавки на быстроизнашиваемые части деталей машин [6]. Однако для получения

ЗП из ДЛ сплавов все внимание уделяется, в основном, только высокотемпературным способам их нанесения (электродуговой, электроискровой, лазерной наплавкой, электроискровым упрочнением, напылением, наплавкой наплавочными электродами и др.). В работах, где используют ДЛ сплавы для индукционной наплавки, в качестве основы используют сплавы из никелевых или никельсодержащих отходов [1 – 2]. Металлические отходы на железной основе при изготовлении ДЛ сплавов для индукционной наплавки используются крайне редко [1, 3]. Таким образом, актуальными остаются вопросы, связанные с повышением технологических свойств ДЛ сплавов для индукционной наплавки.

ПОВЫШЕНИЕ НАПЛАВЛЯЕМОСТИ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КРАТКОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

При упрочнении и восстановлении деталей индукционной наплавкой используют наплавочные порошки типа У30Х28Н4С4 (сормайт № 1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля и др. [7]. Получение износостойких покрытий из данных материалов не всегда является экономически целесообразным, так как эксплуатационные свойства получаемых покрытий часто имеют завышенные свойства. Главными недостатками данных сплавов являются их высокая цена и высокая температура плавления: порядка 1270 °С. Таким образом, для индукционной наплавки защитных покрытий на неотчетственные детали работающие в условиях интенсивного абразивного изнашивания рекомендуется использовать более дешевый ДЛ сплав, полученный из отходов чугуна дробы [1 – 3, 8 – 10]. Рекомендуемая температура нагрева детали для индукционной наплавки составляет 1100 – 1150 °С, при использовании шихтового материала с размерами 400 – 630 мкм [11].

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. Данные меры негативно сказываются на продолжительности процесса наплавки, качестве получаемых защитных покрытий и себестоимости готовой продукции.

Автором ранее исследовалось предварительное оплавление ДЛ сплавов из отходов дробы ИЧХ28Н2 в плазмотроне УПУ-3Д и ДЛ сплавов из отходов дробы ДЧЛ 08, ИЧХ28Н2 и стружки Р6М5 на установке дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом [12, 13]. Установлено, что распределение микротвердости по сечению предварительно оплавленного материала изменилось, относительно предварительно не оплавленного. В поверхностном слое наблюдается резкое снижение значений микротвердости с 10000 – 12000 МПа до 8000 – 9000 МПа. Предположительно при воздействии концентрированных потоков 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.

Кратковременная обработка ДЛ сплавов на установке с вольфрамовым электродом

приводит к снижению микротвердости в приповерхностных слоях ДЛ сплавов, что обуславливается подплавлением тугоплавкой боридной оболочки и образование эвтектических сплавов. Микроструктура оплавленного ДЛ сплава по слоям представляет следующее [12, 13]:

- стекловидный фрагментарный слой оксида бора на поверхности частицы, образовавшийся вследствие испарения бора в процессе оплавления;
- высокобористая эвтектика, возникшая вследствие оплавления боридного слоя на поверхности частицы;
- неоплавленный частично сохранившийся боридный слой;
- низкобористая эвтектика, полученная при контактом эвтектическом плавлении боридного слоя и металлического ядра;
- металлическое ядро.

Анализируя поверхность ликвидус части системы Fe–B–C построенной различными исследователями [2], можно предположить, что оплавление ДЛ сплава приводит к образованию эвтектики, температура плавления которой 1000 – 1100 °С. Образование эвтектики в оплавленном ДЛ сплаве снижает температуру плавления, а значит, повышает качество получаемого индукционной наплавкой защитного покрытия и его эксплуатационные свойства.

Таким образом, исследование предварительного оплавления ДЛ сплавов, полученных из металлических отходов производства, для индукционной наплавки ЗП является весьма актуальной задачей, позволяющей существенно снизить энергозатраты при восстановлении и упрочнении деталей машин работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

Материалы и методика исследований.

В качестве исходных материалов были выбраны отходы чугуна дробы ДЧЛ 08 (0,5 – 0,63 мм), ГОСТ 11964 – 81; отходы дробы ИЧХ28Н2 (0,5 – 0,63 мм), ГОСТ 7769–82; стружка Р6М5 (0,5 – 1,0 мм), ГОСТ 19265–73 и наплавочный ферросплав ФБХ-6-2 (0,4 – 0,5 мм), ГОСТ 21448–75. Диффузионное легирование (насыщение бором) проводили во вращающейся электрической печи [14]. Насыщающая смесь – карбид бора с активатором, время обработки 1 ч., температура – 950 °С. Сепарацию осуществляли ситовым способом. Оплавление ДЛ сплавов из отходов проводили на специальной установке для обработки металлического порошка [15]. Толщину боридных слоев, особенности структуры и морфологию

исследовали с помощью металлографических микроскопов МИМ-7, ММУ-3У42, МИ-1, Planar 1М. Микродюротметрические исследования проводили на приборе ПМТ-3 согласно ГОСТ 2999–75. Химический состав борированной дроби оценивали микрорентгеноспектральным анализом на сканирующем электронном микроскопе VEGA II LMU с микроанализатором INCA energy 350 (фирма Oxford Instruments, Англия).

Обсуждение результатов. Микроанализ ДЛ сплавов из отходов ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 после предварительного высокотемпературного воздействия выявил практически полное расплавление тугоплавкой боридной оболочки с образованием эвтектики и частичное оплавление боридных покрытий на ДЛ-сплавах из отходов стружки Р6М5 и ферросплава ФБХ-6-2.

Установлено существенное изменение значений микротвердости в ДЛ сплавах по сечению до и после высокотемпературной обработки. Микротвердость в приповерхностных слоях в ДЛ сплавах на основе ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 снизилась с 12000 – 14000 МПа до 8000 – 10000 МПа, а в ДЛ сплавах на основе Р6М5 и ФБХ-6-2 с 10000 – 12000 МПа до 6000 – 8000 МПа.

Тугоплавкие слои FeB и Fe₂B образовавшиеся на поверхности ДЛ сплава, на основе дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 в процессе ДЛ (рисунок 1) практически полностью расплавились (рисунок 2).

Пористость ДЛ сплава в диффузионных слоях из-за микропластических деформаций

во время ДЛ после оплавления снизилась с 8 – 9 % до 1 – 3 %. Из биметаллической структуры, образованной при ДЛ, микроструктура ДЛ сплава на основе дроби ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 после оплавления представляет эвтектический сплав, что свидетельствует о полном расплавлении тугоплавкой оболочки с последующей кристаллизацией.

В ДЛ сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 минимальное содержание Cr составляет 3,44 %, максимальное 24,14 %, среднее 15,46 %. Содержание Ni минимальное 0,02 %, максимальное 1,35 %, среднее 0,37 % (рисунок 3, слева). Минимальное значение Cr в ДЛ сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 после оплавления (рисунок 3, справа) составляет 5,69 %, максимальное 20,68 %, среднее 10,65 %. Минимальное значение Ni в ДЛ сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 после оплавления составляет 0,03 %, максимальное 0,40 %, среднее 0,26 %. Повышенное содержание Cr и Ni на границе диффузионный слой-металлическая основа и в ядре обусловлено диффузией элементов к центру порошокинки в процессе насыщения бором при ДЛ. Более равномерное распределение Cr и Ni по сечению дроби после высокотемпературной обработки подтверждает полное расплавление дроби с последующей кристаллизацией. Снижение среднего значения Cr и Ni в обработанном ДЛ сплаве на основе дроби ИЧХ28Н2 после оплавления объясняется частичным испарением химических элементов при кристаллизации расплавленного ДЛ сплава.

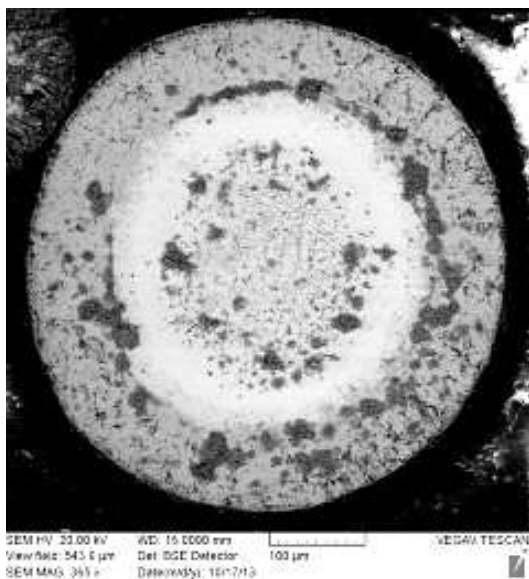


Рисунок 1 – Микроструктура ДЛ дроби ИЧХ28Н2, до оплавления

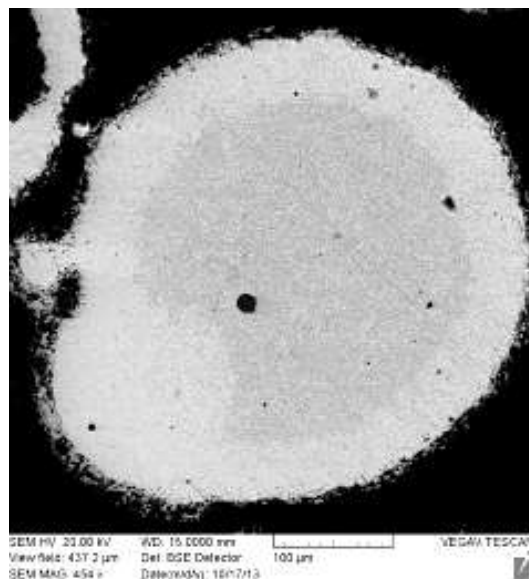


Рисунок 2 – Микроструктура ДЛ дроби ИЧХ28Н2, после оплавления

ПОВЫШЕНИЕ НАПЛАВЛЯЕМОСТИ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА КРАТКОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Предварительный анализ энергетических затрат при получении ЗП из ДЛ сплавов на основе отходов дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 без оплавления и с предварительным оплавлением показал перспективность данной обработки. Суммарные энергозатраты на получение 1 кг ДЛ сплава для индукционной наплавки складываются из затрат на изготовление ДЛ сплава из отходов дробы ДЧЛ08 или ИЧХ28Н2,

непосредственно затраты на предварительное оплавление ДЛ сплава и затраты на получение ЗП индукционной наплавкой оплавленного ДЛ сплава. Стоит отметить, что за счет наличия широкого диапазона регулировки температурно-временных параметров получения ДЛ сплавов и их предварительного оплавления энергозатраты на установках [14, 15] могут изменяться в широких диапазонах.

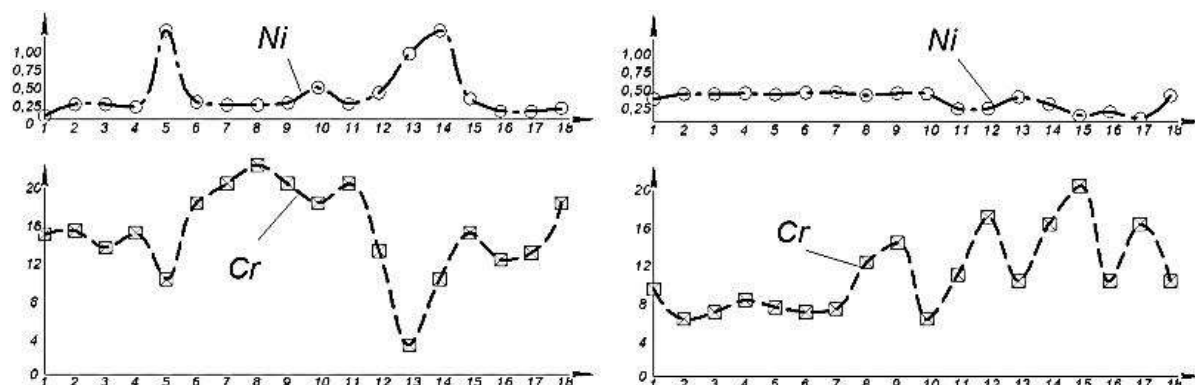


Рисунок 3 – Распределение Ni и Cr в ДЛ дробы ИЧХ28Н2 до (слева) и после (справа) оплавления

Определено, что суммарное значение затраченной энергии при получении ЗП из 1 кг ДЛ сплава на основе дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 без предварительного оплавления составляет 16,67 кВт, а с предварительным оплавлением 15,46 – 15,92 кВт, что на 4,5 – 7,2 % ниже. Таким образом, энергозатраты использованные для предварительного оплавления ДЛ сплавов из отходов дробы ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2 снижают общие энергозатраты при получении ЗП из 1 кг ДЛ сплава индукционной наплавкой.

Выводы: При кратковременном высокотемпературном воздействии на ДЛ сплавы для индукционной наплавки происходит полное (для ДЛ сплава на основе ДЧЛ 08 и ИЧХ28Н2) или частичное (для ДЛ сплава на основе Р6М5 и ферросплава ФБХ-6-2) расплавление тугоплавкой боридной оболочки с последующей кристаллизацией и с образованием гомогенного ДЛ сплава эвтектического состава. Предварительное оплавление ДЛ сплава для индукционной наплавки в экспериментальной установке является одним из эффективных способов снижения температуры плавления данных материалов. Оценка экономической целесообразности предварительного оплавления ДЛ сплавов при получении защитных покрытий индукционной наплавкой из металлических отходов производства показала, что суммарное снижение энергозатрат при получении защитного по-

крытия из 1 кг предварительно обработанного ДЛ сплава составляет от 4,5 до 7,2 %.

Список литературы

1. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них. – Мн.: 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. 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 чугунной дробы 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. 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., ил.

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

9. 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.

10. 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.

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

12. Щербаков, В.Г. Снижение температуры плавления диффузионно-легированных сплавов для индукционной наплавки / Щербаков В.Г. // Литье и металлургия. - 2014. - №1. – С. 97-100.

13. Щербаков, В.Г. Снижение температуры плавления диффузионно-легированных металлических отходов производства, используемых для

получения износостойких покрытий с помощью индукционной наплавки [Текст] / Щербаков В.Г. // Металлургия: Республ. межвед. сб. научн. трудов – Минск: БНТУ, 2014. – Вып 35. – С. 207-215.

14. 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.

15. 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. - № u 20130804 ; заявл. 08.10.2013 ; опубл. 30.04.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці . – 2014. № 2. – С. 136.

Щербаков Вячеслав Геннадьевич – магистр технических наук, ассистент кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Белорусский национальный технический университет (БНТУ), г. Минск, Республика Беларусь