



УДК 621.762

Поступила 09.01.2014

В. Г. ЩЕРБАКОВ, БНТУ

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

В работе исследовано влияние предварительной высокотемпературной обработки на структурообразование диффузионно-легированных отходов высокохромистой чугунной дроби. Выявлены изменения микроструктуры, микротвердости и химического состава отходов дроби после высокотемпературной обработки. Предложена предварительная ресурсо- и энергосберегающая технология обработки диффузионно-легированной дроби для индукционной наплавки.

Influence of preliminary high-temperature processing on structure formation of the diffusion- alloyed waste of high-phosphorus cast iron shot is investigated. Changes of microstructure, microhardness and chemical composition of the shot waste after high-temperature processing are revealed. The preliminary resource- and energy saving technology of the diffusion- alloyed shot for induction deposit welding is offered.

Введение

В настоящее время определенное распространение получили диффузионно-легированные (ДЛ) сплавы для получения защитных покрытий [1–3]. Использование дисперсных стальных, чугунных отходов является перспективным при разработке ДЛ сплавов. Разработаны различные композиционные покрытия после лазерной обработки [4]. Успешно используются покрытия, полученные магнитно-электрическим упрочнением [5]. Разработаны поверхностно-легированные проволоки для наплавки быстроизнашиваемых деталей машин [6]. Традиционно для получения защитных покрытий из ДЛ сплавов значительное внимание уделяется высокотемпературным способам их нанесения (электродуговая, электроискровая, лазерная наплавка, электроискровое упрочнение, плазменное напыление и др.). Металлические отходы на железной основе для производства ДЛ сплавов для индукционной наплавки используются значительно реже [1, 3]. Как правило, 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]. Полученные износостойкие покрытия из указанных сплавов на рабочих органах почвообрабатывающих машин (РОПМ) относительно дорогие, а сплавы на основе кобальта, вольфрама и никеля, кроме высокой стоимости, имеют избыточные экс-

плуатационные свойства. Поэтому для индукционной наплавки на РОПМ с обеспечением эксплуатационных характеристик наплавленного слоя предложено использовать более дешевый наплавочный ДЛ сплав, полученный из отходов чугунной дроби [1,3,8]. Наличие тугоплавкой боридной оболочки на каждой частице отрицательно сказывается на расплавлении 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 как на продолжительности процесса наплавки, так и на качестве получаемых защитных покрытий, а также себестоимости готовой продукции. Таким образом, актуальными являются вопросы, связанные с повышением технологических свойств ДЛ сплавов для индукционной наплавки.

Цель работы заключалась в изучении путей снижения температуры плавления борированного порошка ИЧХ28Н2 предварительной кратковременной высокотемпературной обработкой для улучшения его наплавляемости при индукционной наплавке на РОПМ.

Материалы и методика исследований

Исходным материалом являлись дискретные отходы высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 (ГОСТ 11547-75) после электроэрозионной обработки от-

ликов. Гранулометрический состав определяли ситовым методом по ГОСТ 18318–78. Толщину боридных слоев, особенности структуры и морфологию исследовали с помощью металлографических микроскопов МИМ-7, ММУ-3У42, МИ-1, Planar 1М. Микродюрометрические 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). ДЛ дроби проводили во вращающейся электрической печи [9]. Насыщающая смесь – карбид бора с активатором, температура – 950 °С, время обработки – 1 ч. Сепарацию осуществляли ситовым способом. Обработку ДЛ дроби проводили на плазменной установке УПУ-3Д (параметры оплавления: сила тока $I = 330\text{--}350$ А, напряжение $U = 75$ В, газ–азот), установке для дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом (параметры: сила тока $I = 33\text{--}35$ А, напряжение $U = 22\text{--}25$ В), а также на разработанной установке для обработки металлического порошка [10].

Исследование оплавленной ДЛ дроби ИЧХ28Н2

Оплавление ДЛ дроби из высокохромистого чугуна ИЧХ28Н2 фракцией 100–200 мкм в плазмотроне УПУ-3Д изменяет микротвердость по сечению порошинки. В поверхностном слое наблюдается резкое снижение значений микротвердости с 10000–12000 до 7000–9000 МПа, а в ядре – незначительное повышение с 4000–4500 до 5000–5500 МПа. Происходит частичное оплавление боридного слоя в системе FeB-Fe₂B и образование определенного количества эвтектики, что обеспечивает снижение микротвердости в приповерхностном слое частицы [11]. Микроструктура опла-

вленной ДЛ дроби по слоям представляет собой следующее: стекловидный фрагментарный слой оксида бора на поверхности дроби; высокобористая эвтектика, полученная вследствие оплавления боридного слоя на поверхности частицы; далее частично сохранившийся боридный слой; низкобористая эвтектика, полученная при контактном эвтектическом плавлении боридного слоя и чугуноядра и в центре ядро белого чугуна [11].

Исходя из анализа поверхности ликвидус части системы Fe-B-C, построенной различными исследователями [2], можно полагать, что оплавление ДЛ дроби в плазмотроне приводит к контактному эвтектическому плавлению тугоплавкой боридной оболочки и образованию эвтектического сплава с температурой плавления порядка 1000–1100 °С. Аналогичные результаты были получены при оплавлении на установке дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом [11, 12].

Исследование оплавляемости на установке УПУ-3Д и установке для дуговой сварки в среде аргона с вольфрамовым электродом позволило разработать экспериментальную установку для предварительной высокотемпературной обработки ДЛ сплава из отходов чугунодроби для индукционной наплавки, на которой были проведены дальнейшие исследования [11]. После обработки в экспериментальной установке произошло полное расплавление ДЛ дроби с последующей кристаллизацией и образованием эвтектического сплава (рис. 1). Существенные изменения произошли в микродюрометрической картине чугунодроби (рис. 2). Тугоплавкие боридные слои FeB и Fe₂B, образовавшиеся на поверхности дроби в процессе диффузионного легирования, полностью расплавились. Пористость в диффузионном слое при этом существенно снизилась. Из композиционной структуры (чугунное ядро и боридная оболочка),

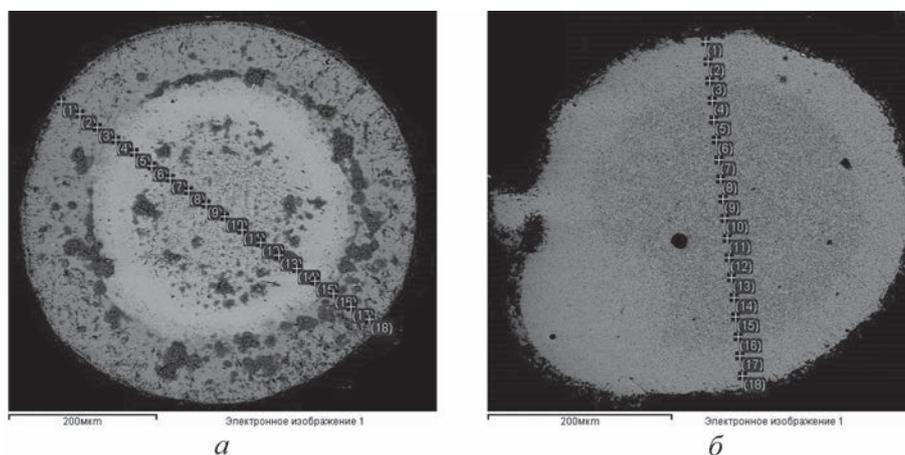


Рис. 1. Микроструктура диффузионно-легированной чугунодроби ИЧХ28Н2: а – исходная ДЛ дроби; б – ДЛ дроби после оплавления

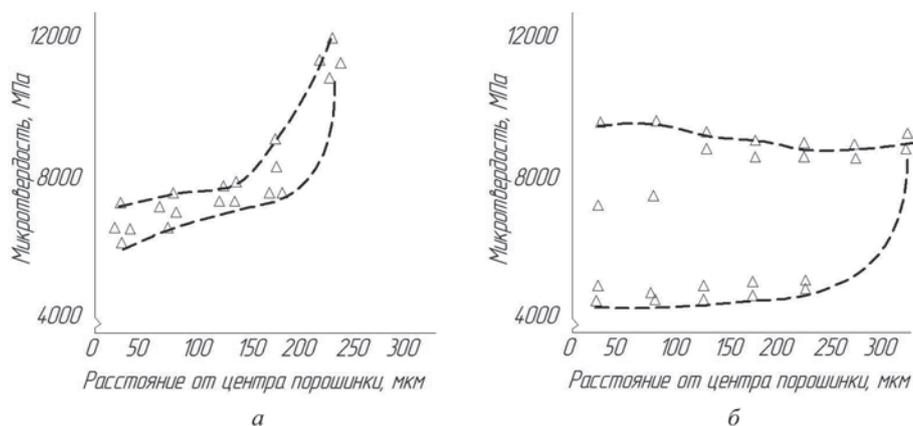


Рис. 2. Распределение среднего значения микротвердости по сечению ДЛ дробы ИЧХ28Н2: а – исходная ДЛ дробь; б – ДЛ дробь после оплавления

Распределение Cr и Ni в ДЛ дробы до и после оплавления

Спектр (см. рис. 1)		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
До	Cr	14,33	15,03	12,98	15,35	9,65	17,84	19,58	23,46	19,47
	Ni	0,10	0,21	0,21	0,17	1,20	0,25	0,19	0,21	0,23
После	Cr	9,63	6,10	6,87	8,18	6,79	6,31	6,85	12,47	14,99
	Ni	0,31	0,36	0,29	0,29	0,30	0,33	0,33	0,29	0,20

Спектр (см. рис. 1)		(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
До	Cr	18,00	20,72	12,51	3,32	8,84	14,93	11,4	12,86	17,93
	Ni	0,44	0,17	0,32	0,96	1,25	0,29	0,12	0,01	0,11
После	Cr	5,69	11,37	17,03	10,17	16,74	20,68	9,32	16,24	5,99
	Ni	0,32	0,22	0,19	0,34	0,24	0,10	0,19	0,02	0,40

образованной после диффузионного легирования, микроструктура дробы после оплавления трансформировалась в эвтектический сплав. Произошло изменение распределения среднего значения микротвердости от центра к краю ДЛ дробы до и после обработки. Микротвердость в приповерхностных слоях снижается с 10000–12000 до 7000–9000 МПа, в центральной части ДЛ дробы – с 6000–8000 до 5000–7000 МПа. Образование эвтектического сплава изменило распределение легирующих элементов по сечению диффузионно-легированной частицы (см. таблицу). Традиционно легирующие элементы отгесняются в глубь частицы растущим диффузионным слоем [1–3]. Аналогичная картина была обнаружена для ДЛ частиц до оплавления. Минимальное содержание Cr составляет 3,44%, максимальное – 24,14, среднее – 15,46%. Минимальное содержание Ni 0,02%, максимальное – 1,35, среднее – 0,37%. После обработки произошла гомогенизация химического состава. Минимальное значение Cr в ДЛ дробы после обработки составляет 5,69%, максимальное – 20,68, среднее – 10,65%. Минимальное значение Ni в ДЛ дробы после обработки 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 порошинки в процессе насыщения бором. Равномерное распределение Cr и Ni по сечению дробы после высокотемпературной обработки подтверждает полное расплавление дробы с последующей кристаллизацией. Снижение среднего значения Cr и Ni в обработанной ДЛ дробы после оплавления обусловлено частичным выгоранием легирующих элементов при расплавлении чугунной дробы в окислительной атмосфере.

Выводы

Установлено, что кратковременное высокотемпературное воздействие с оплавлением диффузионно-легированной дробы ИЧХ28Н2 позволяет получить из композиционного порошка, содержащего тугоплавкую боридную оболочку, эвтектический гомогенный сплав с меньшей температурой плавления, что повлияет на технологические и эксплуатационные свойства получаемых индукционной наплавкой защитных покрытий. Снижение температуры плавления ДЛ дробы ИЧХ28Н2 позволит повысить качество получаемого индукционной наплавкой защитного по-

крытия, а, следовательно, и его эксплуатационные свойства.

Предложен эффективный технологический подход, позволяющий кратковременным высоко-

температурным воздействием влиять на структурообразование и технологические свойства ДЛ сплава из отходов дробы ИЧХ28Н2 для индукционной наплавки.

Литература

1. Пантелеенко Ф. И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них. Мн.: УП «Технопринт», 2001.
2. Ворошнин 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.
3. Константинов В. М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий: дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 2008.
4. Лазерная обработка износостойких газотермических композиционных покрытий / О. Г. Девойно, А. С. Калиниченко, М. А. Кардопалова. Минск: БНТУ, 2011.
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. Минск, 2009.
6. Дашкевич В. Г. Поверхностно-легированная стальная проволока для наплавки деталей машин, работающих в условиях абразивного изнашивания: автореф. ... канд. техн. наук. Минск, 2009.
7. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф. И. Пантелеенко [и др.]; под общ. ред. В. П. Иванова. М.: Машиностроение, 2003.
8. Индукционная наплавка твердых сплавов / В. Н. Ткачев [и др.]; под общ. ред. В. Н. Ткачева. М.: Машиностроение, 1970.
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; заяв. Бел. нац. техн. ун-т. – № а 20091415; заявл. 05.10.09; опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр 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» / В. М. Константинов, В. Г. Дашкевич, В. Г. Щербаков.
11. Щербаков В. Г. Анализ путей снижения температуры плавления диффузионно-легированных наплавочных порошков // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2010 г. БНТУ. Минск, 2010. С. 119–120.
12. Щербаков В. Г., Чугаев П. С. 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. Минск: Беларуская навука, 2012.