

ДИФфуЗИОННО-ЛЕГИРОВАННЫЕ СПЛАВЫ ИЗ ЧУГУННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Щербаков Вячеслав Геннадьевич, Приходько Никита Андреевич
Белорусский национальный технический университет
vg.stcherbakov@bntu.by, slava1212@tut.by

За более чем 25 лет [1–6] исследована и подробно описана технология, связанная с получением диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов из металлических порошков и отходов производства. ДЛ сплавы нашли широкое применение при восстановлении и упрочнении деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Однако, работ, связанных с использованием ДЛ сплавов для индукционной наплавки, крайне мало [6], несмотря на то, что данный процесс формирования износостойких покрытий, по затратам удельной тепловой мощности, является одним из самых низкоэнергозатратных [3, 6]. Основной проблемой при индукционной наплавке ДЛ сплавов является наличие тугоплавкой боридной оболочки. Тугоплавкость зависит от химического состава основного сплава. Так в сплавах на железной основе, оболочка состоит из боридов железа, а в легированных сплавах в оболочке присутствуют более тугоплавкие бориды. Согласно [7], в настоящее время, разработано несколько сот сплавов для индукционной наплавки. Согласно авторам [1–6] необходимо не назначать сплавы из ограниченного, а в ряде случаев устаревшего перечня серийно выпускаемых, а оперативно проектировать и изготавливать ограниченные партии высокоэффективных сплавов для конкретных производственных ситуаций.

Анализ литературных данных и собственные исследования [8–10], позволили предложить способ структурообразования в ДЛ сплавах, заключающийся в образовании эвтектических структур, за счет эффекта контактного эвтектического плавления, при кратковременной обработке концентрированными источниками тепла, способствующих повышению наплавляемости сплава при индукционной наплавке.

В качестве исходных сплавов для исследований были выбраны отходы чугунной дроби, образующиеся при дробеструйной обработке деталей и при электроэрозионной обработке отливок из высокохромистого чугуна. Для ДЛ использовали карбид бора (B_4C) и борирующие смеси, разработанные в НИЛ упрочнения стальных изделий БНТУ [11]. ДЛ чугунных сплавов проводили на специальной установке [12]. Соотношение количества насыщающей смеси к насыщаемому сплаву при борировании составляло 1:10 масс. Температура ДЛ чугунной дроби изменялась в интервале 900...1000 °С, продолжительность обработки составляла, в среднем, 60 мин. Индукционную наплавку ДЛ сплавов проводили на установках ВЧГ2-100/0,066 и ФТИ-40/10-50 [13]. Упрочняемым материалом являлись пластины из углеродистой (Сталь 40) и марганцовистой (Сталь 65Г) сталей. Продолжительность наплавки контролировали визуально по

цвету свечения нагретого сплава, моменту образования жидкой ванны расплава и с помощью пирометра «Comract» CTLaser-2МН-CF4.

Кратковременную высокотемпературную обработку ДЛ сплавов проводили на универсальной плазменной установке УПУ-3Д ($I=330...350$ А, $U=75$ В, азот), установке для дуговой сварки в среде защитных газов с вольфрамовым электродом ($I=30...35$ А, $U=22...25$ В) и на установке с двумя графитовыми электродами [14]. Наплавляемость ДЛ сплавов подвергнутых предварительной кратковременной высокотемпературной обработке анализировали на металлических пластинах из низкоуглеродистой стали (Ст 2), по стандартным режимам индукционной наплавки с помощью установки ФТИ.

Установлено, что при ДЛ чугуновой дроби во вращающихся контейнерах на установке с использованием непрерывно-последовательного режима насыщения с рекомендованными температурно-временными параметрами обработки ($t=900\pm 50$ °С, $\tau=60\pm 5$ мин) формируются диффузионные слои толщиной 80...120 мкм и микротвердостью равной 12 000...14 000 МПа. Циклический режим ДЛ позволяет обеспечить гарантированную повторяемость результатов в процессе получения сплавов из металлических отходов чугуновой дроби для индукционной наплавки размером 200...630 мкм и концентрацией в сплаве бора в интервале 2...4 % мас.

Установлено, что при получении ДЛ сплавов из отходов чугуновой дроби с содержанием бора в интервале 2...4 % толщина диффузионных слоев должна быть в интервале 50...100 мкм. При сохранении заданной толщины диффузионного слоя темп толкания можно сократить до 45...55 минут. При ДЛ с использованием трех контейнеров и теплоизолирующих элементов сокращение темпа толкания с 60 мин до 50...57 мин повышает производительность установки до 1,1...1,5 кг/час, с сохранением толщины диффузионного слоя в интервале 60...90 мкм. При ДЛ с использованием трех контейнеров и двух дополнительных контейнеров вместо теплоизолирующих элементов с сокращением темпа толкания с 60 мин до 33...42 мин производительность возрастает до 1,3...1,7 кг/час, с сохранением толщины диффузионного слоя в интервале 50...75 мкм.

Таким образом, установлено, что рост производительности установки для ДЛ возможен за счет использования дополнительных контейнеров и сокращения темпа толкания. Использование пяти контейнеров и сокращение темпа толкания до 35...40 мин, при сохранении толщины диффузионного слоя в интервале 50...90 мкм, повышает производительность установки для ДЛ в 1,2...1,7 раза.

Анализ микроструктуры и микротвердости ДЛ сплавов после оплавления концентрированными источниками энергии позволяет прогнозировать количество эвтектических структур в ДЛ сплаве и подвергать дополнительной обработке ДЛ сплавы перед индукционной наплавкой.

Оценка влияния количества эвтектической составляющей в ДЛ сплаве на наплавляемость, за счет анализа времени образования жидкой ванны при индукционной наплавке по стандартным режимам позволила установить, что без предварительного оплавления на поверхности детали формируется несплошное дефектное покрытие с отсутствием участков сплавления с основным металлом.

На дефектность наплавленного покрытия, как описано ранее, оказывает существенное влияние концентрация тугоплавких боридов в диффузионном слое, а их наличие, в свою очередь, приводит к образованию нерасплавившихся частиц сплава и резкому снижению эксплуатационных свойств покрытия. Индукционная наплавка ДЛ сплавов после оплавления по тем же режимам, формирует на поверхности детали сплошные покрытия с минимальной пористостью, так как известно, что эвтектика железо – бор имеет температуру плавления 1140...1170 °С [2] (по другим данным [15] 1174 °С) и содержит 3,8 % В. Еще более низкую температуру (1100 °С) имеет тройная эвтектика – железо – бор – углерод, содержащая 2,8 % В и 1,5 % С.

Изменяя силу тока при оплавлении ДЛ сплавов из чугуновой дроби в интервале 50...200 А в каждой отдельной частице ДЛ сплава можно сформировать эвтектические структуры, концентрация которых изменяется в интервале 5...100 %, обладающие пониженной температурой плавления. Предварительное оплавление ДЛ сплавов с силой тока 50...200 А снижает время образования жидкой ванны расплава при индукционной наплавке за счет формирования 5...10 % эвтектических структур в сплаве на 15...17 %. Оплавление ДЛ сплавов с силой тока в 200 А формирует 90...100 % эвтектических структур и снижает время образования жидкой ванны при индукционной наплавке на 61...65 %.

Твердость покрытий из ДЛ сплавов на основе чугуновой дроби составляет 830 HV и 920 HV, соответственно. Данная твердость обусловлена наличием в наплавленной структуре легированных боридов железа, боридов хрома, бороцементита и легированного хромом и никелем бороцементита. Пористость в слоях не значительная и составляет порядка 2...3 %. У линии сплавления металл имеет четко выраженную дендритную структуру.

Таким образом, установлены температурно-временные параметры комплексной технологии изготовления ДЛ сплавов из чугуновой дроби для формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой. Данная обработка включает ДЛ в подвижных порошковых средах и последующее оплавление ДЛ сплавов с силой тока 100...150 А. Полученные покрытия обладают минимальной пористостью (2...3 %), твердостью 830...920 HV и износостойкостью в 2,5...3 раза выше, чем у термообработанной стали 45 и в 1,1...1,3 раза выше, чем у защитных покрытий из наплавочного сплава типа Сормайт.

Библиографический список

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. – Изд. 2-е. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.

3. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Износостойкие газотермические покрытия из диффузионно-легированных порошков на основе чугуновой стружки / В.М. Константинов [и др.]; под ред. Ф.И. Пантелеенко. – Минск: Технопринт, 2005. – 146 с.
6. Константинов, В.М. Диффузионно-легированные сплавы для защитных покрытий: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.01 / В.М. Константинов; ФТИ. – Минск, 2008. – 474 л.
7. Индукционная наплавка твердых сплавов / В.Н. Ткачев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1970. – 177 с.
8. Щербаков, В.Г. Диффузионно-легированные сплавы из металлических отходов производства с пониженной температурой плавления для формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой токами высокой частоты / В.Г. Щербаков // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 4. – С. 89–95.
9. Щербаков, В.Г. Оценка влияния режимов оплавления на структурообразование в диффузионно-легированных сплавах для индукционной наплавки / В.Г. Щербаков // *Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов*. – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38 – С. 178–187.
10. Константинов, В.М. Комплексное обеспечение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга поверхностным и объемным упрочнением быстроизнашиваемых деталей // *Перспективные материалы и технологии* / В.М. Константинов, Г.А. Ткаченко, В.Г. Щербаков; НАН Беларуси, УО «ВГТУ»; под общ. ред. В.В. Клубовича. – Витебск, 2017. – Гл. 17. – С. 324–341.
11. Научно-исследовательская лаборатория упрочнения стальных изделий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.bntu.by/mtf-nilusi/item/mtf-nilusi.html. – Дата доступа: 24.04.2018.
12. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала: пат. ВУ 15412 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 28.02.12.
13. 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.
14. Установка для обработки металлического порошка: пат. ВУ 10051 / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 30.04.2014.
15. Крукович, М.Г. Пластичность борированных слоев / М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, И.Г. Сизов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.