

УДК 621.762

## **Повышение эффективности диффузионного легирования порошков на железной и медной основах из дискретных отходов**

Константинов В.М., Щербаков В.Г.

Белорусский национальный технический университет

### *Аннотация:*

В работе рассмотрены особенности термодиффузионного насыщения бором и цинком металлических отходов производства в виде чугунной дроби и медного волокна во вращающейся электрической печи. Установлено, что при диффузионном насыщении во вращающемся контейнере из нержавеющей стали бором и цинком формируются диффузионные слои, с толщиной и твердостью зависящими от температурного режима насыщения, концентрации насыщающей смеси и времени обработки.

### *Текст доклада:*

За более чем 25 лет белорусскими учеными (работы Ф.И. Пантелеенко, С.Н. Любецкого, В.М. Константинова, А.Л. Лисовского, А.С. Снарского, О.П. Штемпеля, В.И. Сороговца, С.Н. Жабуренка, А.М. Авсиевича, В.Г. Дашкевича, Е.Ф. Пантелеенко и др.) созданы диффузионно-легированные сплавы из стальных, чугунных порошков и дисперсных отходов производства для упрочнения и восстановления [1–3]. Активно используются отходы цветных металлов и сплавов для изготовления пористых фильтрующих материалов спеканием (П.А. Витязь, В.М. Капцевич, В.К. Шелег, А.Ф. Ильющенко и др.) [4–5]. Использование диффузионно-легированных сплавов для наплавки обеспечивает формирование износостойких покрытий с необходимыми технологическими и эксплуатационными характеристиками взамен дорогостоящих импортных сплавов, а переработанные дисперсные медные отходы используют в качестве исходного сырья для производства пористых фильтрующих материалов.

Однако, из-за малых размеров металлических отходов производства диффузионное насыщение в порошковых средах является нерациональным, затратным и требующим наличие специального оборудования и инструмента. Отдельного внимания заслуживают работы по интенсификации диффузионного насыщения микрообъектов [6–7]. Авторами доказана интенсифицирующее воздействие микропластических деформаций в процессе насыщения, что позволяет сократить время обработки в 2...4 раза, по сравнению с традиционным насыщением в стационарной порошковой насыщающей среде с использованием плавкого затвора. Таким образом, целью данной работы являлось исследование повышения эффективности

диффузионного легирования дискретных материалов в подвижной порошковой насыщающей среде.

Материалы и методики. В качестве материалов для исследований использовали отходы чугунной дроби ДЧЛ 08 ГОСТ 11964-81, образующиеся при дробеструйной обработке деталей из конструкционных и инструментальных сталей, подвергнутых предварительной или окончательной термической обработке и отходы медных волокон, образующиеся при изготовлении кабельной продукции различного назначения.

В качестве насыщающих сред при ДЛ использовали порошок карбида бора ( $B_4C$ ) и порошок цинка. В качестве активатора использовали порошки хлористого аммония ( $NH_4Cl$ ) и фтористого алюминия ( $AlF_3$ ). ДЛ проводили во вращающемся герметичном контейнере из нержавеющей стали на модернизированной и запатентованной электрической вращающейся печи для ХТО порошковых материалов [8]. Соотношение количества насыщающей смеси к насыщаемому материалу при борировании составляла 1:10 масс. При термодиффузионном цинковании медных волокон в порошке цинка, концентрацию порошка цинка изменяли от 1:9 масс. до 1:1 масс. Температуру ДЛ чугунной дроби изменяли в интервале 850...1000 °С, продолжительность обработки составляла, в среднем, 60 мин. Температура ДЛ медных волокон составляла 400...420 °С, продолжительность обработки – 30 мин.

Установлено, что при увеличении продолжительности ДЛ от 60 до 120 мин, с постоянной температурой обработки, увеличение толщины диффузионного слоя составляет 10...15 %, что при получении ДЛ сплавов является нерациональным. Повышение температуры ДЛ до 1000 °С, с сохранением заданного времени обработки, способствует росту диффузионного слоя на 15...25 %, однако энергетические затраты при производстве ДЛ сплавов возрастают и становятся экономически нецелесообразными.

Микротвердость в ДЛ сплавах из дроби после обработки составляет 13 000...14 000 МПа, толщина диффузионного слоя составляет 60...100 мкм.

Установлено, что при обработке металлических отходов в виде чугунной дроби, размером 400...630 мкм, в подвижной насыщающей среде карбида бора для получения концентрации легирующего элемента в области 2...5 %масс в дроби необходимо обработку осуществлять при температурах не выше  $950 \pm 20$  °С и времени обработки не более  $1 \pm 0,2$  часа.

Так как на разработанной установке реализована возможность обработки нескольких контейнеров, то дальнейшие исследования были связаны с повторяемостью результатов при формировании диффузионных слоев в процессе ДЛ чугунной дроби. Анализировали получаемую микроструктуру

ру, микротвердость и толщину диффузионного слоя при циклической обработке в трех и четырех контейнерах.

Установлено, что при ДЛ чугушной дроби во вращающихся контейнерах на установке с использованием непрерывно-последовательного режима насыщения с рекомендованными температурно-временными параметрами обработки ( $t = 900 \pm 20^\circ\text{C}$ ,  $\tau = 60 \pm 5$  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 ДЛ сплавов из металлических отходов чугушной дроби для индукционной наплавки размером 400...630 мкм и концентрацией в ДЛ сплаве бора 2...4 % масс.

Существующая производительность разработанной установки для ДЛ металлических порошков составляет 0,8...1,0 кг/час, что является недостаточной для промышленного выпуска наплавочных сплавов. Исследовано использование технологических приемов для повышения производительности установки для ДЛ сплавов.

Замена теплоизолирующих элементов на дополнительные контейнеры, выполняющие двойную задачу – теплоизоляцию по зонам нагрева при ДЛ и повышение количества обрабатываемого материала. Также исследовали влияние изменения времени между периодами перемещения вращающихся контейнеров при ДЛ и повышения производительности оборудования без ухудшения технологических свойств ДЛ сплава.

Установлено, что производительность модернизированной установки для ДЛ можно повысить за счет использования дополнительных контейнеров вместо теплоизолирующих элементов и сократив темп толкания при обработке. Использование пяти контейнеров вместо трех и сокращение темпа толкания контейнеров в рабочем пространстве печи до 35...40 мин сохраняет необходимую толщину диффузионного слоя и концентрацию ЛЭ в сплаве, а производительность установки возрастает в 1,2...1,7 раза.

При диффузионном легировании цинком медного волокна формируется диффузионный слой различной толщины. Толщина сформированного на поверхности каждого отдельного медного волокна диффузионного слоя практически линейно зависит от концентрации цинка при насыщении. Диффузионный слой толщиной 17...20 мкм формируется при насыщении с концентрацией цинка равной 5 % масс. При повышении концентрации цинка толщина слоя растет и после диффузионного цинкования в смеси, содержащей 50 % масс цинка слой составляет 90...96 мкм.

Диффузионный слой неоднороден и состоит из двух прослоек в соотношении 2/3. Первый слой, сформированный на поверхности волокна с микротвердостью 1510...2730 МПа и с концентрацией цинка

58,75...62,31 % масс является фазой  $\gamma$ -твердого раствора цинка в меди ( $\text{Cu}_5\text{Zn}_8$ ). Образование данной фазы на поверхности медных волокон при насыщении цинком во вращающемся контейнере обуславливается градиентом концентраций цинка и микропластическими деформациями при термодиффузионной обработке. Второй слой, расположенный между медным ядром и первым слоем с микротвердостью 1020...1220 МПа и с концентрацией цинка 36,05...48,31 % масс. является смесью  $\alpha+\beta$ -фаз ( $\text{Cu}_3\text{Zn}+\text{CuZn}$ ). Микротвердость медной основы составляет 790...820 МПа.

## 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. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
3. 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.
4. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства: монография / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2007. – 232 с.
5. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В.М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2008. – 232 с.
6. 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.
7. Жабуренок, С.Н. Повышение долговечности плужных лемехов наплавкой диффузионно-легированными сплавами из чугуновой стружки и последующей термической обработкой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / С.Н. Жабуренок; ПГУ. – Новополоцк, 2004. – 20 с.
8. 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.