

ное превращение гидроксида алюминия в каталитически активную $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ при незначительном содержании высокотемпературной модификации $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. На основании проведенных исследований разработана технология микроплазменного напыления объемно-пористых покрытий с оптимальным содержанием $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, высокими значениями адгезионной прочности и удельной поверхности.

Показано, что покрытие, полученное напылением композиционного порошка $\text{Al}+\text{Al}(\text{OH})_3$ с содержанием алюминия от 7 до 12 об.%, имеет различные по размеру поры (микро-, мезо- и макропоры) размером от 1 до 300 нм. В покрытии доля микропор составляет 9%, мезопор – 58%, а макропор – 33%. Наличие значительного количества мезо- и макропор существенно повышает каталитическую эффективность объемно-пористого покрытия. Разработанная технология микроплазменного напыления композиционных порошков $\text{Al}+\text{Al}(\text{OH})_3$ позволила создать покрытие с содержанием фазы $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ свыше 70 мас.%, значением удельной поверхности более 25 м²/г, высокой адгезией не менее 6 МПа. Покрытие обладает мультidisперсной пористой структурой со средним размером пор 12 нм.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о перспективности объемно-пористых покрытий для созданий на их основе систем паровой конверсии углеводородного сырья в водородосодержащее топливо для энергетических систем, а так же создание аварийно-спасательных комплексов на море на базе высокочастотных химических источников тока, активируемых морской водой.

Литература

1. Юрков, М. А. Создание управляемой наноструктуры в покрытии, полученном методами газотермического напыления / М. А. Юрков, С. Е. Шолкин // Вопросы материаловедения. – 2010. – № 2(62). – С. 68–74.
2. Юрков, М. А. Разработка технологии создания объемно-пористых покрытий на основе оксида алюминия методом микроплазменного напыления / М. А. Юрков // Вопросы материаловедения. – 2011. – № 2(66). – С. 67–76.
3. Юрков, М. А. Возможности технологии микроплазменного напыления для нанесения функциональных покрытий / М. А. Юрков, С. Е. Шолкин // Сб. док. VII конф. молодых ученых и специалистов ФГУП ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ», СПб., 26–27 июня 2008 г. – СПб.: Изд-во ФГУП ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ», 2008.

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ДИФфуЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ СПЛАВОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ И МЕДНОЙ ОСНОВАХ

В. Г. Щербаков¹, П. С. Чугаев²

¹ Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
т.: (017) 292-81-85, ф.: (017) 293-91-16,

² Белорусский государственный аграрно-технический университет, Минск, Беларусь

Введение. Проблеме разработки сплавов для получения защитных покрытий посвящено большое количество работ. С конца 70-х годов XX в. активно развиваются и стабильно используются в мировом производстве технологии упрочнения деталей индукционной наплавкой. Наплавка твердыми сплавами позволяет значительно повысить долговечность деталей за счет высокой абразивной износостойкости упрочняющего слоя. В настоящее время разработаны новые способы и составы для получения диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов на железной основе [1]. В качестве основы используются отходы металлических порошков и отходы обработки резанием. Разработанные технологии получения ДЛ сплавов позволили существенно повысить технологические и эксплуатационные свойства получаемых наплавочных материалов [1]. Известно [2], что работа машин и механизмов без использования соответствующих смазочных материалов невозможна. Одним из методов очистки смазочных материалов является фильтрация. Большой интерес вызывают фильтрующие материалы (ФМ), изготовленные из отходов производства медного кабеля – так называемой медной сечки [3].

Цель работы – исследование снижения температуры плавления ДЛ сплавов после кратковременного высокотемпературного воздействия и снижение температуры спекания медных волокон при получении ФМ.

Экспериментальная часть исследований состояла из двух этапов.

На первом этапе по заказу РУП «Минский завод шестерен» был разработан ДЛ сплав из отходов чугушной дроби, остающейся после дробеструйной обработки. Использование данного сплава позволило сократить закупки ферросплавов и снизить затраты на производство упрочненных деталей [4–5]. Получено решение о выдаче патента [6].

Разработанная в конце XX в. концепция диффузионного легирования предусматривает использование порошков относительно малых размеров (100–200 мкм). Такие порошки широко применяются при получении покрытий концентрированными потоками энергии (плазменная наплавка, напыление и т. д.) [1].

Для индукционной наплавки рекомендуется применять ДЛ порошки с размерами 400–630 мкм. Увеличение размеров ДЛ сплава отрицательно сказывается на расплавлении композиционного порошка с тугоплавкой диффузионной оболочкой при индукционной наплавке. Для повышения качества наплавленного слоя и отсутствия деформаций на подложке приходится применять циклический нагрев и/или добавлять в шихту специальные легкоплавкие флюсы. Данные меры оказывают негативное влияние как на продолжительность процесса, так и на качество получаемых защитных покрытий.

Данный факт обусловлен тем, что ДЛ сплав на железной основе представляет собой композиционный порошок, состоящий из стального или чугунного ядра и тугоплавкой оболочки. При высокотемпературных процессах нанесения защитных покрытий тугоплавкая оболочка расплавляется и происходит образование защитного слоя.

Одним из главных отрицательных технологических свойств ДЛ сплавов на железной основе является высокая температура плавления. Как правило, для реализации эффекта контактного эвтектического плавления такого композиционного порошка необходимо либо повышать температуру, либо применять длительную выдержку для протекания диффузионных процессов [7]. Были проведены исследования по возможности снижения температуры плавления диффузионно-легированных сплавов [8, 9]. При предварительном оплавлении в плазмотроне и пропускании диффузионно-легированного порошка через горящую дугу обнаружены трансформация микроструктуры и изменение значения микротвердости по сечению ДЛ сплава. Композиционный порошок после кратковременного высокотемпературного воздействия стал эвтектическим. Распределение микротвердости по сечению выравнивалось, ближе к краю снизилось, а к центру возросло.

Было выявлено благоприятное влияние наличия эвтектики на наплавляемую сплава. Исходя из анализа поверхности ликвидус части системы Fe-B-C, построенной различными исследователями [10], уста-



Рис. 1. Микроструктура дроби ДЧЛ08 до (а) и после (б) оплавления, $\times 200$



Рис. 2. Микроструктура дроби ИЧХ28Н2 до (а) и после (б) оплавления, $\times 200$



Рис. 3. Микроструктура стружки Р6М5 до (а) и после (б) оплавления, $\times 200$



Рис. 4. Микроструктура ферросплава ФБХ-6-2 до и после оплавления, $\times 200$

новлено, что оплавление порошка в концентрированном тепловом потоке приводит к контактному оплавлению и образованию эвтектики без тугоплавкой оболочки, температура плавления которой составляет 1000–1100 °С [8, 9].

Дальнейшие исследования позволили разработать экспериментальную установку для кратковременного высокотемпературного воздействия на ДЛ наплавочный порошок. Были выбраны несколько видов ДЛ сплавов. Отходы чугуна ДЧЛ 08 ГОСТ 11964–81 (фр. 0,4–0,63 мм), отходы хромистого чугуна ИЧХ28Н2 ГОСТ 1412–85 (фр. 0,4–0,63 мм), отходы стружки Р6М5 ГОСТ 19265–73 (фр. 0,5–1,0 мм) и ферросплава ФБХ–6–2 ГОСТ 11546–75 (фр. 0,5–1,0 мм). Выбранные материалы подвергались предварительной химико-термической обработке в тигле с плавким затвором смеси для борирования, полученной методом алюминотермии с последующей магнитной сепарацией. Насыщение осуществлялось 4 ч при $T = 950$ °С. Установлено, что при кратковременном высокотемпературном воздействии на ДЛ сплавы происходит изменение микроструктуры и существенно изменяется значение микротвердости по сечению сплавов. Установлено полное расплавление с последующей кристаллизацией и с образованием эвтектики на сплавах ДЧЛ и ИЧХ (рис. 1–2) и частичные оплавления боридных слоев на сплавах Р6М5 и ФБХ (рис. 3–4).

Таким образом, установлено, что кратковременное высокотемпературное воздействие на ДЛ сплавы позволяет получить сплавы с эвтектической структурой без тугоплавкой боридной оболочки с пониженной температурой плавления, а значит повысить технологические и эксплуатационные свойства получаемых индукционной наплавкой защитных покрытий.

Второй этап посвящен снижению температуры спекания медных отходов кабельной промышленности при производстве волокнистых ФМ. Традиционная технология заключается в предварительном прессовании медных волокон и последующем спекании в печи. Нами было предложено предварительное ДЛ медных волокон перед прессованием. Цинк повышает прочность и пластичность меди, но только до 30%. Исходя из диаграммы состояния Cu–Zn [11], цинк также снижает и температуру плавления меди. Анализ ДЛ меди цинком в подвижной порошковой среде с различными концентрациями выявил, что при содержании цинка в смеси более 30% он резко снижает пластичность и прочность медных волокон и прессование не происходит. Оптимальное содержание цинка в смеси – 10%. При данном содержании цинка при ДЛ на поверхности медных волокон образуется слой латуни, что положительно влияет на прессование и снижение температуры спекания. Экспериментальные исследования выявили снижение температуры спекания с 1020 °С до 860 °С и снижение давления прессования с 20–25 до 10–15 т в связи с увеличением прочности и пластичности.

При спекании волокон с содержанием цинка на поверхности от 30 до 50% спекание образцов не произошло, образец разрушался во время извлечения его из печи. Спекание образцов с содержанием на поверхности от 10 до 20% цинка произошло во всем объеме образца. Анализ результатов по спеканию образцов показал, что лучшие результаты спекания у образцов с содержанием цинка на поверхности 10%.

Выводы. Предложен технологический подход, позволяющий влиять на структурообразование, а следовательно, и на температуру плавления ДЛ сплавов для индукционной наплавки при предварительном кратковременном высокотемпературном воздействии на ДЛ наплавочные материалы.

ДЛ меди цинком положительно влияет на технологические свойства волокон и позволяет снизить энергетические затраты при производстве ФМ. Анализ результатов по спеканию образцов показал, что лучшие результаты спекания у образцов с содержанием цинка на поверхности 10%. Исследован один из возможных путей влияния на технологические свойства медных отходов кабельной промышленности при изготовлении фильтрующих материалов

Литература

1. *Пантелеенко, Ф. И.* Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф. И. Пантелеенко – Минск: Технопринт, 2001. – 300 с.
2. Новые фильтрующие материалы и перспективы их применения / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2008. – 232 с.
3. Использование отходов медного кабельного производства для изготовления фильтрующих материалов / В. М. Капцевич [и др.] // Пористые проницаемые материалы: технологии и изделия на их основе: материалы докл. Междунар. симп., 27–28 октября 2011 г. / Институт порошковой металлургии ГНПО ПМ НАН Беларуси. – Минск, 2011.
4. *Щербаков, В. Г.* Получение износостойких покрытий из диффузионно-легированных отходов чугуна / В. Г. Щербаков // *Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф.: в 3-х т. Т. II / под общ. ред. П. А. Витязя, С. А. Астапчика.* – Новополоцк: ПГУ, 2009. – 348 с.
5. *Пантелеенко, Е. Ф.* Исследование диффузионно-легированных отходов стальной и чугуна для получения защитных покрытий / Е. Ф. Пантелеенко, В. Г. Щербаков // *Литье и металлургия*, 2009. № 1 – С. 176–181.
6. Решение о выдаче патента на изобретение от 2011.08.04. Заявка № 20091415 05.10.2009 на выдачу патента РБ на изобретение «Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала» авторы – Константинов В. М., Штемпель О. П., Щербаков В. Г.
7. *Ткачев, В. Н.* Индукционная наплавка твердых сплавов / Ткачев В. Н. [и др.]. – М.: Машиностроение, 1970. – 182 с.

8. Щербаков, В. Г. Анализ путей снижения температуры плавления диффузионно-легированных наплавочных порошков / В. Г. Щербаков // Инженерия поверхностного слоя деталей машин: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–28 мая 2010 г. / Минск: БНТУ, 2010 – С. 119–120.
9. Щербаков, В. Г. Анализ возможности уменьшения температуры плавления диффузионно-легированных металлических порошков для индукционной наплавки / В. Г. Щербаков // сб. науч. работ VIII республ. студ. науч.-техн. конф.: Новые материалы и технологии их обработки. – Минск: Метолит, 2007. – С. 36–37.
10. 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.
11. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т. 2 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.

НАНЕСЕНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ С ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ГОМОГЕНИЗАЦИЕЙ

Д. И. Щуревич, В. А. Микуцкий, О. Л. Смoryго

*Институт порошковой металлургии, Минск, Беларусь,
т.: (017) 292-66-39, ф.: (017) 210-05-74, e-mail: Lab22@tut.by*

Создание новых покрытий с улучшенным комплексом свойств для повышения ресурса работы изделий под влиянием негативного воздействия окружающей среды, при эксплуатации в условиях трения и ударных нагрузок до сих пор во всем мире остается одной из актуальных проблем. Поэтому исследование процессов нанесения многокомпонентных покрытий на подложки сложного профиля и внутреннюю поверхность пористых тел, изготовленных из недорогих материалов, для повышения функциональных свойств изделий (коррозионная стойкость, механическая прочность, твердость) является важной научно-технической задачей.

Равномерные плотные покрытия, в том числе сложного состава, могут наноситься гальваническим методом – электрохимическим соосаждением. Однако процессы соосаждения металлов имеют технологические ограничения: в большинстве случаев это двухкомпонентные покрытия; есть ограничения на соотношение компонентов в покрытии; есть ограничения по выбору пар соосаждаемых металлов; во многих случаях высокое качество покрытий достигается при использовании экологически опасных электролитов на основе цианидов.

В работе рассмотрен процесс получения многокомпонентных покрытий, преодолевающий указанные выше недостатки. Сущность метода заключается в послойном гальваническом осаждении металлов с их последующей термической гомогенизацией. Метод позволяет получать покрытия на основе сложных сплавов с неограниченной концентрацией компонентов. В данной работе рассмотрены технологии получения покрытий типа Cu-Zn (латунь) и Cu-Sn (бронза).

Гальванические покрытия наносили на пластины из стали Ст3. Предварительная подготовка поверхности включала обезжиривание и травление в стандартных растворах. Затем проводилось послойное осаждение меди и цинка либо меди и олова с последующей высокотемпературной гомогенизацией до получения равновесных сплавов медь-цинк или медь-олово за счет взаимной диффузии. Для осаждения медного покрытия использовался процесс с пирофосфатным электролитом. Для осаждения цинкового покрытия использовался процесс слабокислого цинкования с хлоридным электролитом. Для осаждения оловянного покрытия использовался процесс лужения со станнатным электролитом. Составы электролитов меднения, цинкования и лужения приведены в таблице.

Составы растворов (г/л) и режимы осаждения покрытий

Компоненты раствора и режим	Электролит меднения	Электролит цинкования	Электролит лужения
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	90	–	–
$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$	350	–	–
ZnCl_2	–	90	–
NH_4Cl	–	170	–
$\text{Na}_2\text{SnO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	–	–	50
CH_3COOH	–	–	50
T, °C	30–40	20–25	70–80
i, A/дм ²	0,5–1	1,5–2	0,5–2

Исследовались температурные диапазоны, обеспечивающие возникновение промежуточной жидкой фазы – как обеспечивающие интенсификацию диффузионных процессов между нанесенными слоями. Вре-