

4. Методика определения прочности противопригарных красок / О.С. Комаров [и др.] // Литье и металлургия. – 2014. – № 4. – С. 31–33.

5. Давыдов, Н.И. Литейные противопригарные покрытия: справочник / Н.И. Давыдов. – М.: Машиностроение, 2009. – 240 с.

УДК 669

И.А. ИВАНОВ, д-р техн. наук,
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
В.А. ШЕЙНЕРТ,
А.Н. БЕЛЫЙ,
Ю.А. КОСТЮЧЕНКО,
Д.В. ПРИМШИЦ (БНТУ)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ КАТОДОВ-МИШЕНЕЙ ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ СИЛИЦИДОВ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕЙНО-ДЕФОРМАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Вакуумная ионно-плазменная обработка изделий с формированием на их поверхности защитных слоев широко используется для придания поверхности из этих материалов специальных свойств. В производстве широко применяются покрытия на основе силицидов титана, меди, никеля и других элементов. Использование таких соединений обусловлено их специальными свойствами (высокие температуры плавления, твердость, жаропрочность, износ- и коррозионная стойкость).

Процесс вакуумного ионно-плазменного формирования покрытий на основе силицидов и других тугоплавких металлов из однокомпонентных металлических катодов достаточно прост в реализации и хорошо изучен. Эффективность таких покрытий зависит от многих факторов, одним из которых является плотность и однородность материала катода мишени.

Ранее выполненные исследования [1–3] показали возможность изготовления катодов мишеней методом литья в разовые формы. Отработаны различные варианты, в том числе высокотемпературная

восстановительная плавка комплексных силицидов на основе оксидов титана, никеля, меди и кремния, а также высокоскоростная индукционная плавка аналогичных силицидов с использованием металлических компонентов сплава с последующей заливкой в специальные литейные формы и получением литой заготовки катода мишени. Предварительные испытания опытных образцов полученных катодов мишеней при нанесении вакуумных ионно-плазменных защитных покрытий показали их работоспособность. При этом были выявлены и некоторые недостатки, в частности недостаточно высокая плотность и однородность материала, полученного методом литья.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса изготовления таких катодов-мишеней с использованием совмещенной литейно-деформационной технологии. Суть технологии заключается в получении на начальном этапе литой заготовки силицида с последующим размолом материала до нужной фракции.

На следующем этапе порошок силицида подвергается пластической деформации в специальной оснастке, позволяющей получить образец катода мишени требуемой геометрии и после соответствующей термической обработки катод мишень устанавливается в специальную форму, нижняя его часть заливается сплавом на основе меди либо железа, формируя токовод.

На первом этапе работы в лабораторных условиях с использованием методики, разработанной авторами, проведены экспериментальные исследования высокотемпературного синтеза различных силицидов [4]. Исходная шихта состояла из порошков оксидов титана, никеля, меди, кремния и силикокальция СК30, а в качестве восстановителя использовали порошок алюминия.

Установлено, что при наличии в составе смеси силикокальция процесс горения сопровождается практически полным восстановлением компонентов силицида, при этом под действием силы тяжести на расплавленные продукты реакции в рабочем тигле получаются два конечных продукта: металлический слиток и шлак. Кроме того, наличие в составе активного восстановителя кальция позволило снизить расчетное количество алюминия.

На рисунке 1 представлена макроструктура различных силицидов, из которых видно, что полученные таким способом слитки имеют плотную однородную структуру.



a



б

a – кремний-медь-титан; *б* – кремний-никель-титан

Рисунок 1 – Макроструктура опытных образцов силицидов, полученных СВС-процессом

Исследования элементного состава опытного образца силицида системы титан-кремний-никель, выполненные на микрорентгено-спектральном анализаторе «INCA 350» фирмы «OxfordInstruments» (Англия), показали, что полученный материал содержит, наряду с никелем, титаном и кремнием, незначительное количество (1,5 %) остаточного алюминия (восстановителя).

Химический анализ шлака, полученного от восстановительной плавки силицида, свидетельствует о наличии в нем значительного количества кальция (9 %), что подтверждает его высокую восстановительную способность. В составе шлака обнаружено также около 10 % титана, а такие элементы, как никель и кремний, в нем практически отсутствуют, так как они полностью перешли в слиток силицида.

На втором этапе были проведены экспериментальные исследования процесса получения аналогичных по составу силицидов методом высокоскоростной индукционной плавки по методике, описанной в работе [3]. В качестве шихтовых материалов использовали кристаллический кремний, лом меди, электролитический никель и кусковой титан.

После полного расплавления компонентов шихты полученный силицид разливали в открытые литейные формы, которые обеспечивали направленную кристаллизацию слитка. В качестве примера на рисунках 2, 3 представлены их фотографии. Установлено, что

такой способ плавки обеспечивает достаточно высокий металлургический выход (95–97 %) и однородную макроструктуру полученных слитков силицидов.

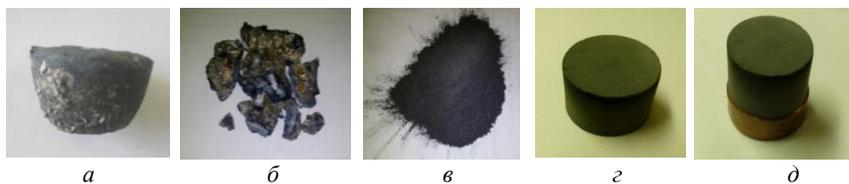


Рисунок 2 – Слиток силицида титан-кремний-никель (а) и макроструктура (б), полученного высокоскоростной индукционной плавкой



Рисунок 3 – Слиток силицида титан-кремний-медь (а) и макроструктура (б), полученного высокоскоростной индукционной плавкой

Слитки полученных силицидов после предварительного дробления размалывались в порошок определенной фракции и затем с использованием пластификатора он прессовался и таким образом получали заготовку катода мишени. Известно, что катоды-мишени, используемые для нанесения защитных покрытий, являются съемными и водоохлаждаемыми, и состоят обычно из двух частей: рабочей части, которая испаряется дугой, и токовода, обеспечивающего крепление катода в испарителе и его быструю замену, а также эффективный электрический контакт с его испаряемой частью. С этой целью в дальнейшем брикетированная заготовка отжигалась и с использованием специальной технологической оснастки получали образцы катодов мишеней. На рисунке 4 представлены основные этапы процесса получения катодов мишеней литейно-деформационным методом.



a – литая заготовка силицида; *б* – после предварительного дробления; *в* – размол до фракции менее 0,8 мм; *г* – катод-мишень, полученный методом прессования; *д* – готовый катод-мишень с тоководом

Рисунок 4 – Основные этапы изготовления катодов мишеней литейно-деформационным методом

Таким образом, в результате экспериментальных исследований разработан технологический вариант изготовления катодов мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников (рисунок 5).



Рисунок 5 – Технологическая схема получения катодов-мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников литейно-деформационным методом

С учетом полученных предварительных результатов и применительно к конкретной вакуумно-электродуговой испарительной установке в дальнейшем планируется отработка совмещенного литейно-деформационного технологического процесса получения опытных образцов катодов-мишеней из комплексных силицидов.

Список литературы

1. Исследование процесса получения сплавов металл-кремний для изготовления катодов-мишеней / И.А. Иванов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск 14–16 сентября 2016 г. / ФТИ НАН Беларуси. – Минск, 2016.

2. Особенности получения силицидов для изготовления катодов-мишеней / А.И. Иванов [и др.] // Metallurgy: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2016. – Вып. 37. – С. 98–103.

3. Технологические особенности получения силицидов на основе меди, никеля и титана для катодов-мишеней / И.А. Иванов [и др.] // Metallurgy: Республ. межведом. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2017. – Вып. 38. – С. 84–90.

4. Получение катодов-мишеней из силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И. А. Иванов [и др.] // Литье и металлургия. – 2018. – № 2 (91). – С. 99–102.

УДК 669

В.А. ШЕЙНЕРТ,
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд. техн. наук,
В.С. КАЛИНИЧЕНКО, канд. техн. наук,
Е.Г. ИВАНОВСКИЙ (БНТУ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРООХЛАЖДЕННЫХ АРМИРУЮЩИХ ЧУГУННЫХ ГРАНУЛ ДЛЯ КОМПОЗИТОВ

Для макронеоднородных композиционных материалов, получаемых методами литья и применяемых в тяжелонагруженных узлах трения, важную роль имеет состав матрицы и армирующего эле-