

УДК 669.714

И.А. ИВАНОВ, д-р техн.наук,
А.Г. СЛУЦКИЙ, канд.техн.наук,
В.А. ШЕЙНЕРТ,
Э.В. КОВАЛЕВИЧ (БНТУ)

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ПОЛУЧЕНИЯ
КАТОДОВ-МИШЕНЕЙ ИЗ СИЛИЦИДОВ МЕТАЛЛОВ
ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ
ИСТОЧНИКОВ**

В работе обобщены результаты исследования процесса получения комплексных силицидов для катодов-мишеней, используемых для нанесения защитных покрытий. На первом этапе были выполнены теоретические и экспериментальные исследования особенностей получения слитков силицидов, содержащих в своем составе титан, никель, медь с использованием СВС процесса. На рисунке 1 представлены результаты расчетов термичности ряда восстановительных смесей. Анализ полученных данных показал, что восстановление меди и никеля из оксидной фазы возможно за счет алюминия, кремния и кальция. При этом значения термичности особенно высокие при использовании в качестве восстановителя алюминия и кальция. Титан и кремний можно восстановить только за счет алюминия и кальция. Однако для интенсификации процесса требуется предварительный подогрев смеси, так как их термичность ниже значений 2300 Дж/г. С учетом полученных расчетных данных были подобраны составы смесей и разработаны варианты восстановительной плавки комплексных силицидов методом СВС процесса.

В лабораторных условиях с использованием методики, разработанной авторами, проведены экспериментальные исследования высокотемпературного синтеза различных силицидов [1]. Исходная шихта состояла из порошков оксидов титана, никеля, меди, кремния и силикокальция, в качестве восстановителя использовали

порошок алюминия. Установлено, что при наличии в составе смеси оксида кремния процесс восстановления протекает не полностью из-за невысокой общей термичности смеси. В результате металлургический выход слитка силицида составляет не более 55 %.

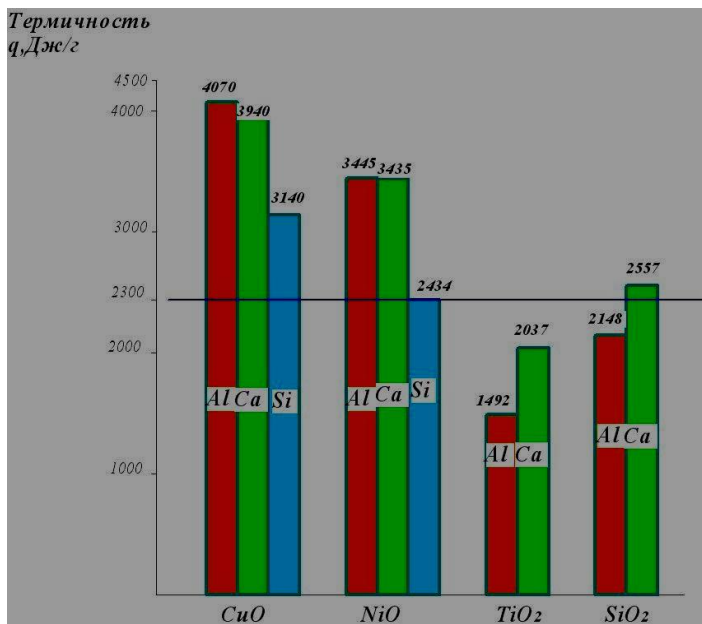


Рисунок 1 – Диаграмма расчетных значения термичности различных восстановительных смесей (горизонтальная линия отмечает значение термичности, выше которой не требуется подогрев смеси)

С целью интенсификации процесса плавки в составе восстановительной смеси вместо оксида кремния использовали порошок силикокальция марки СК30. Это позволило существенно активизировать процесс за счет дополнительной теплоты, выделяемой в результате растворения кремния в жидкой лигатуре титан-никель и медь-титан. Кроме того, наличие в составе активного восстановителя кальция (силикокальция) позволило снизить расчетное количество алюминия, выявить взаимосвязь соотношения компонентов смеси с тепловыделением и скоростью реакции, а также учесть влияние темпера-

туры предварительного подогрева на изменение теплового эффекта и температуры начала реакции взаимодействия.

Таким образом, кремний, входящий в состав силикокальция, повышает тепловой эффект процесса восстановления при добавлении его к шихте с оксидами титана, никеля либо меди. Экспериментально установлено, что процесс горения такой смеси сопровождается практически полным восстановлением компонентов силицида, при этом под действием силы тяжести на расплавленные продукты реакции в рабочем тигле получаются два конечных продукта: слиток силицида и шлак. При этом металлургический выход по силицидам составил 90–95 %, а полученные слитки имели плотную однородную структуру (рисунок 2).



кремний-медь-титан



кремний-никель-титан

Рисунок 2 – Макроструктура опытных образцов силицидов, полученных СВС процессом

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

Химический анализа шлака, полученного от 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, никель и кремний в нем практически отсутствуют, так как они полностью перешли в слиток силицида. С учетом выявленных особенностей процесса плавки была проведена корректировка состава восстано-

вительной смеси по оксиду титана и алюминию и изготовлен опытный образец катода-мишени на медном токовом (рисунок 3).



Рисунок 3 – Образец катода-мишени из сплава кремний-никель-титан на медном токовом

На втором этапе были проведены экспериментальные исследования процесса получения катодов мишеней методом высокоскоростной индукционной плавки. По разработанной методике [2, 3] были выплавлены различные по составу силициды с использованием чистых шихтовых материалов. На полученных образцах исследовали химический состав, а также макро- и микроструктуру. Установлено, что такой способ плавки обеспечивает достаточно высокий металлургический выход (96–98 %) и однородную макроструктуру полученных слитков силицидов.

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 учетом этих особенностей применительно к конкретной вакуумно-электродуговой испарительной установке УВН 70 Union разработан вариант литья и получены опытные образцы катодов-мишеней из комплексных силицидов титана с никелем и медью (рисунок 4).

Таким образом, на основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны технологические варианты плавки комплексных силицидов и получения на их основе катодов мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников.



Рисунок 4 – Опытный образец катода-мишени из комплексного силицида на стальном токовом

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 сент. 2016 г. / ФТИ НАН Беларуси.– Минск, 2016.
- 2. Особенности** получения силицидов для изготовления катодов-мишеней / А.И. Иванов [и др.] // *Металлургия: Республ. межведом. сб. науч. тр.* – Минск: БНТУ, 2016. – Вып. 37. – С. 98–103.
- 3. Получение** катодов-мишеней из силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И.А. Иванов [и др.] // *Литье и металлургия.* – 2018. – № 2. – С. 99–102.

УДК 621.785

С.М. УШЕРЕНКО д-р техн. наук,
В.Г. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
Ю.С. УШЕРЕНКО, канд. техн. наук (БНТУ)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА СТАЛИ Р6М5, УПРОЧНЕННОЙ ДИНАМИЧЕСКИМ ЛЕГИРОВАНИЕМ С ПОСЛЕДУЮЩИМ АЗОТИРОВАНИЕМ

Введение. Проблема повышения твердости и соответственно износостойкости поверхностного слоя инструмента является актуальной задачей, которая традиционно решается применением химико-