

**Технологические особенности вакуумной плавки комплексных силицидов.**

Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Долгий Л.П.  
Белорусский национальный технический университет

На основании анализа диаграмм состояния систем кремний - переходные и тугоплавкие металлы определен ряд перспективных сплавов на основе комплексных силицидов для использования их при изготовлении катодов-мишеней (таблице 1)

Таблица 1 – Составы перспективных литых комплексных силицидов

Химический состав массовых %						
№	Ti	Ni	Cr	Mo	W	Si
1	50	20	-	-	-	30
2	-	20	60	-	-	20
3	30	20	30	-	-	20
4	25	15	-	35	-	25
5	40	15	-	-	20	25

Примером может служить силицид, содержащий Ti – 50 %, Ni – 20 %, Si – 30 %. Экспериментально установлено, что при получении таких сплавов традиционным способом с использованием индукционной высокоскоростной печи имеет место активное протекание экзотермических реакций образования силицидов титана [1]. При этом порядок плавки, время и темп ввода компонентов имеет решающее значение.

Известно, что титан интенсивно окисляется при нагреве, начиная с температуры 1023°C, а в расплавленном состоянии активно растворяет кислород [1]. Кроме того, расплавленный титан также активно взаимодействует с большинством известных огнеупоров, за исключением графита высокой плотности, поэтому целесообразнее плавку титансодержащих сплавов проводить в нейтральной атмосфере печи.

На основании вышеизложенного и применительно к комплексному силициду титан-никель-кремний в лабораторных условиях апробирована технология вакуумной плавки данного сплава. В качестве плавильного агрегата использовали вакуумную индукционную печь (рисунок 1) с выходной мощностью 50 кВт и частой генерации в диапазоне 1-4 кГц, позволяющий развивать удельную тепловую мощность в садке до 250 Дж·с/см<sup>3</sup>, что обеспечило скоростное расплавление исходных материалов при разрядении в плавильной камере 1·10<sup>-4</sup> мм. рт. ст.

Конечной целью данного литейного процесса является получение слитка комплексного силицида с плотной, однородной, термонапряжённой структурой, который легко поддается последующему процессу дробления и измельчения.



Рисунок 1- Общий вид лабораторной вакуумной индукционной печи

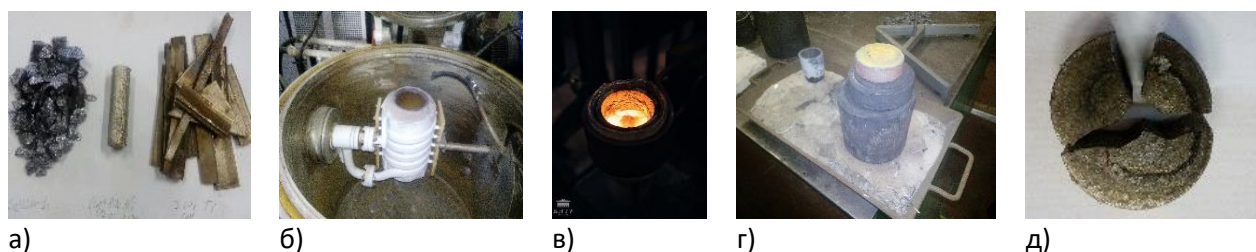
Технология плавки включала следующие этапы.

1. Загрузка шихты в печь через шлюз;
2. Откачка из печи воздуха до рабочего давления 1-5 Па,
3. Расплавление шихты
4. Выдержка
5. Выпуск и разливка сплава в литейную форму.

Известно [2,3], что при плавке в вакууме ряд физико-химических процессов имеет специфические особенности, а именно: интенсивно выделяются газы из металла, заметно испаряются примеси с высокой упругостью пара. Практически отсутствует окисление основных компонентов сплава и особенно титана, хрома и других активных элементов, что обеспечивает получение слитка с минимальным угаром элементов. При этом становится возможным эффективное удаление неметаллических включений (НВ).

Такие преимущества делают вакуумно-индукционную плавку (ВИП) перспективной при изготовлении слитков из комплексных силицидов. В случае изготовления мерных литых заготовок оптимальным вариантом является применение специальных керамических форм либо кокиля.

На рисунке 2 приведены основные этапы получения слитка комплексного силицида с использованием вакуумной плавки.



а-шихтовые материалы (кремний, никель, титан); б-плавильный тигель в вакуумной камере установки; в-процесс плавки в вакууме; г-горячий слиток силицида; д-куски силицида после охлаждения.

Рисунок 2 – Этапы получения слитка из комплексного силицида, при вакуумной плавке.

Расчетное количество кристаллического кремния, металлического никеля и титана (а) загружалось в плавильный тигель вакуумной печи (б) и осуществлялась вакуумная плавка (в) с последующей разливкой полученного силицида в постоянную литейную форму. После завершения процесса кристаллизации горячий слиток извлекали из вакуумной камеры (г) и после полного охлаждения подвергали предварительному дроблению (д).

Установлено, что вакуумная плавка позволяет получать сплав силицида заданного химического состава за счет минимального окисления основных компонентов и особенно титана. При этом излом слитка имеет плотную однородную структуру по сравнению с комплексным силицидом выплавленным на высокоскоростной индукционной печи в воздушной атмосфере (рисунок 3).



а-вакуумная индукционная плавка; б- индукционная плавка в воздушной атмосфере

Рисунок 3- Макроструктура слитков комплексного силицида в зависимости от технологии плавки

Таким образом в результате выполненных экспериментальных исследований показана реальная возможность существенного повышения качественных характеристик слитков из комплексных силицидов за счет вакуумной плавки. Это позволит получать на их основе порошки для последующего изготовления заготовок катодов-мишеней, используемых при нанесении защитных покрытий на изделия в том числе медицинского назначения.

### Литература

1. Иванов И.А., Слуцкий А.Г., Шейнерт В.А., Белый А.Н Комплексный подход к решению технологической задачи получения катодов-мишеней из силицидов переходных металлов для вакуумных ионно-плазменных источников/ Журнал «Литье и металлургия» 2022г., № 3 – с. 83-90.
2. Слуцкий А.Г., Долгий Л.П., Луцкич П.Е. Технологические особенности процессов, происходящих в расплаве при вакуумной индукционной плавке. Материалы 7 –ой Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, Саратов, 2021. С 388-391.
3. Долгий Л.П., Особенности технологических процессов при вакуумной плавке / Л.П. Долгий, А.Г. Слуцкий, И.А. Касперович // Современные технологии для заготовительного производства. Сб. научных работ Республиканской НТК ППС, 2022г. стр. 152-153.