

### Совершенствование технологии получения катодов-мишеней для нанесения защитных покрытий

Студенты: гр. 10405120 Гулецкий Н.А; гр. 10405119 Дайлид Е.С.;  
гр. 10405119 Лавринович М.И., гр. 10405221 Бойко Д.С.  
Научный руководитель – Шейнерт В.А., А.Г.Слуцкий  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Перспективным направлением является получение катодов-мишеней из сложнолегированных сплавов для ионно-плазменных испарительных систем с применением тепловых и деформационных методов воздействия на материалы (индукционная плавка, получение слитков, дробление и размол, прессование в заготовки, спекание, изготовление катода-мишени).

На основании ранее выполненных исследований определены композиции силицидных покрытий, включающие различные их комбинации. Наиболее оптимальными с технологической и ценовой точек зрения являются сочетания силицидов титана, никеля, хрома, молибдена и вольфрама. Для реализации возможностей изготовления катодов определены основные группы технологических принципов, включающих аналитические, металлургические, литейные, деформационные и термические.

Примером может служить получение литого силицида следующего состава: Ti – 50 %, Ni – 20 %, Si – 30 %. Химический состав сплава выбран на основании принципа анализа диаграмм состояния систем [1].

Предложена следующая схема синтеза: реактор -графитовый тигель, газовая атмосфера - нейтральная (аргон). Первая стадия -получение расплава кремния и его перегрев до 1900 К, вторая стадия – подогрев никеля и титана в пластинах толщиной 0,003–0,005 м до 700 К, третья стадия – последовательный непрерывный ввод никеля, затем титана в исходный расплав кремния. Конечной целью данного литейного процесса является получение слитка комплексного силицида с плотной, однородной, термонапряженной структурой, который легко поддается процессу дробления и измельчения с целью последующей обработки деформационными методами.

В лабораторных условиях прошло экспериментальное апробирование процесса плавки комплексного силицида на инверторе электрической мощностью 30 кВт и частотой генерации в диапазоне 8–50 кГц. (рисунок 1).



Рисунок 1 – Инверторная плавильная установка

Операцию разлива силицида осуществляли в металлическую форму, что обеспечило высокую скорость кристаллизации и возможность дальнейшего дробления и размола силицида до требуемой фракции (рисунок 2).

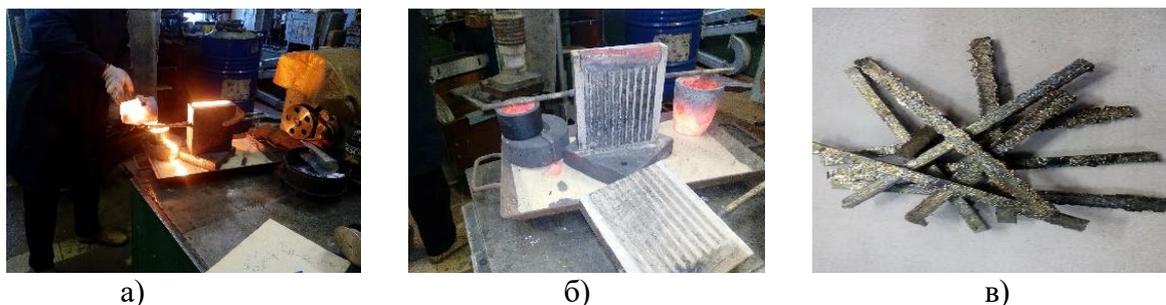


Рисунок 2 – Технология разливки силицида в слитки:  
 а - процесс заливки; б - после кристаллизации и раскрытия кокиля;  
 в - готовые слитки

Измельчение слитков силицида осуществляли в лабораторной мельнице типа «пьяная бочка». Мелющие тела для помола силицидов должны иметь высокую прочность и твердость поверхности. С этой целью использовали закаленную шарикоподшипниковую сталь ШХ15 и высоколегированный чугун карбидного класса.

Для выделения частиц размерами более  $10^{-4}$  м использовали механические встряхивающие проволочные сита. Более мелкую фракцию получали на пневматическом сепараторе. Приготовление порошковых смесей, составляющих основу прессованных заготовок катодов, осуществляли в лабораторной мельнице типа «пьяная бочка», заменив помольные тела миксующими [2].

Важной составляющей технологии изготовления катодов является процесс компактирования смеси порошков силицидов в заданную форму с требуемой технологической прочностью. При этом необходимо обеспечить минимальную пористость готового изделия и его размерную точность.

Увеличения плотности спрессованных заготовок можно достигнуть, как показали ранее выполненные исследования, выбором рационального фракционного состава исходной порошковой смеси, определяемого путем компьютерного 3D- моделирования плотных упаковок квазисферических частиц [3].

Для достижения лучшего результата предложен вариант нагрева прессуемой смеси до температур, обеспечивающих достаточный уровень пластических свойств частиц, необходимый для значительного роста их контактных поверхностей (рисунок 3).

На рис. 3 а, б показаны общий вид лабораторной установки горячего статического прессования и опытный образец заготовки катода из комплексного силицида.



Рисунок 3 – Лабораторная установка горячего статического прессования (а) и образец заготовки катода из комплексного силицида (б)

Таким образом, используя процессы, основанные на деформационных принципах, возможно получение заготовок с достаточной технологической прочностью, однако недостаточной для эксплуатации на рабочих режимах установок для напыления. Для обеспечения эксплуатационной прочности и необходимой электропроводности катодов, работающих в условиях контакта с электрической дугой при требовании равномерного ионного распыления,

требуется реализация дальнейшего упрочнения заготовки катода, основанного на термических принципах обработки материалов.

Метод спекания из группы термических принципов является универсальным способом увеличить прочность порошковых заготовок практически любых материалов как хрупких, так и пластичных, как металлических, так и керамических, поэтому принимается как базовый для разработки технологии изготовления катодов-мишеней из порошков силицидов. Самым простым технологическим решением в данном случае является проведение термообработки в закрытом контейнере с засыпкой из графитовой стружки, при этом рациональными температурами являются 950–1100 К.

На основании результатов экспериментальных исследований усовершенствована литейно-деформационная технология получения катодов-мишеней, схема которой приведена на рисунке 4.

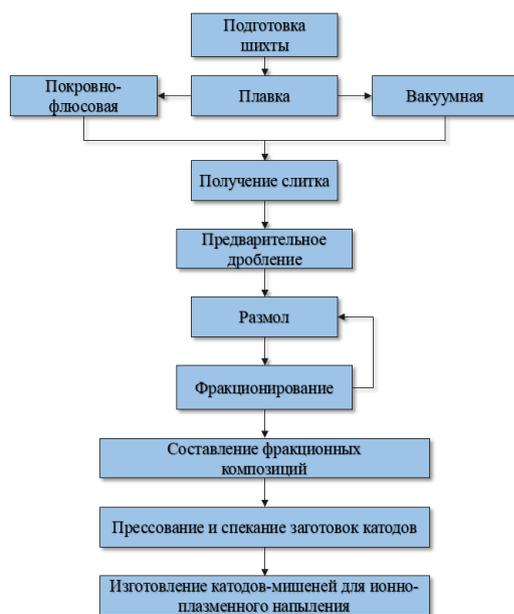


Рисунок 4 – Технологическая схема получения катодов-мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников литейно-деформационным методом.

### Выводы

1. В лабораторных условиях апробированы технологические принципы усовершенствованного процесса получения катодов-мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников.

### Список использованных источников

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справ.: В 3-х т.: Т.3. Кн. 2 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 2000. 448 с.
2. Роман, О. В. Прогрессивные способы изготовления металлокерамических изделий: Материалы к I Республ. конф. по порошковой металлургии/О. В. Роман [и др.]; Минск: Польша, 1971. 170 с.
3. Иванов, И.А. и др. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии // Литье и Металлургия. 2021, № 2С. 68-75.