

Оптимизация фракционного состава порошка силицида для изготовления катодов мишеней вакуумных ионно-плазменных источников

Бежок А.П., Шейнерт В.А., Касперович И.А.
Белорусский национальный технический университет

В результате экспериментальных исследований разработан литейно-деформационный метод изготовления катодов мишеней для вакуумных ионно-плазменных источников [1].

Однако, несмотря на обнадеживающие результаты использования разработанной методики в структуре прессованных заготовок катода обнаружена микропористость. При этом плотность прессовок составляла 80-85% от фактической плотности литой заготовки. По-видимому, это связано в первую очередь, несмотря на высокое удельное давление прессования, с высокой прочностью частиц силицида при полном отсутствии пластических свойств. Потому, даже наращивание усилий прессования не обеспечивало снижение пористости заготовки катода. Одним из вариантов решения данной задачи является применение специально подобранного фракционного состава порошка силицида для прессования, обеспечивающую наиболее плотную упаковку частиц в полученной заготовке.

На рисунке 1 приведена фотография внешнего вида исходного порошка комплексного силицида фракцией менее 0,08мм, полученного методом электронной микроскопии.

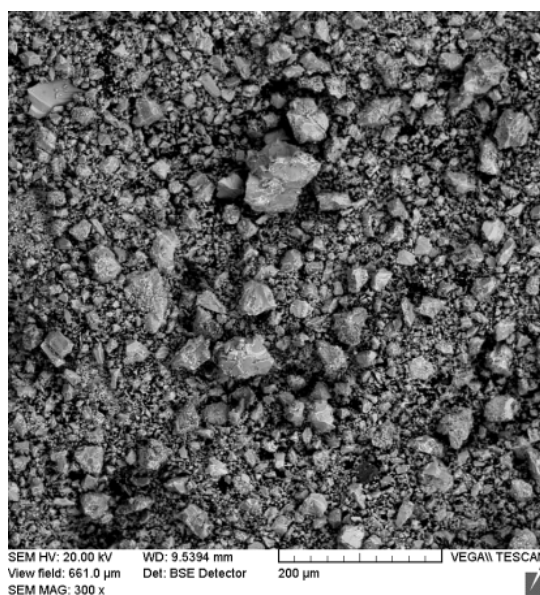


Рисунок 1 - Электронное изображение порошка комплексного силицида для прессования катода

При анализе изображения можно заключить, что порошок представлен случайным набором частиц размером от 5 до 80 мкм. При этом форма частиц сравнительно округлая с коэффициентом сферичности 0,6-0,8, вплоть до самых мелких фракций. При прессовании подобного порошка можно получить сравнительно плотные заготовки, однако практика показала, что достичь плотности, превышающей 85% от плотности литого сплава не удалось даже при давлении 10 т/см². Такая плотность материала катода являлась недостаточной для обеспечения высоких технологических показателей в процессе распыления. Поэтому для достижения меньшей пористости получаемых заготовок применены теоретические принципы формирования плотнейших упаковок частиц, хорошо разработанных геометрически и математически. За базовую упаковку частиц была принята гексагональная плотная упаковка шаров одного диа-

метра с коэффициентом заполнения 0,74, получаемая простым встряхиванием свободно насыпанных в форму сферических частиц. Такие упаковки частиц возникают при вибро-уплотнении порошков с формой частиц близкой к сферической. Для того, чтобы достичь плотности заполнения 0,95 была разработана 3Д модель, позволившая вычислить необходимое количество и размеры шаров второго, третьего и четвертого порядков требуемое для заполнения пустот между шарами первого порядка.

На рисунке 2 представлена модель гексагональной плотной упаковки сфер, пустоты которой заполнены элементами второго, третьего и четвертого порядка. В результате выполненных расчетов был получен следующий теоретический фракционный состав: частицы диаметром 0,5мм - 74,09%; диаметром 0,2мм - 5,26%; диаметром 0,11мм - 1,12%, диаметром 0,088 мм - 3,22%; диаметром 0,077мм - 1,44%. Ввиду малой разницы диаметров частиц 0,088 и 0,077мм они были объединены в одну фракцию 0,08мм с долей общего объема 4,66%. Исходя из наличия доступных сит, фракционный состав смеси для получения прессованных заготовок катодов был следующий.

- фракция 0,63-0,5мм-74,1%.
- фракция 0,25-0,20мм-5,3%.
- фракция 0,16-0,10мм-1,1%.
- фракция 0,10-0,08мм- 4,7%

Это в сумме составляет 85,2% от общего объема прессовки с абсолютной плотностью. Оставшийся свободный объем 14,8% решено было заменить микропорошком с размером частиц менее 10 мкм, полученном размолотом фракций 0,25-0,10 мм на планетарной мельнице. В качестве пластификатора для увеличения подвижности смеси при прессовании использовалась добавка поливинилового спирта.

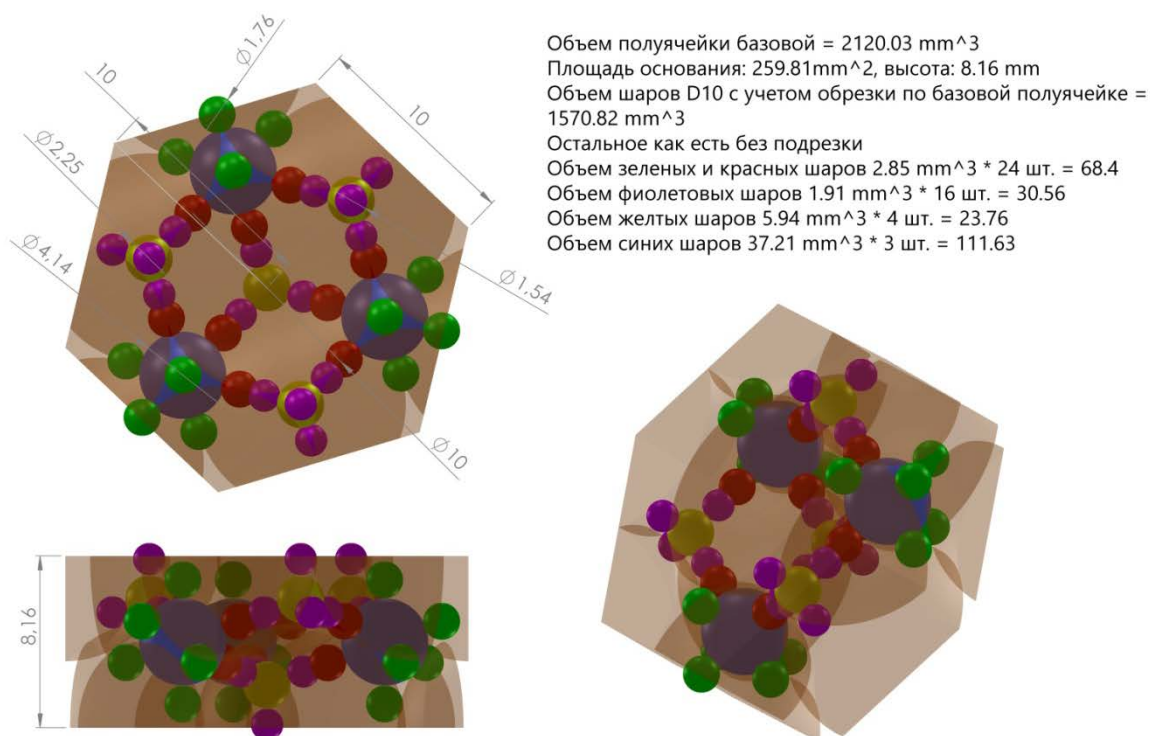


Рисунок 2 - Модель гексагональной плотной упаковки сфер с заполнением пустот до четвертого порядка

С учетом полученных результатов и применительно к конкретной вакуумно-электродуговой испарительной установке в дальнейшем использовался порошок такого фракционного состава, который позволил получить прессованные заготовки катодов-мишеней с фактической плотностью 90-95% от плотности литого материала.

Экспериментально установлено, что плотность катода, полученного на порошке такого фракционного состава, составила 92%, определённая методом гидростатического взвешивания заготовок, покрытых полимерным лаком, что на 10-12% больше, чем у аналогичного образца, изготовленного из порошка комплексного силицида с размером частиц менее 0,08 мм.

В лабораторных условиях апробирован вариант изготовления катода-мишени на основе порошка комплексного силицида предложенного фракционного состава, при котором его нижняя поверхность шлифовалась с последующей припайкой стального токовода. На рисунке 3. представлены фотографии полученного таким способом катода-мишени и его элементов.



Рисунок 3 - Основные элементы (а) и готовый образец(б) катода-мишени полученный литейно-деформационным методом

Литература

1. Иванов, И.А. Совершенствование процесса получения катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И.А. Иванов [и др.] // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41. – С. 7-14.