

**Перспективы применения составных катодов-мишеней из
титансодержащих сплавов в вакуумных установках для
формирования многофункциональных покрытий**

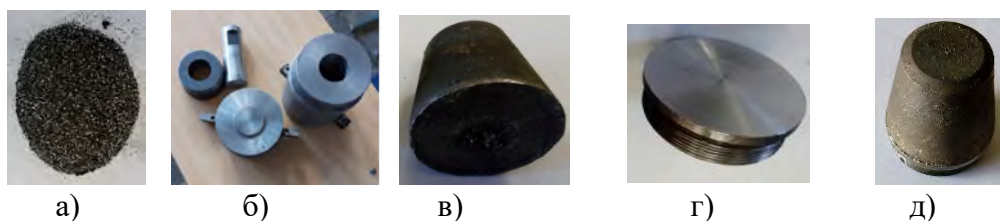
Студенты гр. 10405623 Мельников К.А., гр. 10405222 Морская Е.А.
Научные руководители – Иванов И.А., Слуцкий А.Г.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Современные вакуумные ионно-плазменные испарительные устройства позволяют использовать в качестве расходного материала катоды-мишени из различных сплавов [1]. Такие мишени дают возможность формировать достаточно сложные по составу покрытия, используя только один источник высоко ионизированной низкотемпературной плазмы [2].

В данной работе обобщены результаты экспериментальных исследований вариантов изготовления составных катодов-мишеней с использованием литейно-деформационных технологий, суть которой заключается в получении слитка из титансодержащего сплава с последующим размолотом в порошок требуемой фракции и дальнейшем горячем статическом прессовании заготовки катода-мишени.

Плавка титансодержащего сплава осуществлялась на высокоскоростной индукционной установке по методике, описанной в работе [1-2]. В качестве шихтовых материалов использовали кристаллический кремний, электролитический никель и кусковой титан. Процесс вели по специально отработанной методике, позволяющей минимизировать угар основных элементов сплава. Полученный расплав разливали в специальные формы, конструкция которых обеспечивала направленную кристаллизацию. В дальнейшем слитки, подвергались дроблению и размолу в лабораторной мельнице с использованием стальных шаров (диаметром 8мм и 35 мм), что обеспечило получение мелкой фракции размером менее 0,08 мм [2-3] и формирование наиболее плотной упаковки частиц после статического прессования заготовки катода.

С учетом полученных результатов и применительно к конкретной вакуумно-электродуговой испарительной установке был изготовлен опытный образец составного катода-мишени. Известно, что катоды-мишени, используемые для нанесения защитных покрытий, являются съёмными 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. Применительно к данному способу изготовления катода-мишени был апробирован вариант пайки катода к стальному тоководу. На рисунке 1 представлены фотографии основных этапов изготовления составного катода-мишени и его элементов.



а – порошок титансодержащего сплава; б-оснастка для прессования; в-прессованная заготовка катода; г- стальной токовод; д – образец катода-мишени;

Рисунок 1- Этапы изготовления составного катода-мишени пайкой к тоководу

Ниже представлены результаты процесса изготовления промышленного образца катода-мишени методом литья [2]. На рисунке 2 представлены фотографии модельной оснастки (а) и формы в сборе (б). В качестве токовода использовалась стальная деталь, которая вставлялась в нижнюю часть литейной формы. Для надежного контакта с формируемым слитком в токовом протачивался специальный хвостовик. Технология получения титансодержащего сплава была аналогичной. Для гарантированного получения однородной и плотной структуры слитка был использован двойной переплав.

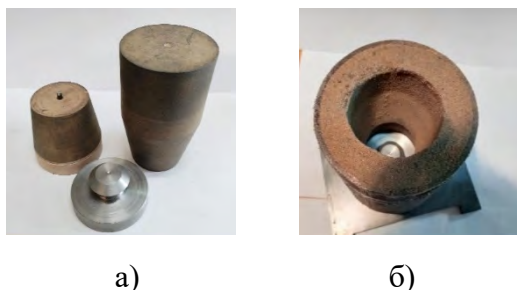
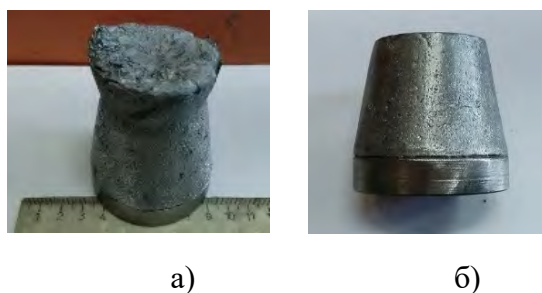


Рисунок 2- Технологическая оснастка (а) и форма в сборе (б) для получения составного катода-мишени методом литья.

После перегрева сплава до требуемой температуры осуществлялась быстрая заливка стержневой литейной формы с открытой прибыльной частью. Для обеспечения направленной кристаллизации на зеркало жидкого сплава засыпалась экзотермическая смесь на основе железной окалины и порошка алюминия. В дальнейшем полученная отливка очищалась от стержневой смеси и от нее отрезалась прибыльная часть. На рисунке 3 приведены фотографии отливки (а) и готового образца промышленного катода-мишени(б).

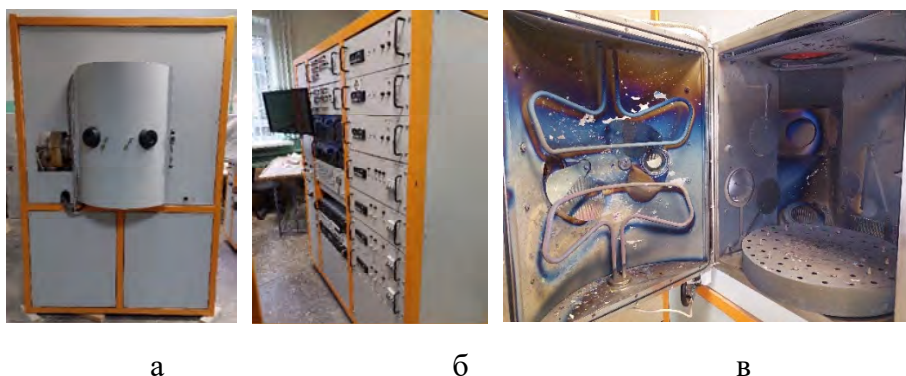


а – литая заготовка; б- образец промышленного составного катода

Рисунок 3 - Фотографии промышленного образца составного катода-мишени, полученного двойным переплавом титансодержащего сплава

В дальнейшем планируется проведение испытаний образцов составных катодов – мишеней с целью определения режимов поджига и стабильного горения дугового разряда в СПУ и нанесение по установленным режимам покрытий на основе данного сплава. Для чего будет использоваться промышленная вакуумно-плазменная установка VP-02М. Она предназначена для формирования покрытий с применением физического метода осаждения материалов из газовой фазы. При этом она должна обеспечить толщину покрытия до 5мкм, с неравномерностью толщины не более 5% и скоростью осаждения не менее 2мкм/час. Установка состоит из двух блоков (рисунок 4,5) : вакуумный пост (а) и панель управления (б). Имеет следующие эксплуатационные требования: напряжение-380 В; частота тока-50Гц; потребляемая мощность-не более 20и квт; расход охлаждающей воды не более 1,5 м3/ч; давление в системе охлаждения 2-4 кгс/см2; давление сжатого воздуха 4-6кгс/см2. Вакуумный пост представляет собой рабочую камеру (в) из нержавеющей стали. Базовое давление в камере не более $1 \cdot 10^{-3}$ Па.

Время достижения базового давления не более 30 минут. Время достижения рабочего состояния 45 мин. Рабочее давление в камере достигается вакуумным насосом а при достижении давления $7 \cdot 10^{-3}$ Па включается турбомолекулярный насос. Вакуумная камера оснащена электрическим нагревателем мощностью 3 кВт, обеспечивающий нагрев изделий до 300°C и дегазацию камеры с целью улучшения адгезионной прочности получаемых покрытий. Дверь камеры снабжена смотровым окном, а внутри ее имеется планетарный механизм вращения деталей. Имеются две карусели на 60 установочных мест каждая на водоохлаждаемом высоковольтном вводе, что позволяет увеличить равномерность напыляемых покрытий особенно на детали сложной формы (эндопротезы коленных и тазобедренных суставов и др.). Площадь изделий, обрабатываемых за один цикл не менее 6000 см^2 .



а- общий вид; б- панель управления; в - устройство внутренней камеры.
Рисунок 4 -Промышленная вакуумная установка VP-02М для нанесения покрытий



Рисунок 5 - Узел розжига (а) и место расположения катода-мишени (б)

По результатам испытаний будет выработаны рекомендации по совершенствованию технологии изготовления катодов-мишеней и составам титансодержащих сплавов, обеспечивающих получение покрытий с высокими эксплуатационными характеристиками.

Список использованных источников

1. Иванов И.А., Слущкий А.Г., Шейнерт В.А. Иванов А.И., Белый А.Н. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии журнал «Литье и металлургия» 2021г., № 2 – с. 68-75.
2. Даничев, А.О., Исследование особенностей процесса изготовления опытных образцов промышленных катодов-мишеней литейными технологиями/ Даничев А.О., Якимчук И.В., Котов И.В.; научн.рук. Слущкий А.Г. Шейнерт В.А. Новые материалы и технологии

их обработки [Электронный ресурс] : сборник научных работ 25 Республиканской студенческой научно-технической конференции, 18–19 апреля 2024 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 22-26.

3. Оленцевич, А.А Сравнительный анализ технологий получения слитков из комплексных силицидов для катодов-мишеней / Оленцевич А.А., Микулич А.Д., Даничев,А.О., Тропашко Е.В. ; науч. рук.: Шейнерт В.А, Слуцкий А.Г.// Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс] : сборник научных работ XXIV Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2023 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск: БНТУ, 2023. – С. 40-42.