

конструктивных решений при изготовлении катодного узла вакуумного дугового испарительного устройства. В дальнейшем необходимо разработать пути оценки влияния внешних магнитных полей на процессы в испарительных устройствах, сформулировать и систематизировать основные теоретические положения, которые будут использованы для разработки инженерной методики расчета технологических плазменных испарительных устройств нанесения покрытий в вакууме.

Список использованных источников

1. Иванов, И. А. Повышение эксплуатационных свойств ионно-плазменных покрытий нитрида и карбо-нитрида титана введением легирующих добавок / И. А. Иванов // Современные технологии для заготовительного производства: сб. научных работ респ. н.-технич. конф. // – Минск: БНТУ. – 2021. – С. 80
2. Иванов, И. А. Численное моделирование процессов массопереноса при вакуумно-плазменной обработке сталей/ Иванов И. А., Мисник И. В., Х. Т. Е. Кармажи // Литье и металлургия. – № 4 (77). – 2014. – С. 70–73.
3. Иванов, И. А. Способ изготовления композиционных катодов на основе силицидов титана для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных покрытий: евраз. пат. 036799/ Иванов И. А. [и др.]; опубл. 22.12.2020.
4. Иванов, И. А. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии / И. А. Иванов [и др.] // Литье и Металлургия. – 2021. – № 2 – С. 68–75.

ЛИТЕЙНО-ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАТОДОВ-МИШЕНЕЙ ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ СИЛИЦИДОВ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Иванов И. А., Шейнерт В. А., Слуцкий А. Г., Белый А. Н.
Белорусский национальный технический университет
slutski@bntu.by

Аннотация. Применительно к технологии изготовления катодов-мишеней для установок ионно-плазменного нанесения покрытий и на основании ранее выполненных исследований разработаны основные практические принципы, включающие: металлургические, литейные, деформационные и термические процессы.

摘要。关于离子等离子体涂层装置的阴极技术，在以往研究的基础上，已经制定了基本的实用原则，包括：冶金、铸造、变形和热过程。

В основу металлургических принципов положен подбор химического состава сплава на основании анализа диаграмм состояния двухкомпонентных и многокомпонентных металлических систем. Для покрытий с высокой

износостойкостью, прочностью, тепло- и жаростойкостью, коррозионной устойчивостью выбраны композиции из титана, никеля, хрома и их силицидов.

Примером может служить процесс получения литого комплексного силицида, содержащего: 50 % титана, 20 % никеля, 30 % кремния, состав которого выбран на основании анализа диаграмм состояния соответствующих систем. Установлено, что реакции образования силицидов титана сильно экзотермические, так же у данного состава высоки теплоты растворения элементов друг в друге.

Экспериментальные работы, проведенные на высокоскоростной плавильной установке, позволили получить полностью жидкофазный гомогенный сплав, из которого при охлаждении выделялись вначале кристаллы Ti_5Si_3 , а затем закристаллизовалась матрица в виде эвтектики из твердого раствора кремния в никеле и низшего силицида никеля [2]. Конечная структура такого сплава состоит из матрицы сравнительно мягких никелевых фаз с вкраплениями твердого силицида титана. Из описанного принципа вытекает, что порядок плавки, время и темп ввода компонентов имеет большое, часто решающее значение для проведения синтеза тугоплавкого силицида. Никель допускает скоростную плавку в любых атмосферах, в том числе воздушной, и начинать синтез с получения исходного никелевого расплава технологически просто, однако требуемый высокий перегрев приводит к значительному газопоглощению. С этой точки зрения, кремний более выгоден как основа исходного расплава, так как его взаимодействие с газами минимально, удельный вес мал, что позволяет иметь большой объем исходного расплава, даже при низких концентрациях кремния в формуле силицидов, к тому же возможно применение графитового тигля без риска загрязнения сплава углеродом. По отношению к кислороду он является сильным раскислителем, что устраняет необходимость промежуточного раскисления. Кремний не растворяет в себе углерод, что позволяет проводить синтез силицидов с разогревом реагирующей смеси до очень высоких температур.

Важным аспектом при формировании конечной структуры комплексного силицида является литейная технология получения слитка. Например, формирование и кристаллизация слитка в поле центробежных сил может быть реализована заливкой расплава во вращающийся кристаллизатор, что обеспечивает формирование плотной мелкокристаллической структуры. Хорошие результаты получены при изготовлении слитков комплексного силицида в металлический кокиль. Благодаря своей технической простоте данный способ литья в составной кокиль с прибыльной надставкой возможно рассматривать как наиболее технологичный.

Важной группой принципов положенной в основу разработки технологического процесса изготовления катодов – мишеней из комплексных силицидов являются деформационные принципы, которые включают методы дробления и размол слитка, фракционирования, приготовления смесей и их прессование в заготовки требуемых размеров. Для грубого дробления (до размеров частиц 0,005 м) использовали ручной копер, а для мелкого помола (до размеров $5 \oplus 10^{-5}$ м) шаровую мельницу типа «пьяная бочка» и планетарную

шаровую мельницу с крупностью помола до $5 \oplus 10^{-6}$ м. Засоренность намолотом полученных порошков устранялась селективной магнитной сепарацией и химической отмывкой. Следует отметить, что измельчение материалов высокоинтенсивными способами (шаровые и планетарные мельницы) приводит к механоактивации получаемых порошков, что значительно облегчает последующие процессы прессования и спекания заготовок.

Ранее выполненные исследования показали невысокую эффективность прямого холодного прессования силицидных композиций, в том числе, уплотненных предварительной вибрацией, даже при удельных давлениях до 250 МПа [3]. Такие давления предъявляют высокие требования к оснастке, которая должна быть изготовлена из термообработанной высокопрочной штамповой стали и изолирована от прессовки плакирующим слоем для предупреждения задиров. Увеличение плотности заготовок, спрессованных из порошков, можно достигнуть подбором рационального фракционного состава исходной смеси, определяемого путем компьютерного 3D-моделирования плотных упаковок квазисферических частиц [4].

Трудность достижения прочного сцепления между частицами силицидов при холодном прессовании определяются отсутствием пластичности у таких материалов, что не позволяет существенно увеличить площадь ювенильных поверхностей, позволяющих элементам свариваться между собой контактными мостиками. Для достижения лучшего результата предлагается, нагрев прессуемой смеси до температур, обеспечивающих достаточный уровень пластических свойств частиц и значительно повышающих активность их контактных поверхностей. Такой нагрев дает возможность релаксации термических напряжений, возникших при скоростной кристаллизации исходного слитка, приведения фазовой структуры в равновесное состояние, снятия механического наклепа, возникшего в результате предыдущих операций обработки. Для комплексных силицидов с матрицей на основе твердого раствора никеля такой нагрев обеспечивает необходимый комплекс свойств при температуре 1200–1300 К, однако в таких условиях поверхность этих сплавов склонна к окислению, поэтому предельная температура нагрева в среде газов технической чистоты (включая инертные) не должна превышать 1050 К. 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, необходима реализация дальнейшего упрочнения и уплотнения заготовки катода, основанного на термических принципах обработки материалов.

Метод спекания является универсальным способом увеличения прочности 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.

Таким образом, из вышеприведенного анализа технологических принципов выбора состава сплавов и процессов их обработки схематично построена технологическая цепочка основных операций изготовления катодов-мишеней из комплексных силицидов литейно-деформационными методами.

Список использованных источников

1. Иванов И. А. Технологические принципы изготовления катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И. А. Иванов, Слуцкий А. Г., Шейнерт В. А. // Международная научная и научно-техническая конференция «Ресурсо- и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве», 23–24 марта 2022, Ташкент. – С. 18–20.

2. Иванов, И. А. Изготовление катодов-мишеней из композиционных силицидов для нанесения защитных покрытий с применением литейно-деформационной технологии / И. А. Иванов [и др.] // «Литье и металлургия». – 2021. – № 2. – С. 68–75.

3. Иванов, И. А. Совершенствование процесса получения катодов-мишеней из комплексных силицидов для вакуумных ионно-плазменных источников / И. А. Иванов [и др.] // сб. МЕТ. – № 41. – 2020. – Ч. 2. – С. 1–15.

4. Иванов, И. А. Способ изготовления композиционных катодов: Евразийский патент № 0336799 / И. А. Иванов [и др.]. – Оpubл. 22.12.2020.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ НОТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ильяшук А. В.

Объединенный институт проблем информатики

Национальной академии наук Беларуси

alboomer@yandex.ru

Аннотация. В докладе рассмотрен вопрос о роли нотации в эффективности обмена информацией, а также предложена идея о необходимости пересмотра возможности использования пазиграфии в сочетании с информационными технологиями для визуализации естественного языка с перспективой использования ее как вспомогательного средства общения, как системы маркировки и дизайн-системы.

摘要。 本文考虑了标号法在信息交流效率中的作用，并建议有必要重新考虑将通假字与信息技术结合起来，使自然语言可视化的可能性，并有望将其作为一种交流工具，作为一种标签系统和设计系统。

С древности существовала идея создать письменность, которую будут понимать все народы. Наши китайские друзья, кстати, воплотили в своей стране