

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВАКУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ TiN ПОКРЫТИЙ

Иванов И. А., Нисс В. С.

Белорусский национальный технический университет, Инновационно-производственный центр медицинского оборудования и изделий

deanmtf@bntu.by, niil_nkm@ bntu.by

Аннотация. Анализ научной проблемы повышения функциональных характеристик защитных вакуумно-плазменных покрытий на основе нитрида титана позволил обосновать возможность использования вакуумного дугового метода для нанесения покрытий типа $Ti(Si, Me)-N$. Представлена вакуумная установка Белорусского национального технического университета для реализации ряда процессов получения тонких защитных покрытий, изготовленная на предприятии ООО «ВакТайм». Определены допустимые режимы взаимодействия плазменного потока с поверхностью твердого тела, влияющие на генерационные характеристики дуговых испарительных устройств и управление плазменными потоками. Обсуждаются конструктивные решения изготовления катодного узла вакуумного дугового испарительного устройства.

摘 要。 对改善基于基于氮化钛的保护性真空等离子涂层的功能特性的科学问题的分析证实使用真空电弧法来沉积 $Ti(Si, Me)-N$ 型涂层的可能性。介绍了由“VacTime”有限责任公司生产的白俄罗斯国立技术大学的真空装置，用于实施获得薄保护涂层的多种工艺。确定了影响电弧蒸发装置和等离子体流量控制的等离子体流与固体表面相互作用的允许模式。讨论了制造真空电弧蒸发器阴极组件的设计。

В качестве материалов для нанесения упрочняющих износостойких покрытий традиционно используются карбиды и нитриды металлов IV–VI групп периодической таблицы химических элементов. Покрытия на основе данных соединений, имея толщину всего в несколько микрометров, характеризуются высокой твердостью. Микротвердость покрытий из нитрида титана переходных металлов находится в пределах 18...30 ГПа (твердость покрытий TiC достигает 30 ГПа и более, однако покрытия на основе нитрида титана более пластичны). Ограничением к использованию таких покрытий является относительно низкая температура разложения нитрида и слабая стойкость таких покрытий к ударным нагрузкам. Кроме этого, с ростом покрытия в нем накапливаются остаточные сжимающие напряжения, что ограничивает толщину покрытий на уровне 5...7 мкм. Эксплуатационные свойства покрытий могут быть существенно улучшены за счет изменения кристаллической ориентации и размера блоков зерен покрытия, а также создания наноразмерных структурных включений по границам кристаллов покрытия [1]. Известно, что преимущественная ориентация в покрытиях зависит от энергии ионов и плотности ионного тока, угла облучения и толщины

этих покрытий. Однако процесс роста покрытий зависит не только от энергии и плотности ионного тока на поверхность конденсации [2]. Управляемые изменения наблюдаются при контролируемом введении в состав покрытий дополнительных элементов. Например, введение в покрытие хрома обеспечивает получение покрытия TiCrN с твердостью не менее 32 ГПа и с модулем упругости 300...350 ГПа. Такие легирующие элементы как алюминий и иттрий увеличивают температуру начала разложения нитрида с 500 до 800 °С.

Исследования показывают перспективность использования кремния в качестве материала для легирования покрытий на основе TiN с целью повышения их стойкости не только к износу, но и ударным нагрузкам при повышенных температурах. Для получения таких покрытий использовали испарительные плазменные источники холловского типа, в которых катод-мишень выполнен из сплавов титан-кремний [3]. Методика получения таких катодов-мишеней позволяет вводить в их состав как металлические (электропроводные), так и неметаллические (обладающие диэлектрическими свойствами) легирующие элементы [4]. В качестве основы брались сплавы эвтектического состава, соответствующие эвтектике 70 % и 8 % кремния. Наиболее перспективным представляется использование покрытий с содержанием кремния до 12 атомарных процентов и дополнительно легированных химическим элементом, который способен сам образовывать нитрид. В настоящее время определены основные направления разработки новых составов защитных вакуумно-плазменных покрытий типа Ti-(легирующий элемент)-N. Механизмы, определяющие формирование наноразмерных включений на границах зерен растущих вакуумных конденсатов, требуют дальнейшего изучения.

В Белорусском национальном техническом университете для реализации ряда процессов получения тонких защитных покрытий применяется вакуумная установка, изготовленная по специальному техническому заданию на предприятии ООО «ВакТайм». Вакуумное оборудование характеризуется высокой степенью автоматизации. Программные модули позволяют в автоматическом режиме не только управлять процессом вакуумирования рабочей камеры, газоподготовкой и газоподачей, траекторией движения упрочняемого изделия, но и облегчают работу оператора по выбору и поддержанию на заданном уровне технологических режимов осаждения покрытий. Вакуумный дуговой разряд позволяет получать сильно ионизованную плазму из любых электропроводных сплавов, в том числе сплавов металл-неметалл. Формируется плазма с предельно высокими энергиями ионов, превышающими напряжение на разрядном промежутке. Наличие в потоке высоко зарядных и высоко энергетичных ионов позволяет проводить процессы ионного нагрева и ионной очистки поверхностей с последующим осаждением покрытий. На данном этапе исследований проведено определение допустимых режимов взаимодействия плазменного потока с поверхностью твердого тела, влияющих на генерационные характеристики дуговых испарительных устройств и управление плазменными потоками. Систематизированы основные теоретические положения по выбору

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