

описаны в нашей предыдущей работе [2]. Многослойные покрытия ZrO₂/Cr-100 представляли собой 30 последовательных слоёв ZrO₂ и Cr с толщиной каждого слоя 100 нм, а в качестве защитного верхнего слоя выступал слой хрома, толщиной 7 мкм. Напыление ZrO₂ выполнялось с помощью дуальной магнетронной распылительной системы (мощность - 2 кВт) при соотношении потоков Ar/O₂ как 30/45 см³/мин. Осаждение многослойных покрытий ZrO₂/Cr с шагом периодической структуры 250,750, 1500 нм осуществлялось аналогичным образом.

Были выполнены испытания образцов циркониевого сплава с защитными покрытиями при высокотемпературном окислении в потоке водяного пара, имитирующие аварийную работу ядерного реактора, и термоциклические испытания – анализ трещиностойкости покрытий и их стойкости к тепловому удару характерным для аварийной ситуации в активной зоне ядерного реактора.

На основании полученных экспериментальных данных был проведен сравнительный анализ защитных свойств многослойных ZrO₂/Cr покрытий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Госкорпорации «Росатом» в рамках научного проекта 20-21-00037.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kashkarov E.B., Sidelev D.V., Syrtanov M.S., Tang C., Steinbrück M. Oxidation kinetics of Cr-coated zirconium alloy: Effect of coating thickness and microstructure // Corrosion Science. – 2020. – vol. 175. – article number 108883.
2. Ручкин С.Е., Пирожков А.В., Сиделёв Д.В. Защитное многослойное покрытие CrN/Cr для циркониевых сплавов // Сборник научных трудов XVIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук». – 2021. – С. 295–297.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО ЭЛЕМЕНТАМ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ

Е.А. Суханов, А.Г. Горюнов, Б.П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: cas70@tpu.ru

Вопросы, связанные с построением и обеспечением надежной, эффективной защиты, нашли свое отражение в различных исследованиях. Например, рассматриваются вопросы связанные с системой поддержки принятия решений для обеспечения физической безопасности объектов или разработку методов имитационного моделирования программно-аппаратных средств управления комплексами безопасности [1,2]. Некоторые направления исследований в данной области связаны с вопросами подготовки высококвалифицированного персонала. Именно благодаря специалисту возможно построение и функционирование надежной системы физической защиты объекта. Процесс подготовки и обучения занимает много времени, это связано со сложностью взаимодействия с ведомственными структурами и опасностью остановки производства.

С развитием современные технологии, развиваются возможности обучения и подготовки персонала. В общемировой практике активно разрабатываются и применяются виртуальные тренажеры. Данные тренажеры позволяют проводить эксперименты без нанесения технологическим процессам, окружающей среде и населению. Дополнительным достоинством можно выделить снижение затрат, связанных с закупкой тренировочного оборудования. Виртуальные тренажеры нашли обширное применение в различных областях, например: в космонавтике и авиации, транспорте, атомной промышленности и в других отраслях. Недостатком тренажеров является жесткая привязка к определенному объекту тренировки и создает необходимость разрабатывать множество различных тренажеров к каждому конкретному объекту. Создание технологической платформы, которая позволит быстро проектировать и задавать различные условия и объекты для обучения, позволит закрыть главный недостаток стандартных тренажеров.

Обучающая среда может иметь прикладное применение при обучении специалистов, занимающихся вопросами обеспечения безопасного функционирования предприятия. Применение обучающей среды позволяет устранить недостаток тренажеров и расширить возможности стандартных тренажеров, путем создания набора инструментария, который позволит моделировать различные условия с учетом технологических особенностей. Также среда стирает барьер между теоретическими и практическими занятиями, что повышает эффективность и качество подготовки специалиста. Таким образом, обучающая среда позволит повысить степень подготовки персонала системы защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давидюк Н.В. Разработка системы поддержки принятия решений для обеспечения физической безопасности объектов., дис. канд. техн. наук: 05.13.01. – Астрахань, 2010. – 183 с.
2. Черепанов Е.О. Разработка и реализация методов имитационного моделирования программно-аппаратных средств управления комплексами безопасности., дис. канд. техн. наук: 05.13.01. – Дубна, 2004. – 102 с.

БЕРИЛЛИД ТИТАНА $Be_{12}Ti$ КАК АЛЬТЕРНАТИВА БЕРИЛЛИУ В ЯДЕРНОЙ И ТЕРМОЯДЕРНОЙ ТЕХНИКЕ

С.В. Ударцев, А.Н Борсук., Е.В. Франц, А.Н. Вечкутов, Б.Л. Зорин, М.К. Кылышканов, М.А. Подойников
АО «Ульбинский металлургический завод»,

Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, проспект Абая, 102, 070000

Бериллий является функциональным материалом для ядерной техники и применяется для изготовления отражателей, замедлителей или размножителей нейтронов.

На сегодня АО «УМЗ» производит различные типы отражателей нейтронов из конструкционного бериллия для специализированных реакторов.

Как известно, при радиационном облучении бериллия в материале наблюдается снижение пластичности, растрескивание, искажение формы и набухание. Перечисленные последствия приводят к тому, что срок службы бериллиевых отражателей оказывается существенно меньшим срока эксплуатации самого реактора. Это требует периодической замены отражателей новыми и захоронению в хранилищах радиоактивных отходов блоков отражателей, выбывших из эксплуатации.

В то же время, по результатам последних исследований было предложено использовать вместо бериллия бинарные системы интерметаллидных соединений бериллия, в частности, бериллид титана $Be_{12}Ti$, который характеризуется более высокой температурой плавления ($1593^{\circ}C$), низкой активностью в результате нейтронного облучения и повышенной коррозионной стойкостью. Набухание бериллида титана $Be_{12}Ti$ в результате воздействия нейтронного облучения происходит в намного меньшей степени, чем набухание чистого бериллия.

В связи с этим на АО «УМЗ» были проведены исследования по разработке технологии получения заготовок и изделий из бериллида титана $Be_{12}Ti$.

Получение заготовок из бериллида титана методом литья натолкнулось на значительные трудности, ввиду появления дефектов в виде усадочной раковины, пористости и наличия трещин в слитках. По этой причине наиболее оптимальным методом получения заготовок, как было выяснено, является вакуумное горячее прессование смеси порошков. В результате проведенных опытно-промышленных работ было изготовлено несколько заготовок размером $\varnothing 150 \times 170$ мм. При этом их плотность, измеренная гидростатическим методом, составила около $2,25 \text{ г/см}^3$ (или 98,7% от теоретической). Дефектов структуры в виде трещин, пор не обнаружено. Все заготовки имели однородную монофазную структуру бериллида титана $Be_{12}Ti$. Из заготовок впоследствии были изготовлены изделия. Внешний вид изделий представлен на рисунке.