

2. Mukherjee B. et al. Application of low-cost Gallium Arsenide light-emitting-diodes as kerma dosimeter and fluence monitor for high-energy neutrons // Radiation Protection Dosimetry. – 2007. – Т. 126. – №. 1-4. – С. 256-260. DOI: 10.1093/rpd/ncm053
3. Weide-Zaage K., Chrzanowska-Jeske M. Semiconductor devices in harsh conditions // CRC Press. – 2016. – 256 p. DOI:10.1201/9781315368948
4. Gradoboev A.V., Simonova A.V., Orlova K.N. Influence of irradiation by ^{60}Co gamma-quanta on reliability of IR-LEDs based upon AlGaAs heterostructures // Physica status solidi. – 2016. – V. 13. – №. 10-12. – pp. 895-902. DOI:10.1002/pssc.201600035

РОЛЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МО В СТОЙКОСТИ К ОКИСЛЕНИЮ ЦИРКОНИЕВОГО СПЛАВА ZR-1NB С ПОКРЫТИЕМ Cr/Mo

А.В. Абдульменова, Ю. Р. Мингазова, М.С. Сыртанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: ava75@tpu.ru

Введение. Многие ученые рассматривают хром в качестве защитного покрытия, которое будет предотвращать окисление циркониевых сплавов при авариях с потерей теплоносителя [1]. Однако при высоких температурах возрастает диффузия Cr в Zr с образованием эвтектики с $T_{\text{пл}}=1332$ °С. Ранее в работе была показана эффективность использования двухслойного Cr/Mo покрытия на подавление диффузии хрома в циркониевый сплав [2]. Целью настоящей работы является исследование влияние текстуры молибдена на коррозионную стойкость циркониевого сплава с Cr/Mo покрытием.

Материалы и методы. Покрытия Cr (8 мкм)/Mo (3 мкм) и Cr (8 мкм) были нанесены на циркониевый сплав методом магнетронного распыления. Подслой Mo с первой текстурой (Mo-1) был сформирован с помощью использования одиночного магнетронного распыления, со второй (Mo-2) – дуального магнетронного распыления. Высокотемпературные испытания проводились при нагреве на воздухе до 1100 °С с последующей изотермической выдержкой в течение 15 и 60 минут. Анализ микроструктуры образцов был проведен с помощью СЭМ TESCAN MIRA3.

Результаты. Непокрытый циркониевый сплав имеет наибольший привес на протяжении всего времени окисления. Прирост массы Cr/Mo-1 увеличивался с 3 (15 минут) до 14 мг/см² (60 минут), а для Cr/Mo-2 с 5 до 15 мг/см². Нанесение Cr покрытия снижает привес в ~3-4 раза в сравнении с двухслойным покрытием, и на один порядок в сопоставлении к непокрытой подложке. Интенсивное окисление непокрытой части образца привело к разнице коррозионных привесов образцов с покрытиями. Анализ СЭМ изображений показал, что увеличение времени окисления приводит к росту внешнего оксидного слоя Cr₂O₃ и росту междуфузионного слоя Cr-Zr. В случае покрытий Cr/Mo-1 и Cr/Mo-2 толщина Cr₂O₃ примерно соответствует толщине для образца без барьерного покрытия, однако толщина остаточного хрома больше. Междиффузионный слой Cr-Mo у Cr/Mo-2 больше в отличие от Cr/Mo-1, что указывает на более активную диффузию для данной ориентации кристаллитов.

Заключение. Мо ограничивает образование слоя Cr-Zr при высокотемпературном окислении с толщиной остаточного хрома большей. Толщина слоя Cr-Mo больше в случае Cr/Mo-2, что привело к увеличению привеса. Толщины Cr₂O₃ однослойного и двухслойных покрытий схожи. Ввиду этого, подслои Mo оказывают незначительное влияние на стойкость к окислению Cr покрытия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, проект № 21-79-00175.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park D. J., Kim H. G., Jung Y., Park J. H., Yang J. H., Koo Y. H. Behavior of an improved Zr fuel cladding with oxidation resistant coating under loss-of-coolant accident conditions // Journal of Nuclear Materials. – 2016. – Vol. 482. – P. 75-82.

2. Syrtanov M. S., Kashkarov E. B., Abdulmenova A. V., Sidelev D. V. High-temperature oxidation of Zr1Nb zirconium alloy with protective Cr/Mo coating //Surface and Coatings Technology. – 2022. – Vol. 439, No. 128459. – P. 1–10.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО АНАЛИЗУ УЯЗВИМОСТИ НА ОБЪЕКТАХ

А.А. Коваленко, Е.А. Суханов, Б.П. Степанов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: aak274@tpu.ru

При обращении с ядерными материалами и/или эксплуатации ядерной установки необходимо обеспечивать физическую защиту ядерного материала. Важным составляющим процесса создания и совершенствования СФЗ на объекте является анализ уязвимости (АУ). Под АУ объекта понимается процесс обследования объекта и анализ технологического процесса на наличие в нем уязвимых мест, для дальнейшего определения предметов физической защиты, выделение угроз и вероятных способов их осуществления [1]. При проведении анализа рассматриваются потенциальные угрозы и последствия в случае их реализации, источниками которых являются преднамеренные действия нарушителей.

В настоящее время нет универсального метода проведения анализа уязвимости технологического процесса, позволяющего выделить его слабые места. В работе создаётся некоторый набор инструментария, который позволит унифицировать процесс проведения анализа с выделением уязвимых мест. Также планируется применять данный инструментарий не только к ядерным, но и к любым другим особо опасным объектам.

На данный момент разработана концептуальная модель, которая позволит рассмотреть процесс проведения анализа уязвимости любого объекта, с точки зрения функционирования технологических процессов, осуществляющихся на объекте и процессов, влияющих на них. В данной модели последовательно отражены все этапы проведения анализа, а каждый этап разворачивается на составляющие его подэтапы, которые в свою очередь имеют несколько различных способов их осуществления. Такое разнообразие поможет выбрать наиболее подходящий метод проведения АУ для каждого объекта.

Предлагаемый метод позволит проводить анализ уязвимости объектов с учетом особенностей функционирования, влияющих на эффективное функционирование системы физической защиты. Такой подход, позволит обеспечить дифференцированную защиту при минимальных затратах на нее. В дальнейшем планируется математическое описание разработанной концептуальной модели с помощью метода графов. Разработанный универсальный набор инструментов по проведению анализа уязвимости планируется внедрить на ядерных и других особо-опасных объектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по проведению анализа уязвимости ядерного объекта» [Текст]: приказ Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 30 июля 2004 г. // Собрание законодательства Российской Федерации - 2019. – № 26. – ст. 7;

ТЕПЛО-ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТВС РЕАКТОРА ВВЭР-1000 С ДИСПЕРСИОННЫМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

К.А. Саламатов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: kas51@tpu.ru