

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ЦИРКОНИЕВЫМ СПЛАВОМ Э110 С ХРОМОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Р.Р. Эльман, аспирант гр. А1-08

А.Д. Ломыгин, аспирант гр. А1-08

В.Н. Кудияров, к.т.н., доц.,

*Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
тел.89138801428*

E-mail: rrel@tpu.ru

Произошедшая в 2011 году авария на АЭС «Фукусима» стала одним из факторов, стимулировавших развитие международных отношений в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), направленных на модернизацию и улучшение технологий, а также материалов атомной энергетики. В частности, большое внимание стало уделяться совершенствованию функциональных материалов активной зоны ядерных реакторов [1]. Основным вызовом в данной сфере является предотвращение окисления оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) из циркониевых сплавов. В настоящий момент существует два подхода, позволяющие разрешить данную проблему: это разработка и создание нового материала, который заменит циркониевые сплавы, или совершенствование сплавов на базе циркония с целью повышения их антикоррозионных свойств и улучшения механических характеристик. Основываясь на втором пути решения данной проблемы, предлагается наносить хромовое покрытие на топливные оболочки, что должно привести к повышению их стойкости во время аварий с потерей теплоносителя (в англ. литературе - LOCA). Таким образом, цель данной работы - проведение исследования стойкости хромовых покрытия к наводороживанию методом оптической эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда (ОЭС–ТР).

В качестве подложки для хромового покрытия использовался сплав циркония Э110 (Nb - 0,9...1,1%; Fe - 0,015%; Ni - 0,007%; Al - 0,004%; Ti - 0,003%; C - 0,02%; Si - 0,004%; O - 0,05%; N - 0,003%; H - 0,001...0,002%). Для нанесения покрытий использовалась классическая конструкция магнетронного диода (холодная мишень, DM), а также магнетрон с «горячей» мишенью (HM). Установка для определения химического состава покрытий и проверки однородности слоёв по глубине -спектрометр тлеющего разряда GD-Profilер 2, основанный на методе оптической эмиссионной спектроскопии. Он позволяет определять большинство химических элементов в периодической системе, обладает низким пределом их обнаружения и высоким глубинным разрешением [2]. Газофазное наводороживание покрытий производилось при помощи автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller (GRC) при температуре 360 ± 2 °С и давлении водорода 2 атм. Время выдерживания образцов при данных условиях составляло 60 минут.

На рисунке 1 (а) приведены кривые сорбции водорода образцов циркониевого сплава с покрытиями хрома, полученными при помощи магнетронного распыления. Кривые сорбции показывают зависимость времени наводороживания от количества сорбированного водорода. Исходя из полученных результатов видно, что кривые имеют линейную зависимость. Также можно заметить, что покрытие, нанесенное путем распыления «горячей» мишени, имеет меньшую степень защиты от воздействия водорода, чем покрытие, полученное путем классического магнетронного распыления. Скорость сорбции водорода покрытиями из хрома и исходным образцом из циркониевого сплава Э110 определялась по линейным участкам кривых сорбции.

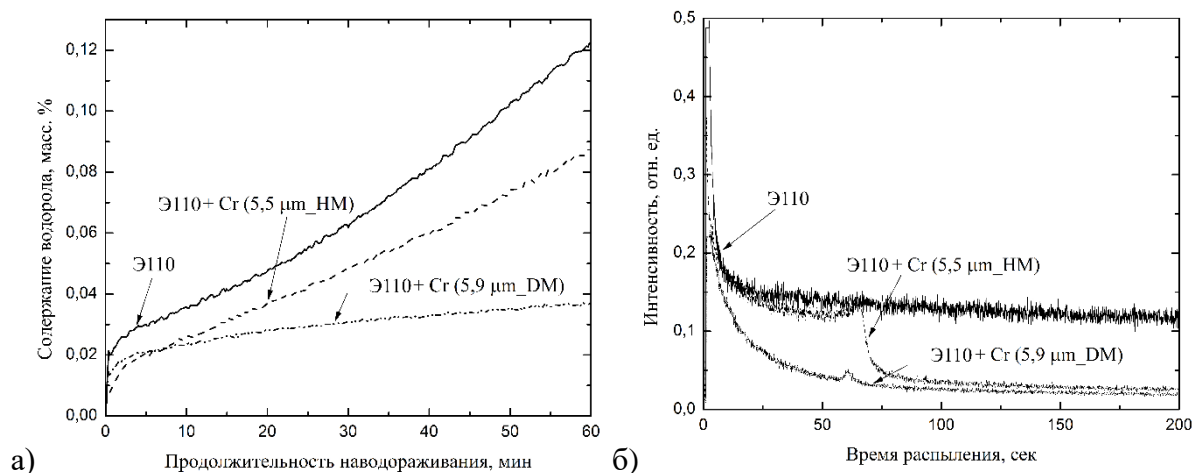


Рис. 1. Кривые сорбции водорода (а) и распределение водорода по глубине (б) в циркониевом сплаве Э110 без и с хромовыми покрытиями с разными типами магнетронного распыления.

На рисунке 1 (б) продемонстрирован график распределения водорода в хромовых покрытиях и циркониевом сплаве Э110. Профилирование по глубине производилось с использованием анода с диаметром 2 мм, мощности радиочастотного источника 20 Вт и давления 650 Па. Как видно из рисунка 1 (б) интенсивность сигналов водорода в образцах согласуются с кривыми сорбции, показанных на рисунке 1 (а). Из рисунка 1 (б) видно, что профили распределения водорода в покрытиях отличаются в зависимости от типа магнетронного распыления, что объясняется формированием различной структуры покрытий и, соответственно, сорбцией водорода. Погрешность прибора для определения скорости сорбции образцов с покрытиями, с учетом одинакового метода нанесения покрытий, но с разными толщинами покрытий, не позволяет установить закономерное влияние толщины покрытия на скорость сорбции. Посчитанные скорости сорбции водорода указаны в таблице 1.

Таблица 1. Скорости сорбции водорода для сплава Э110 без и с Cr покрытиями.

Тип магнетронного распыления	HM	DM	Э110
Толщина покрытия, мкм	2,9-5,5	4,2-9,1	-
Скорость сорбции $\frac{\text{см}^3\text{H}_2}{\text{с}\cdot\text{см}^2} \cdot 10^{-3}$	0,8-1,6	0,4-0,7	2

Таким образом, результаты кривых сорбции водорода и его распределение в хромовых покрытиях на подложке из циркониевого сплава Э110 продемонстрировали влияние режима формирования покрытия на возможности покрытия предотвращать проникновение водорода в подложку.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-79-10116.

Список литературы:

- Zinkle S. J. et al. Accident tolerant fuels for LWRs: A perspective // Journal of Nuclear Materials. – 2014. – Vol. 448, N.(1-3) – P. 374–379.
- Нехин М., Кузнецов А., Шапон П. Спектрометр тлеющего разряда PROFILER-2-мощный аналитический инструмент послойного анализа материалов // Аналитика. – 2012. – Т.5, N.4. – С. 34–43.