

Плазмохимический синтез ТОК в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), в отличие от применяемых методов получения (раздельное получение и механическое смешение, золь-гель и др.), имеет следующие преимущества: одностадийность, высокая скорость, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса плазмохимического синтеза модельных оксидных композиций (МОК) из диспергированных растворов ВОНР, включающих ацетон, водные нитратные растворы неодима (вместо урана), самария (вместо плутония) и магния. В ходе исследований проводились лазерная дифракция водных суспензий МОК, сканирующая электронная микроскопия, БЭТ-анализ и рентгенофазовый анализ полученных порошков.

Установлено, что при расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (50 Гц), увеличение массовой доли матрицы (MgO) с 5 до 50 % в составе МОК «Sm₂O₃–Nd₂O₃–MgO» при различных значениях $\alpha = \text{Sm}_2\text{O}_3 / (\text{Sm}_2\text{O}_3 + \text{Nd}_2\text{O}_3)$ приводит:

- (при $\alpha = 0,1$) к снижению размера частиц МОК в водной суспензии с 13,5 до 4,3 мкм, увеличению Суд порошков с 10,1 до 21,0 м²/г и снижению размера «кристаллитов» в МОК с 79 до 38 нм;
- (при $\alpha = 0,2$) к снижению размера частиц МОК в водной суспензии с 12,9 до 5,3 мкм, увеличению Суд порошков с 10,0 до 12,6 м²/г и снижению размера «кристаллитов» в МОК с 79 до 63 нм;
- (при $\alpha = 0,3$) к снижению размера частиц МОК в водной суспензии с 6,6 до 4,7 мкм, снижению Суд порошков МОК с 15,2 до 11,9 м²/г. Это подтверждает возможность плазмохимического синтеза наноструктурных топливных оксидных композиций из диспергированных растворов ВОНР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
2. Novoselov I.Yu., Karengin A.G., Shamanin I.V., Alyukov E.V., Gusev A.A/ Plasmachemical Synthesis of Nanopowders of Yttria and Zirconia from Dispersed Water-Salt-Organic Mixtures // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938, Article number 020010. – p. 1-7

ЗАЩИТНЫЕ ZrO₂/Cr ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЦИРКОНИЕВЫХ СПЛАВОВ

С.Е. Ручкин, Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: ruchkin.2010.2010@mail.ru

Циркониевые оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) ядерных реакторов водо-водяного типа не обладают стойкостью к окислению при высоких температурах (~600 °С и выше). Модификация их поверхности с помощью напыления защитного хромового покрытия методом магнетронного распыления позволяет существенно повысить их защитные параметры при нормальных и аварийных условиях работы реактора [1]. При высоких температурах (900 °С и выше) существенно повышается коэффициент диффузии Cr в Zr сплавах, формируется эвтектический слой Zr-Cr ($T_{\text{пл}}=1332$ °С), происходит оплавление поверхности ТВЭЛа и последующее его ускоренное окисление. Для решения данной проблемы предлагается применить многослойное покрытие на основе периодической структуры ZrO₂/Cr, выполняющей роль диффузионного барьера на границе раздела защитное покрытие- циркониевый сплав. Поэтому цель данной работы – определить влияние барьерного слоя ZrO₂/Cr на защитные свойства циркониевого сплава Э110 при высокотемпературном окислении.

С помощью ионно-плазменной вакуумной установки было получено четыре серии покрытий ZrO₂/Cr с шагом периодической структуры 100, 250, 750 и 1500 нм. Схема и параметры установки для напыления детально

описаны в нашей предыдущей работе [2]. Многослойные покрытия ZrO_2/Cr -100 представляли собой 30 последовательных слоёв ZrO_2 и Cr с толщиной каждого слоя 100 нм, а в качестве защитного верхнего слоя выступал слой хрома, толщиной 7 мкм. Напыление ZrO_2 выполнялось с помощью дуальной магнетронной распылительной системы (мощность - 2 кВт) при соотношении потоков Ar/O_2 как 30/45 cm^3/min . Осаждение многослойных покрытий ZrO_2/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 ZrO_2/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.