

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ АСПЕКТОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЦИРКОНИЕВЫХ ОБОЛОЧЕК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.В. Сиделёв

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: sidelevdv@tpu.ru

В настоящее время ведётся поиск оптимального материаловедческого решения для толерантного топлива водо-водяных ядерных реакторов, стойкого при штатных условиях эксплуатации (360 °С, 18,6 МПа) и в случае аварийных ситуаций (до 1200 °С), в зарубежной литературе - accident tolerant fuel. Ключевая проблема, над решением которой работает большое количество научных групп и организаций, состоит в поиске защитного покрытия для циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) при возможных аварийных условиях (например, при аварии с потерей теплоносителя). В случае взаимодействия циркониевых сплавов (напр., Э110, Э635, Zircaloy 4, М5 и т.д.) с парами воды при высокой температуре (более 860 °С) происходит интенсивное окисление циркония, его охрупчивание, дополнительный нагрев оболочек ТВЭЛов (т.к. реакция окисления циркония - экзотермическая, -584,5 кДж/моль при 1200 °С). Покрытие, используемое для защиты Zr оболочек от окисления, должно обладать малым сечением захвата тепловых нейтронов, низкой водородопроницаемостью, высокой коррозионной и радиационной стойкостью, быть адгезионно прочным и иметь высокую износостойкость. Особые требования предъявляются к стойкости материалов к высокотемпературному окислению и растрескиванию под действием механических воздействий (например, на этапе изготовления тепловыделяющих сборок или при циклических деформациях Zr оболочек в турбулентном потоке теплоносителя) и микронапряжений, создаваемых в покрытии за счёт разницы коэффициентов температурного расширения материала покрытия и циркониевого сплава. На сегодняшний день из рассмотренных материалов наиболее подходящим кандидатом, удовлетворяющим указанным требованиям, является покрытие на основе хрома. В большом количестве научных работ показана перспектива использования хромовых покрытий для защиты циркониевых оболочек ТВЭЛов при штатных условиях работы ядерного реактора и при высокотемпературном окислении. Однако, как и для большинства металлов, при высоких температурах значительно возрастает коэффициент диффузии хрома в цирконий, особенно в β-фазе циркония. Взаимная диффузия атомов хрома и циркония приводит к формированию интерметаллидного слоя $ZrCr_2$ и росту микрорёрен ZrO_2 на границах зёрен хрома, что усиливает диффузию кислорода к циркониевому сплаву. В результате этого растрескивается хромовое покрытие, “открывается” прямой доступ кислорода к циркониевому сплаву, и покрытие теряет свои защитные свойства.

Для решения указанной проблемы необходимо разработать новую структуру покрытия с оптимальным элементным и фазовым составом с целью повышения коррозионной и радиационной стойкости, стойкости к тепловому удару, трещиностойкости и износостойкости циркониевого сплава в штатных условиях эксплуатации и при возможных аварийных условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-21-00037.