

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ВНИИНМ
имени А.А.Бочвара

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

«ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИМЕНИ
АКАДЕМИКА А.А. БОЧВАРА» (АО «ВНИИНМ»)

123060, Москва, а/я 369, АО «ВНИИНМ»; Телефон: 8 (499) 190-89-99. Факс: 8 (499) 196-41-68. <http://www.bochvar.ru>.
E-mail: post@bochvar.ru ОКПО 07625329, ОГРН 5087746697198, ИНН/КПП 7734598490/773401001

22.08.2018 № 26/601/5375
На № 54.1-5173 от 24.05.2018

Председателю диссертационного
совета Д 520.009.06
д-ру техн. наук, профессору
Я.И. Штромбаху
123182, г. Москва, пл. Курчатова, д.1

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Маркелова Владимира Андреевича на диссертационную работу Колесника Михаила Юрьевича «Моделирование процессов перелома кинетики окисления и переориентации гидридов в циркониевых оболочках твэлов»,
представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Актуальность темы диссертации

В качестве конструкционных материалов оболочек твэлов в составе тепловыделяющих сборок (ТВС) в реакторах ВВЭР и PWR применяются циркониевые сплавы. В процессе эксплуатации и при хранении отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) циркониевые оболочки подвержены воздействию ряда факторов, приводящих к их деградации. В их числе, коррозионное окисление оболочек твэлов в реакторе при контакте с теплоносителем, а в процессе хранения ОЯТ – водородное охрупчивание, связанное с выпадением гидридов в радиальном

направлении оболочки. Механизм коррозионного окисления циркониевых сплавов сложен и не всегда поддается описанию в рамках простых физико-химических моделей, не учитывающих термомеханическое поведение оболочек. Таким же важным и не изученным в должной степени является процесс охрупчивания оболочек твэлов из-за наводороживания и образования гидридов неблагоприятной ориентации. В этой связи диссертационная работа Колесника М.Ю., посвященная моделированию процессов окисления и переориентации гидридов в циркониевых оболочках твэлов, является актуальной.

Результатом выполненной работы является физическая модель перелома в кинетике окисления циркониевых сплавов и модель переориентации гидридов в оболочках твэлов, реализованная в виде расчетного модуля.

Содержание диссертационной работы изложено в трех главах. В каждой главе последовательно рассмотрено решение части общей задачи исследования. Диссертация содержит 133 страницы текста, 61 рисунок, 7 таблиц и список литературы из 101 наименования.

Первая глава диссертации является аналитическим обзором, где рассмотрены литературные данные об особенностях роста оксидных пленок на поверхности циркониевых сплавов. Рассмотрены вопросы, связанные с сухим хранением ОЯТ и описаны ранее опубликованные модели переориентации гидридов в оболочках твэлов отработавших ТВС.

Исходя из наличия малоизученных аспектов в указанных областях исследований, автор сформулировал цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе описана модель перелома в кинетике окисления циркониевых сплавов. Условия наступления перелома определены в результате решения уравнений теории упругости. Модель основана на предположении, согласно которому перелом связан с развитием волнистой структуры вблизи фронта коррозии. Теоретическим анализом с использованием Фурье - спектров фронта коррозии показано, что возможным механизмом увеличения длины волны для такой волнообразной структуры является удвоение периода. Полученные по

результатам аналитического анализа закономерности подтверждены автором качественно и количественно в эксперименте с использованием слоя медной фольги различной толщины, имитирующей слой диоксида циркония.

Третья глава посвящена разработке модели переориентации гидридов в условиях сухого хранения ОЯТ и двухфазной модели аксиального перераспределения водорода в градиентах концентрации и температуры. Модель переориентации учитывает различия в растворимости водорода для растворения и выпадения гидридов, влияние на ориентацию гидридов температуры, внешних напряжений и текстуры сплава. В этой же главе приведена верификация моделей на экспериментах со сплавами Zr-2.5Nb, Zircaloy-4 и Э635. Проведена оценка неопределенности расчетов, что представляет полученные результаты более убедительными.

В заключении представлены основные выводы по результатам, изложенным в диссертационной работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы Колесника М.Ю. состоит в следующем:

1. Применен метод минимизации механической энергии, в результате чего на основе теоретического подхода определены условия перелома в кинетике окисления циркониевых сплавов;
2. Обнаружено преобладание гармоник с удвоенными периодами в Фурье-спектре фронта коррозии в результате Фурье-анализа фотографий шлифов границ раздела металл/оксид;
3. Модель переориентации гидридов описывает кинетику растворения и выделения гидридов. Параметры модели определены для отечественного сплава Э635.

Практическая значимость работы состоит в создании теоретического подхода, на основе которого сформулированы рекомендации, направленные на повышение коррозионной стойкости циркониевых сплавов. Эти рекомендации

могут быть использованы для оптимизации матрицы экспериментов по коррозионным испытаниям перспективных сплавов.

Внедрение технологии сухого хранения позволяет снизить издержки на хранение ОЯТ. Разработанная модель переориентации гидридов планируется к использованию для обоснования безопасности режимов сухого хранения.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций работы не вызывает сомнений. Автор обосновывает их, пользуясь следующим:

- качественным сравнением выводов теоретической модели коррозии с результатами коррозионных исследований;

- проведенным модельным экспериментом, подтверждающим решение задачи теории упругости;

- преобладанием Фурье - гармоник с удвоенными периодами в спектрах фронтов коррозии, что согласуется с выводами теоретического анализа;

- верификацией модели переориентации гидридов на экспериментальных данных.

Замечания по диссертационной работе

1. Волнистая структура вблизи фронта коррозии, с которой автор связывает наступление перелома, наблюдается не во всех экспериментальных исследованиях, особенно для толстых оксидных пленок, испытавших несколько переломов в кинетике. При этом, модель перелома в окислении не учитывает образование подокисного слоя твердого раствора кислорода в металле, толщина которого зависит от температуры и времени окисления;
2. Влияние олова на склонность сплава к коррозии автор объясняет сегрегацией олова по границам зерен оксида и изменением параметра микроструктуры оксида β , однако автор не привел экспериментальных свидетельств сегрегации олова в оксидной пленке;
3. При описании модели переориентации гидридов автор не акцентирует внимание на элементах своей модели, которые позаимствованы им из

ранее опубликованных работ, что затрудняет оценку его реального достижения.

4. Текст диссертации и автореферата, включая формулы, содержит опечатки.

Заключение

Указанные замечания не снижают качества и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Колесника М.Ю., поскольку основные ее положения апробированы, результаты получены с использованием оригинальных методических приемов, а логика рассуждений автора не противоречит современным представлениям о природе процессов, происходящих в циркониевых сплавах при коррозии и гидрировании.

Основные результаты диссертационной работы получены автором лично и опубликованы в авторитетных реферируемых журналах, сборниках трудов российских и международных конференций. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Диссертационная работа Колесника М.Ю. является завершенным научно-квалификационным трудом и удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013г. № 842. Колесник Михаил Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Начальник отдела, д-р техн. наук,
старший научный сотрудник

Подпись Маркелова В.А. удостоверяю
Ученый секретарь, канд. экон. наук.



В.А. Маркелов

М.В. Поздеев