

УТВЕРЖДАЮ

Врио директора ИБРАЭ РАН



д.ф.-м.н. Матвеев Л.В.

24 июля 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института проблем безопасного развития атомной энергетики

Российской академии наук

на диссертационную работу

Колесника Михаила Юрьевича

на тему “Моделирование процессов перелома кинетики окисления и переориентации гидридов в циркониевых оболочках твэлов”,

представляемую 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

Одним из главных направлений повышения безопасности атомной энергетики является усовершенствование реакторных материалов. В то же время, пока происходит поиск новых перспективных материалов, продолжается практически безальтернативное использование циркониевых сплавов в качестве одного из лучших материалов оболочек твэлов.

Основной проблемой при эксплуатации оболочек, выполненных из стандартных циркониевых сплавов, является их коррозия и окисление, особенно при высоких температурах. При этом может выделяться большое количество водорода. Эта проблема ярко проявилась в ходе тяжелой аварии на АЭС “Фукусима-1”, Япония, в марте 2011 г. Коррозия происходит также и при рабочих температурах оболочек в режиме нормальной эксплуатации водо-водяного реактора.

Механизмы коррозии и окисления чрезвычайно сложны и трудно поддаются описанию в рамках простых физико-химических моделей. Примером является кривая привеса, которая при температурах нормального режима эксплуатации имеет несколько стадий: начальная парабола, переходный режим и, наконец, линейная стадия кинетики окисления. Поэтому необходимы детальные модели окисления циркониевых сплавов с учетом термомеханического поведения оболочек.

Не менее важным и до конца не изученными является процесс водородного охрупчивания, приводящий к деградации свойств оболочек.

В силу вышесказанного тема диссертационной работы является актуальной, и результаты работы могут представлять значительный интерес при решении задач выбора циркониевых сплавов для оболочек с точки зрения коррозионного поведения и для обоснования безопасности при хранении отработавшего топлива.

Научная новизна

Автор разрабатывает модель перелома кинетики окисления в приложении к нормальному режиму эксплуатации на основе энергетического подхода. Именно, перелом, обусловленный нарушением сплошности слоя диоксида циркония, происходит при достижении критического уровня накопленной энергии упругих деформаций.

Новизна исследования заключается в том, что в качестве причины разрушения оксидного слоя диссертант впервые рассмотрел искривление границы раздела ZrO_2/Zr .

Также в диссертации впервые разработана кинетическая модель переориентации гидридов в цикле нагрев-выдержка-охлаждение в применении к технологии сухого хранения отработавшего ядерного топлива.

Достоверности результатов

Результаты автора, касающиеся перелома кинетики окисления, представляются достоверными, так как они основаны на использовании известных уравнений упругой и пластической деформации. Кроме того, в ходе исследования диссертантом был поставлен эксперимент, в ходе которого основные закономерности аналитического анализа были подтверждены качественно и количественно, в частности, соотношение

для длины волны синусоидального возмущения в зависимости от толщины слоя медной фольги, имитирующего слой диоксида циркония.

Достоверность модели переориентации гидридов подтверждена сравнением ее выводов с результатами экспериментов, в которых данный вопрос подробно исследовался в диапазоне температур 50÷400°C и при напряжениях до 250 МПа.

Практическая ценность

Полученные результаты модели перелома кинетики окисления могут быть использованы для анализа безопасности существующих реакторов и при поиске новых перспективных материалов для оболочек твэлов в реакторах нового поколения.

Результаты, полученные при разработке модели переориентации гидридов, могут быть использованы для анализа технологии сухого хранения, которая рассматривается в настоящее время как перспективная.

Созданный программный модуль также может быть рекомендован для использования в организациях, связанных с разработкой и эксплуатацией ядерных реакторов и с хранением и переработкой отработавшего ядерного топлива.

Замечания

К диссертационной работе имеются следующие замечания.

Поскольку результаты решения упругой задачи являются критическими для определения условий нарушения сплошности оксидного слоя, следует четко определить, какой постановке соответствует решаемая в диссертации задача: металлическая пластина с незакрепленными концами или с закрепленными концами?

Безусловно, важным параметром разработанной модели является параметр сжатия пластины диоксида Δ/l , связанный, в том числе, и с отношением удельных объемов диоксида и металла. В диссертации данная величина рассматривается как входной параметр модели, а не рассчитывается самосогласованным образом. Было бы интересно проанализировать, какими условиями (помимо указанного соотношения) определяется его значение.

Текст содержит некоторое количество неточностей и опечаток. Например, в выражении (10) для упругой энергии искривленной пластины во второй главе на стр. 37 пропущен волновой вектор k в числителе.

Общая оценка

Диссертационная работа является одной из немногих серьезных попыток разрешить проблему перелома кинетики окисления с помощью привлечения подхода, основанного на теории упругости. Следует иметь в виду, что самосогласованное решение задачи окисления и механики является очень сложной задачей, и здесь необходимо использовать удачную гипотезу и аккуратный метод решения, что автор и сделал в диссертационной работе.

Необходимо отметить, что подход автора представляется интересным, оригинальным, хотя, вероятно, и не единственно возможным, но полученные результаты, несомненно, являются значимым продвижением в поиске решения этой весьма сложной задачи. Особенно хотелось бы отметить убедительные результаты модельного эксперимента с медной фольгой на резиновой полосе. Постановка и проведение данного эксперимента, несомненно, является достоинством данной диссертационной работы.

Сделанные в отзыве замечания, не снижают общую высокую оценку научного уровня диссертационной работы, и не влияют на вывод о том, что работа выполнена на высоком научном уровне и поставленные цели достигнуты.

Диссертация построена логично и написана строгим научным языком, а также содержит необходимое количество графиков и таблиц. В конце каждой главы, а также по диссертации в целом имеются выводы.

Результаты диссертационной работы в полной мере отражены в 16 публикациях, представлены на 15 профильных научных конференциях и семинарах, а также учтены при создании численного модуля переориентации гидридов. Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа является завершенным научно-квалификационным трудом, соответствует паспорту специальности 05.14.03 "Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации", соответствует требованиям установленных Положением о присуждении учёных степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам Колесник Михаил Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических

наук по специальности 05.14.03 – ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Отзыв на диссертацию подготовлен на основании заключения, сделанного в результате обсуждения диссертации на заседании лаборатории теоретической физики (протокол № 1 от 18 июля 2018 года).

Заведующий лабораторией
теоретической физики
д.ф.-м.н., профессор

П.С.Кондратенко

Старший научный сотрудник
лаборатории теоретической физики
к.ф.-м.н.

А.Д.Васильев

Подписи П.С.Кондратенко и А.Д.Васильева заверяю.

Ученый секретарь ИБРАЭ РАН

к.т.н.



Калантаров В.Е.