

ОТЗЫВ

официального оппонента Кобылянского Геннадия Петровича на диссертационную работу Сафонова Дениса Валерьевича «Структурно-фазовое состояние оболочечных материалов в условиях эксплуатации, сухого хранения, а также проектной аварии», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Общая характеристика работы

Диссертационная работа изложена на 150 страницах, включая 99 рисунков, 32 таблицы и список литературы из 138 наименований. Основные разделы диссертации включают: введение; литературный обзор; методическую часть; экспериментальную часть, состоящую из двух глав, и заключение.

Актуальность темы диссертации

Длительное контролируемое сухое хранение тепловыделяющих сборок АЭС является насущной необходимостью развития атомной энергетики России и других стран с развитой энергетикой, поскольку накопление ОЯТ в настоящее время существенно опережает возможности их радиохимической переработки. Обоснование безопасности длительного сухого хранения ОЯТ является необходимым условием зарубежных поставок российского топлива ВВЭР и ТВС-КВАДРАТ. Для этого требуется создание прогнозных моделей поведения циркониевых сплавов, применяемых в качестве материала оболочек твэлов, которые разрабатывают с учётом результатов исследований их структурно-фазового состояния, изменяющегося под влиянием воздействия факторов, моделирующих условия сухого хранения. Проблему повышения безопасности эксплуатации ТВС в реакторах типа ВВЭР пытаются в настоящее время решить за счёт использования так называемого толерантного топлива, в одном из вариантов которого предлагается применять в качестве материала оболочек твэлов сплав 42ХНМ. Это должно предотвратить наступление саморазогреваемой пароциркониевой реакции, сопровождающейся выделением взрывоопасного водорода, в условиях проектной аварии. Структурно-фазовое состояние этого перспективного материала подвергается существенным изменениям под воздействием высоких температур, характерных для аварийных ситуаций, приводящих к снижению пластичности. Таким образом, оценка влияния температурно-силовых условий (включая ползучесть), характерных для режимов сухого хранения облучённых твэлов с оболочками из циркониевого сплава, и высокотемпературного нагрева сплава 42ХНМ, характерного для проектной аварии типа ЛОСА, на структурно-фазовое состояние этих материалов является весьма актуальной для обоснования безопасности обращения с топливом в этих режимах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в рецензируемой диссертации, обоснованы системным анализом работ, относящихся к поведению циркониевых материалов в условиях сухого хранения, и кандидатного для оболочек твэлов толерантного топлива сплава 42ХНМ в условиях проектных аварий типа LOCA. В центре внимания работы, сформулированного в виде цели, является исследование эволюции структурно-фазового состояния облучённых сплавов Э110 и 42ХНМ под действием термической ползучести в условиях сухого хранения и в температурно-временных условиях максимальной проектной аварии типа LOCA соответственно. Для достижения этой цели диссертантом были успешно решены задачи, направленные на получение экспериментальных данных по структурно-фазовому состоянию исследуемых материалов в исходном состоянии, после облучения в условиях ВВЭР-1000 и после проведения испытаний при параметрах, моделирующих режимы сухого хранения (для сплава Э110) и условия протекания максимальной проектной аварии типа LOCA (для сплава 42ХНМ). В рамках модели дислокационной термической ползучести при использовании регрессионного анализа Сафоновым Д.В. установлено, что наибольший вклад в сопротивление сплава Э110 ползучести в заданных условиях сухого хранения вносят глобулярные выделения β -Nb. Он показал, что снижение пластических характеристик сплава 42ХНМ в интервале температур (600-800)°С обусловлено образованием по границам зерен зон прерывистого распада и выделений α -Cr (КТР которого меньше чем КТР матрицы 42ХНМ в 1.7 раз), наряду с образованием пор по границам зерен.

Таким образом, предложенные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации, можно признать обоснованными.

Научная новизна и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

В результате решения поставленных задач получены данные, имеющие признаки научной новизны, относящиеся к роли структурных составляющих сплава Э110 в механизме термической ползучести, а также к причинам снижения пластических свойств сплава 42ХНМ при повышенных температурах. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается соответствием их имеющимся представлениям о процессах, происходящих с изделиями ЯЭУ из сплавов Э110 и 42ХНМ в условиях сухого хранения и аварии с потерей теплоносителя соответственно. Экспериментальные данные получены с использованием современного исследовательского и аналитического

оборудования для изучения структурно-фазового состояния материалов, соответствующих методов (ТЭМ, РЭМ, АЗТ) работы на нём и согласуются с расчётными данными, подтверждёнными результатами механических испытаний. Результаты работы опубликованы в научной периодике и доложены на международных и отраслевых конференциях.

Практическая ценность научных положений, выводов и рекомендаций

Полученные в работе экспериментальные данные о параметрах структурно-фазовых составляющих сплава Э110, в том числе после испытаний на ползучесть облучённых образцов в условиях, моделирующих режимы сухого хранения твэлов в составе ТВС ВВЭР, предполагается использовать при создании прогнозной модели ползучести, необходимой для аттестации технологии сухого хранения ОЯТ с оболочкой твэла из сплава Э110. Выявленные диссертантом особенности структурно-фазового состояния сплава 42ХНМ в экспериментах, моделирующих условия максимальной проектной аварии типа LOCA, демонстрирующие наличие остаточной пластичности у этого материала, могут служить важным аргументом для анализа возможности его использования в качестве материала оболочки толерантного твэла.

Соответствие диссертации и автореферата требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней

Работа Сафонова Д.В., оформленная в виде рукописи диссертации и автореферата, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям. Проведён обзор актуальной зарубежной и отечественной литературы по теме диссертации, правильно установлены задачи и методы проведения исследований. Экспериментальные данные проиллюстрированы таблицами и рисунками с должной информативностью. Полученные результаты соответствуют заявленным целям. Диссертация и автореферат содержат требуемые разделы и находятся в соответствии друг с другом.

Замечания и вопросы по работе

По материалам диссертации возникли некоторые вопросы и замечания:

1. В диссертации содержатся опечатки и ошибки. При этом, видимо в результате технической ошибки, имеется несоответствие некоторых литературных ссылок к приведенным в работе фрагментам текста, например, [17], [91], [93], [98], ...

2. В автореферате декларируется, что «основные результаты диссертации опубликованы в 5 статьях и докладах, все в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных в действующей перечне ВАК». Правильнее было бы уточнить, что часть публикаций опубликована в изданиях, входящих в международные базы цитирования, признанными допустимыми ВАК.

3. Методики испытания кольцевых образцов и регрессионного анализа описаны недостаточно подробно, из-за чего интерпретация результатов, полученных с их использованием, является проблематичной для анализа. Не описано также, как определяли дозы облучения 5 и 12 сна на оболочках пэлов.

4. На с. 4 диссертации упоминается понятие жизненного цикла, но не поясняется, что в него входит (только эксплуатация или и хранение?).

5. На с.58 ошибочно утверждается, что в оболочке твэла в процессе эксплуатации создаются растягивающие напряжения из-за давления внутритвэльного газа. На самом деле давление внутритвэльного газа в реальных условиях эксплуатации всегда ниже давления теплоносителя, создающего в оболочке сжимающие напряжения.

6. В работе утверждается (с.82-84), что изменение дислокационной структуры (отжиг дислокаций) в сплаве Э110 произошло в результате ползучести. В то же время известны факты, свидетельствующие о том, что плотность дислокаций в облучённых циркониевых сплавах заметно снижается уже только при термическом воздействии (в отсутствие механической нагрузки) при температурах выше 350 °С. Возможно, ползучесть внесла свой дополнительный вклад в изменение дислокационной структуры, но такая интерпретация в диссертации отсутствует.

7. На странице 66 диссертации фаза Лавеса представлена двумя формулами ($Zr(Nb,Fe)_2$ и $(Zr,Nb)Fe_2$), причём в других местах сообщается, что она имеет кубическую (ОЦК) решётку, что отличается от известных опубликованных данных других авторов, которые указывают, что эта фаза (первая формула) имеет ГПУ решётку. Это противоречие в диссертации не комментируется. Возможно, автор имел в виду трансформированную из ГПУ в ОЦК под действием облучения фазу Лавеса, но формула этой фазы также должна измениться (фактически становится $\beta-Nb$).

8. Пункты научной новизны и защищаемых положений должны быть пронумерованы. Первый пункт научной новизны, а также пункт 5 Заключения, представляются недостаточно обоснованным, поскольку отсутствует анализ других моделей ползучести и нет должных обоснований регрессионного анализа. Защищаемые положения во многих пунктах сформулированы не соответствующими параметрам испытаний – испытания проведены не в условиях сухого хранения, и не в условиях МПА, а в условиях, моделирующих (не имитирующих) режимы этих процессов.

9. Заключение (в отличие от выводов) должно содержать рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы, которые не приведены в данном разделе диссертации.

Заключение

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на положительную оценку диссертационной работы Сафонова Д.В. Работа выполнена на высоком экспериментальном и теоретическом уровне, полученные результаты являются новыми и имеют научную и практическую значимости. Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается совокупностью результатов проведенных структурных исследований существующих и перспективных оболочечных материалов твэлов, облучавшихся в условиях ВВЭР-1000, полученных с использованием современных аналитических методов (ТЭМ, РЭМ, АЗТ) и согласующихся с экспериментально-расчётными данными механических испытаний образцов. Это позволяет утверждать, что обозначенные в работе цели и задачи исследования достигнуты, а положения, выносимые на защиту, доказаны.

Диссертационная работа по своему содержанию и оформлению удовлетворяет критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней согласно требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 и «Изменениям, которые вносятся в Положение о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства российской Федерации №335 от 21.04.2016», а ее автор Сафонов Денис Валерьевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Ведущий научный сотрудник акционерного общества «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»), доктор технических наук,

 Кобылянский Геннадий Петрович

24 сентября 2021 г.

Адрес: 433510, Ульяновская область, г. Димитровград, Западное шоссе, д. 9

Телефон (рабочий): +7(84235)73958

Адрес электронной почты: gpk@niiar.ru

Подпись д.т.н. Кобылянского Г.П. заверяю:

Ученый секретарь АО «Государственный
научный центр – Научно-исследовательский
институт атомных реакторов»



 Д.А. Корнилов