

Отзыв

на автореферат диссертации Сабурова Николая Сергеевича **«Стойкость к замедленному гидриднему растрескиванию оболочек твэлов из сплавов циркония»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Сабурова Н.С. посвящена изучению стойкости к замедленному гидриднему растрескиванию (ЗГР) оболочек твэлов из сплавов циркония трёх систем легирования, которые наиболее широко применяются в качестве оболочечных материалов в водоохлаждаемых атомных энергетических реакторах. С механизмом ЗГР связывают образование первичных сквозных дефектов и длинных осевых вторичных трещин в оболочках твэлов из сплава Zircaloy-2 в реакторах BWR. Кроме того, ЗГР рассматривается как возможный механизм деградации оболочек твэлов в условиях сухого хранения отработавшего ядерного топлива. В этой связи тема диссертации, целью которой является определение основных параметров ЗГР ($K_{\text{ГН}}$ и $V_{\text{ЗГР}}$) и их температурных зависимостей для оболочек твэлов с оценкой стойкости сплавов к данному механизму разрушения, несомненно актуальна.

Из текста автореферата видно, что диссертант провёл анализ литературных данных о механизме и условиях проявления ЗГР, его основных параметрах и закономерностях. Рассмотрел случаи ЗГР на практике в оболочках твэлов и трубах давления. На основе проведенного анализа и выявления недостаточно изученных аспектов в этой области автор сформулировал цель и задачи собственного исследования.

В своей диссертационной работе Н.С. Сабуров продемонстрировал наличие достаточно глубоких знаний в области поведения водорода и образования гидридов в цирконии, их влияния на охрупчивание и разрушение циркониевых материалов, включая методические особенности изучения данных аспектов. Эти знания и умения позволили диссертанту успешно выполнить поставленные задачи и достигнуть цели своего исследования.

Среди полученных результатов следует отметить важные положения, имеющие признаки научной новизны, из которых можно выделить следующее:

– Разработан и применён для оболочек твэлов метод определения $K_{\text{ГН}}$ при зафиксированном раскрытии трещины в образце, позволяющий определять и $V_{\text{ЗГР}}$ с построением её зависимости от K_{I} .

– По единой методике на оболочках твэлов из трёх сплавов циркония определены основные параметры ЗГР ($K_{\text{н}}$ и $V_{\text{ЗГР}}$) и их температурные зависимости, включая предельную температуру, выше которой проявляется иммунитет к ЗГР.

– Показана наиболее высокая стойкость к ЗГР сплава Э110опт системы Zr-Nb, особенно под облучением за счёт меньшего радиационного упрочнения, индикатором которой является наличие на поверхности излома вязких бороздок с увеличенным между ними расстоянием.

С практической точки зрения ценность работы заключается во внедрении в АО «ВНИИНМ» разработанного метода испытаний и планируемом использовании там полученных результатов в коде СТАРТАП для моделирования роста трещины ЗГР в оболочках твэлов в условиях сухого хранения отработавших ТВС.

Основные результаты диссертации апробированы на международных и российских конференциях, опубликованы в 23-х работах, 8 из которых входят в перечень журналов, рекомендованных ВАК.

Обоснованность и достоверность полученных автором результатов и выводов диссертационной работы не вызывает сомнений. Они обеспечиваются использованием комплекса современных методов исследований, осуществлённых по аттестованным метрологами методикам. Результаты согласуются с известными экспериментальными и теоретическими данными по исследуемой проблеме для сплавов циркония.

Вместе с тем по автореферату диссертации имеются следующие замечания:

1. В таблице 1 приведены данные по содержанию легирующих элементов в твёрдом растворе матрицы сплавов. Однако в автореферате не отражено, какую роль играет этот параметр в стойкости сплава к ЗГР.

2. Известно, что в условиях сухого хранения при остывании оболочки возможно образование радиальных гидридов из-за действующих тангенциальных напряжений. В автореферате не обсуждается, может ли появление радиальных гидридов повлиять на проявление ЗГР.

3. При оценках возможности развития ЗГР в оболочках твэлов рассмотрена температура 350 °С. Однако в нижней части твэлов ВВЭР-1000 температура оболочки имеет температуру 290-300 °С. В автореферате не обсуждается, насколько это может повлиять на сделанные выводы о стойкости к ЗГР.

4. В автореферате не рассмотрена стойкость к ЗГР элементов каркаса ТВС (в частности НК и ЦТ) в условиях эксплуатации и сухого хранения, тогда как повреждение элементов каркаса является одним из важнейших ограничивающих факторов.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления от работы. По объёму, научному уровню и ценности результатов диссертационная работа удовлетворяет критериям Положения о порядке присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а её автор Сабуров Николай Сергеевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заместитель директора отделения –
начальник отдела АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,
кандидат физико-математических наук,
Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, владение 12,
8(495)841-52-56,
evdokimov@triniti.ru

И.А. Евдокимов

Подпись И.А. Евдокимова подтверждаю,
Учёный секретарь АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ»,
кандидат физико-математических наук,
Москва, г. Троицк, ул. Пушкиных, владение 12,
8(495)841-53-09,
ezhov@triniti.ru

А.А. Ежов

