

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Пастухова Владимира Ивановича «Структурная чувствительность аустенитных сталей к радиационным повреждениям при нейтронном облучении», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

Расширенное строительство и использование реакторов на быстрых нейтронах (РБН) позволит замкнуть ядерный топливный цикл. Экономическая эффективность таких реакторов обеспечивается при увеличении глубины выгорания топлива с нынешних около 12 % т.а. в БН-600, что соответствует повреждающей дозе порядка 80 сна, до 16–20 % т.а. в реакторах нового поколения БН-800 и др. и выше 20 % т.а. в будущем. При глубоких выгораниях топлива в конструкционных материалах активной зоны будет накапливаться высокая степень радиационного повреждения структуры. Однако уже при достигнутой на данный момент глубине выгорания в БН-600 используемая оболочечная аустенитная сталь ЧС-68 показывает высокое радиационное формоизменение оболочек твэлов, одной из причин которого является радиационное распухание, достигающее до 10 % и более, что ограничивает ресурс ее эксплуатации в реакторе. В связи с этим перспективными рассматриваются новая аустенитная высоколегированная сталь ЭК-164 с повышенным содержанием никеля, а также хромистые стали разных модификаций, включая ДУО стали. Однако остаются надежды на увеличение срока эксплуатации в РБН и ныне используемой стали ЧС-68, а также новых сталей, путем глубокого модернизирования их структурно-фазового состояния (СФС), включая мезоструктурное состояние. В связи с вышеотмеченным, установление закономерностей формирования радиационно-индуцированных структурных изменений в реакторных сталях под действием нейтронного облучения в зависимости от их мезоструктурного состояния является **актуальным** направлением исследований.

Наиболее важными результатами, полученными в работе, и имеющими существенную **научную новизну** являются:

впервые выявленные закономерности изменения параметров пористости от градиента температуры по сечению и высоте оболочек твэлов;

обнаруженные закономерности эволюции радиационной пористости на межкристаллитных мало- и высокоугловых границах, вблизи выделений вторых фаз в аустенитных сталях ЧС-68 и ЭК-164, а также в зависимости от плотности линейных и плоских дефектов кристаллического строения, наблюдаемых после облучения;

установленное различное поведение специальных межзеренных границ, включая двойниковые когерентные и некогерентные, к выделению дисперсных карбидов в процессе старения;

выявленные условия реализации распада аустенита по сдвиговому механизму в результате длительного облучения, а также связь образующейся фазы с мезоструктурным состоянием материала.

Научная и практическая значимость работы заключается в разработке методики количественного анализа влияния мезоструктуры на радиационное порообразование на основе совмещения сканирующей электронной и ориентационной микро-

Вх. №05-19/1-503
от 02.12.19г.

скопии, которая позволило автору провести анализ как количественных характеристик радиационной пористости, так и количественных характеристик межкристаллитных границ, а также показать необходимость учета во время эксплуатации изделий градиентов температур, ответственных за формирование радиационной пористости. Разработанные Пастуховым В. И. подходы позволили наглядно продемонстрировать влияние температуры облучения и локального структурного состояния на эволюцию радиационной пористости.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обусловлены использованием современного оборудования и взаимодополняющих методов структурного анализа (просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия в сочетании с ориентационной микроскопией, основанной на анализе дифракции обратно рассеянных электронов, рентгеноструктурный анализ), воспроизводимостью результатов исследования и непротиворечивостью их известным данным других исследовательских групп в области реакторного и радиационного материаловедения.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 15 научных публикациях, включая 9 статей в рецензируемых изданиях ВАК, 7 работ в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, и прошли апробацию на множестве Международных и Российских научных конференциях.

Судя по автореферату, диссертация Пастухова В.И. выполнена на высоком научном уровне, автореферат написан технически грамотным языком. Соискателем квалифицированно изложены результаты и сформулированы выводы проведенного исследования.

Опубликованные автором работы соответствуют содержанию автореферата диссертации.

Поставленная цель и решаемые задачи полностью выполнены, выводы соответствуют поставленной цели.

Вместе с тем, по работе имеются следующие замечания.

1. В автореферате не приведены сведения о том, чем облучены, где облучены, при какой температуре и до каких флюенсов облучены исследованные материалы. Может они есть в самой рукописи диссертации?

2. Декларируется, что для оценки степени радиационного распухания применялась стандартизированная методика гидростатического взвешивания, однако, несмотря на наличие микроструктур пористости (рис. 1–3, 6 ...), в автореферате не приведена ни одна цифра распухания сталей. Может они есть в самой рукописи диссертации?

3. Получен очень интересный результат по формированию «гало» из радиационных пор вокруг молибденсодержащих выделений, но вызывает сомнение, что частицы этих выделений являются именно боридами молибдена, поскольку бор, как поверхностно активный элемент, концентрируется на границах и в приграничных областях стали. Скорее всего, молибденсодержащее выделение может быть фазой Лавеса типа Fe_2Mo , образование которой в условиях облучения при повышенной темпера-

туре вполне возможно. Если это так, то объяснение формированию «галло» из пор должно быть иное, чем в автореферате.

Указанные замечания не снижают в целом благоприятного впечатления от представленной работы, т.е. не носят критического характера и не влияют на ценность полученных в работе научных результатов.

Диссертация Пастухова В.И. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой рассмотрены и решены актуальные задачи в области реакторного и радиационного материаловедения, изложенные новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для дальнейшего развития атомной науки и техники в России. Тематика диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.16.09 – «Материаловедение (в машиностроении)».

Диссертация по своему содержанию и оформлению удовлетворяет критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученых степеней согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» в УрФУ, а ее автор Пастухов Владимир Иванович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (в машиностроении)».

Профессор, доктор физико-математических наук (01.04.07 – Физика конденсированного состояния),
профессор отделения ядерной физики и технологий
офиса образовательных программ ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ»



Чернов Иван Ильич

«25» ноября 2019 г.

Адрес: 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31
Тел.: +7 (495) 788-56-99, доб.92-72
Факс: +7 (495) 324-31-65
E-mail: i_chernov@mail.ru



Подпись удостоверю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИИУ МИФИ
А.А. Абатурова