

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



ВНИИМ
имени А.А.Бочвара

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

123060, Москва, а/я 369, АО «ВНИИМ»; Телефон: 8 (499) 190-49-94. Факс: 8 (499) 196-41-68, 8 (495) 742-57-21. <http://www.bochvar.ru>.
E-mail: post@bochvar.ru ОКПО 07625329, ОГРН 5087746697198, ИНН/КПП 7734598490/773401001

17.01.2018 № 609/18

На № 12202-6224-126/Д от 07.12.2017



«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель Генерального директора

М.В. Скупов

« » 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Никитина Александра Александровича на тему «Влияние каскадообразующего облучения на распад твердого раствора в конструкционных материалах ядерных реакторов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Актуальность темы диссертационной работы и значимость полученных результатов

Прогнозирование эксплуатационного ресурса и оценка радиационной стойкости реакторных конструкционных материалов имеет особое значение для обеспечения безопасного функционирования и эксплуатации ядерных и термоядерных реакторов. Перестройка структурно-фазового состояния материалов, в том числе распад твердого раствора и образование различных предвыделений фаз под облучением, является одной из важных причин изменения структуры и деградации механических свойств перспективных конструкционных материалов для ядерного применения (ферритно-мартенситных хромистых сталей, сплавов титана, др.). Для анализа механизмов формирования различного вида сегрегаций, а также разработки новых физически обоснованных моделей радиационного охрупчивания, необходим анализ изменений тонкой структуры конструкционных материалов, включая перераспределение атомов различных химических элементов и их кластеров (предвыделений) в результате повреждающего облучения, происходящих на различных структурных масштабах. Важной частью таких исследований является анализ образования и составов наноразмерных образований (кластеров, предвыделений) в облучаемых материалах при каскадном характере радиационных повреждений (реакторном, ускорительном).

Целью представленной диссертационной работы Никитина А.А. являлось выявление под воздействием реакторного и ускорительного облучения ионами металлов начальных стадий распада твердых растворов и формирования наноструктуры, на примере различных конструкционных материалов для ядерной техники: материала сварного шва реактора ВВЭР-440 (сталь типа 15Х2МФА), сплава титана Ti-5Al-4V-2Zr, ферритно-мартенситной 9%-ой хромистой малоактивируемой (с быстрым спадом активности) стали типа EUROFER97 (9Cr1W0.2Vta0.1C), Для анализа этих явлений в диссертации

использован метод атомно-зондовой томографии, позволяющий изучать химический состав материалов, а также наблюдаемых радиационно-индуцированных кластеров (предвыделений) на атомном уровне. Данный метод эффективно развивается в ИТЭФ и настоящая диссертационная работа использует все преимущества этого метода для решения поставленной задачи. Данный подход позволил получить количественные оценки скорости образования радиационно-индуцированных образований и провести сравнение с расчетными оценками в рамках предложенной в работе модели радиационного кластерообразования. Все это определяет актуальность, новизну и значимость исследований и результатов представленной диссертационной работы, посвященной исследованию влияния каскадообразующего облучения на распад твердого раствора в исследованных конструкционных материалах.

В работе получен ряд важных теоретических и экспериментальных результатов, касающихся вопросов выявления начальных стадий распада твердого раствора и формирования наноструктуры в рассмотренных конструкционных материалах под воздействием различных режимов реакторного и ускорительного (с использованием тяжелых ионов) облучения.

В диссертационной работе изучены:

- процессы распада твердого раствора и формирования наноразмерных предвыделений в важных конструкционных материалах для ядерного применения - сварного шва реактора ВВЭР-440 (сталь типа 15Х2МФА), сплаве Ti-5Al-4V-2Zr, ферритно-мартенситной 9%-ой хромистой малоактивируемой стали типа EUROFER97 (9Cr1W0.2V0.1C) в условиях реакторного облучения и под воздействием ускоренных тяжелых ионов;

- свойства радиационно-индуцированных предвыделений (размеры, объемная плотность и состав) методами кластерного и статистического анализа распределения атомов различных химических элементов в исследуемых облученных материалах;

Предложена теоретическая модель для оценки размера предвыделений и расчета скорости их образования в твердых растворах под воздействием каскадообразующего облучения.

Научную новизну диссертационной работы составляют изученные закономерности формирования наноразмерных предвыделений на начальной стадии их зарождения при распаде твердого раствора в сплавах на основе железа (ферритно-мартенситная малоактивируемая 9%-ая хромистая сталь термоядерного назначения и 2%-ая хромистая сталь 15Х2МФА для сварного шва реактора ВВЭР-440) и титана (сплав Ti-5Al-4V-2Zr) в процессе каскадообразующего облучения. В работе:

- показано влияние химического состава материала и скорости набора дозы на состав радиационно-индуцированных предвыделений в материале сварного шва корпуса реактора ВВЭР-440 после реакторного облучения;

- установлено методами томографического атомно-зондового анализа влияние облучения тяжелыми ионами на тонкую структуру сплава Ti-5Al-4V-2Zr, а также происходящий в результате облучения распад твердого раствора α фазы сплава с образованием кластеров, обогащенных ванадием;

- получены томографические атомно-зондовые данные для процесса распада твердого раствора ферритно-мартенситной стали 9Cr1W0.2V0.1C (Eurofer97) с образованием Cr-Mn-Si кластеров в результате реакторного облучения;

- обнаружен распад твердого раствора хрома при облучении ионами Fe образцов стали 9Cr1W0.2V0.1C (Eurofer97);

- установлено, что объемная плотность радиационно-индуцированных кластеров на начальных стадиях облучения материалов с пересыщенными твердыми растворами пропорциональна числу каскадов атом-атомных смещений.

Практическая значимость диссертационной работы определяется тем, что полученные экспериментальные данные и выявленные закономерности могут быть

использованы для прогнозирования упрочнения и потери пластичности конструкционных материалов ядерных реакторов, что позволяет расширить базу экспериментальных данных для разработки рекомендаций по повышению радиационной стойкости, оптимизации и выбору перспективных конструкционных материалов для ядерных и термоядерных реакторов с повышенными ресурсом, эффективностью и безопасностью.

Полученные в работе результаты по изменению наномасштабного состояния сварных швов реакторов ВВЭР-440, титанового сплава Ti-5Al-4V-2Zr и ферритно-мартенситной стали Eurofer97 под облучением представляют интерес для разработчиков новых конструкционных материалов ядерной и термоядерной техники, а также для исследователей, работающих в области радиационного материаловедения и исследования общих проблем взаимодействия повреждающих излучений с твердым телом.

Обоснованность и достоверность результатов. Полученные в диссертационной работе Никитина А.А. результаты являются новыми, достоверность которых обоснована их согласованием с известными данными по радиационно-индуцированным эффектам в реакторных материалах, использованием наиболее эффективных методов ультрамикроскопического анализа методом атомно-зондовой томографии, тщательностью проведения экспериментов и оценкой величины погрешности проводимых измерений. Основные результаты работы опубликованы в 12 печатных изданиях, из них 7 статей в международных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus. Результаты работы докладывались и обсуждались на основных международных, всероссийских и отраслевых конференциях и семинарах.

В качестве замечаний по работе и рекомендаций к использованию метода атомно-зондовой томографии необходимо отметить следующее.

1. Дополнительно пояснить процедуру (стр. 87) приготовления образцов из ферритно-мартенситной стали с использованием длительных выдержек образцов на воздухе при высоких температурах 980-760 С и возможное влияние такой термообработки на элементный и фазовый состав полученных образцов.

2. Пояснить и дополнительно обосновать применение и информативность расчетных данных по облучению титана ионами титана и железа ионами железа для объяснения полученных экспериментальных данных для многокомпонентных исследованных сталей и сплава титана при хорошем согласовании полученных экспериментальных и расчетных данных (стр. 74, 88).

3. При рассмотрении модели каскадной генерации зародышей новых фаз в исследованных материалах для реакторов ВВЭР-400 (корпус реактора) и БОР-60 (центр активной зоны) обосновать необходимость и информативность дополнительного использования данных для других нейтронных спектров (центров активных зон реакторов ВВЭР-400 и БН-600) с использованием в работе не определенной и не ясной процедуры «учитывалось ослабление потока нейтронов на разных расстояниях от активной зоны», но при хорошем согласии полученных экспериментальных и расчетных данных для одного материала и разных нейтронных спектрах.

4. Основное внимание в работе уделено исследованию механизмов радиационного охрупчивания в исследованных материалах (повышение температуры вязко-хрупкого перехода) в облученных материалах) и объяснению причин радиационного охрупчивания радиационно-индуцированным образованием нанокластеров (предвыделений) типа "Fe-Cu" (сварной шов корпуса), "Ti-V" (сплав титана) и "Fe-Cr-Si-Mn" (сталь EURUFER97). Необходимо было дополнительно обсудить общность и исключительность влияния указанных нанокластеров (предвыделений) на радиационное охрупчивание исследованных материалов и возможность подавления радиационного охрупчивания материалов их очисткой от указанных элементов с учетом исходного (без облучения) низкотемпературного охрупчивания.

Заключение. В целом, представленная диссертация А.А. Никитина является законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных экспериментальных исследований, разработаны теоретические положения, совокупность которых, имеет важное научно-практическое значение для разработки конструкционных сталей и сплавов для ядерных реакторов нового поколения. Результаты и выводы диссертационной работы рекомендуются для научного и прикладного использования в организациях, разрабатывающих и исследующих конструкционные материалы для ядерной техники (АО «НИИАР», АО «ИРМ», АО «ФЭИ», НИЦ «Курчатовский институт», НИЯУ «МИФИ», ИФМ ФАНО РАН, др.).

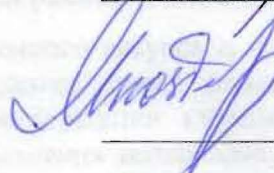
По своей актуальности, научной новизне, объёму выполненных исследований и практической значимости полученных результатов представленная работа соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор – **Никитин Александр Александрович** - достоин присвоения искомой степени по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертация, автореферат диссертации и данный отзыв были заслушаны и одобрены «16» января 2018 г. на заседании научно-технического совета отдела конструкционных материалов и изделий П-320, протокол № 1. Ответственный исполнитель – Главный научный сотрудник П-320, доктор физико-математических наук, профессор Чернов Вячеслав Михайлович, тел.: (499)1908262, Э-почта VMChernov@bochvar.ru.

Председатель НТС отдела П-320,
Начальник отдела П-320,
кандидат технических наук, доцент


Леоньева-Смирнова
Мария Владимировна

Ученый секретарь,
кандидат технических наук


Поздеев Михаил Васильевич

Главный научный сотрудник,
доктор физико-математических наук,
профессор


Чернов Вячеслав Михайлович

123098, г. Москва, ул. Рогова, д. 5а,
тел.: +7(499)190-8262,
Э-почта: VMChernov@bochvar.ru