

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертацию **Бедельбековой Камшат Азатовны**

«Моделирование высокодозных радиационных повреждений конструкционных реакторных материалов зондовыми мессбауэровскими атомами», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 «Материаловедение и технология новых материалов».

Диссертационная работа Бедельбековой Камшат Азатовны посвящена исследованиям влияния высокодозного радиационного облучения на свойства конструкционных материалов атомной промышленности. Данная тематика является актуальной с учетом развития традиционных ядерных реакторов, создания ядерных устройств нового типа, а также исследований направленных на создания термоядерных реакторов.

Экспериментальные исследования по теме диссертации проводились в РГП Институт ядерной физики Республики Казахстан и частично в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова в Научно-исследовательском институте ядерной физики им. Д.В. Скобельцына (Российская Федерация). Мое участие в данных исследованиях в качестве научного консультанта началось с весны 2018 года и продолжается до настоящего времени.

Объектами исследования К.А. Бедельбековой были выбраны металлические молибден и тантал, а также нержавеющие стали различных марок. Все эти материалы используются, или рассматриваются для использования, в качестве конструктивных материалов в различных ядерных устройствах. Радиационные повреждения создавались при облучении образцов на ускорителе ускоренными ионами ^{57}Fe . Метод ионного облучения широко используется в работах по радиационному материаловедению, поскольку позволяет изменять энергию и тип ионов и достигать необходимые дозы облучения за сравнительно небольшое время. Облучение ионами изотопа ^{57}Fe позволило исследовать образцы методами мессбауэровской спектроскопии, что дало возможность получить данные о локализации ионов, которые являются источником радиационных повреждений.

В диссертационной работе был использован целый ряд экспериментальных методов: эффект Мессбауэра, рентгеновская дифракция, рентгено-флуоресцентный анализ, сканирующая электронная микроскопия, синхротронные исследования EXAFS, измерение нанотвердости сталей. Влияние облучения, в том числе концентрация имплантированных атомов, глубина модифицированного слоя, число смещений атомов матрицы и концентрация первичных вакансий были рассчитаны с помощью компьютерного пакета SRIM. Совокупность экспериментальных методов и теоретических расчетов позволили получить достоверные данные о радиационных повреждениях рассмотренных материалов. Обобщенный

вывод проведенных исследований состоит в том, что в однокомпонентных металлах (Mo и Ta) высокодозное облучение ($DPA = 200$) не приводит к изменению ОЦК кристаллической структуры, в то же время облучение сталей вызывает фазообразование и переход из аустенитной в мартенситную фазу.

В диссертационной работе впервые были проведены комплексные мессбауэровские исследования Mo и Ta, подвергнутых высокодозному облучению ионами ^{57}Fe , в частности, наряду с традиционным методом, был применен метод конверсионной мессбауэровской спектроскопии для изучения поверхностных слоев толщиной 100-150 нм. Проведенный анализ показал нахождение железа в двух кристаллических состояниях. Основное «синглетное» состояние ионов железа в молибдене (89%) представляет собой твердый раствор замещения железа в молибдене, и в тантале (83%) – твердый раствор внедрения атомов железа в тантал. Дублетные компоненты мессбауэровских спектров отвечают дефектным позициям атомов железа, которые преимущественно локализованы в приповерхностной области. Данные позиции могут быть связаны с локализацией в ближайшем окружении вакансий, а также соседних атомов железа, или кластеров Fe-вакансия.

Особо следует отметить исследования, выполненные синхротронным методом EXAFS, который позволил уточнить кристаллическое окружение имплантированных атомов Fe. Данные EXAFS согласуются с данными мессбауэровской спектроскопии: в Mo атомы Fe образуют твердый раствор замещения с концентрацией вакансий около 20 ат.%; в решетке Ta атомы Fe имеют более сложную координацию, включая позиции внедрения.

Данные рентгеновской дифракции и мессбауэровской спектроскопии показывают, что расчеты пакета SRIM не описывают реальное состояние вещества после облучения, и должны рассматриваться лишь как начальные условия. При прохождении тяжелой частицы через вещество происходят локальные перегревы в области треков с частичным расплавлением и последующей рекристаллизацией. В результате восстанавливается кристаллическая структура и происходит почти полная рекомбинация вакансий и выбитых атомов.

Следует отметить интересные результаты, полученные в диссертации при изучении радиационно-индуцированных фазовых переходов в нержавеющей сталях разных марок, и новые данные относительно поверхностной твердости облученных сталей.

Личный вклад К.А. Бедельбековой в выполнение диссертационной работы является определяющим. Она является квалифицированным специалистом в области мессбауэровской спектроскопии, все работы по подготовке образцов, проведению мессбауэровских измерений и анализ спектров были выполнены ей самостоятельно. Расчеты по программе SRIM были также выполнены непосредственно К.А. Бедельбековой. Данные рентгеновских методов и электронной микроскопии были проанализированы при ее непосредственном участии. В процессе работы над диссертацией К.А.

Бедельбекова проявила себя сложившимся, высококвалифицированным, инициативным и творчески мыслящим исследователем, способным использовать различные экспериментальные методы.

В диссертационной работе К.А. Бедельбековой был получен ряд новых научных результатов. Результаты исследований неоднократно докладывались на международных научных конференциях и опубликованы в высоко-рейтинговых научных журналах (Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research ser. B).

Считаю, что диссертационная работа К.А. Бедельбековой удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени Доктора философии, а ее автор, Камшат Азатовна Бедельбекова, является сложившимся специалистом и заслуживает присвоения ей искомой научной степени.

Рекомендую диссертацию Бедельбековой Камшат Азатовны «Моделирование высокодозных радиационных повреждений конструкционных реакторных материалов зондовыми мессбауэровскими атомами» к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 «Материаловедение и технология новых материалов».

Ведущий научный сотрудник Отдела физики атомного ядра

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына

МГУ им. М.В. Ломоносова,

Доктор физико-математических наук

В.А. Андрианов

« 02 » « ноября » 2020 г.

Адрес: Москва, 119991, Ленинские Горы 1(2), НИИЯФ МГУ

Телефон 8-915-408-1964, E-mail andrva22@mail.ru

Подлинность подписи Андрианова В.А. удостоверяю.

Ученый секретарь НИИЯФ МГУ



Е.А. Сигаева