

ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертационную работу Бедельбековой Камшат Азатовны «Моделирование высокодозных радиационных повреждений конструкционных реакторных материалов зондовыми мессбуэровскими атомами», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов».

Диссертационная работа Бедельбековой Камшат Азатовны посвящена поиску безопасных способов воздействия на реакторные материалы, которые оказывают действие аналогичное продуктам ядерного распада. Работа в этом направлении является актуальной в свете неизбежного перехода к атомной и термоядерной энергетике и относится к приоритетным аспектам радиационного материаловедения. Она необходима для повышения качества и эксплуатационных свойств радиационно-стойких конструкционных материалов и защиты их от экстремальных поражающих факторов атомных электростанций нового поколения. Радиационные излучения, высокие температуры, агрессивная среда ядерного топлива и теплоносителей, газовое и вакансионное распухание приводят к деструктивным изменениям структуры и снижению эксплуатационных характеристик материалов активной зоны реактора. Низко- и высокотемпературное радиационное охрупчивание, радиационная ползучесть, размерная нестабильность являются результатом взаимодействия материалов с продуктами ядерного распада. Сложность исследования этих процессов заключается в том, что большинство из используемых металлов и сплавов подвержены наведенной радиоактивности, которая может сохраняться очень длительное время и представляет большую опасность для исследователя.

Перспективными в этом отношении являются имитационные испытания, позволяющие моделировать радиационные повреждения путем облучения высокоэнергетическими потоками заряженных частиц (ионов) металлов или инертных газов. Использование инертных газов обусловлено двумя причинами. Во-первых, они являются побочными продуктами ядерного распада. Во-вторых, позволяют провести имитационный эксперимент по их влиянию на газовое распухание. Ионы тяжелых металлов в определенной степени имитируют действие нейтронов и α -частиц и не вызывают наведенной радиоактивности.

Такой подход позволяет снизить трудоемкость исследований, сократить сроки ресурсных испытаний в области радиационного материаловедения, позволяет вскрыть характер взаимодействия облучения с веществом и наметить пути усовершенствования стандартных реакторных сталей и сплавов или разработки перспективных реакторных материалов.

В качестве основного неразрушающего метода контроля и измерений в работе использован эффект Мёссбауэра. Он характеризуется высокой информативностью о структурно-ориентационном расположении имплантируемых частиц в кристаллических решетках матриц металлов и позволяет

определить возможные типы повреждений. Выбор ионов железа обеспечивает чистоту эксперимента, поскольку никаких химических взаимодействий между молибденом и танталом в используемом интервале температур не зарегистрировано. В сталях, где железо является основным компонентом, такое количество имплантированных ионов не приведет к заметному изменению их химического состава.

Для обработки и анализа экспериментальных данных докторантом Бедельбековой К.А. применены современные программы компьютерного расчета, методы и методики структурно-фазового и электронографического анализа, измерения механических свойств (нанотвердости). Для обоснования постановки научных исследований ею проработан большой объем литературных источников, на основании которых выбраны объекты и предмет исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Личный вклад Бедельбековой К.А. при выполнении диссертационного исследования заключается в подготовке литературного обзора, проведении мессбауэровских экспериментов до и после облучения ионами ^{57}Fe , приготовлении образцов к облучению на ускорителе УСП-2-1, обработке данных рентгеноструктурного и электронографического анализов, расчетах радиационных повреждений по программам SRIM-2008 и EXAFS, измерении нанотвердости.

В результате проведенных исследований показано, что применение зондовых мессбауэровских атомов ^{57}Fe с энергией 1 МэВ и флюенсом 5×10^{16} ион/см² позволяет получить в материалах более 200 смещений на атом за три-четыре часа. Для накопления такого же количества смещений при облучении в активной зоне реактора потребуется несколько лет. Основное достижение работы состоит в том, что при облучении высокодозным потоком ионов железа в опытных образцах возникают дефекты того же типа, что и при ядерном распаде. Это – прежде всего вакансии, межузельные и замещенные атомы в кристаллической решетке чистых металлов. В сталях развивается инициированное имплантированными ионами ^{57}Fe $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение с образованием дефектного «мартенсита напряжения».

Важным результатом работы также является идентификация типа повреждений в чистых металлах и обосновано их происхождение. Показано, что в молибдене имплантированные атомы железа занимают позиции замещения, а в тантале – позиции внедрения, что контролируется силами межатомной связи (косвенно они определяются температурой плавления, плотностью и модулем упругости), атомной массой, размерами атомов компонентов и межузельных пор. В соответствии с этим, глубина проникновения ионов ^{57}Fe в молибден, имеющем более низкую плотность, модуль упругости и температуру плавления, будет больше, чем в тантал. Кроме того, обнаружено значительное измельчение зерна, обусловленное развитием рекристаллизационных процессов, инициированных высокодозным облучением.

