

ОТЗЫВ

научного консультанта на диссертационную работу 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 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 вакансационное 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 высокогенеративными 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 tantalом 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 УКП-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/ см^2 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 tantalе – 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 tantal. Кроме того, обнаружено значительное измельчение зерна, обусловленное развитием рекристаллизационных процессов, инициированных высокодозным облучением.

Показано, что мессбауровские спектры облученных сталей кроме «синглетной» линии аустенита содержат сильно расширенный «сикстет», характерный для сверхтонкого магнитного поля, связанного с возникновением магнито-упорядоченной о.ц.к. структуры. Делается вывод о том, что в исследованных сталях в результате облучения развивается $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращение с образованием дефектного «мартенсита напряжения», количество которого лимитируется концентрацией γ -стабилизирующего никеля. В результате этого структурно-фазового перехода во всех случаях, согласно результатам по измерению нанотвердости, реализуется радиационный наклеп. При температурах отжига, близких к рабочим температурам активной зоны реактора, он практически полностью устраняется. При этом в стали AISI 316 наиболее богатой никелем и молибденом, величина наклена существенно ниже по сравнению с остальными, что указывает на более высокую стабильность ее структурно-фазового состояния и, соответственно, свойств.

К положительным качествам Бедельбековой К.А. относится ее аккуратность и тщательность при выполнении экспериментов, трудолюбие и настойчивость в достижении качественного результата, заинтересованность в научном понимании основных вопросов взаимодействия облучения с веществом, происхождения радиационных повреждений, способов управления структурно-фазовым состоянием и свойствами конструкционных материалов ядерного реактора. При работе над диссертацией она показала себя хорошо подготовленным к практической и научной деятельности специалистом, способным самостоятельно решать поставленные задачи, на высоком уровне проводить анализ полученных результатов, делать обоснованные выводы.

По объему, содержанию, уровню обработки и анализа полученных результатов считаю, что диссертационная работа Бедельбековой Камшат Азатовны «Моделирование высокодозных радиационных повреждений конструкционных реакторных материалов зондовыми мессбауэровскими атомами» на соискание степени доктора философии (PhD) может быть рекомендована к рассмотрению в Диссертационном Совете Satraev Univercity.

Научный консультант:

к.т. н., СНС лаборатории «Механохимических процессов
и проблем горения»

РГП на ПХВ Институт проблем горения

Дег

/А.С. Дегтярева/

Подпись к.т.н. Дегтяревой А.С. заверяю
Ученый секретарь Института
проблем горения, кхн



Жылбыева Н.К.