

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Приходько Кирилла Евгеньевича
на диссертационную работу Е.А. Корнеевой
«Структурные эффекты облучения ионами высоких энергий в дисперсно-
упрочненных оксидами сталях»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

В представленной диссертационной работе приведены результаты структурных исследований оксидных наночастиц в ферритной матрице при облучении тяжелыми ионами с энергиями осколков деления, и результаты измерений механических свойств поврежденного слоя. **Актуальность** темы исследований обусловлена явным недостатком работ по изучению радиационной стабильности наночастиц на основе оксидов иттрия при высоких уровнях ионизации. В то же время понимание процессов дефектообразования в оксидах необходимо для оценки эксплуатационных характеристик дисперсно-упрочненных оксидами сталей в качестве материалов для оболочек тепловыделяющих элементов реакторов нового поколения. Вместе со структурными исследованиями методом просвечивающей электронной микроскопии в рассматриваемой работе также освещен вопрос определения уровня радиационного упрочнения и изучения механизмов упрочнения ДУО-сталей с применением современных методик наноиндентирования.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и двух приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, научная новизна, практическая значимость работы и приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет собой литературный обзор, в котором приведены результаты исследований по устойчивости ДУО-сталей при

облучении различного типа, описание основных типов реакторных установок IV поколения, требований к конструкционным материалам для таких установок, особенностей ДУО-сплавов, способов их получения, приведены структурные исследования оксидных частиц в ДУО-сталях до и после облучения. Описаны методики определения радиационного упрочнения облученных материалов методами наноиндентирования.

Во второй главе представлены использованные методы подготовки образцов для исследований, результаты микроструктурных исследований ДУО-сталей, описаны использованные методики облучения тяжелыми ионами, методы исследований структуры и механических свойств.

Третья глава посвящена результатам структурных исследований оксидных частиц и карбидов в ДУО-сталях после облучения тяжелыми ионами с энергиями 1 - 3 МэВ/нуклон при температурах от 300 до 1000 К. Определено пороговое значение энергии электронных потерь для образования латентных треков в частицах пирохлора методом просвечивающей электронной микроскопии. Полученные значения согласуются с результатами расчета параметров треков, полученными в модели неупругого термического пика. Проведен анализ влияния процессов радиационно-термического окисления на состояние поверхности ДУО-стали, облученной тяжелыми ионами и сравнительный анализ радиационной стойкости оксидных частиц на основе Y-Ti-O и Y-Al-O.

В четвертой главе представлены результаты исследований радиационного упрочнения ДУО-сталей после облучения методом наноиндентирования с учетом неоднородности поврежденного слоя у облученных ионами материалов. Продемонстрирован метод получения механических характеристик облученных материалов во всем объеме поврежденного слоя с использованием специального фильтра при облучении. Установлено, что радиационное упрочнение выходит на стадию насыщения при исследуемых дозах облучения, при этом полученное значение хорошо согласуется с моделью дисперсионного упрочнения.

Научная новизна. К наиболее значимым научным результатам представленной диссертационной работы можно отнести следующее:

- определение порогового значения энергии электронных потерь для образования латентных треков в частицах $Y_2Ti_2O_7$;

- подробные структурные исследования частиц $Y_2Ti_2O_7$ и $Y_4Al_2O_9$ в ДУО-сталях после облучения тяжелыми ионами с энергиями ≥ 1 МэВ/нуклон в широком диапазоне температур вплоть до рабочих температур реакторных установок;

- результаты механических испытаний ДУО-сталей, облученных тяжелыми ионами, методами наноиндентирования, установление зависимости уровня радиационного упрочнения от дозы радиационных повреждений.

Полученные в работе данные по структурному отклику оксидных наночастиц на облучение тяжелыми ионами высоких энергий, результаты механических испытаний облученных ДУО-сталей представляют интерес с точки зрения разработки новых конструкционных материалов для реакторов нового поколения, а также для проведения исследований в области радиационного материаловедения, что обуславливает **практическую значимость работы**.

По содержанию диссертационной работы и автореферата можно высказать следующие замечания:

- 1) В работе мало внимания уделяется изменениям структуры ферритной матрицы вследствие облучения, в то же время полученный уровень радиационного упрочнения связывается именно с наличием радиационных дефектов в феррите.
- 2) Несмотря на достаточно большое количество результатов по структурным исследованиям дисперсно-упрочненных оксидами сталей в зависимости от температуры облучения или температуры пострadiационного отжига, аналогичных исследований влияния температуры на механические свойства ДУО-сталей в работе не приведено.

Данные замечания не уменьшают научно-практической значимости рассматриваемой работы. Исследования выполнены на достаточно высоком уровне, что подтверждается использованием в работе современных высокоразрешающих приборов, таких как просвечивающая электронная микроскопия, вместе с новейшими методиками исследования механических

характеристик материалов. Результаты диссертации были неоднократно представлены на российских и международных конференциях. Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы.

По объему, научному уровню и ценности результатов диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук и паспорту специальности 01.04.07 – по физико-математическим наукам, а ее автор – Корнеева Екатерина Александровна – достойна присвоения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
доцент, заместитель начальника отдела
аналитических методов исследования материалов
и перспективных технологий Курчатовского
Комплекса НБИКС- природоподобных технологий
НИЦ "Курчатовский институт"

К.Е. Приходько

Подпись д.ф.-м.н. Приходько К.Е. заверяю:

Главный Ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»
Доктор физико-математических наук



Форш П.А.

Шифр специальности, по которой была защищена докторская диссертация:
01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики

Адрес: 123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Телефон: +7 (499) 196–95–39

e-mail: prihodko_ke@nrcki.ru