

ОТЗЫВ

На автореферат диссертации А.А. Сорокина
«Физико-механическое моделирование деформирования и разрушения
сильнооблученных аустенитных сталей и разработка методов
прогнозирования свойств материалов для ВКУ ВВЭР»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение)

Диссертация А.А. Сорокина посвящена разработке методологии оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР с учетом эксплуатационных факторов, исследованию механизмов деградации материалов ВКУ и разработке методов прогнозирования их свойств. В автореферате представлены результаты исследования основных механизмов деградации материалов ВКУ под действием нейтронного облучения и физико-механического моделирования процессов их разрушения, а также расчетно-экспериментальные исследования по определению и прогнозированию механических свойств и трещиностойкости материалов ВКУ, облученных до максимальной дозы 150 сна.

Актуальность и практическая значимость полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку многие из них явились основой для создания руководящих документов и методик ОАО «Концерн Росэнергоатом». На основании данных документов в настоящее время проводится обоснование продления срока службы ВКУ действующих реакторов ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Нельзя не отметить, что результаты работы также включены в международный код МАГАТЭ “Unified procedure for life time assessment of components and piping in WWER NPPs “Verlife”, 2003-2012”.

Научная новизна диссертационной работы обусловлена, на мой взгляд, в первую очередь, установлением основных механизмов влияния радиационного распухания на охрупчивание облученных аустенитных сталей а также созданием моделей, позволяющих прогнозировать служебные характеристики материалов ВКУ, являющиеся входной информацией для расчета их прочности и ресурса. Кроме того, следует отметить разработанную в рассматриваемой диссертации методологию оценки прочности и работоспособности элементов ВКУ ВВЭР с учетом влияния основных эксплуатационных факторов.

Исходя из представленного автореферата можно заключить, что заявленная цель работы достигнута, а задачи – выполнены.

Основные результаты работы представлены и обсуждены как на российских, так и на международных конференциях, имеющих высокий научный статус, а также опубликованы в 15 рецензируемых научно-технических российских и зарубежных журналах.

В качестве замечаний по автореферату диссертации можно отметить следующие:

1. На страницах 13-14 автореферата автор утверждает, что вакансионные поры приводят к снижению характеристик прочности ($\sigma_{0.2}$ и σ_B) облученной

Вх. № <u>3983</u>	Исполнено
<u>30.11.15</u> г.	В ДЕЛО
Основн. <u>3</u>	№ _____
Прил. _____	л. подл. _____

аустенитной стали за счет уменьшения нетто-сечения образца. В то же время известно, что вакансионные поры являются достаточно эффективными барьерами для дислокаций и должны приводить к упрочнению материала. Этот момент никак не отражен в автореферате.

2. На странице 8 автореферата сказано, что процессом, обуславливающим $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение, является обеднение твердого раствора элементами, стабилизирующими аустенитную фазу (в основном никелем). При этом определение критического значения распухания, приводящего к охрупчиванию материала при $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении, строится на анализе пластичности образцов из стали 08X18H10T и металла шва. Состав металла шва в автореферате не указан, но, по-видимому, он выполнен проволокой Св-04X19H11M3 и, соответственно, имеет большее содержание никеля, чем основной металл. Насколько правомерен и консервативен подход, при котором для анализа охрупчивания материала вследствие обеднения никелем его матрицы, используются материалы с разным исходным содержанием никеля?

3. Из реферата не ясно, учитывается ли в разработанной модели разрушения облученных аустенитных сталей возможное $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение.

4. На странице 9 автореферата автор утверждает, что распухание является обобщенным параметром, который индексирует обеднение никелем матрицы и может служить критерием $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. В то же время известно, что образование α фазы в облученной аустенитной стали возможно и без распухания. В качестве примера можно привести образование мартенсита деформации при испытании облученных хромо-никелевых аустенитных сталей при комнатной температуре.

5. Автор делает вывод, что «величина распухания может служить критерием $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения». Однако проведенные в НИЦ «Курчатовский институт» структурные исследования стали 12X18H10T, облученной в реакторе БОР-60 до повреждающих доз 120-140 сна показали, что прямая корреляция между уровнем распухания и содержанием феррита в стали отсутствует¹. При этом содержание феррита в стали коррелирует с объемной долей G-фазы, обогащенной никелем.

6. В автореферате делается вывод о том, что образование α -фазы вблизи границ зерен обусловлено обеднением приграничных областей основным стабилизирующим аустенитную фазу элементом в стали - никелем вследствие образования радиационно-индуцированных сегрегаций никеля по границам зерен. Однако проведенные в НИЦ «Курчатовский институт» электронно-микроскопические исследования показали, что для образцов

¹ (B.A.Gurovich, E.A.Kuleshova, A.S.Frolov, D.A.Maltsev, K.E.Prikhodko, S.V.Fedotova, B.Z.Margolin, A.A.Sorokin. Investigation of high temperature annealing effectiveness for recovery of radiation-induced structural changes and properties of 18Cr-10Ni-Ti austenitic stainless steels // Journal of Nuclear Materials 465 (2015), 565-581).

стали 12X18Н10Т, облучавшихся в ВВЭР-1000 до дозы 14 сна, уровень сегрегаций никеля на границе зерна выше, чем в образцах этой же стали, облучавшихся в реакторе БОР-60 до дозы 120-140 сна¹. Вероятно, наблюдаемые различия в уровне радиационно-индуцированных сегрегаций обусловлены, главным образом, существенными различиями в температуре облучения. При этом в образцах, облучавшихся в реакторе ВВЭР-1000, выделения феррита в приграничных областях отсутствуют, в то время как в образцах, облучавшихся в БОР-60, доля выделений феррита, локализованных преимущественно в приграничных областях, достигает 4%.

Представленные замечания не снижают актуальности, научной новизны и практической ценности диссертационной работы. Автором проведена большая работа по созданию методологии оценки прочности и ресурса ВКУ ВВЭР, а также разработке экспериментально обоснованных зависимостей ключевых физико-механических свойств, которые позволяют проводить эту оценку адекватно современным представлениям радиационного материаловедения.

Судя по автореферату, диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, имеющее важное практическое применение, и соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Сорокин Александр Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Заместитель руководителя Курчатовского
ядерно-технологического комплекса по
реакторным материалам и технологиям,
Д.т.н, профессор

Борис Аронович Гурович

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Национальный исследовательский центр
Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт»)
Пл. Академика Курчатова, д.1, Москва, 123182
Тел.: (499) 196-95-39, Факс: (499) 196-17-04
Email: nrcki@nrcki.ru, www.nrcki.ru

Подпись заверяю

Виктор Игоревич Ильгисонис

Заместитель директора по научной работе
Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»
Д.ф-м.н., профессор

