

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Пироговой Натальи Евгеньевны* на тему
«*Определение доминирующих механизмов и разработка методов
прогнозирования коррозионного растрескивания под напряжением облученных
аустенитных сталей для ВКУ ВВЭР и PWR*», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.09 – *материаловедение (машиностроение)*.

В диссертационной работе Пироговой Н. Е. рассматривается широкий круг проблем, связанных с коррозионным растрескиванием под напряжением (КРН) облученных аустенитных хромоникелевых сталей, используемых в конструкционных элементах внутрикорпусных устройств (ВКУ) реакторов типа ВВЭР и PWR.

Конструкционные элементы внутрикорпусных устройств реакторов данного типа, изготовленные из аустенитных хромоникелевых сталей, подвергаются высоким дозам нейтронного облучения, воздействию достаточно высоких температур. Существенно, что по сечению материала ВКУ в процессе облучения имеются значимые градиенты флюенса быстрых нейтронов и температуры облучения. Эти градиенты приводят к заметным различиям по сечению ВКУ радиационно-индуктированных структурных изменений, в том числе распухания, и возникновению значительных растягивающих напряжений в поверхностных слоях ВКУ, обращенных к центру активной зоны. Последнее обстоятельство может приводить к КРН материала ВКУ за счет контакта с водным теплоносителем первого контура. Основным фактором деградации аустенитных сталей считается радиационное распухание, которое может привести к потере работоспособности некоторых элементов, а при неблагоприятных условиях – и к повреждениям этих элементов. Поэтому неудивительно, что именно изучению радиационного распухания и радиационно-индуктированных изменений микроструктуры аустенитных хромоникелевых сталей посвящено значительное число проводимых исследовательских работ. Эти исследования

Научно-исследовательский институт
ЦНИИ КМ «Прометей»

ДОК	Вх. № 17	в ДЕЛО
	Мар 20 г.	
	5	
	Основ.	л.

в значительной степени позволили продвинуться в понимании влияния нейтронного облучения и других эксплуатационных факторов на потенциальные повреждения и свойства аустенитных хромоникелевых сталей и на их расчетные характеристики.

Вместе с тем, до недавнего времени коррозионным повреждениям аустенитных хромоникелевых сталей в обескислорожденной водной среде (теплоноситель I контура реакторов типа ВВЭР) практически не уделялось должного внимания. Это обстоятельство вполне объяснимо, поскольку, как известно, данный класс материалов в необлученном состоянии не подвержен КРН в обескислорожденной водной среде. Однако нейтронное облучение принципиально изменяет сопротивление коррозионному растрескиванию аустенитных хромоникелевых сталей, о чем свидетельствуют эксплуатационные повреждения ряда элементов ВКУ реакторов типа ВВЭР и PWR.

В связи со сказанным, исследования КРН аустенитных хромоникелевых сталей в водной среде I контура, составляющие предмет диссертационной работы Пироговой Натальи Евгеньевны, являются весьма своевременными и актуальными как с практической, так и научной точки зрения.

Диссертационная работа Пироговой Н.Е. представляет комплексное исследование, которое включает автоклавные испытания облученных аустенитных хромоникелевых сталей на КРН по различным режимам, исследование механизмов разрушения и анализ доминирующих механизмов, приводящих к коррозионному растрескиванию в водной среде. Даже сам по себе большой объем новых экспериментальных данных по КРН облученных сталей имеет значительную ценность и интересен для исследователей и инженеров. В работе предложен также метод экспресс-оценки склонности материалов к КРН, который может использоваться и как лабораторный исследовательский инструмент, и как практический метод для сравнения различных материалов.

Отличительной особенностью данной работы является детальная проработка различных сторон такого трудного для анализа явления как коррозионное растрескивание. Такая проработка позволила связать физические процессы при КРН облученных сталей (образование межзеренных микротрещин, канальное деформирование, уменьшение прочности границ зерен) с количественными механическими характеристиками (пороговое напряжение инициации КРН и время до разрушения).

Такой подход позволил на основании экспериментальных результатов, полученных в диссертационной работе, предложить зависимости для прогнозирования долговечности конструкционных элементов по критерию сопротивления КРН. Эти зависимости реализованы в инженерном методе прогнозирования КРН, включенном в новый ГОСТ по расчету на прочность внутрикорпусных устройств.

Таким образом, автореферат диссертации позволяет заключить, что полученные в диссертационной работе результаты являются актуальными, новыми и имеют важное прикладное значение.

Тем не менее, по диссертации (на основе изучения автореферата) можно сделать следующие замечания.

1. Результаты экспериментов по исследованию склонности необлученной стали в состоянии «Т» к КРН при наличии обеднения хромом по границам зерен (см. главу 4) и отсутствие межзеренного разрушения в этом эксперименте не полностью доказывают отсутствие влияния этого обеднения на склонность к КРН облученных сталей, так как при облучении помимо обеднения границ зерен хромом происходит упрочнение материала. Из автореферата не ясно, выполнялись ли исследования, в которых КРН исследовалось в упрочненном материале с обедненными хромом границами зерен.

2. В работе экспериментально показано, что наработка гелия сильно влияет на прочность границ зерен. В то же время, образцы с

гафниевой втулкой показали большую склонность к КРН, чем без гафния. С точки зрения влияния прочности границ зерен на КРН данный факт не может быть объяснен. В автореферате не дано объяснения указанному экспериментальному результату.

3. В работе эксперименты по определению стойкости к КРН по нагружению образцов в водном теплоносителе ВВЭР после облучения включают испытания на ползучесть. По моему мнению, этот вид нагружения не воспроизводит характер нагружения внешних слоев материала ВКУ за счет большего распухания, лежащих под ними слоев материала, так как внешние слои не могут оторваться от внутренних и деформироваться с большей скоростью. Кроме того, структурный механизм деформирования материалов с малыми скоростями без облучения может отличаться от механизма деформирования под облучением, при котором происходит постоянное образование радиационных дефектов и их кластеров, а также образование выделений.

4. Разнообразный опыт наблюдения эффектов смешанного характера разрушения аустенитных нержавеющих сталей под облучением при воздействии растягивающих напряжений в контакте с водным теплоносителем реакторов ВВЭР и PWR указывает на сложную природу этих эффектов, которые принято классифицировать термином КРН. По этой причине вклад различных эффектов (образование РИС, наработка гелия или поступление водорода в материал и т.п.) в КРН однозначно установить очень сложно. Отечественный опыт исследования разгерметизации оболочек ТВЭЛОВ ледокольного типа из различных по составу аустенитных нержавеющих сталей показывает, что смешанный характер растрескивания оболочек при малых уровнях деформации (менее 1 %) наблюдался уже при флюенсах $\sim 1\text{-}2$ сна, когда наработка гелия невелика. В этой связи выделение значимого вклада гелия при малых флюенсах нейтронов в этот процесс затруднительно.

Указанные отдельные проблемные моменты и недостатки в диссертационной работе не снижают ее общей ценности. В целом, работа несомненно производит хорошее впечатление.

На основании результатов, представленных в автореферате диссертации, можно сделать заключение, что выполненная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, и ее автор, Пирогова Наталья Евгеньевна, заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – материаловедение (машиностроение).

Д.т.н., профессор,
Руководитель отделения реакторных
материалов и технологий
Курчатовского комплекса
НБИКС-природоподобных технологий

тел. (499) 196-94-14, e-mail Gurovich_BA@nrcki.ru

НИЦ «Курчатовский институт»
Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Подпись Гуровича Б.А. заверяю:

Директор департамента управления персоналом
НИЦ «Курчатовский институт»

С.В.Андрушук



Ознакомлено *Жи*
11.01.21