

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы ИСИНБАЕВА Артура Радионовича  
«Эволюция и прогнозирование радиационной пористости в изделиях из аустенитной стали»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности  
2.6.17 – «Материаловедение»

Диссертационная работа А. Р. Исинбаева посвящена разработке методов моделирования эволюции радиационной пористости нержавеющей стали аустенитного класса с целью прогнозирования эксплуатационного ресурса оболочек твэлов, с использованием результатов проведенных автором систематических экспериментальных исследований конкретных реакторных материалов. Следует отметить решительность и смелость автора, взявшегося за разработку такой исключительно сложной и многофакторной проблемы, разумеется, не без помощи руководителей и консультантов, имеющих большой опыт работ в указанном направлении.

В качестве базовой модели автором использовалась статистическая модель миграции точечных дефектов В. А. Козлова, подвергнутая дальнейшему развитию при участии автора диссертационной работы. Модель учитывает энергетические барьеры, преодолеваемые точечными дефектами (ТД). Вероятности перескоков через барьеры предполагались подчиняющимися распределению Больцмана. Следует отметить, что в автореферате автор не уточняет вопрос о том, относит ли он к ТД примеси внедрения, замещения и возможные комплексы дефектов. Миграция дефектов считалась изотропной пока ТД не проник в область, прилежащую к стоку. Каждому из стоков отвечает определенная энергия взаимодействия с конкретным ТД, через которую выражаются вероятности попадания или удаления этого ТД из стока.

Рассчитывается время диффузии ТД до стоков и, в конечном счете, поток каждого вида ТД (вакансий и междоузельных атомов) на сток. В целом логика написания уравнений баланса для избыточных вакансий и междоузельных атомов с их потоками, а также уравнений, описывающих изменение среднего диаметра и концентрации пор, на основе которых можно рассчитать изменение пористости материала, представляется вполне убедительной. Тем не менее, следует отметить некоторую разбросанность приведенного в автореферате описания использованных обозначений (переменных и их индексов).

В работе был применен самосогласованный алгоритм расчета критического диаметра пор. При достижении критического диаметра пор их рост происходит за счет поступления в них вакансий, без необходимости поступления дополнительного количества, стабилизирующего He. При этом задаются начальные характеристики микроструктуры и радиационной пористости для определения концентраций и потоков ТД. Условие достижения критического диаметра описывается следующим выражением:  $J_{vv} = J_{vv+} - J_{vv-} - J_{iv+} \geq 0$  (формула 8), где  $J_{vv}$  – результирующий поток вакансий в пору;  $J_{vv+}$  – поток вакансий в пору;  $J_{vv-}$  – поток вакансий из поры;  $J_{iv+}$  – поток междоузельных атомов в пору.

Конечно, в автореферате приведено недостаточно информации, чтобы исчерпывающе оценить все аспекты предложенного А. Р. Исинбаевым в существенной степени разветвленного и сложного алгоритма расчета критического диаметра поры для сталей 06X16N15M2Г2ТФР и 07X16N19M2Г2БТР. Однако структура алгоритма и полученные результаты полагают заключить, что А. Р. Исинбаевым корректно решена весьма сложная, имеющая прикладное значение задача прогнозирования радиационной пористости в изделиях из аустенитных сталей на основе предложенных теоретических представлений с



использованием исходных характеристик микроструктуры и радиационной пористости реальных объектов.

Следует отметить высокую оснащенность работы уникальной экспериментальной техникой мирового уровня. Имеются достаточно серьезные публикации, 6 из которых в зарубежных журналах, индексируемых Web of Science или Scopus.

Достоверность результатов, полученных в работе, не вызывает каких-либо сомнений и принципиальных возражений. При этом достигнуто согласие расчетного и экспериментального критического диаметра пор для серии из 4-х образцов, различие, укладывающееся в рамки погрешности эксперимента. Обнаружена тенденция к снижению критического диаметра пор при высокой температуре.

Практическая значимость работы заключается в разработке алгоритма оценки срока остаточной и предельной эксплуатации твэлов реакторов на быстрых нейтронах. Это дает возможность увеличить срок безопасной эксплуатации ядерных реакторов, лимитируемый процессом набухания.

Автореферат работы в целом соответствует всем необходимым требованиям и может быть оценен позитивно, за исключением некоторых недостатков и неточностей. Так, наполнение раздела автореферата: «Положения, выносимые на защиту» по форме и по содержанию не соответствует его названию. Кроме того, из текста работы непонятно, как автором учитывалось наличие областей плотных каскадов атомных смещений в исследуемых материалах, создаваемых ПВА и содержащих аномально высокую плотность ТД и образуемых ими комплексов. Сделанные замечания не затрагивают основного содержания диссертации, а именно, ее наиболее важных результатов и выводов.

В целом, учитывая вышесказанное, считаю, что А. Р. Исинбаевым выполнено большое по объему, трудоемкое, оригинальное и важное научное исследование, обладающее несомненной научной новизной и практической ценностью, полностью соответствующее специальности 2.6.17 – Материаловедение. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям пунктов 9-14 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а ее автор, Исинбаев Артур Радионович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по вышеуказанной специальности.

Главный научный сотрудник, зав. лаб.,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

  
« 17 » В. В. Овчинников  
12 2024

Федеральное государственное бюджетное  
Учреждение науки Институт электрофизики  
Уральского отделения Российской академии наук  
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106,  
E-mail: viae05@mail.ru; vladimir@ier.uran.ru  
телефон: +7(343) 267-87-74 (раб.); +7(904) 383-63-60

Подпись Овчинникова Владимира Владимировича заверяю  
Ученый секретарь, к.ф.-м.н.



  
« 17 » Е. Е. Кокорина  
12 2024