

## ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертацію Маріанни Сергіївни Кондрі "Мультимасштабне моделювання кінетики точкових дефектів в реакторних металах" поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Дослідження фізичних механізмів процесів, що мають місце у матеріалах корпусів атомних реакторів високого тиску під опроміненням, має велике наукове і особливо практичне значення.

Особливо це актуально в останні роки, коли закінчується проектний термін експлуатації ряду блоків атомних реакторів і необхідно мати науково обґрунтований висновок щодо можливості продовження, чи виводу з експлуатації відповідного блоку реактора атомної станції.

В цьому аспекті важливим є дослідження динаміки формування радіаційних дефектів в реакторних сталях.

Метою роботи було встановлення фізичних механізмів процесів, які відбуваються у конструкційних реакторних матеріалах при опроміненні на прикладі  $\alpha$ -заліза та вольфраму.

Для вирішення цієї задачі було використано багато різних методів: мультимасштабне моделювання дефектної структури конструкційних металів радіаційного матеріалознавства, модифікований метод кластерної динаміки, феноменологічний метод визначення зміни межі текучості матеріалів, індукованого опроміненням, метод оцінки впливу нейтронного опромінення на еволюцію пор у  $\alpha$ -залізі за підходом Б.З. Марголіна до проблеми міжзеренного руйнування.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел, що складається із 215 найменувань. Повний обсяг роботи становить 151 сторінки друкованого тексту, що містить 15 таблиць та 59 рисунків.

Найбільш важливі результати роботи такі:

В дисертації знайдена залежність від флаксу середнього розміру і чисельної щільності VC та SIAC у чистому залізі, яке опромінено нейтронами, та має три режими, які позначені двома критичними значеннями  $6,9 \times 10^{-9}$  dpa/c і  $1,70 \times 10^{-7}$  dpa/c для обох флюенсів: 0,026 dpa та 0,19 dpa. Уперше встановлено, що при малих і великих флаксах спостерігається близьки значення  $D_{SIAC}$ , що може бути обґрунтуванням використання даних, отриманих при іншому опроміненні або у науково-дослідних атомних реакторах до прогнозування кінетики процесів у комерційних атомних реакторів.

Знайдено залежність індукованого опроміненням зміцнення від флаксу має два режими з критичним значенням  $1,70 \times 10^{-7}$  dpa/c ( $1,10 \times 10^{14}$  н/м<sup>2</sup>/с).

Показано, що ідентичні критичні значення залежностей потоку величини і щільності чисельності VC та SIAC можна пояснювати взаємозв'язком між положенням піку розподілу точкових кластерів після каскадної стадії і критичними розподілами VC та SIAC .

Знайдено, що різниця в нейтронній крихкості, яка розрахована в припущенні постійної та змінної температури, зростає з часом опромінення.

Врахування зміни температури реактора дозволяє при калібруванні моделі КД отримати значення енергії міграції вакансій у залізі,  $E_{vm}=0,62\text{eV}$ , яке більш відповідає ступені чистоти заліза, а саме вмісту вуглиця менше ніж  $30_{\text{appm}}$ , ніж значення  $E_{vm}=1,30\text{eV}$ , при припущенні про постійну температуру протягом нейтронного опромінення.

Знайдено засіб використання результату КД про індуковане опроміненням збільшення межі текучості для оцінки зміни механічної стабільності реакторних матеріалів у рамках фізико-математичної моделі міжзеренного руйнування, яке спричинено еволюцією пор.

Встановлено з порівняння результатів моделювання методом КД для моделей щодо 1D дифузії та 3D дифузії міжвузельного атому зі експериментальними даними про ізохронний відпал вольфраму, який опромінено електронами, підтверджує результати моделювання методом функціональної теорії щільності, експериментального дослідження методом просвічуючої мікроскопії та методом Монте-Карло, щодо 1D дифузії міжвузельних атомів у вольфрамі.

Зауваження до роботи наступні:

1. В більшості для котлів реактора використовують нержавіючу сталь (хром-нікеліву), але в роботі не надано відповідної уваги цьому матеріалу.
2. В роботі використовується розмірність дра то на  $\text{м}^2$  чи  $\text{см}^2$ . Це затрудняє сприйняття величини флюенсу чи флаксу.
3. При викладенні своїх результатів дисертації та порівнянні їх з цитованими даними не завжди приводиться зсилки на свої публікації (наприклад стор.112 та ін.).
4. В роботі є ряд описок та неточностей (наприклад стор.102 та ін.).

Вказані зауваження не пов'язані з основними висновками дисертації і не знижують її високої оцінки.

Зміст автореферату повністю відповідає результатам дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота Маріанни Сергіївни Кондрі "Мультимасштабне моделювання кінетики точкових дефектів в реакторних металах" виконана на високому науковому рівні та є цілісним,

завершеним науковим дослідженням, що має важливе наукове та практичне значення. За науковим рівнем, новизною та достовірністю результатів, обґрунтованістю висновків дисертаційна робота повністю відповідає вимогам МОН України та порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент

головний науковий співробітник ВРФ

Інституту ядерних досліджень НАН України,

доктор фіз.-мат. наук, професор

П.Г. Литовченко

26.08.2020р.

Підпис доктора фіз.-мат наук П.Г. Литовченка

засвідчую:

Вчений секретар ІЯД НАН України

канд. фіз.-мат наук

Н.Л. Дорошко

