

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Зуйка Валерія Анатолійовича**

«ВПЛИВ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА РАДІАЦІЙНУ І КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ МЕТАЛЕВОГО ГАФНІЮ», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

1. Актуальність роботи

Прогрес атомної енергетики як в Україні, так і світі, базується на підвищенні економічної ефективності та безпеки експлуатації, що ґрунтується на надійності функціонування устаткування реакторної установки в цілому та, в першу чергу, на надійності елементів конструкції активної зони (а.з.) реакторів. У зв'язку з цим постійно ведеться пошук нових матеріалів та удосконалення відомих, як матеріалів, так і елементів конструкції, з більш високими функціональними можливостями. Це також стосується і матеріалів поглинаючих стрижнів системи управління і захисту (ПС СУЗ). При впровадженні реакторів типу ВВЕР в якості нейтронно-поглинаючого матеріалу поглинаючих елементів (ПЕЛів) застосовувався V_4C . Однак, внаслідок швидкого зниження ефективності поглинання нейтронів та накопичення гелію, розробником було замінено його на $Du_2O_3 \cdot TiO_2$. Таким чином було розроблено, виготовлено та впроваджено у промислову експлуатацію компонований по висоті ПЕЛ $Du_2O_3 \cdot TiO_2 + V_4C$. Але, на відміну від карбіду бору, титанат диспрозію має більш низьку вихідну ефективність поглинання нейтронів. Металевий гафній має схожу з титанатом диспрозію ефективність поглинання нейтронів, але, при умові використання його без захисної оболонки, дає можливість збільшити його діаметр з 7 до 8,2 мм, при якому ефективність поглинання нейтронів буде

подібна до ефективності карбиду бору. Застосування металевого гафнію без захисної оболонки у нижній частині ПЕЛ висуває до нього вимоги не тільки як до нейтронно-поглинаючого матеріалу, а й як до конструкційного. Це, насамперед, вимоги до високої корозійної стійкості, високої розмірної стабільності під опроміненням нейтронами та до механічних характеристик. Як відомо, всі вони залежать від структури та текстури виробу, яка, у свою чергу, залежить від способу та параметрів їх виготовлення.

Актуальність теми дисертаційної роботи підтверджується великою кількістю публікацій та доповідями на конференціях, спрямованих на пошук та розробку, як нових нейтронно-поглинаючих матеріалів, так і конструкцій ПС СУЗ для реакторів типу ВВЕР. Крім того, результати робіт, що увійшли до дисертації, отримано при виконанні робіт за поточними темами ННЦ ХФТІ і є складовою частиною ряду наукових програм НАНУ.

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, базується на аналізі літературних джерел, з яких органічно випливає постановка мети і задач дослідження, співставленні отриманих результатів з літературними даними, аргументованому формулюванні остаточних висновків. Наукова обґрунтованість дисертаційної роботи досягнута застосуванням добре апробованих експериментальних методів дослідження з радіаційної і ядерної фізики, фізики твердого тіла. Достовірність результатів корозійних випробувань прутків гафнію в середовищі, складу і параметрів теплоносія першого контуру реактора ВВЕР-1000 при роботі на потужності базується на застосуванні стандартної методології проведення подібних досліджень, яку детально описано в ASTM стандартах.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи добре відповідають змісту отриманих результатів і є достатньо обґрунтованими.

3. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих роботах

Основні результати дисертаційної роботи досить повно викладені в 12 друкованих роботах, з яких 11 статей у спеціалізованих наукових журналах, які входять до переліку фахових видань МОН України, і 7 тез доповідей на наукових міжнародних конференціях.

4. Достовірність та новизна отриманих результатів

Достовірність отриманих в роботі експериментальних результатів забезпечена наступним:

1. Для проведення експериментів було використано гафній марки ГФЕ-1 із сертифікованим хімічним складом, який підвергався електронно-променевому переплаву для додаткового рафінування за домішками кисню.

2. Дослідження структури і текстури зразків гафнію проводилося за допомогою добре апробованих експериментальних методик: рентгенівської дифрактометрії, оптичної металографії та скануючої електронної мікроскопії.

3. Для визначення текстури зразків гафнію було використано стандартний метод зворотних полюсних фігур (ЗПФ). Розрахунок параметрів текстури проводився за допомогою апробованої комп'ютерної програми TEXTURE, розробленої в НТК ЯПЦ ННЦ ХФТІ.

4. Корозійні випробування проводились в умовах (хімічний склад середовища, температура і тиск), які максимально наближені до умов роботи теплоносія у реакторі ВВЕР.

У роботі отримані нові науково обґрунтовані результати, серед яких найбільш важливі, на мій погляд, наступні:

1. Вперше визначено температурно-часові інтервали первинної і збірної рекристалізації гафнію складу ГФЕ-1, а також визначено енергію активації початку первинної рекристалізації та росту зерен, показано, що вони мають схожі значення.

2. Показано, що рекристалізація не призводить до повного руйнування текстури деформації та отримання безтекстурного прутка, а призводить лише до незначної переорієнтації зерен, що супроводжується незначним збільшенням орієнтаційного параметру Кернса.

3. Вперше встановлено, що оптимальні механічні властивості (висока міцність ~ 575 МПа та високе відносне подовження 27...28%) характерні пруткам гафнію складу ГФЕ-1 у повністю рекристалізованому стані з дрібнозернистою структурою. Показано, що навіть незначна холодна деформація прутка призводить до підвищення межі міцності та зменшення відносного подовження, а збірна та вторинна рекристалізації призводять до зниження міцності та зменшення відносного подовження.

4. Вперше для досліджуваної марки гафнію експериментально підтверджено припущення про залежність деформації радіаційного росту прутків при реакторному опроміненні від значення текстурного орієнтаційного параметру Кернса.

5. Поєднання деформації з процесами, що відбуваються при відпалі, дозволяє отримати вироби з гафнію в різному структурно-текстурному стані і, відповідно, з різними структурно-чутливими властивостями. Вперше показано, що безтекстурні ($F_L = \sim 0,33$) зразки прутків гафнію з дрібнозернистою (до 20 мкм) рекристалізованою структурою мають найбільш оптимальне поєднання механічних (межа міцності ~ 575 МПа, відносне подовження 27...28%) та корозійних характеристик (глибина ураження менше $\sim 2,5$ мкм) при позареакторних випробуваннях, а також характеризуються високою розмірною стабільністю під опроміненням тепловими нейтронами (швидкість деформації радіаційного росту близька до нуля).

5. Наукове і практичне значення результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи суттєво розширюють наукові уявлення щодо впливу структури і текстури прутків гафнію на їх механічні, корозійні і радіаційні властивості.

Практичне значення одержаних результатів полягає, насамперед, у тому, що вони дозволили оптимізувати режими термомеханічної обробки при розробці способів виготовлення прутків гафнію з наперед заданими механічними характеристиками та радіаційною і корозійною стійкістю відносно умов їх роботи в а.з. реакторів ВВЕР-1000 без захисної оболонки. Це дає можливість розробити та виготовити поглинаючі елементи системи управління і захисту реакторів ВВЕР-1000 з комбінованим поглиначем нейтронів Hf-B₄C.

6. Зауваження до роботи

При ознайомленні з дисертаційною роботою Зуйка В.А. не виникло принципових зауважень, які б стосувалися її основних положень і висновків. Є зауваження, пов'язані з подачею деяких результатів, неясністю деяких формулювань, оформленням роботи:

1. У роботі слід було б навести кілька рентгенівських дифрактограм для зразків гафнію в початковому стані, після деформації і відпалу.

2. Полосна густина у деяких місцях тексту дисертаційної роботи вказується для сімейства кристалографічних напрямків, а в деяких місцях для сімейства кристалографічних площин. На зворотних полюсних фігурах не вказані полюсні густини.

3. У роботі не обговорюється природа збільшення мікротвердості для ступеня деформації 12 ÷ 15% (рис.4.3).

4. У роботі не обговорюються механізми корозії на ділянках параболічної і лінійної залежності від часу і причина їх зміни.

5. У роботі є невеликі технічні похибки:

а) На стор. 78 написано "... тобто зсув кривих T_p^H і T_p^K в область більш високих температур". Потрібно "... в область більш низьких температур".

б) У підписах до формули 3.2 на стор. 81 зазначено, що температура вимірюється в °С, потрібно в К.

Зазначені недоліки не є принциповими, не знижують наукової і практичної значимості дисертаційної роботи і не впливають на її високу оцінку.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Вважаю, що дисертаційна робота Зуйка В.А. виконана на високому науковому рівні. Вона є закінченим дослідженням, у якому вирішена важлива і актуальна наукова задача, яка полягає у встановленні фізичних закономірностей зміни структури та текстури металевого гафнію від типу (гаряча, тепла, холодна) та параметрів деформації, а також від параметрів подальшої термічної обробки прутків гафнію. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, де були отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності є суттєвими та дають можливість виготовлення поглинаючих стрижнів системи управління і захисту реакторів ВВЕР-1000 з комбінованим поглиначем нейтронів Hf-B₄C.

Результати наукових досліджень, які склали зміст дисертаційної роботи Зуйка В.А. викладені в ній зрозуміло і чітко. Дисертація написана з використанням академічного стилю викладу матеріалу, добре ілюстрована і досить якісно оформлена. Це свідчить про професіоналізм автора. Загальна кількість наукових публікацій, в яких викладені основні наукові і практичні результати дисертації, відповідає встановленим вимогам. У авторефераті дисертації повністю відображено основний зміст дисертації, її актуальність і мета, новизна отриманих результатів і особистий внесок автора і висновки.

Проведені в роботі дослідження відповідають паспорту спеціальності 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

На мою думку, дисертаційна робота Зуйка В.А. «Вплив термомеханічної обробки на фізико-механічні властивості та радіаційну і корозійну стійкість металевого гафнію» відповідає всім встановленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів».

Вважаю, що Зуйок Валерій Анатолійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.21 – радіаційна фізика і ядерна безпека.

Офіційний опонент,
професор кафедри
фізики металів і напівпровідників
Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут"
МОН України,
доктор фіз.-мат. наук, професор

