

Голові разової спеціалізованої вченої ради  
Національного наукового центру  
Харківський фізико-технічний інститут  
Доктору технічних наук Миколі ПИЛИПЕНКУ  
вул. Академічна 1, м. Харків, 61108

## РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла), старшого наукового співробітника, завідувача відділу фізики твердого тіла та конденсованого стану речовини Національного наукового центру "Харківський фізико-технічний інститут" НАН України Соколенка Володимира Івановича на дисертаційну роботу Ростової Ганни Юріївни «Механізми впливу термомеханічної обробки на радіаційну стійкість, ерозійні та механічні властивості конструкційних матеріалів» подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія (Галузь знань 10 – Природничі науки).

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Ядерна енергетика України є важливим чинником сталого соціально-економічного розвитку країни на даний час і в майбутньому. В ННЦ ХФТІ НАН України, як і в провідних наукових центрів інших країн з розвинутою ядерною галуззю, здійснюються розробки і дослідження нових матеріалів з високими характеристиками для ядерних реакторів 4-го покоління (Gen-IV). Одними із перспективних класів конструкційних матеріалів для таких реакторів є ферито-мартенситні сталі, які характеризуються високими механічними властивостями, корозійною стійкістю та радіаційною толерантністю. Однак, на даний час недостатній рівень жароміцності обмежує можливості використання цих матеріалів у конструкціях реакторів майбутніх поколінь. Одним з напрямків покращення високотемпературних механічних властивості сталей і сплавів є застосування спеціальних механіко-термічних обробок для цілеспрямованого впливу на структурний стан і властивості. Перспективним є поєднання методів інтенсивної пластичної деформації (ІПД) для суттєвого подрібнення зеренної структури з подальшою термічною обробкою для її модифікації, включаючи виникнення дрібнодисперсних стабільних виділень других фаз. Характеристики кавітаційно-ерозійної стійкості є важливими для оцінки придатності конструкційних матеріалів, що застосовуються у вузлах реактору, які функціонують у водному, газовому і рідкометалевому середовищі. Тому, тема дисертації Г.Ю.Ростової, присвячена дослідженням впливу термомеханічної обробки на радіаційну стійкість, ерозійні та механічні властивості конструкційних матеріалів ядерної енергетики, є актуальною.

### **Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень і висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації.**

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, одержаних в дисертаційній роботі, забезпечується: використанням сучасних високоточних методів, таких як рентгеноструктурний аналіз, сканувальна та трансмісійна електронна мікроскопія, які підтверджують одержані експериментальні дані з досліджень фізико-механічних властивостей; коректною статистичною обробкою результатів, що дозволила виключити випадкові похибки та забезпечила високу точність інтерпретації експериментальних даних. Одержані результати узгоджуються з

основними положеннями теорії деформацій та зміцнення матеріалів, а також із сучасними уявленнями про радіаційну стійкість і ерозійні властивості конструкційних матеріалів, що підтверджує їх наукову обґрунтованість.

Здобувачка добре володіє матеріалом дослідження. Було проведено ретельний аналіз літературних джерел. Наукова робота відповідає темі дослідження та подана у логічній послідовності. Отримані результати та висновки логічно пов'язані із метою роботи і завданням дослідження.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в 7 статтях в наукових фахових журналах, що індексуються наукометричною базою Scopus (квартиль Q1-Q3), та у 8 тезах доповідей на вітчизняних та міжнародних наукових конференціях, що свідчить про достовірність наукових результатів представлених в роботі.

### **Структура дисертації, оцінка стилю та оформлення дисертації.**

Дисертація Г.Ю. Ростової В.Б. включає анотацію державною та англійською мовами і складається зі вступу, п'ятьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 1 додатку.

Стиль викладення результатів дослідження забезпечує доступність їх сприйняття. Оформлення дисертації повністю відповідає вимогам, що встановлені наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

### **Зв'язок роботи з державними програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась у відділі Фізики радіаційних явищ і радіаційного матеріалознавства Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій ННЦ ХФТІ НАН України у відповідно до цілей і завдань бюджетних науково-дослідницьких робіт: «Фундаментальні дослідження процесів створення та фізико-механічні властивості наноструктурних радіаційно-толерантних сталей, високоентропійних сплавів та захисних покриттів для матеріалознавчого забезпечення сталого розвитку атомної та термоядерної енергетики» (номер держреєстрації 0119U000004, 2019 р.); «Розробка та дослідження принципово новітніх конструкційних матеріалів з керованою структурою для експлуатуємих та майбутніх реакторів з метою підвищення безпеки та економічності ядерної енергетики» (номер держреєстрації 0120U101256, 2020-2022 р.); «Дослідження впливу структурного стану на оптимізацію мікроструктурної еволюції та підвищення радіаційної стійкості конструкційних матеріалів сучасної і майбутньої ядерної енергетики» (номер держреєстрації 0121U108779, 2021-2023 р.).

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

При виконанні досліджень автором було отримано ряд наукових результатів, які мають необхідні ознаки наукової новизни, а саме:

1. Вперше здійснено інтенсивну пластичну деформацію ферито-мартенситної сталі Т91 методом багатоциклового «осаджування-видавлювання» в різних температурних інтервалах. Застосування цього методу дозволило модифікувати мікроструктуру сталі Т91, отримати розмір зерен нанометрового масштабу, створити різні типи структур із рівномірно розподіленими карбідними виділеннями високої щільності.

2. Визначено режими термомеханічної обробки та температурні інтервали стабільності ультрадрібнозернистої сталі Т91 у різних структурних станах.

3. Досліджено вплив термічної обробки на розміри та щільність преципітатів типу МХ та  $M_{23}C_6$ . Як для феритної, так і для ферито-мартенситної структури сталі Т91 максимальна щільність нанорозмірних виділень МХ спостерігається після відпуску

при температурі 550°C. Встановлено, що щільність виділень  $M_{23}C_6$  залишається незмінною із температурою відпуску, проте їх середній розмір змінюється в залежності від температурного режиму.

4. Встановлено, що проведена термомеханічна обробка підвищує характеристики міцності сталі Т91 майже вдвічі. Визначено, що зниження мікротвердості при підвищенні температури відпуску відрізняється для кожного режиму термомеханічної обробки, що обумовлено процесами рекристалізації (ферито-мартенситна структура), або збільшенням розміру субзерен (феритна структура).

5. Показано, що зразки зі сталі Т91 у різних структурних станах мають високу радіаційну стійкість: в результаті опромінення іонами Ag з енергією 1.4 MeV до дози 120 зна рівень розпухання складає 0.65%, 0,26% і 0,12 % для феритної, мартенситної та ферито-мартенситної структури, відповідно. Різниця пов'язана з наявністю великої кількості стоків точкових дефектів (границі ламелей, зерен та субзерен; висока щільність дислокацій та когерентних нанорозмірних виділень) у більш складній мікроструктурі мартенситу та ферито-мартенситної фази.

6. Досліджена кавітаційно-ерозійна стійкість ферито-мартенситних сталей Т91 і Eurofer 97 та нікелевого сплаву 42ХНМ. Встановлено фактори, що її визначають: особливості мікроструктури, наявність і склад легуючих елементів та рівень механічних властивостей.

#### **Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Запропоновані режими термомеханічної обробки можуть бути рекомендовані фахівцям при промисловому виробництві 9% Cr ферито-мартенситних сталей з покращеними характеристиками для їх використання в якості конструкційних матеріалів в реакторах майбутніх поколінь.

2. У навчальному процесі отримані результати додані у спеціалізовані курси для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня. Одержані результати можна використати для створення посібників та методичних матеріалів.

#### **Дотримання академічної доброчесності**

Під час аналізу дисертаційної роботи, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

Дисертаційна робота Ростової Г.Ю. виконана на високому рівні і є завершеною самостійною науковою працею, в якій отримано нові результати, що мають важливе наукове та практичне значення.

#### **Зауваження та дискусійні положення до змісту дисертації.**

До роботи можна зробити наступні зауваження:

1. В тексті дисертації доцільно було б навести посилання на формули, що наведені.
2. С.107. Написано: «Енергетичні нейтрони та осколки поділу (з енергією понад 20 eV), що утворюються в результаті ядерних реакцій, ...».

Відомо з різних джерел, що кінетична енергія нейтронів і осколків поділу  $U^{235}$  складає  $\approx 4,9$  MeV і  $\approx 166-170$  MeV, відповідно.

3. С.118, перший абзац: «...наявністю великої кількості мікроструктурних характеристик...» → «...наявністю великої кількості структурних дефектів...».

4. С.132: «...дозволяє модернізувати мікроструктуру сталі Т91...» → «...дозволяє модифікувати мікроструктуру сталі Т91...».
5. У висновках наведено наступне: «Безумовною перевагою цього методу є спроможність подрібнення мікроструктури заготовок промислового розміру...». Необхідно конкретизувати розміри заготовок, які можуть бути оброблені методом багатоциклового «осаджування-видавлювання».
6. На рисунках 3.18 а та 3.20 доцільно було би навести криву із значеннями мікротвердості для вихідного зразка, витриманого до 100 годин, наприклад, при оптимальних температурах для кожного типу структури – 550 °С (рис. 3.18 а) та 600 °С (рис. 3.20).
7. В підрозділі 1.6, на стор. 57 зазначається наступне «Твердість традиційно вважається надійним показником ерозійної стійкості». Проте, в роботах: *F.T. Cheng, P. Shi, H.C. Man. Correlation of cavitation erosion resistance with indentation-derived properties for a NiTi alloy // Scripta Materialia. 2001, v. 45, p. 1083-1089* та *A. Karimi, J. L. Martin. Cavitation erosion of materials // International Metals Reviews. 1986, v. 31, p. 1-26.* та ряді інших зазначається, що значення твердості не завжди корелюють зі ступенем кавітаційного зношування.

Втім, на мою думку, зазначені вище зауваження не мають принципового характеру і не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи представленої до захисту, а також не піддають сумніву достовірність отриманих результатів.

#### **Загальний висновок.**

За оригінальністю і актуальністю отриманих результатів, їх аргументованістю та рівнем, обсягом та прикладним значенням, дисертаційна робота Ростової Ганни Юріївни на тему: «Механізми впливу термомеханічної обробки на радіаційну стійкість, ерозійні та механічні властивості конструкційних матеріалів» є завершеною, самостійно виконаною науковою працею і повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Вважаю, що Ростова Ганна Юріївна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 104 – «Фізика та астрономія».

Рецензент

Доктор фізико-математичних наук,  
завідувач відділу фізики твердого тіла  
та конденсованого стану речовини  
Національного наукового центру  
Харківський фізико-технічний інститут

Володимир СОКОЛЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ  
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 11:37:40 08.11.2024

Назва файлу з підписом: Рецензія Соколенко В.І.pdf.asice  
Розмір файлу з підписом: 157.0 КБ

Перевірені файли:  
Назва файлу без підпису: Рецензія Соколенко В.І.pdf  
Розмір файлу без підпису: 155.6 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Соколенко Володимир Іванович

П.І.Б.: Соколенко Володимир Іванович

Країна: Україна

РНОКПП: 1860600877

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 11:36:08  
08.11.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП ТОВ "Вчасно Сервіс"

Серійний номер: 2DBD5940D955E12A0400000075060200D44C0900

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2024.10.24 15:00