

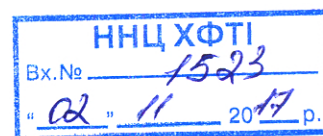
ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Нікітіна Аркадія Валерійовича «Блістерінг феритно-мартенситної сталі та заліза під дією потоку частинок низькоенергетичної водневої плазми», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Актуальність теми.

Актуальність пропонованого дослідження пов'язана з рішенням однієї з основних проблем фізики твердого тіла - розробкою фундаментальних основ створення конструкційних матеріалів з тривалим терміном функціонування в умовах інтенсивних термічних, радіаційних, хімічних, механічних та інших зовнішніх впливів. Сталі феритного класу, в зв'язку з більш високою в порівнянні з аустенітними сталями радіаційною стійкістю, передбачаються до використання в якості перспективних матеріалів для елементів конструкції ядерних і термоядерних реакторів. Конструкційні елементи (перша стінка, обмежувачі пучка, дивертор і т.п.) експериментальних установок термоядерного синтезу і майбутніх термоядерних реакторів (ТЯР) будуть піддаватися комплексному впливу потоків плазмового корпускулярного, зокрема, іонів гелію та ізотопів водню, і електромагнітного випромінювань. Прогнозується посилення ерозії поверхні внаслідок розвитку ряду явищ фізичної деградації, включаючи блістерінг, розпилення, випаровування і розтріскування. Крім того, накопичення тритію і дейтерію в матеріалах реактора може зробити істотний вплив на баланс палива термоядерного реактора. Дифузія та вихід водню (тритію) в навколишнє середовище може привести до небажаних екологічних наслідків. У зв'язку з вищесказаним встановлення закономірностей розвитку блістерів і тріщин, що виникають під дією потоків частинок з низькоенергетичної водневої плазми, в феритно-мартенситній сталі ЕП-450 і модельному матеріалі – залізі являє собою важливу і актуальну задачу сучасної фізики твердого тіла.

Наукові результати, які представлені в дисертації, сприяють вирішенню завдань, сформульованих у державних документах і галузевих програмах,



наприклад, в «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року». Дисертаційна робота виконувалася відповідно до планів науково-дослідних робіт і програм в рамках тем: «Теоретичні та експериментальні дослідження ефектів взаємодії речовин з потоками нейтронів і заряджених частинок та розробка принципів створення нових матеріалів для реакторобудування» 2006-2010 р., № держреєстрації 80906UP0010 від 16.06.2006 р.; «Дослідження фундаментальних матеріалознавчих проблем створення радіаційно-стійких функціональних матеріалів для атомно-енергетичного комплексу» 2011-2015 р., № держреєстрації 0111U009715; «Вивчення фізичних механізмів радіаційно-індукованої деградації функціональних властивостей матеріалів діючих та перспективних атомно-генеруючих комплексів нового покоління для забезпечення енергетичної безпеки України» 2016-2020 р., № держреєстрації 0116U005094; «Визначення критичних рівнів накопичення водню та впливу індукованих воднем мікроструктурних змін на деградацію фізико-механічних властивостей конструкційних матеріалів діючих і майбутніх ядерних енергетичних установок» 2016-2018 р., № держреєстрації 0116U006893.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Нікітіна А.В. базується на добротному огляді літератури за даною проблемою, чіткої постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів досліджень, критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, якісному формулюванні отриманих висновків і є дуже високою. Дисертаційна робота являє собою закінчений труд, який представляє сукупність оригінальних експериментальних методик і нових, отриманих автором, науково обґрунтованих результатів в області фізики твердого тіла.

Згідно з викладеним вище обґрунтованість наукових положень, висновки результатів дослідження і рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, не підлягають сумніву.

Достовірність результатів досліджень.

При виконанні поставленої мети й завдання досліджень було коректно використано комплекс експериментальних методів. Для виявлення фізичних закономірностей взаємодії феритно-мартенситної сталі ЕП-450 і заліза з воднем, що імпантований з плазми тліючого розряду при напрузі на електродах 1000 В і потоці - $10^{19} \text{ H}^+(\text{D}^+)/(\text{m}^2 \cdot \text{c})$, використані добре відомі та широко апробовані методи досліджень твердого тіла та ядерно-фізичні методи, а саме, ядерні реакції, термодесорбційна мас-спектрометрія (ТДС), просвічувальна та скануюча електронна мікроскопія, дослідження механічних характеристик шляхом вимірювання мікротвердості, металографічні дослідження, а також реєстрація кінетики зростання блістерів за допомогою відеокамери. Застосування комплексу незалежних експериментальних методів, які взаємно доповнюють одне одного, забезпечило достовірність отриманих результатів.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступні:

1. Вперше виявлено утворення блістерів і розвиненої системи тріщин в феритно-мартенситних сталях при опроміненні воднем з енергіями і флюенсами, найбільш ймовірними для шару плазми, що перебуває безпосередньо біля першої стінки ТЯР.

2. Встановлена залежність розмірів тріщин, їх густини, глибини розташування, кінетики розвитку від мікроструктури сталі, дози і температури опромінення.

3. Вперше встановлене посилення блістероутворення в деформованій холодною прокаткою феритно-мартенситної сталі в порівнянні з попередньо відпаленою сталлю: зниження майже на порядок критичних доз; двократне збільшення розмірів блістерів і тріщин; поширення тріщин на глибини, що в сотні тисяч разів перевищують пробіг іонів водню з енергією 1 кеВ.

4. Вперше показана залежність морфології поверхні і розвитку тріщин під дією потоку частинок низькоенергетичної водневої плазми від попередньої обробки феритно-мартенситної сталі. Факторами, що призводять до зниження ймовірності утворення тріщин і розвитку блістерів, є сфероїзація і зменшення розмірів карбідів M_{23}C_6 по межах зерен.

5. Встановлено збіг температурних інтервалів $((0,09-0,2) T_{пл}$, де $T_{пл}$ - температура плавлення) виникнення в сталі ЕП-450 і залізі блістерів і тріщин та збільшення рухливості водню зі зменшенням його сегрегації на дефектах ґратки.

6. Вперше показано, що тренди розрахункових температурних залежностей водневої крихкості та експериментально встановлені температурні інтервали водневого блістерінгу фактично співпадають для феритно-мартенситних сталей і визначаються тиском водню, температурою і міцністю матеріалу.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що вони можуть використовуватися для оцінки деградації властивостей сталей феритно-мартенситного класу під дією пристінкової низькоенергетичної водневої плазми термоядерного реактора. Дані про залежність параметрів блістероутворення від структури і фазового складу феритно-мартенситної сталі, його посилення при деформації сталі надали новий специфічний досвід і можуть представляти інтерес для розробників технологій термічної обробки сталей феритно-мартенситного класу та можуть бути використані для розробки способів пригнічення утворення тріщин і блістерів, а також беззаперечно можуть бути використані в наукових дослідженнях в галузі фізики твердого тіла та матеріалознавства. Встановлені в дисертаційній роботі температурні інтервали $\Delta T = (0,09-0,2) T_{пл}$ виникнення в сталі ЕП-450 і залізі блістерів і тріщин можуть бути використані при розробці регламенту робіт під час аварійної зупинки термоядерного реактора.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 19 наукових працях, у тому числі у 7 статтях у наукових фахових виданнях України та інших країн. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробація матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам ДАК МОН України.

Автореферат є ідентичним за змістом з основними положеннями дисертації і достатньо повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

По тексті дисертаційної роботи можна зробити наступні зауваження:

– на мою думку принаймні два висновки, які наведені у висновках до розділу 4, а саме, що збільшення межі плинності зміщує криві густини блістерів в область більш високих температур та що зростання тріщини припиняється при досягненні певного критичного значення дози, могли бути представлені в загальних висновках до всієї дисертації;

– автор стверджує, що кореляція трендів температурних залежностей явищ водневої крихкості і блістерінгу свідчить, що механізми їх розвитку визначаються дифузійною рухливістю та активністю водню, температурою і міцністю матеріалу (границями міцності і плинності). Цей висновок не викликає заперечень, але в частині що стосується дифузійної рухливості та активності водню не витікає безпосередньо з наведених дисертантом досліджень, а зроблений, наскільки можна судити з тексту дисертації, на підставі аналізу літератури;

– не на всіх, а лише на окремих рисунках вказаний довірчий інтервал, хоча більшість результатів, представлених в дисертації, експериментального характеру;

– деяку незадоволеність залишає відсутність в підпису для деяких малюнків вказівок на тип газу, використововуваного для опромінення, дозу і температуру опромінення, наприклад рис. 3.4, 3.5, 3.8, 4.12;

– в тексті зустрічаються: описки, наприклад, в літературному огляді при описі рис. 1.6 зазначено, що густина блістерів росте на порядки, хоча з рисунку видно, що вона падає на порядки; російські букви в підпису осей на графіку (рис. 3.3), на С 139, 2-й рядок знизу написано «небезпечно» замість «небезпечне»; С. 150, передостанній рядок, написано «Рибалко» замість «Рибалка».

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Зазначені зауваження носять поодинокий характер і не знижують наукової та практичної цінності роботи А.В. Нікітіна.

Вважаю, що дисертація є **закінченою науковою працею**, у якій вирішено поставлене завдання зі встановлення фізичних закономірностей розвитку таких явищ деградації матеріалів як блістеринг та тріщиноутворення, що виникають під дією потоків частинок з низькоенергетичної водневої плазми в феритно-мартенситній сталі ЕП-450 і модельному матеріалі – залізі, і виявлення структурних факторів, що сприяють пригніченню тріщиноутворення.

Проведені в роботі дослідження відповідають паспорту **спеціальності** 01.04.07 – фізика твердого тіла (фізико-математичні науки).

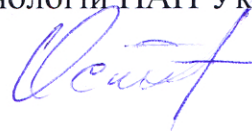
На мою думку, дисертація Нікітіна А.В. повністю відповідає всім вимогам МОН України, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних наук, а також пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Нікітін Аркадій Валерійович, заслуговує присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент

провідний науковий співробітник

Інституту електрофізики і радіаційних технологій НАН України

д.ф.-м.н., с.н.с.



Остапчук П. М.

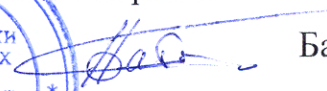
Підпис д.ф.-м.н., провідного наукового співробітника Остапчука П. М.

ЗАСВІДЧУЮ

вчений секретар

Інституту електрофізики і радіаційних технологій НАН України



 Бабіч А. В.