

Відгук

Офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сунгурова Богдана Сергійовича

«Вплив радіаційно-індукованих мікроструктурних дефектів на процеси накопичення водню та зміцнення аустенітної сталі SS316» яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

1 Актуальність та практичне значення роботи

За останні три десятиліття накопичено широкий спектр експериментальних даних про вплив опромінення різних типів на радіаційне та механічне пошкодження металів і сплавів. Проте вивчення закономірностей захоплення і вивільнення гелію та водню займає, і в наш час, значне місце у фізиці радіаційних ушкоджень. Це пов'язано зі значною кількістю гелію та водню, які накопичуються в першій стінці (термо)ядерного реактора та в матеріалах покриттів шляхом трансмутаційних реакцій, а також імплантацією цих газів шляхом бомбардування високо енергетичними іонами Гелію та Гідрогену. Гідроген у великій кількості знаходиться в охолоджуючому середовищі теперішніх водо-водяних реакторів, і в комбінації з опроміненням реактора має здатність впливати на механічні властивості основних компонентів конструкційних матеріалів. В експериментах з вивчення ерозії при опроміненні Гелієм і Гідрогеном спостерігалися синергетичні ефекти, пов'язані з взаємним посиленням впливу на структуру і властивості матеріалів.

Найбільшу проблему являють собою сталі, які будуть застосовуватися в якості конструкційних матеріалів першої стінки, бланкета і дивертора термоядерного реактора. В якості основного конструкційного матеріалу несучих елементів бланкета і вакуумної камери в реакторі ІТЕР обрана аустенітна нержавіюча сталь SS316. Хоча аустенітні нержавіючі сталі давно розроблені і досить добре досліджені, поведінка водню і гелію в даних сталях, а також вплив цих газів на їх механічні властивості потребують більш детального та комплексного вивчення. Необхідні більш достовірні дані щодо істинних коефіцієнтів дифузії, констант розчинності, концентрацій і енергетиці пасток.

Дисертаційна робота Б. С. Сунгурова спрямована саме на встановлення фізичних закономірностей захоплення і накопичення Гідрогену, механізмів зміцнення сталі SS316 і впливу на ці процеси радіаційних дефектів і імплантованого Гелію.

Таким чином, наукові дослідження, проведені в дисертаційній роботі, є актуальними не тільки з наукової точки зору, але й мають велике прикладне значення. Актуальність дисертаційної роботи підтверджується і тим, що результати дослідження є складовою частиною трьох наукових програм в рамках тем:

1. «Дослідження фундаментальних матеріалознавчих проблем створення радіаційно-стійких функціональних матеріалів для атомно-енергетичного комплексу» 2011—2015 р., № держреєстрації 0111U009715.

2. «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.

3. «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.

2. Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Усі наукові положення, що наведені дисертантом у тексті наукової роботи є повністю обґрунтованими та базуються на експериментальних результатах, що отримані особисто за допомогою сучасних експериментальних методик та загальноновизнаних теоретичних моделей та закономірностей.

3. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Результати дисертації широко висвітлені у науковій літературі та доступні як вітчизняним, так і закордонним вченим. Це забезпечується тим, що п'ять наукових праць, у яких висвітлено наукові результати дисертаційної роботи, проіндексовані науково-метричною базою Scopus. Загалом за темою дисертації опубліковано 7 статей, та 8 тез доповідей на наукових конференціях, що свідчить про актуальність результатів, та їх достатню апробацію.

4. Достовірність та новизна отриманих результатів

Достовірність наукових результатів забезпечується системним підходом, комплексним використанням взаємодоповнюючих експериментальних методик, аналізом результатів та їх порівнянням з літературними даними і наявними теоретичними моделями. Дисертаційна робота містить ряд нових експериментальних результатів, які

характеризують еволюцію мікроструктури поверхневого шару досліджуваних сталей в результаті опромінення ізотопами Гідрогену та іонами інертних газів. Особливу увагу приділено вивченню впливу утвореної мікроструктури на процеси захоплення та накопичення Гідрогену в радіаційно-модифікованому шарі аустенітної сталі SS316 та на механізми її зміцнення.

Використання цілого комплексу сучасних методик дозволила отримати ряд важливих наукових результатів, серед яких варто відзначити наступні:

- вперше експериментально встановлено, що накопичення, розподіл в об'ємі та термоактивована десорбція іонно-імплантованих атомів Гідрогену в аустенітну сталь SS316 визначається комплексним впливом радіаційно-індукованої структури поверхневого та приповерхневого шару, а також наявністю гелію;
- встановлено кореляцію між еволюцією мікроструктури та зміною твердості опроміненого шару сталі;
- показано, що серед усіх радіаційно-індукованих дефектів, таких як дислокації, пори та наповнені атомами Гелію або Аргону бульбашками в аустенітній сталі SS316, саме бульбашки є найбільш сильними пастками імплантованого дейтерію.

5. Наукове та практичне значення результатів дисертації

Наукові результати, отримані Сунгуровим Богданом Сергійовичем під час вирішення наукових завдань дисертаційної роботи, розширюють наявні уявлення про особливості впливу радіаційно-індукованої структури поверхневого та приповерхневого шару сталі SS316, на накопичення та розподіл в об'ємі іонно-імплантованих атомів Гідрогену, а також на їх термоактивовану десорбцію. З практичної точки зору результати роботи є важливими для розроблення методик прогнозування корозійного розтріскування основних компонентів конструкційних матеріалів (термо)ядерних реакторів та збільшення надійності внутрішньокорпусних пристроїв, шляхом створення алгоритмів та технологій запобігання їхнього водневого окрихчення.

6. Зауваження до роботи

Дисертаційна робота Сунгурова Б. С. та автореферат справляє приємне враження, та не викликає принципових зауважень щодо успішності вирішення завдань дослідження та отриманих наукових результатів. Наведені нижче зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

1. У дисертаційній роботі приділено увагу встановленню кореляції між еволюцією мікроструктури та зміною твердості опроміненого шару сталі, при цьому визначено розміри дефектів (дислокацій, дислокаційних петель та газових бульбашок), які становлять десятки нанометрів. Проте зовсім не звернено увагу на залежність досліджуваних параметрів від розміру дефектів, хоча з отриманих результатів можливо чітко прослідити, що зі зменшенням характерного розміру дефектів їх вплив на досліджувані процеси зростає. Можливо визначальний вплив на еволюцію досліджуваних параметрів мав би не тип дефекту, а його розмір. Саме такі залежності були б дуже цікавими, як з наукової так і практичної точки зору.

2. Позначення на рис. 3.2 дисертації не відповідають її тексту. Меншій енергії опромінення повинен відповідати спектр з меншою амплітудою. Тобто переплутані індекси 1 і 3. У тексті автореферату теж плутаниця з індексами (індекси 2 і 3 вказують на один спектр).

3. На рис. 3.4 наведено залежності дозової та тимчасової кількості дейтерію. У тексті дисертації у розділі 3 зазначено, що дозова залежність має відхилення від вектору 100% захоплення і, що пошкоджуюча доза становить 0,5 зна. Проте у тексті дисертації не міститься ніякого обговорення цього відхилення. Чи відповідає отримане значення пошкоджуючої дози літературним даним, чи відрізняється від них, і якщо відрізняється, то як ця зміна впливає на досліджувані параметри?

4. У підрозділі 3.3 на рис. 3.16 і 3.17 наведені рентгенівські спектри від зразків, один з яких зазнав процесу електрополіровання та відпалу (рис. 3.16), а другий витримувався деякий час на повітрі (рис. 3.17). Спектри приведені як доказ існування оксиду на поверхні другого зразка вказують на наявність піку Оксигену на спектрі. Проте, по-перше, наявність Оксигену на рентгенівському спектрі не є достатнім доказом існування оксиду, так як кисень може існувати на поверхні зразка у якості молекулярного газу, який адсорбувався. По-друге, якщо придивитися до спектрів, то на них обох є піки, що відповідають Оксигену. На рис. 3.16 пік Оксигену трохи менший за висотою, так як перший зразок додатково оброблявся. Тому для ствердження про вплив оксидної плівки на десорбцію дейтерію потрібні інші достовірні докази наявності оксиду на поверхні, наприклад малокутова дифракція електронів чи рентгенівських променів.

5. У підрозділі 4 при визначенні структури опроміненого шару сталі іонами Аргону вказується на середній діаметр бульбашок 12 нм. Проте, у авторефераті для цієї структури вказано значення середнього діаметру бульбашок 5 нм.

6. На рис. 4.12 наведено температурну залежність діаметру пор. У тексті дисертації сказано, що діаметр пор монотонно зростає зі збільшенням температури. Проте чітко видно, що залежність має максимум при температурі приблизно 670 °С. Виникає питання, чи точка, яка відповідає максимуму "випала"? Тоді потрібно проставити на графіку межі похибки і не проводити лінію по точкам. Чи цей максимум має якийсь фізичний зміст?
7. На сторінці 112 дисертації говориться про відмінність максимуму розпухання сталі від літературних даних на ≈ 20 К. Така відмінність пов'язується з наявністю аргону в порах металу. Виникає питання про точність визначення температури, оскільки відмінність в 20 К при вимірюванні температури термопарою лежить в межах похибки. Скоріш за все отримані дані добре співпадають з літературними.
8. В назвах до рис. 4.11 та 4.14 слід писати або "пориста мікроструктура" та "бульбашкова мікроструктура" сталі, або просто мікроструктура сталі, замість "мікроструктура пор" та "мікроструктура бульбашок" відповідно.
9. У роботі наведені електронно-мікроскопічні фотографії мікроструктури зразків на глибині сотень нанометрів (наприклад рис. 4.7, 4.8, 4.14), проте зовсім не вказано, яким методом, з точністю в пару сотень нанометрів по глибині, підготовлювались зразки для просвічуючої електронної мікроскопії. Даний метод потрібно було описати в розділі 2.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертація Сунгурова Богдана Сергійовича викладена науковою мовою, якісно оформлена. Дисертант дотримується академічного стилю. Автореферат дисертації у повній мірі відображає основний зміст дослідження. У ньому повністю відображена актуальність та мета дослідження, новизна одержаних результатів та висвітлено особистий внесок здобувача.

Результати дослідження опубліковані у 7 наукових статтях та 8 наукових працях апробаційного характеру. Загальна кількість наукових праць, в яких викладено основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи, та ступень їх оприлюднення на наукових конференціях, відповідає вимогам, що висуваються до робіт, які подаються на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Вважаю, що рівень дисертаційної роботи Сунгурова Б.С. є високим. Вона є закінченою науковою працею, у якій розв'язана поставлена наукова задача, що полягала у встановленні фізичних закономірностей захоплення і накопичення водню, механізмів зміцнення аустенітної сталі SS316 і впливу на ці процеси радіаційних дефектів і імплантованого гелію.

Дисертаційна робота за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла. Дисертаційна робота «Вплив радіаційно-індукованих мікроструктурних дефектів на процеси накопичення водню та зміцнення аустенітної сталі SS316» відповідає вимогам, що встановлені «Порядком присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року) до кандидатських дисертацій, а здобувач Сунгуров Богдан Сергійович, на мою думку, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико - математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,
провідний науковий співробітник,
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна,
кандидат фіз. – мат. наук,
старший науковий співробітник

С.І. Богатиренко

Підпис Богатиренка С.І.

ЗАСВІДЧУЮ

вчений секретар

Харківського

національного

університету імені В.Н. Каразіна



Н.А. Віннікова