

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента к.ф.-м.н., с.н.с., заст. зав. відділу №30 ІПФ НАН України
Батуріна В.А.

на дисертаційну роботу

Скорохода Романа Володимировича

на тему «Радіаційно-індукована сегрегація в концентрованих металевих сплавах
Fe-Cr та Fe-Cr-Ni»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 10 «Природничі науки»

за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Скорохода Р.В. присвячена числовому дослідженню радіаційно-індукованої сегрегації в концентрованих металевих сплавах Fe-Cr та Fe-Cr-Ni, розрахункам та порівняльному аналізу визначальних кількісних характеристик радіаційно-індукованої сегрегації за різних умов опромінення і теоретичному аналізу визрівання Оствальда сферичних виділень нової фази на міжзеренній межі, ріст яких лімітується поверхневою кінетикою.

Зміни мікроструктури та локального складу сплаву, які виникають під дією опромінення, призводять до значного погіршення властивостей металевих сплавів. Особливо важливими є експериментальні та теоретичні дослідження радіаційних пошкоджень матеріалів реакторобудування, які за тривалий термін експлуатації піддаються значним дозам опромінення (десяткам зміщень на атом).

Явище радіаційно-індукованої сегрегації полягає в просторовому перерозподілі атомів компонентів сплав за умов опромінення та є важливим механізмом зміни локального складу сплаву. Зокрема, це явище може призвести до пересичення твердого розчину атомами певного сорту та спонукати утворення виділень нової фази.

Модельні сплави Fe-Cr та Fe-Cr-Ni, які розглядаються в роботі, можуть слугувати основою для дослідження радіаційно-індукованої сегрегації в сплавах на основі заліза з більшим числом компонентів, а також високоентропійних сплавів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в тому, що по-перше у ході дослідження розраховано визначальні кількісні характеристики радіаційно-індукованої сегрегації, такі як концентраційні профілі компонентів та точкових дефектів, поверхневі концентрації атомів, сегрегаційні площі атомів та ін. для сплавів Fe-9Cr та Fe-20Cr-8Ni за різних умов опромінення. Проведено аналіз залежностей визначальних кількісних

характеристик від швидкості продукування точкових дефектів, набраної дози опромінення і температури. Досліджено вплив дислокаційної підсистеми сплаву на радіаційно-індуковану сегрегацію за різних умов опромінення. Вперше методами комп'ютерного моделювання показано, що вплив збільшення швидкості продукування точкових дефектів на ефекти радіаційно-індукованої сегрегації можна з достатньо високою точністю компенсувати відносно невеликим підвищенням температури. Вперше теоретично розглянуто кінетику сферичних виділень нової фази на міжзеренній межі, ріст яких лімітується поверхневою кінетикою на стадії визрівання Оствальда.

Наукові дослідження були виконані здобувачем у відділі № 30 «Ядерно-фізичних досліджень» та в лабораторії №41 «Інтегрованого моделювання механічних властивостей конструкційних матеріалів під дією опромінення» Інституту прикладної фізики НАН України під час виконання наступних наукових робіт: «Дослідження радіаційно-індукованої сегрегації в конструкційних матеріалах ядерної енергетики при їх опроміненні іонами», державний реєстраційний номер 0118U002291; «Дослідження радіаційних дефектів та радіаційно-індукованої сегрегації домішок у сплавах цирконію під дією опромінення іонами з використанням методів ядерного мікроаналізу», державний реєстраційний номер 0116U002993; «Інтегроване багаторівневе моделювання і експериментальна перевірка радіаційної стійкості конструкційних матеріалів реакторів на період експлуатації понад 60 років», державний реєстраційний номер 0119U102415; «Дослідження радіаційної стійкості матеріалів реакторів ВВЕР в умовах понаднормової експлуатації з використанням інтегрованого багаторівневого моделювання та експериментальної валідації ядерно-фізичними та структурними методами», державний реєстраційний номер 0122U002427.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Скорохода Р.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 104 “Фізика та астрономія” та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Фізика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Скорохода Романа Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати, тексти і графічний матеріал інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою якісним науковим стилем.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатку. Загальний обсяг дисертації складає 161 сторінку. Структура представлення викладених результатів дисертаційного дослідження дає можливість іншим дослідникам зрозуміти крок за кроком послідовність етапів проведених досліджень.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета і завдання дослідження, об'єкт, предмет і методи дослідження, а також наукова та практична новизна отриманих результатів. Описано особистий внесок здобувача та представлена інформація щодо апробації результатів дисертації та публікацій.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел з чисельного та експериментального дослідження радіаційно-індукованої сегрегації у металевих сплавах на основі Fe та висвітлення деяких питань теорії визрівання Оствальда. Розглянуто основні механізми та моделі радіаційно-індукованої сегрегації. Висвітлено експериментальні результати в сплавах на основі Fe стосовно збагачення або збіднення Cr на стоках точкових дефектів за умов опромінення. Наведено висновки до першого розділу.

У другому розділі наведено систему рівнянь радіаційно-індукованої сегрегації для N-компонентних концентрованих металевих сплавів. Виділено визначальні кількісні характеристики радіаційно-індукованої сегрегації. Для сплаву Fe-9Cr детально проаналізовано вплив швидкості продукування точкових дефектів, набраної дози, температури та товщини зразка на визначальні кількісні характеристики радіаційно-індукованої сегрегації. Показано процес досягнення стаціонарного режиму радіаційно-індукованої сегрегації. Досліджено вплив дислокаційної підсистеми сплаву на ефекти радіаційно-індукованої сегрегації. Проведено порівняння результатів моделювання радіаційно-індукованої сегрегації в сплавах Fe-Cr з експериментально одержаними іншими авторами. Наведено висновки до другого розділу.

У третьому розділі дисертаційної роботи для сплаву Fe-20Cr-8Ni проведено аналіз залежностей поверхневих концентрацій Cr і Ni, повних ширин концентраційних профілів Cr та Ni на рівні половини максимального збагачення (збіднення), а також сегрегаційних площ Cr і Ni від швидкості продукування точкових дефектів та температури. Для сплавів Fe-xCr-8Ni та Fe-20Cr-yNi, де $x=19; 19,5; 20; 20,5; 21$ і $y=7; 7,5; 8; 8,5; 9$ здійснено порівняння

значень поверхневого збіднення Cr і збагачення Ni, сегрегаційних площ та FWHM Cr і Ni, які розраховані при енергіях міграцій вакансій, взятих для сплаву Fe-20Cr-8Ni, а також розрахованих для кожного сплаву з конкретними значеннями x , y . Досліджено взаємний вплив швидкості продукування точкових дефектів та температури на концентраційні профілі компонентів сплаву. Наведено висновки до третього розділу.

У четвертому розділі теоретично розглянуто визрівання Оствальда у випадку утворення сферичних виділень нової фази на міжзеренній межі, ріст яких лімітується поверхневою кінетикою. Сформульовано систему рівнянь для цього процесу. Здійснено асимптотичний аналіз Ліфшиця-Сльозова та знайдено асимптотичні часові залежності середнього і критичного радіусів виділення, пересичення твердого розчину атомів домішки в міжзеренній межі, функції розподілу виділень за розмірами, густини виділень, коефіцієнта заповнення міжзеренної межі виділеннями та повного числа атомів домішки у виділеннях. Наведено оцінки середнього розміру виділень збагаченої $Cr\alpha'$ -фази на міжзеренній межі та пересичення атомів Cr в міжзеренній межі для сплаву Fe-10Cr. Наведено висновки до четвертого розділу.

На основі цього можна зробити висновок, що у дисертаційній роботі виконано поставлені наукові завдання, а здобувач продемонстрував достатньо високий професійний рівень.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 3 наукових статтях, які опубліковані у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України і проіндексовані у наукометричних базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus. З них 2 статті опубліковані у наукових виданнях, які віднесені до четвертого квартилю (Q4) та 1 стаття опублікована у науковому виданні, яке віднесене до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Також результати дисертації були апробовані на 14 наукових фахових конференціях.

Таким чином, наукові результати, які описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. В літературному огляді якісно обговорюються механізми радіаційно-індукованої сегрегації в розбавлених металевих сплавах, проте не наведено математичні моделі, які використовуються при дослідженні перерозподілу компонентів сплаву за умов опромінення.

2. Літературний огляд робіт по визріванню Оствальда суттєво менш детальний, ніж огляд робіт по радіаційно-індукованій сегрегації.

3. В підрозділі 2.6 не описані деталі експерименту, з результатами якого дисертант проводить порівняння результатів моделювання.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи. Матеріал у дисертації викладено послідовно, всі основні результати обґрунтовані і мають чітке наукове пояснення.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Скорохода Романа Володимировича на тему «Радіаційно-індукована сегрегація в концентрованих металевих сплавах Fe-Cr та Fe-Cr-Ni» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність результатів якого розв'язує наукове завдання. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Вважаю, що здобувач Скороход Р.В. заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 “Природничі науки” за спеціальністю 104 “Фізика та астрономія”.

Рецензент:

заступник завідувача відділу ядерно-фізичних досліджень
Інституту прикладної фізики НАН України,
кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

Володимир БАТУРІН

Підпис к.ф.-м.н., с.н.с., заст. зав. відділу №30
Батуріна В.А. засвідчую учений секретар
ІПФ НАН України, к.ф.-м.н., с.н.с.

Олексій ВОРОШИЛО

