

ВІДГУК

офіційного опонента

Волчука Володимира Миколайовича

на дисертаційну роботу Рябоштана Валентина Анатолійовича

«Термічна стабільність нано- та мікрокристалічних псевдосплавів на основі міді»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 132 – Матеріалознавство

Актуальність теми

Термічна стабільність структури металевих матеріалів завжди була однією з важливіших їх характеристик. Вона визначає температурний інтервал, в якому виріб, деталь чи конструкція мають ті чи інші задані властивості. Не є винятком і наноматеріали - особливий клас матеріалів з надзвичай дисперсною структурою та якісно іншими властивостями, що перевершують метали, сплави, тощо, які були отримані традиційними металургічними методами. Велика дисперсність накладає свої обмеження, що робить здатність супротиву дії температури однією з найголовніших та досі актуальних проблем наноструктурної інженерії. Тому дисертаційна робота Рябоштана В.А., в якій вивчаються можливості розв'язання зазначеної проблеми, є актуальною та перспективною з будь-якої точки зору.

Зазвичай для підвищення температури початку рекристалізації використовують легування більш тугоплавкими компонентами. Сучасні методи отримання матеріалів, наприклад вакуумно-плазмові технології, які використовуються в цій роботі для отримання об'єктів досліджень, дозволяють створювати сплави металів, що не можна отримати ливарними методами через відсутність їх розчинення одне в одному. Отримані композити, які мають назву "псевдосплав", проявляють властивості, що не були характерні цим металам поодиноці. Ці методи дають змогу поєднувати в псевдосплав такі метали, як мідь і молібден (тантал), що, як встановив здобувач, в залежності від умов отримання призводить до значного підвищення їх термічної стабільності.

У дисертаційній роботі поставлені науково-технічні задачі дослідження процесів формування вакуумних конденсатів міді з низькою концентрацією

нерозчинних у матриці міді легуючих елементів, температуро-часові інтервали формування в них аномальних пересичених розчинів, механізми термічної стабілізації структури легуючими елементами, а також структурні зміни, що відбуваються в них під дією температури.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри матеріалознавства НТУ «ХПІ». Здобувач брав участь у науково-дослідних роботах:

1) «Розробка матеріалознавчих основ структурної інженерії на основі Cu і Al» (ДР № 0119U002567). Участь автора – виконавець;

2) «Підвищення характеристик виробів військового призначення шляхом аналізу та синтезу властивостей матеріалів на основі мікроструктурних моделей» (ДР № 0117U004970). Участь автора – виконавець;

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

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Рябоштан В.А., в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на фундаментальних положеннях теорії фізичної адсорбції, методичних розробках та наукових працях провідних вчених з питань фізичних механізмів формування структури та властивостей металічних матеріалів, що одержуються вакуумно-плазмовими технологіями, та вивчення в них рекристалізаційних процесів.

Дослідження виконані з використанням математичного апарату та сучасного комп'ютерного моделювання. Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- Легування матриці міді як молібденом, так і танталом призводить до значного диспергування похідної структури матриці та росту механічних властивостей. Молібден і тантал проявляють схильність до формування сегрегацій на границях зерна матриці міді.
- Запропоновано якісний механізм утворення аномальних пересичених розчинів легуючих елементів (молібдену/танталу) у матриці міді в зразках, отриманих PVD методом. Встановлено, що ступінь розчинності збільшується при підвищенні концентрації легуючого елемента, швидкості осадження та зниженні температури підкладки. Температуро-часові інтервали розпаду цих розчинів значно вищі, ніж аналогічні процеси сплавах міді. Виявлено умови, в яких помічається другий пік дисперсійного твердіння.
- Середній розмір зерна матричного металу залишається незмінним навіть після відпалу при 800°C. Помічено ефект спадковості у вигляді ділянок, вільних від частинок другої фази у відпаленій структурі.
- Осадження у вакуумі при більш низькій температурі стимулює адсорбційні процеси і формування атомарно розподілених шарів легуючих елементів на кордонах зерен матричного металу, що вносять вагомий вклад у гальмування руху границі зерна, знижуючи їх поверхневу енергію.
- Температура початку росту зерен мідної матриці лімітується не механічною дією частинок молібдену або танталу (механізм Зіннера), а руйнуванням атомно розподілених адсорбційних шарів домішок.
- Здобувач встановив, що частинки другої фази зберігають певну структурну відповідність у вигляді часткової когерентності навіть після відпалу за високої температури. Показано, що незвичайний зв'язок між матричним металом та легуючим елементом виражаються у взаємодії атомів легуючого елемента з адсорбційними комірками матриці міді. Приведено відповідні моделювання.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м.

Харків) при проведенні науково-дослідницьких робіт, розробці і впровадженні в навчальний процес кафедри матеріалознавства таких наукових дисциплін, як «Спеціальні методи електронної мікроскопії», «Фізичні основи міцності і пластичності матеріалів», «Наноматеріали», «Наноструктурні матеріали та покриття» та «Тонкі методи дослідження матеріалів»

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Результати досліджень опубліковані у 17 роботах, серед яких: 1 стаття у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у закордонних періодичних фахових виданнях, 2 статті у міжнародній наукометричній базі Web of Science, 13 тезисів у матеріалах міжнародних конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Рябоштан В.А. складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, 1 додатку.

У вступі обґрунтовано актуальність задач дослідження, наведено наукову новизну та сформувано практичне значення одержаних результатів.

В першому розділі “аналітичний огляд наукової літератури” проведено аналіз літературних даних за тематикою дослідження. Встановлено сучасний стан досліджень та підходів до вирішення проблематики низької термічної стабільності наноструктурних матеріалів. Приведені теоретичні дані та обґрунтовано проведеного дослідження. Наведені особливості формування структури досліджуваних зразків у різноманітних умовах отримання.

У другому розділі “характеристика об’єктів і методів дослідження” приводяться дані про об’єкти дослідження, технологічні умови отримання цих матеріалів, дані про контроль елементного складу отриманих зразків. Описані методики електронно-мікроскопічних і рентгеноструктурних досліджень, виміру мікротвердості, питомого електроопору та вивчення термічної стабільності отриманих фольг псевдосплавів.

У третьому розділі “формування та розпад аномальних розчинів молібдену і танталу в міді” описуються результати досліджень, присвячених умовам формування аномального пересиченого твердого розчину легуючих компонентів у матриці міді, умовам його розпаду, а також структурно-фазовим процесам, якими вони супроводжуються. Наведена низка нових експериментальних даних. Висунуто теорію щодо механізму формування цих аномальних пересичених розчинів у матриці міді.

У четвертому розділі “вплив умов отримання на похідну структуру конденсатів Cu-Mo та Cu-Ta” наведено результати дослідження закономірності формування структури цих зразків в умовах, в яких не відбувається утворення аномального пересиченого твердого розчину, що був описаний у розділі 3. Оцінюється вплив температури підкладки та швидкості конденсації характер та властивості похідної структури як конденсатів Cu-Mo, так і на конденсати Cu-Ta. Описані аналогічні та відмінні риси сформованої структури.

У п’ятому розділі “еволюція структурних компонентів в конденсатах міді під впливом температури” описані процеси, що відбуваються у структурі зразків під впливом різної температури відпалу в діапазоні від 0,6 від температури плавлення і до температури, близької до температури плавлення міді, а також відмічаються основні фактори, що впливають на термічну стабільність та інші властивості псевдосплавів цих систем.

У шостому розділі “вплив сеграгацій легуючих елементів на термічну стабільність вакуумних конденсатів” приведені результати досліджень, зосереджених на сегрегаціях молібдену та танталу, що знаходяться у границях зерна у різних структурно-фазових станах, взаємодії цих сегрегацій з границями зерен міді (тип їх зв’язку з матрицею, умови формування та руйнування цього зв’язку) та

впливу взаємодії матричного металу та легуючого компоненту, що призводить до росту здатності супротиву термічної дії.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 85 найменувань досить повний і включає вітчизняні та зарубіжні публікації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

Основні наукові результати дисертаційної роботи можна умовно розділити на два типи: результати, що стосуються дослідження умов формування та розпаду аномальних пересичених розчинів легуючих елементів у мідній матриці та отриманих у наслідку розпаду структури та її властивостей; результати, що стосуються дослідження сегрегацій танталу (молібдену) на границях зерен міді на властивості отриманих зразків, а також на еволюцію структурних компонентів під час термічного впливу на неї.

На початку розділу 3 після таблиці 3.1 не достатньо розкрито, у чому полягає різниця у механізмах конденсації при температурах підкладки 100 та 450°C.

У підпункті 3.1 зустрічається вираз “розподіл молібдену відбувається менш рівномірно, мабуть, через анізотропію адсорбції”. За контекстом не дуже доречним є вираз “мабуть”. Висновок потребує посилення аргументації, або розгляду альтернативних можливих варіантів пояснень.

Приведені міркування про причини різниці у твердості зразків №1 та №2 перед початком підпункту 3.2 не дуже доречне, вважаючи незначну різницю їх твердості.

У підпункті 3.2 доцільно було б привести ширше розкрити різницю між впливом молібдену та танталу на структуру мідної матриці.

У розділі 4 не вистачає ілюстрацій, які б представляли “типову композиційну” структуру псевдосплавів після розпаду пересиченого розчину та доповнювали б порівняння отриманої структури з виглядом структури сплавів металургійного походження після аналогічних процесів в них.

Розділ 5 є логічним продовженням розділу 3. Враховуючи те, що й розділ 4 витікає з розділу 3, рекомендую повернути читача у контекст коротким вступом на початку розділу 5.

Розділ 5. Необхідно дотримуватись послідовності, використовуючи термін “зростання структури”. Або зміна розміру зерна під час відпалу на десятки нанометрів не вважається зростаннями (як зі зміною після відпалу від 250нм до 280нм), або вважається (як зі зміною від 340 нм до 350нм).

У назві підпункту 5.2 зустрічається груба друкарська помилка, що змінює сенс назви. Назва має бути “Структурні зміни після відпалу...”.

Наприкінці пункту 5 доцільно привести графіки, які ілюструють результати, наведені в таблиці, що спростить сприйняття матеріалу.

У підпункті 6.1 необов’язковим є визначення явища псевдоморфізму.

Доцільно використовувати тільки терміни “ефект спадковості” чи “ефект наслідкування” по відношенню до описання еволюційних процесів за участю сегрегацій легуючого компоненту, так як термін “ефект пам’яті” асоціюється з терміном “ефект пам’яті форми”, що є зовсім іншим явищем.

У підпункті 6.3 було б краще більше уваги приділити розкриттю сутності кінетичного механізму гальмування зерен та його впливу.

Існують недоліки оформлення матеріалу дисертаційної роботи, за текстом іноді зустрічаються стилістичні, пунктуаційні та друкарські помилки.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Рябоштан В.А. «Термічна стабільність нано- та мікрокристалічних псевдосплавів на основі міді» за своїм змістом відповідає спеціальності 132 - «Матеріалознавство». Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розвиває важливу науково-практичну задачу, яка полягає в підвищенні термічної стабільності дисперсних, ультрадисперсних та наноструктурних композиційних матеріалів.

Подана дисертаційна робота «Термічна стабільність нано- та мікрокристалічних псевдосплавів на основі міді» Рябоштан В.А. відповідає спеціальності 132 - «Матеріалознавство», відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Рябоштан Валентин Анатолійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 - «Матеріалознавство».

Офіційний опонент

Завідувач кафедри матеріалознавства та

обробки матеріалів Придніпровської

державної академії будівництва та

архітектури, доктор технічних наук, професор

Володимир ВОЛЧУК

