

ВІДГУК

офіційного опонента

Столбового В'ячеслава Олександровича

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

Металеві матеріали у вигляді плівок, фольг, покриттів, порошків тощо, одержувані вакуумно-плазмовими технологіями, можуть мати широкий спектр структурних станів і складатися з елементів, що не мають розчинності та хімічних сполук у рівноважних умовах. Залежно від їхнього складу та технологічних умов отримання ці об'єкти можуть бути аномальними пересиченими розчинами на основі одного з компонентів, композитами, мати нанорозмірну зернисту структуру, яка містить на своїх границях сегрегації легувальних елементів тощо. Властивості цих матеріалів, наприклад такі, як величина зернограничного зміцнення, схильність до інтеркристалітного крихкого руйнування, термічна стабільність, визначаються багатьма параметрами, серед них і структурно-фазовий стан зернограничних сегрегацій. Разом з тим, наявна в науковій літературі інформація щодо процесів формування структури, фізико-механічних властивостей, температурно-часових інтервалів стабільності цих матеріалів явно недостатня. Тому актуальність дисертаційної роботи Рябоштана В. А., що присвячена вивченню зазначених процесів і явищ, не викликає сумнівів.

У дисертаційній роботі поставлена науково-технічна задача дослідження процесів формування вакуумних конденсатів міді з низькою концентрацією нерозчинних в рівноважних умовах у матриці міді молібдена і тантала, структурні зміни, що відбуваються в них під дією температури, та механізми термічної стабілізації структури цими легуючими елементами, що знаходяться у вигляді зернограничних сегрегацій та інших структурно-фазових станах.

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, процесів фоміювання структури та властивостей металів одержуваних вакуумно-плазмовими технологіями, методичних розробках та наукових працях провідних вчених з питань вивчення 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:

➤ Зафіксовано, що легування матриці міді як молібденом, так і танталом призводить до значного диспергування вихідної структури матриці та росту механічних властивостей. Висунуто припущення, що цей процес пов'язаний з формуванням сегрегацій атомів молібдену чи танталу на границях зерен матриці міді і характером їх розподілення між більше- та меншекутовими границями зерен.

➤ Встановлено, що ступінь розчинності як молібдену, так і танталу збільшується при підвищенні концентрації легуючого елементу, швидкості осадження та зниженні температури підкладки. Запропоновано якісний механізм утворення цих розчинів під час сумісної конденсації у вакуумі із парової суміші. Виявлено температурно-часові інтервали розпаду розчинів, які значно вищі, ніж аналогічні процеси у сплавах на основі міді. Показано, що цей процес має двоетапний характер.

➤ Виявлено, що середній розмір зерна матричного металу залишається незмінним навіть після відпалу при 800°C , що є $0,8$ від температури плавлення міді. Вперше виявлено ефект спадковості у вигляді ділянок, вільних від частинок другої фази у відпаленій структурі.

➤ Помічено, що 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.

➤ Встановлено, що температура початку росту зерен мідної матриці лімітується не механічною дією частинок молібдену або танталу (механізм Зіннера), а руйнуванням атомно розподілених адсорбційних шарів домішок.

➤ Зафіксовано, що частинки другої фази зберігають певну структурну відповідність у вигляді часткової когерентності навіть після відпалу за високої температури. Проведено моделювання цієї структурної відповідності між поверхнею зерна та частками легуючого елементу. Показано, що незвичайний зв'язок між матричним металом та легуючим елементом виражається у взаємодії атомів легуючого елементу з адсорбційними комірками матриці міді.

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 розробці і впровадженні в навчальний процес кафедри матеріалознавства при викладанні 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 проблеми низької термічної стабільності дисперсних матеріалів в цілому та композиційних матеріалів зокрема. Приведені теоретичні дані та обґрунтовано підґрунтя 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 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 аномальних пересичених розчинів легуючих компонентів у матриці міді, умовам їх 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 на характер вихідної структури та властивості як конденсатів Cu-Mo, так і 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 500-1000°C, 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 сеграгаціях молібдену та танталу, що знаходяться у границях зерна у різних структурно-фазових станах, взаємодії цих сеграгацій з границями зерен міді (тип їх зв'язку з матрицею, умови формування та руйнування цього зв'язку) та впливу взаємодії матричного металу та легуючого компонента, що призводить до росту здатності супротиву термічній 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 ґрунтуються на порівнянні стану структури в похідному стані та після ізотермічного відпалу у вакуумі, але для повноти картини невістачає проведення відпалу ще декількох режимах. Доцільно було б провести дослідження впливу температури 400^oC, а також заповнити прогавини у проміжку 800-900^oC для двох зразків.

В огляді наукових джерел інформації слабо розкритий механізм піннінгу Зіннера, який у подальших розділах порівнюється з термодинамічним механізмом та приймає участь у формуванні термічної стабільності зразків.

У підрозділі 3.1 фіксується існування невластивої ГЦК фази домішки, що сприймається як наслідок взаємозв'язку матриці з домішкою та не враховується можливість присутності явища псевдоморфізму.

Упродовж обговорення стану структури невістачає ілюстрацій у вигляді знімків, знятих у режимі темного поля електронного мікроскопу.

В розділі 3.2 є такий вираз “Зміна інтенсивності може бути "симптомом" утворення переважної орієнтації або текстури.”, де доцільніше було використати існуючу термінологію замість слова “симптом”. Окрім того не завадило б графічне представлення ліній 220 і 310, про які іде мова, як було представлено розділі вище.

У 1 висновку до Розділу 3 необхідно кратко розкрити схожість характеру взаємодії танталу/молібдену та міді.

У розділі 4 в представлених залежностях періоду кристалічної решітки на рисунку 4.3 досить складно орієнтуватися. Не описана різниця між точками, позначеними різними фігурами.

У підрозділі 5.1 не виправдано використовується термін “зростання” для зміни розміру структурних компонентів від 340 до 350 нм. Дані виміри знаходяться в порядку похибки. Тим не менш висновок робиться вірний. У наступному абзаці пропущено уточнення, що він вже відноситься до наступного зразку.

При описанні відношення рефлексів матриці та домішки доцільно використовувати збільшені зображення, де це буде представлено більш явно.

Для описання рекристалізаційних процесів здобувач опирається на відомості про процеси, отримані на деформованих металах та сплавах, доцільність чого обгрунтована слабо.

У підрозділі 6.1 немає логічного зв'язку між приведенням визначення поняття “псевдоморфізм” та попереднім абзацем, що скоріш за все є похибкою при редагуванні тексту.

У підрозділі 6.2 правельніше з точки зору термінології було б написати “є менша кількість та розмір рефлексів” замість “зменшується кількість та розмір рефлексів”.

Запитання.

Яку науково-прикладну задачу вирішено в роботі?

Яка новизна цієї дисертаційної роботи?

В чому полягає актуальність дисертаційної роботи для підприємств?

Чому швидкість конденсації міді змінюється від 0,25 до 15 мкм/хвил? З чим пов'язана зміна швидкості?

З методики незрозуміло при яких параметрах відбувалося осадження? Які енергії на електронно-променевої гарматі були при тих чи інших режимах осадження?

Як керувалася концентрація 0,3 і 0,35 ат. відс. молібдену і танталу в покритті?

По тексту (наприклад рис. 3.6) йдуть підписи зразок а)№4 , б)№5 але не зрозуміло чим вони різняться? Які режими отримання покриттів?

Чому у зразку №4 (стор. 49) не виявлено частинок танталу? З чим це пов'язано? (Це пов'язано з режимом осадження чи що?)

З чим пов'язана зміна мікротвердості табл 3.5 ?

Висновки до розділу 3. 1) який саме характер взаємодії?

Рис. 4.1 Незрозуміло навіщо ці графіки якщо немає до них опису. Електроопір збільшується це гарно чи погано? До чого треба прагнути при формуванні таких покриттів?

Рис. 4.3 Як построїли графіки? Незрозуміло які точки відносяться до чого? Немає позначок. Питомий опір збільшується (це гарно чи погано?)

Досить часто по тексту йде термін «частинка танталу» наприклад стор. 61. Що мається на увазі під цим терміном?

З чим пов'язано хвилеподібна зміна мікротвердості на рис. 4.11?

З чим пов'язано зменшення періоду кристалічної решітки в залежності від часу відпалу (рис. 4.14)

Рис 4.15 при якій температурі проводився відпал? У вакуумі чи на повітрі чи у якомусь середовищі? Що могло спричинити збільшення «частинки танталу» до 25-35 нм після відпалу?

Які рекомендації можна надати розробникам сплавів Cu-Mo та Cu-Ta? До яких температур можна використовувати такі матеріали?

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

Професор кафедри Технології металів та матеріалознавства Харківського національного автомобільно-дорожного університету;
Керівник лабораторії Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут»,
д.т.н. ст.досл.



В'ячеслав СТОЛБОВИЙ

