

ВІДГУК

на дисертаційну роботу Вовчок Олександра Сергійовича «Вплив легуючих елементів на релаксаційну стійкість та термічну стабільність сплавів з ГЦУ структурою», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність теми представленої роботи полягає в тому, що автор, використовуючи загально відомі принципи та закономірності формування релаксаційно - стійких сплавів з легких металів на прикладі сплавів магнію і технічної чистоти титану з ГЦУ ґратками вперше дослідив і з'ясував закономірності перебігу в них відповідальних за високотемпературну повзучість процесів (зокрема особливостей формування структур твердих розчинів при розпаді в різних умовах кристалізації), а також використав отримані наукові результати і висновки в розробці технологічних схем формування структурних ієрархій заготовок із значно кращими від існуючих робочими характеристиками.

Вступ – 8 сторінок, де відповідно до вимог Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій висвітлено їх повний перелік. Мета роботи Олександра Сергійовича Вовчок була визначена на підставі аналізу літературних джерел (розділ 1 об'єм 35 ст.) де розкрито сучасні уявлення про проблеми розмірної стабільності і термічної стійкості магнію, титану та їх сплавів та визначено основні напрямки досліджень, які зосереджені на поведінці границь зерен та взаємодії рухомих дефектів з атомами легуючих елементів та їх угрупованнями з метою з'ясування їх впливу на термічну стійкість ГЦУ твердих розчинів систем Mg-Ba, Mg-Al-Ca-Mn-Ti, Mg-Al-Ca-Y-Gd та α -Ti.

У другому розділі обґрунтовано вибір методик дослідження (об'єм 20 ст.), які представлено: внутрішнім тертям (10 ст.), електроопором (5 стор.), диференційними термічним аналізом та скануючою калориметрією (2 стор.), растровою та трансмісійною електронною мікроскопією (4 стр. на стор 66), випробуваннями на повзучість та рентгенівською дифрактометрією (в розділі 2.4 додаткові методики – 0,7 стор), вимірюванням твердості за Вікерсом не висвітлено зовсім. Крім того на рис. 6.26 не вказано навантаження, при якому здійснювалось це випробування. Виплавленню сплавів магнію присвячена 1 сторінка, яка віднесена чомусь до третього розділу. Крім того відсутній загальний перелік не тільки кількості досліджених сплавів, а і вмісту в них легуючих елементів.

Третій розділ (об'єм 8 ст.) присвячено результатам вимірювань теплових ефектів при екзо - і ендотермічних реакціях утворення і розпаду кластерних сполук в розплавах металевих систем Mg-Al-Ca-Mn-Ti і Mg-Al-Ca-Y-Gd та продемонстровано, що вище лінії ліквідусу в означених сплавах спостерігаються невеликі піки з малими питомими ентальпіями (0,02 – 0,25 Дж/г), значення яких набагато нижчі за теплоти плавлення (234,1 – 255,6) і кристалізації (243,1 -254,8 Дж/г) відповідно. При цьому встановлено, що

температурні положення піків та величин ентальпії залежать від температур перегріву розплаву та вказують на формування кластерних сполук різних типів. Зроблено припущення про їх зв'язок та продемонстрована особливість сплаву легованого Ti, яка полягає в значно більшій стабільності кластерів розплаву з ближнім порядком розташування атомів. Останні при кристалізації відіграють роль її зародків, підвищуючи температуру і швидкість процесу.

У четвертому розділі (об'єм 20 ст.) наведено та проаналізовано результати досліджень непружної релаксації твердих розчинів магнію в області Гц діапазону частот коливань та продемонстровано: їх зв'язок з утворенням парних дефектів в разі гартування – «атом Ва- надлишкова вакансія» з енергією утворення 0,8 еВ при 313 К. Після відпалу 1 годину при 673 К максимум внутрішнього тертя відповідає зерно граничній релаксації з енергією активації 1,1 – 1,3 еВ при 433-473 К. Повільне охолодження після відпалу супроводжується зменшенням релаксаційних ефектів вздовж границь зерен, що можливо пов'язано із їх блокуванням домішками. Наступне порівняння отриманих в роботі температурних залежностей внутрішнього тертя полікристалічного магнію та його сплавів з 2 % Са, 12 % Al, 12 % Al +1,3 Са, та Mg-Al-Ca-Mn-Ti демонструє вплив комплексного легування означеними елементами на відповідне пригнічення зерно граничного та дислокаційного ковзання, що веде до значного підвищення на 150 – 200 К температуру релаксаційної стійкості сплаву з домішками Ti. При цьому зроблено висновок, що Са, як такий, суттєво не впливає на температуру релаксаційної стійкості Mg, змінюючи особливості проявів зерно-граничної релаксації при практично незмінних закономірностях дислокаційного ковзання. Автор пояснює це поганою розчинністю Са в Mg.

Розділ 5 (9 сторінок) присвячений дослідженням структурної релаксації первинних - твердих розчинів сплавів магнію. Зокрема продемонстрована практична незалежність змін внутрішнього тертя сплаву Mg-2,1% Ва після гартування від 783 К у воді та відпалу при 673 К при двох частотах коливань (1 і 3 Гц) вільного затухання. На підставі отриманих результатів автор робить висновок, що структурна релаксація зразків здійснюється на основі парних дефектів – «вакансія - атом Ва» з розмірами 0,2-0,3 нм та енергією зв'язку 0,5 еВ, які по мірі подальшого розвитку розпаду з первинного кластеру трансформуються в метастабільний Mg_6Va_2 з розмірами до 8 нм при наступному переході в стабільний стан $Mg_{16}Va_2$ з розмірами до 18 нм. У цьому випадку структурні перетворення пов'язані з близькодіючою взаємодією атомів, а не з об'ємною дифузією легуючих елементів.

Шостий розділ присвячений розгляданню поведінки піка Снука-Кестера, пов'язаного з рухом дислокацій спільно з домішковими атомами та їх дифузією в силовому полі. Енергія активації цього процесу при низьких частотах коливань (до 1 Гц) є сумою двох вкладів – енергії міграції домішкових атомів і енергії зв'язку з ними дислокацій. Зокрема автором виявлені попарні релаксаційні максимуми в спектрах коливань α - Ti з

атомами Н при 473 і 573 К, кисню- при 643 і 748 К та ймовірно вуглецю при 843 і 943 К. Подібні явища зафіксовано і в Mg. Підвищення температури посилює гальмування дислокацій завдяки їх взаємодії з атмосферами Котрела. В результаті проведених досліджень встановлені рівноважні розчинності Al і Ca в Mg, які дорівнюють 2,37 та 0,15 вагових % відповідно. При цьому подальше підвищення концентрації Ca зменшує розчинність Al в Mg до 0,1 %. Al в свою чергу зменшує розчинність Ca, яка супроводжується збільшенням кількості евтектики. Пересичення Al сприяє виділенням сегрегацій по границям зерен та часток різних розмірів, дисперсна частина яких представлена сполукою $Mg_{17}Al_{12}$. Показано, що додаткове легування Fe, Y, Cd, Ti веде до зміни параметрів Mg при збільшенні кількості і параметрів $Mg_{17}Al_{12}$. Встановлено ефективну енергію утворення вакансій (0,4 eV) у відпаленому сплаві легуваному Ti, що пов'язано з утворенням пари вакансія – Al на відміну від сплаву отриманого після електро-гідро-імпульсної обробки розплаву де ця енергія сягає 0,66 eV. Це на думку автора пов'язано із змінами механізму кристалізації завдяки появі кластерів типу Al_mTi_n , які відіграють роль її зародків.

Перелічене свідчить не тільки про актуальність роботи і новизну отриманих в ній результатів, які можуть бути покладені в основу розвитку модельних уявлень про загальні закономірності реалізації явищ знеміцнення та їх використання в технологічному ланцюгу отримання заготовок чи виробів з ГЩУ металів та сплавів, який в решті решт гарантує підвищення механічних та службових характеристик, що робить дисертацію цікавою не тільки з наукової, а і практичної точки зору.

Оскільки в дисертаційній роботі Вовчок Олександра Сергійовича існуючі модельні уявлення про процеси, які несуть відповідальність за температурну стійкість сплавів з ГЩУ граткою, доповнені новими науковими результатами з відповідною реалізованою на їх підставі спробою створення більш стійкого до температури сплаву за рахунок впливу виявлених автором особливостей розпаду твердих розчинів на стадіях утворення кластерів з відповідних легуючих елементів та частинок другої фази, вона відповідає спеціальності 01.04.07 - фізика твердого тіла.

В цілому представлена дисертаційна робота за своїм змістом відповідає поставленим завданням при отриманні достатньої кількості нових експериментальних результатів, обговорення та наукові висновки за якими в основному аргументовані і не викликають заперечень. Це, а також наявність практичного використання з'ясованих особливостей структуроутворення в досліджених сплавах дозволяє розглядати роботу як цілісну і доведену до логічного завершення.

Основні результати роботи в повній мірі викладено в достатній кількості праць (8), опублікованих в фахових журналах.

Зміст автореферату відповідає структурі та основним положенням дисертації.

Зауваження. 1. Назва роботи в представленому виді претендує на всеохоплюючий характер не тільки відносно матеріалів з ГЩУ

(політипними) структурами, а і відносно сплавів з ГЦУ гратницями (гратками). При тому, що останнє в більшій мірі відповідає змісту дисертаційної роботи і неодноразово підкреслюється автором в тексті. Крім того експериментальна частина виконана переважно на обмеженій кількості сплавів магнію з залученням технічного титану, що робить висновки та рекомендації відповідно означених в назві класів матеріалів в значній мірі умовними, потребуючими відповідних експериментальних перевірок.

2. За відсутності в методичній частині таблиці з переліком досліджених металів і сплавів та вмістів в них легуючих елементів, неоднозначність написання яких спостерігається в тексті дисертаційної роботи і наведеній таблиці № 4.2 в розділі 4, викликають непорозуміння, що до кількості досліджених сплавів, та особливостей їх легування.

3. На мою думку посилання автора на результати ПЕМ (рис.6.24, 25), які повинні підтверджувати дифузію легуючих елементів вздовж дислокацій не є коректними оскільки плямистий контраст на зображеннях свідчить про різну ступінь розпаду відповідних твердих розчинів, який іде незалежно від присутності дислокацій в макроскопічному об'ємі сплаву та його структурних елементів.

4. В роботі автор не дотримується єдиної температурної шкали.

5. На рис 4.11 одиниці вимірювання температури вказані з помилками.

6. На рис. 4,12-15 не вказані одиниці вимірювання γ .

7. На рис. 6,13 не вказана границя та дислокації невідповідності на ній.

На підставі знайомства з дисертаційною роботою Вовчок Олександра Сергійовича «Вплив легуючих елементів на релаксаційну стійкість та термічну стабільність сплавів з ГЦУ структурою», актуальність теми дисертації, практичну цінність вперше отриманих результатів, їх новизну та наукову значимість, можу стверджувати, що вона відповідає вимогам Департаменту атестації кадрів Міністерства освіти і науки України до кандидатських дисертацій, поданих на здобуття наукового ступеня кандидата фізико - математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла, а її автор заслуговує на здобуття ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04. 07 – фізика твердого тіла.

Пров. н. сп. Інституту металофізики
ім. Г. В. Курдюмова НАН України
доктор фіз.- мат. наук

П. Ю. Волосевич

Підпис доктора фіз.- мат. наук Волосевича П. Ю.
засвідчую

Вчений секретар Інституту металофізики
ім. Г. В. Курдюмова НАН України
кандидат фіз.- мат. наук



Є. В. Кочелаб