

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Іванової Ольги Михайлівни
**“Мартенситне перетворення в нестехіометричному інтерметаліді
 $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ та його вплив на механічну поведінку”**,
що представлена на здобуття ступеню кандидата фізико-математичних
наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Іванової О.М. присвячена вивченню кристалографічних перебудов, пов'язаних з мартенситним перетворенням в нестехіометричному інтерметаліді $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ та дослідженню механічних властивостей та механізмів руйнування цього інтерметаліду, обумовлених мартенситним перетворенням.

Дисертація виконана у відділі фазових перетворень Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича в рамках держбюджетних науково-дослідницьких робіт: “Дослідження закономірностей деформації та руйнування титанових сплавів, схильних до мартенситних перетворень”, №ДР0111U002405; “Зміцнення сплавів титану інтерметалідами типу Ti_3X та TiX , додатково легованими з метою їх пластифікації”, №ДР0107U002708.

Матеріали, які зазнають термопружного мартенситного перетворення, використовуються в багатьох галузях техніки в якості функціональних матеріалів завдяки механічним ефектам, які супроводжують мартенситне перетворення. Широке застосування такі матеріали знаходять внаслідок властивого для них ефекту пам'яті форми.

Ефект супереластичності, що зумовлений розвитком мартенситного перетворення при навантаженні, спричиняє низький модуль пружності. Механічна поведінку цих матеріалів в пружній області деформації часто подібна до механічного відклику кісток. Тому сплави з мартенситним перетворенням використовуються для виробництва протезів в ортопедії та ортодонтії.

З літературних даних відомо, що матеріали системи $Ti-Sn$ мають високу біосумісність, а інтерметалід Ti_3Sn має низький модуль пружності (7 ГПа), близький до модуля пружності кісток, (12 ГПа) при кімнатній температурі. Останніми роками з'явилися роботи, присвячені дослідженню евтектичних матеріалів на базі систем $Ti-Sn-Si$, $Ti-Sn-Fe$ та $Ti-Sn-Ni$, які містять фазу Ti_3Sn . Ці матеріали поєднують високу міцність з низьким модулем пружності або прийнятною пластичністю чи демпфуючою здатністю. Такі властивості зумовлені вмістом фази Ti_3Sn , яка має низький модуль пружності та високу демпфуючу здатність при кімнатній температурі.

Ці особливості механічної поведінки інтерметаліду зумовлені мартенситним перетворенням, яке протікає при температурі, що не набагато вища за кімнатну.

Вище наведене характеризує тему роботи як **актуальну**, та підтверджує відповідність дисертації Іванової О.М. вимогам Положення ДАК Міністерства освіти і науки України за ознакою „актуальність теми”.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість результатів дослідження, отриманих в дисертаційній роботі Іванової О.М., забезпечена використанням широкого інструментарію сучасних фізичних, металографічних, фізико-механічних методів досліджень та відповідного обладнання.

Сформульовані положення і висновки по роботі, що рецензується, не протирічають фундаментальним основам фізичного матеріалознавства та фізики міцності.

Новизна роботи полягає в наступному.

Визначено кристалічну структуру мартенситної фази нестехіометричного інтерметаліду $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$. Вперше визначено групу симетрії і елементарну комірку орторомбічної фази $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ та орієнтаційні співвідношення між фазами мартенситу і аустеніту. Визначено площину двійникування мартенситної фази та проаналізовано деформацію Бейна під час цього перетворення. Досліджено вплив легуючих елементів цирконію та алюмінію на температуру мартенситного перетворення, величину температурного гістерезису, модуль Юнга та демпфуючу здатність методом динамічного механічного аналізу. Вперше виявлено псевдоеластичну поведінку нестехіометричного інтерметаліду $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ при циклічному навантаженні-розвантаженні при випробуваннях на стиснення та визначено величину відновлюваної деформації для матеріалу з дрібним регулярним зерном. Псевдоеластична поведінка матеріалу відбувається нижче температури мартенситного перетворення і зумовлена оборотною переорієнтацією двійників при прикладенні навантаження. Вивчено процес руйнування цього матеріалу. В роботі вперше спостерігалось мартенситне перетворення із гексагональної в орторомбічну фазу, що відкриває можливість пошуку та проектування нового класу матеріалів із структурою $D0_{19}$ та кращими механічними властивостями при кімнатній температурі.

Значення результатів роботи для науки та практики

Визначений для нестехіометричного інтерметаліду $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ низький модуль пружності (близько 10 ГПа) при кімнатній температурі в поєднанні з його гарною біосумісністю вказує на можливість застосування $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ в біомедичній галузі в якості матеріалу для ортопедичних протезів.

Дослідження методом динамічного механічного аналізу виявило високу демпфуючу здатність матеріалу при низьких частотах, яка порівняна з властивостями високодемпфуючих сплавів з ефектом пам'яті форми, таких як

сплави на основі Cu-Al та Ti-Ni. Такі властивості обумовлюють можливість застосування матеріалів на основі Ti_3Sn в якості високодемпфуючої системи.

Встановлений в роботі вплив розміру зерна та легуючих елементів Zr та Al на модуль пружності, міцність, деформацію до руйнування та демпфуючу здатність вказує на можливість регулювання механічних, фізичних та відповідних службових характеристик.

Повнота опублікованих результатів дисертації.

Основний зміст дисертації Іванової О.М. викладений в 16 наукових публікаціях, з них 8 статей у фахових виданнях та 8 тез конференцій. Загалом положення ДАК Міністерства освіти і науки України стосовно повноти публікацій та апробації роботи виконано в повному обсязі.

Оцінка змісту роботи

Дисертація складається із вступу, трьох глав, висновків та переліку посилань. Повний об'єм 142 сторінки, 54 рисунки, 12 таблиць, перелік використаних джерел складає 127 посилань.

У вступі розглянуто основні відомості про властивості інтерметаліду Ti_3Sn та висвітлено результати робіт, які засвідчують перебіг фазового перетворення в цьому матеріалі. Визначені мета та задачі роботи. Сформульована новизна та практична цінність.

У першому розділі дисертації наведено огляд наукових праць щодо теми дисертації. Стисло описана феноменологічна кристалографічна модель мартенситного перетворення та ефекти пам'яті форми і супереластичності, які супроводжують мартенситне перетворення. Проведено аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню кристалічної структури та властивостей інтерметаліду Ti_3Sn . Розглянуто роботи, присвячені дослідженню механічних властивостей та мікроструктурних спостережень, які засвідчують перебіг фазового перетворення в Ti_3Sn .

За результатами літературного огляду визначається мета роботи: визначення кристалографічних перебудов, пов'язаних з перетворенням в нестехіометричному інтерметаліді $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$, механічних властивостей та механізмів руйнування цього матеріалу.

В другому розділі представлено методики виготовлення експериментальних зразків та методи дослідження їх фізико-механічних характеристик.

Третій розділ присвячений дослідженню структурних перебудов нестехіометричного інтерметаліду $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ під час мартенситного перетворення. Визначено кристалічну структуру мартенситної фази інтерметаліду нестехіометричного складу $Ti_{75,5}Sn_{24,5}$ за результатами рентгеноструктурного дослідження з нагрівом *in situ* та методом трансмісійної електронної мікроскопії у режимі дифракції електронів. Встановлено площину двійникування мартенситної фази та орієнтаційні співвідношення між фазами мартенситу і аустеніту. Обчислена та проаналізована деформація Бейна. На основі визначеної зміни об'єму під час перетворення та температури

перетворення досліджуваний матеріал порівняний з іншими матеріалами з мартенситним перетворенням.

У четвертому розділі представлено результати досліджень механічної поведінки та руйнування нестехіометричного інтерметаліду $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$.

Дослідження механічної поведінки проводилось на зразках нестехіометричного інтерметаліду $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$ з крупними зернами, основний діапазон розмірів зерен - 150-300 мкм, та з дрібними зернами, основний діапазон розмірів зерен - 20-30 мкм. Для обох типів зразків $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$ спостережено псевдопружну поведінку при кімнатній температурі методами циклічного випробування на стиснення та індентування мікротвердості за Вікерсом. Визначено механічні характеристики дрібнозернистого та крупнозернистого $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$. Досліджено процес розповсюдження тріщин в крупнозернистому матеріалі за допомогою оптичної мікроскопії деформованого на стиснення матеріалу та випробуванням на три точковий вигин зразка із введеним попередньо надрізом і зі спостереженням поверхні зразка *in situ*. На основі результатів дослідження запропоновано механізм зародження і розвитку тріщини.

В п'ятому розділі досліджено крупнозернистий та дрібнозернистий нестехіометричний інтерметалід $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$ методом динамічного механічного аналізу і вивчено вплив 1ат.% та 3ат.% цирконію і алюмінію на модуль пружності, демпфуючу здатність та температури мартенситного перетворення крупнозернистого інтерметаліду $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$. З огляду на виміряну величину демпфуючої здатності досліджувані матеріали порівняні з іншими високодемпфуючими матеріалами з ефектом пам'яті форми.

Зауваження до дисертації

Поряд з наведеними вище позитивними якостями дисертаційної роботи, що рецензується, вважаю за необхідне зробити наступні зауваження.

1. Автор порівнює властивості досліджуваних матеріалів, розділяючи їх на «дрібнозернисті» і «крупнозернисті», і пояснює відмінності у величинах механічних характеристик з точки зору розмірів зерен. Проте, вважаю таке порівняння не зовсім коректним, оскільки «крупнозернисті» матеріали окрім іншого розміру зерен характеризуються ще й сильно вираженою текстурою, яка, безумовно, має вплив на механічну поведінку сплавів. Крім того, особливості структури (і механічної поведінки) «крупнозернистих» текстурованих сплавів визначаються методикою виготовлення експериментальних зразків, і тому результати дослідження їх властивостей, на мою думку, не можуть бути застосовані для подібних матеріалів, отриманих іншими способами.

2. З тексту дисертації не ясно, з яких міркувань обирався тип легуючих елементів та їх вміст в досліджуваних сплавах Ti-Sn-Al та Ti-Sn-Zr.

3. Також у роботі відсутні пояснення фізичних механізмів впливу легуючих домішок Al та Zr на структуру та фізико-механічні властивості сплавів.

4. Незрозуміло, чому механічна поведінка різних сплавів вивчалася за допомогою різних методик. Наприклад, дослідження процесів зародження та розповсюдження тріщини руйнування у матеріалах $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$ проводилось

шляхом випробування зразків на стиск, при цьому для вивчення цих же процесів у легованих сплавах $\text{Ti}_{74,5}\text{Zr}_1\text{Sn}_{24,5}$ застосовувалась методика триточкового згину зразка з надрізом.

Наведені зауваження не стосуються основних положень, що виносяться на захист, та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальні висновки стосовно дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Іванової О.М. є закінченою науковою працею, в якій вирішена актуальна науково-практична задача з вивчення впливу мартенситних перетворень на структуру та механічні властивості нестехіометричного сплаву $\text{Ti}_{75,5}\text{Sn}_{24,5}$.

Викладені в дисертації наукові положення, висновки та практичні рекомендації є обґрунтованими на належному науковому рівні.

Всі результати дослідження опубліковані в фахових наукових виданнях і пройшли апробацію на вітчизняних та міжнародних конференціях і семінарах відповідного профілю.

Автореферат адекватно та з достатньою повнотою відображає зміст дисертації.

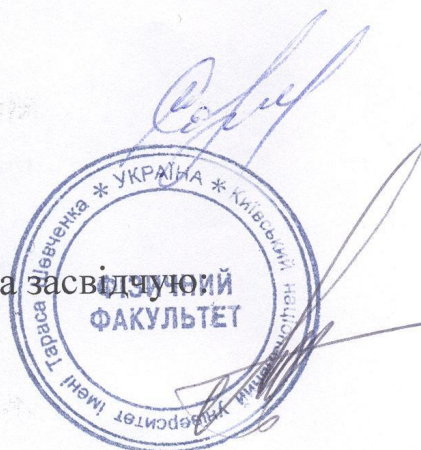
Підсумовуючи вище сказане, можна констатувати, що робота Іванової Ольги Михайлівни “Мартенситне перетворення в нестехіометричному інтерметаліді $\text{Ti}_{75,5}\text{Sn}_{24,5}$ та його вплив на механічну поведінку” є завершеним дослідженням, в якому отримані науково-обґрунтовані результати, що мають наукову новизну і практичну значимість.

Дисертаційна робота Іванової О.М. відповідає всім вимогам ДАК Міністерства освіти і науки України до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фіз.-мат. наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла, а автор дисертації заслуговує присудження їй вказаного ступеню.

Асистент кафедри фізики металів
фізичного факультету Київського
національного університету
імені Тараса Шевченка,
кандидат фіз.-мат. наук

С.В. Чорнобук

Підпис к. ф.-м. н. С.В. Чорнобука, засвідчуючий
Декан фізичного факультету
д.ф.-м.н., професор



М.В.Макарець