

В І Д Г У К
офіційного опонента
на дисертаційну роботу
ПОГРІБНОЇ ЮЛІЇ МИХАЙЛІВНИ

«Механізми формування та мікроструктурні характеристики
нанокристалічного стану титану, отриманого кріодеформацією»
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Дослідження процесів і механізмів подрібнення структури деформаційними діями і взаємозв'язку структурних параметрів і фізико-механічних характеристик при формуванні в матеріалах структур нанометрового масштабу є одним з важливих напрямків фізики твердого тіла, а також мають велике практичне значення, враховуючи можливості одержання матеріалів з високим рівнем експлуатаційних характеристик. Великі низькотемпературні (криогенні) пластичні деформації є одним з ефективних методів впливу на структуру металів і сплавів і одержання в них нанокристалічного стану. Значні результати в цьому напрямку було одержано для металів і сплавів с ГЦК ґраткою, у порівнянні з якими ці питання стосовно ГЦУ металів є недостатньо висвітленими.

Дисертаційна робота Погрібної Ю.М. присвячена систематичному дослідженню впливу деформації прокаткою (вальцюванням) при низьких (~77 K) температурах на механізми формування нанокристалічного (НК) стану та мікроструктурні й механічні характеристики технічного титану ВТ1-0 – представника металів з ГЦУ ґраткою, що широко використовуються в різних галузях народного господарства.

Підкреслимо, що результати, які склали дисертаційну роботу, отримані в відділі фізики реальних кристалів Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І.Веркіна НАН України в рамках перелічених держбюджетних НДР і проекту Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали».

Враховуючи вище сказане, вважаю, що тема дисертаційної роботи, як її сформульовано у назві, є **безумовно актуальною**.

Метою дисертаційної роботи є встановлення фізичних механізмів формування нанокристалічного стану в титані технічної чистоти ВТ1-0 з визначенням основних характеристик деформаційної мікроструктури, отриманої в результаті кріодеформації.

Структура дисертації, основні наукові і практичні результати і їх новизна.

Дисертація Погрібної Ю.М. складається з анотації державною та англійською мовами, списку публікацій за темою дисертації, переліку умовних позначень і скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел з 186 найменувань і додатку зі списком публікацій за темою дисертації. Оригінальні розділи (3-5) містять власні короткі висновки. Дисертація містить 141 сторінки, включаючи 42 рисунків та 14 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, описані наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, зв'язок роботи з темами наукових досліджень ФТІНТ НАН України, вказано особистий внесок здобувачки, наведено інформацію щодо апробації одержаних результатів і дані про структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі «Наноструктурний стан металічних матеріалів: способи отримання та властивості (огляд літератури)» розглянуто сучасний стан досліджень щодо одержання ультрадрібнозернистих та НК металів і сплавів та вивчення особливостей їх структурних параметрів і фізико-механічних властивостей, сформульовано основні завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі «Матеріал та методика проведення досліджень» наведено характеристики матеріалу, що досліджувався, особливості деформації зразків при температурах поблизу 77 К, режими термічної обробки та опис методик досліджень структурного стану та механічних властивостей.

У третьому розділі «Механізм формування нанокристалічного стану з використанням методу кріомеханічної фрагментації зерна» наведено результати дослідження мікроструктурних змін титану VT1-0 в процесі деформації прокаткою при $T \sim 77$ К. Вивчено еволюцію мікроструктурних змін за рахунок переважної ролі механічного двійникування в порівнянні з дислокаційним ковзанням. Виявлено існування граничного середнього розміру зерна (~ 35 нм), що пов'язано з обмеженням ефективності двійникування в зернах наномасштабного розміру і проаналізовано зернограничне зміцнення в рамках моделі Холла-Петча.

У четвертому розділі «Рентгеноструктурні характеристики нанокристалічного стану титану» наведено результати системного вивчення методом РСА характеристик деформаційної мікроструктури (ОКР, внутрішні напруження, параметри кристалічної ґратки), що формується в титані VT 1-0 в результаті деформації прокаткою при $T \sim 77$ К на різні ступені. Виявлено близькість розміру зерен до розміру ОКР при формуванні НК стану і анізотропію форми нанорозмірного зерна, що спричиняє анізотропію межі плинності зразків в інтервалі температур 4,2-300 К.

П'ятий розділ «Термічна стабільність нанокристалічного титану, отриманого кріомеханічною фрагментацією зерна» присвячено дослідженням впливу ізотермічних відпалів в інтервалі температур 150-670°C на рентгенівські характеристики мікроструктури та механічні властивості титану VT1-0 з різним структурним станом (мікронним, субмікронним і наномасштабним розміром зерен). Проаналізовано вплив елементів деформаційної мікроструктури (дислокацій і двійників) на термічну стабільність розмірів ОКР кристалітів і величину мікродеформацій. Встановлено, що нанокристалічні зразки характеризуються достатньо високою межею термічної стабільності ($T \sim 450^\circ\text{C}$).

Основні положення сформульовані автором в пункті «**Наукова новизна отриманих результатів**» відповідають критерію наукової новизни:

- вперше з'ясовано вплив ступеня деформації вальцюванням до великих значень при $T \sim 77\text{ K}$ на розмір зерна, як способу формування НК стану титану VT1-0, з виявленням граничного середнього розміру ($\sim 35\text{ nm}$);
- вперше виявлено стадійний характер залежності розміру зерна від ступеня кріодеформації та його відповідність етапам розвитку механічного двійникування і з'ясовано фізичні механізми формування НК стану титану VT1-0 з встановленням переважної ролі механічного двійникування в порівнянні з дислокаційним ковзанням;
- вперше встановлено залежність мікроструктурних характеристик (розміри областей когерентного розсіювання (ОКР) кристалітів, мікродеформації, тощо) від ступеня кріодеформації, що визначається відносною активністю дислокаційного ковзання і двійникування;
- вперше спостережено близькість значень розміру зерен/кристалітів до розміру ОКР при досягненні НК стану, що вказує на досконалу внутрішню структуру нанозерен;
- вперше виявлена морфологічна анізотропія кристалітів НК титану, що спричиняє спостережувану анізотропію межі плинності;
- визначена межа термічної стабільності ($T \sim 450^\circ\text{C}$) наноструктурного стану, сформованого в титані VT1-0 кріомеханічною фрагментацією зерна.

Достовірність отриманих результатів. Ступень обґрунтованості наукових положень, висновків, сформульованих в дисертації.

Достовірність отриманих результатів, високу точність експериментальних даних дисертації забезпечено використанням апробованих методів дослідження структури, механічних властивостей зразків матеріалу і обробки даних. Дані, отримані в роботі, узгоджуються між собою та з відповідними теоретичними та експериментальними результатами інших авторів. Основні положення і висновки дисертації добре обґрунтовано і достатньо повно доведено.

Практична цінність отриманих результатів.

Отримані результати є корисними для спеціалістів в області фізики твердого тіла і фізичного матеріалознавства, що працюють над створенням і дослідженням нанокристалічних металів і сплавів з високим рівнем механічних характеристик і термічною стійкістю. Крім того, результати роботи мають значущість для розвитку теорії низькотемпературної міцності та пластичної деформації НК матеріалів, зокрема, важливих в прикладному відношенні металів з ГЩУ кристалічною ґраткою.

Повнота викладення основних наукових і практичних результатів в опублікованих роботах. Завершеність і стиль викладення.

Основні результати роботи Ю.М. Погрібної викладено в 6 статтях у фахових вітчизняних та зарубіжних наукових журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних. Результати досліджень були представлені на 13 міжнародних наукових конференціях і опубліковані в збірниках тез і матеріалів конференцій. У дисертації отримано ряд нових результатів, надано їх інтерпретацію і узагальнення. Дисертація є завершеною науковою працею, написана хорошою науковою мовою і оформлена відповідно існуючим вимогам.

Зміст автореферату дисертації досить повно та об'єктивно відображає зміст основних положень і структуру дисертаційної роботи.

Тема роботи та суть її наукових результатів повністю відповідають паспорту спеціальності 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Зауваження до змісту дисертації та автореферату.

1. В тексті зустрічаються деякі орфографічні, стилістичні, пунктуаційні неточності, зокрема: поряд зі скороченнями розмірності на кирилиці зустрічаються греко-латинські; тези конференцій → тези конференцій (с.16, автореферат); в підпису до рис. 1.7 вказано, що позначки (а) і (b) відповідають інженерним і дійсним кривим розтягу зразків, тоді як наведено тільки один вид кривих; дані системного вивчення → дані систематичного вивчення (с.9 автореферату).

2. Часто-густо в тексті використовується вислів «при температурі рідкого азоту», тобто при $T=77\text{ K}$, стосовно температури зразка при деформації прокаткою. У той же час в п.2.2 доведено, що температура зразка може перевищувати температуру рідкого азоту до $\sim 11\text{ K}$.

3. В посиланнях 13 та 14 в Додатку «А» дисертації і в списку опублікованих праць за темою дисертації в авторефераті не вказано, що «Сучасні проблеми фізики металів і металічних систем» є міжнародна конференція.

4. На с.70 йдеться (з посиланням на рис.3.7 і табл.3.1) про те, що при ступенях деформації $e=0,9-3$ подальша зміна середнього розміру кристалітів не

спостерігається. Але, як видно з табл.3.1, розмір ОКР при $e=0,9$ складає 60 нм и збільшується до 73 нм (тобто на 20%) при $e=1,6$. Середній розмір зерен також виявляє локальний максимум при $e=1,6$. Цей результат потребує пояснення.

5. У висновку 4 до розділу 3 написано: «Показано ефективність методу кріомеханічної фрагментації зерна (КМФЗ) для отримання об'ємного нанокристалічного титану (цирконію) та інших ГЩУ металів». Таке формулювання є не зовсім коректним. В дисертації це доведено тільки для титану. Застосування великих пластичних деформацій при низьких температурах для отримання інших ГЩУ металів і сплавів в нанокристалічному стані досліджувалось іншими авторами, зокрема, в ННЦ ХФТИ стосовно цирконію і його сплавів.

6. За результатами досліджень, наведеними в розділі 5, визначена температурна межа термічної стабільності (нижче $T \sim 450$ °С) наноструктурного стану, сформованого кріомеханічною фрагментацією зерна, що відображено в пункті «Наукова новизна отриманих результатів». На мій погляд, цей важливий результат потрібно було б винести в основні висновки роботи.

Проте зазначені зауваження та рекомендації не стосуються суті вирішеного завдання і не впливають на високу оцінку дисертаційної роботи в цілому.

За актуальністю, новизною, рівнем представлених наукових результатів і їх практичною значущістю дисертація «Механізми формування та мікроструктурні характеристики нанокристалічного стану титану, отриманого кріодеформацією» відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, а її авторка – Погрібна Юлія Михайлівна, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент
завідувач відділу фізики твердого тіла
і конденсованого стану речовини
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України
доктор фізико-математичних наук

Соколенко В.І.

Підпис засвідчую:

Заст. генерального директора



Карнаухов І.М.