

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

СМОЛЯНЦЯ Руслана Володимировича

«Механізми пластичної деформації нанокристалічного титану,

отриманого кріомеханічною фрагментацією зерна»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла

Актуальність теми. Дослідження фізико-механічних властивостей нанокристалічних та ультрадрібнозернистих матеріалів є одним з важливих напрямків сучасної фізики твердого тіла, про що свідчить широке відображення цього напрямку в тематиці наукових конференцій і велика кількість публікацій в журналах. Одержання та інтерпретація експериментальних даних про особливості поведінки характеристик міцності і пластичності цих матеріалів в широкій області температур, включаючи низькі, має не тільки велике наукове, а й прикладне значення, враховуючи перспективи застосування, зокрема, ГЦУ металів і сплавів як конструкційних і функціональних матеріалів для кріогенної техніки, медицини, аерокосмічній та інших галузей промисловості.

У зв'язку з цим, дисертаційна робота Смолянці Р.В., в якій проведено комплексне дослідження закономірностей і механізмів пластичної деформації в інтервалі температур 4,2-395 К об'ємного нанокристалічного титану технічної чистоти з моно- і гетерогенної (бімодальною) мікроструктурою, отриманого з застосуванням інтенсивної пластичної деформації (ПД) прокаткою при низьких (≈ 77 К) температурах і подальшого відпалу при помірних і підвищених температурах, безумовно, є актуальною.

Актуальність дисертації підтверджує перелік держбюджетних НДР (№№ державної реєстрації 0112U002638, 0110U006594, 0115U001160, 0118U003109) та молодіжний грант НАН України (№ 0111U007047) в рамках виконання яких в відділі фізики реальних кристалів ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України протягом 2010-2020 рр. здобувачем було одержано основні наукові результати.

Структура дисертації, основні наукові і практичні результати і їх новизна. Дисертація Смолянці Р.В. структурована у традиційний спосіб, та складається з анотації державною та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел (207 найменування), а також додатків зі списком праць, що опубліковано за темою дисертації, та відомостей про апробацію результатів дисертації. Оригінальні розділи (3-5) містять особисті короткі висновки. Робота викладена на 141

друкованих аркушів, містить 47 рисунків та 9 таблиць. Список літературних джерел досить повно відображає сучасний стан проблеми, якій присвячена дисертація.

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної дисертаційної теми, сформульовані її мета, наукова новизна і практична цінність, наведені дані про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи і ін.

Перший розділ «Наноструктурні метали: закономірності пластичної деформації (огляд літератури)» містить літературні дані що до існуючих методів отримання об'ємних наноструктурних матеріалів, впливу субмікронного та наномасштабного розміру зерна на їх фізико-механічні властивості. Проаналізовані проблемні питання покладені в основу завдання дисертаційного дослідження.

В **другому розділі** «Об'єкт та методика проведення досліджень» представлено характеристики матеріалу, що досліджувався (титан ВТ1-0), методу отримання НК стану та обладнання для дослідження структури і визначення густини і механічних властивостей зразків.

В **третьому розділі** «Характеристики міцності нанокристалічного титану» викладено результати порівняльних досліджень в інтервалі температур 4,2-395 К характеристик міцності титану в залежності від розміру зерна в діапазоні 2 мкм – 35 нм. Проаналізовано механізми зернограничного зміцнення для різних діапазонів розміру зерна і температурних інтервалів.

В **четвертому розділі** «Деформаційне зміцнення та резерв пластичності нанокристалічного титану» розглянуто вплив розміру зерна в нанометровому діапазоні на локалізацію пластичної деформації, пластичність, деформаційне зміцнення і швидкісну чутливості деформуючого напруження в інтервалі температур 4,2–293 К. Проаналізовано мікроструктурний аспект проблеми, що дозволяє визначити основи реалізації підвищення низькотемпературного резерву пластичності НК титану.

П'ятий розділ «Кінетика пластичної деформації НК титану» містить результати аналізу в рамках існуючих моделей термоактивної пластичної деформації результатів експериментальних досліджень механічних характеристик титану при зменшенні розміру зерна до нанометрових значень при мономодальному розподілі за розмірами.

Наукова новизна. Основні результати дисертації отримані здобувачем вперше та в повній мірі відображені в опублікованих роботах. На мій погляд, найбільш важливими результатами дисертації, що складають її наукову новизну, є такі.

1. З застосуванням ПІД прокаткою при 77 К і відпалу вперше отримано нанокристалічні зразки титану ВТ1-0 з різними типами розподілу зерен за розмірами і знайдено залежності

механічних характеристик від температури в області 4,2-395 К та розміру зерна в діапазоні 35 нм - 2 мкм.

2. Виявлена низькотемпературна особливість зернограничного зміцнення НК титану у виді збільшення абсолютного значення показника ступеню в співвідношенні Холла-Петча у порівнянні з його класичним значенням, що пов'язується з появою залежності діаметра дислокаційної петлі зернограничного джерела від розміру наномасштабованого зерна.

3. Встановлено, що в НК титані з мономодальною зеренною структурою внутрішні напруження визначається виключно розміром зерна на противагу ВЗ зразкам, де такі напруження обумовлені як розміром зерна, так і внутрішньозеренною субструктурою,

4. Вперше в об'ємному НК титані при квазістатичному розтягуванні виявлено динамічне зростання розміру зерен від суб- до мікрометрових значень і такий процес має атермічну (зсувну) природу.

Практичне значення отриманих результатів. Результати досліджень поглиблюють уявлення щодо до закономірностей формування з застосуванням сполучення низькотемпературних деформаційних впливів і відпалів структурно стану і фізико-механічних властивостей металів з ГЩУ кристалічною ґраткою. Значний науковий і прикладний інтерес мають дані про взаємозв'язок в ланцюгу: умови одержання НК титану – характеристики структурного стану – характеристики міцності і пластичності, що є важливим для перспектив створення титанових матеріалів з потрібним рівнем експлуатаційних характеристик для виробів різного призначення.

Отримані результати також будуть корисними для фахівців в області низькотемпературної фізики міцності і пластичності субмікросталічних і наноструктурних металів і сплавів.

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

За достовірність результатів і аргументованість сформульованих висновків дисертації свідчить вельми велика кількість експериментальних і розрахункових даних, одержаних при комплексних дослідженнях дефектного стану, механічних властивостей і механізмів пластичної деформації нанокристалічного титану з застосуванням апробованих експериментальних методів, використанням сучасних обладнання і приладів, відомих теоретичних уявлень.

Основні наукові положення та висновки сформульовані в дисертації є обґрунтованими. Отримані в роботі дані узгоджуються з результатами досліджень, представленими в науковій літературі.

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

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 7 наукових працях у провідних фахових журналах і 20 тезах доповідей в збірниках міжнародних наукових 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 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, фізико-математичні науки.

Зауваження що до змісту роботи.

1. З першого абзацу розділу 2 випливає, що в літературі фактично відсутні дані стосовно фізико-механічних властивостей НК металів з ГЩУ кристалічною ґраткою, зокрема титану і цирконію. З цим неможна погодиться. Навожу приклади. Дані щодо НТ титану з розміром зерна 80 нм опубліковано в Acta Mater. **61**,167(2013). Результати досліджень НК цирконію і його сплавів, проведених в ННЦ ХФТІ в останні роки, опубліковано в журналах: ВАНТ. №4,108 (2011); ВАНТ. №1, 41 (2016); ВАНТ. №4, 79 (2017); Funct. Mater. **25**,48(2018); ВАНТ. №1,91 (2020).
2. В першому абзаці на с.64 йдеться про те, що відпал при 723 К призводить до утворення ~15% зерен субмікронного розміру $d=100-400$ нм. У той же час на рис.2.4б наведена гістограма розподілу ОКР, що містить верхню граничну межу $d=200$ нм.
3. Робота мала б більш довершений характер у частині створення та дослідження бімодального структурного стану НК титану, якщо б було застосовано різні температурно-часові режими відпалів в околиці 723 К. Це дало б можливість оптимізувати характеристики міцності і пластичності, що є важливим, зокрема, для практичного застосування. Таке зауваження є, скоріш, побажанням при продовженні досліджень НК титану.
4. В тексті і підпису до табл.3.2 слід було б вказати величину критичного розміру зерна, що розмежує різні залежності типу Холла-Петча.
5. В тексті дисертації є певні неточності та помилки оформлення, зокрема:
 - с.75: в першому абзаці наведено значення динамічного модуля зсуву $E \approx 115$ ГПа і 108 ГПа зразків в вихідному стані і після відпалу, відповідно, що відповідає $\Delta E \approx 7$ ГПа. Далі по тексту: «Аналогічний результат, але вдвоє менший ($\Delta E \approx 2$)». → «Аналогічний результат, але втричі менший ($\Delta E \approx 2$ ГПа)».
 - сс.93 і 99: на полях рис.4.1 і рис.4.3 не наведено літери, що вказують на значення температур випробування зразків;

- с.95: «домішка занурення» → «домішка впровадження»;
- в тексті автореферату і дисертації часто-густо використано словосполучення «при квазістатичному розтязі». В науковій літературі використовується словосполучення «при квазістатичному розтягуванні».

Зазначені зауваження не стосуються сутності роботи, основних висновків та наукових положень, що виносяться на захист, і не впливають на високу оцінку дисертації здобувача.

В якості загальної оцінки дисертації вважаю, що за актуальною, новизною, рівнем та достовірністю отриманих наукових результатів та їх практичною значущістю дисертаційна робота «Механізми пластичної деформації нанокристалічного титану, отриманого кріомеханічною фрагментацією зерна» відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пунктів 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Смолянець Руслан Володимирович, безумовно, 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.

ЗАСВІДЧУЮ
Учений секретар
ННЦ ХФТІ

30 " 04

