

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

РУСАКОВОЇ Ганни Вікторівни

«Низькотемпературні мікромеханічні властивості

нових ультрадрібнозернистих і наноструктурних матеріалів»,

яка подана до захисту на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Дисертація присвячена вирішенню **актуальної** наукової задачі, спрямованої на з'ясування фізичних механізмів низькотемпературної пластичної деформації та руйнування представників двох важливих класів консолідованих наноструктурних матеріалів – фулериту C_{70} і нанокристалічного титану, виготовленого методом кріовальцювання, а також ультрадрібнозернистих сплавів Al-3,8 ат.% Li та AZ31 (Mg-Al-Zn), отриманих за допомогою різних способів інтенсивної пластичної деформації. Можливість практичного використання наноматеріалів обумовила інтенсивне дослідження їх механічних характеристик. В даній роботі методом мікроіндентування вивчено основні закономірності мікропластичності зазначених об'єктів в інтервалі температур 77-300 К.

Практичне значення роботи та наукова новизна результатів дослідження визначаються вперше отриманими даними про механізми низькотемпературної пластичності монокристалів C_{70} , а також успішним застосуванням методу мікроіндентування для вивчення однорідності та стійкості структури сучасних перспективних нанокристалічних та ультрадрібнозернистих матеріалів. Слід окремо відзначити, що результати, одержані при вивченні фулериту C_{70} , є принципово новими, оскільки на момент початку даної роботи були відсутні будь-які відомості про низькотемпературну пластичність цього кристала, в той час як механічні властивості його найближчого «сусіди» - фулериту C_{60} було вивчено досить детально. Про **актуальність, наукову і практичну значимість теми** дисертації свідчить також те, що дисертаційне дослідження Г.В. Русакової було складовою частиною держбюджетних науково-

дослідних робіт в рамках тематичних планів за відомчими темами Національної академії наук України: тема «Нові закономірності і механізми непружної деформації твердих тіл в умовах помірного та глибокого охолодження» (номер держреєстрації 0107U000943, термін виконання 2008-2012 рр.), тема «Фізико-механічні властивості нанокристалічних, ультрадрібнозернистих та аморфних твердих тіл в умовах низьких та наднизьких температур» (номер держреєстрації 0112U2638, термін виконання 2012-2014 рр.), тема «Дослідження закономірностей та механізмів низькотемпературної деформації сучасних структурно модифікованих матеріалів» (номер держреєстрації 0115U001160, термін виконання 2015-2017 рр.); комплексний науковий проєкт «Квантові явища в наносистемах та наноматеріалах при низьких температурах» (номер держреєстрації 0110U00685, термін виконання 2010-2014 рр.), проєкт за темою «Дослідження механізму керованого формування об'ємного нанокристалічного стану титану з метою розроблення фізичних основ технологій виготовлення нових функціональних матеріалів» в рамках ДЦНТП «Нанотехнології та наноматеріали» (номер держреєстрації 0110U006594, термін виконання 2010-2014 рр.). Крім того, роботу було виконано в рамках молодіжного гранту НАН України «Експериментальне дослідження стабільності структурного стану і фізико-механічних властивостей нанокристалічного титану, одержаного кріомеханічною обробкою» (номер держреєстрації 0111U007047, термін виконання 2011-2012 рр.).

Робота виконана з використанням монокристалів C_{70} , нанокристалічного титану різної чистоти, одержаного вальцюванням при температурі ~ 77 К, і сплавів Al-Li та AZ31, які були піддані інтенсивній пластичній деформації методами гідроекструзії (Al-Li) та рівноканального кутового пресування. Після цих процедур зазначені зразки мали ультрадрібнозернисту структуру. Для досліджень були використані методи оптичної мікроскопії і мікроінденування при кімнатній температурі за допомогою твердоміра ПМТ-3 та спеціального низькотемпературного твердоміра для вимірювань твердості в ін-

тервалі температур 77-300 К. Аналіз одержаних результатів проведено на основі сучасних уявлень стосовно процесу взаємодії жорсткого індентора і твердого тіла та дислокаційного механізму пластичної деформації.

В дисертації отримано **нові важливі результати** щодо механічних властивостей вивчених наноматеріалів (фулерит C_{70} і нанокристалічний титан) та ультрадрібнозернистих сплавів (AZ31 та Al-Li), які у висновках представлені скомпонованими в кількох групах тематично об'єднаних наукових положень. Цей оптимальний з інформаційної точки зору формат подачі результатів роботи дозволив Г.В. Русаковій компактно сформулювати наступні узагальнюючі пункти, які доцільно перерахувати у відгуку:

I. Механізми пластичної деформації наноматеріалів.

1. Встановлено, що пластична деформація гексагональних щільноупакованих кристалів фулериту C_{70} реалізується в результаті руху дислокацій в системі ковзання $(0001)[11\bar{2}0]$.

2. Показано, що дислокаційний механізм деформації полікристалів титану VT1-0 зберігається до найменших (~ 35 нм) розмірів зерен, а основними перешкодами для руху дислокацій, незалежно від розміру зерна, є локальні дефекти.

II. Аномалії в точці фазового перетворення.

В кристалах фулериту C_{70} вперше виявлено особливість у вигляді зламу на температурній залежності мікротвердості поблизу температури фазового перетворення, обумовлену впливом орієнтаційного впорядкування молекул C_{70} на рухливість дислокацій.

III. Локалізація деформації як причина низької пластичності ультрадрібнозернистих (УДЗ) і нанокристалічних (НК) матеріалів.

Встановлено, що причиною сильної локалізації деформації зразків НК титану та УДЗ сплаву Al-Li, деформованих розтягом при температурах $T \geq 295$ К, є відсутність деформаційного зміцнення матеріалу.

IV. Анізотропія мікропластичної деформації.

1. Встановлено та детально вивчено первинну, пов'язану зі структурою кристалічної ґратки, анізотропію мікротвердості монокристалів C_{70} . Виявлено ослаблення анізотропії зі зниженням температури, що вказує на збільшення ролі інших, додаткових до основної, систем ковзання.

2. Методом мікроіндентування вивчено вторинну анізотропію механічних властивостей досліджених УДЗ і НК матеріалів, обумовлену формуванням текстури в процесі їх приготування. При подрібненні зерна методом рівноканального кутового пресування (РККП) у сплаві AZ31 формується текстура, сприятлива для базисного ковзання, що критично впливає на механічні характеристики УДЗ зразків.

V. *Розмірні ефекти в пластичності* є наслідком наявності значних градієнтів деформації, обумовлених спеціальними способами навантаження або неоднорідністю структури досліджуваного матеріалу.

1. Показано, що залежність мікротвердості від розміру відбитка (розмірний ефект при індентуванні) для всіх досліджених металічних зразків обумовлена суперпозицією двох ефектів: градієнтом мікромеханічних властивостей в поверхневому шарі та утворенням геометрично необхідних дислокацій, що забезпечують формування відбитка.

2. На залежності мікротвердості титану VT1-0 від розміру зерна в координатах Холла-Петча виявлено два лінійних відрізки з нахилами, які суттєво відрізняються один від одного. На першому відрізку (розмір зерна ≥ 250 нм) пластичну деформацію полікристалічного титану контролює двійникування (високий коефіцієнт Холла-Петча), на другому відрізку – пірамідальне ковзання (низький коефіцієнт Холла-Петча).

3. Зафіксовано аномальний вплив розміру зерна на мікротвердість в сплаві AZ31: очікуване зміцнення при зменшенні розміру зерна повністю компенсується знеміцненням, обумовленим текстурою, що формується в УДЗ матеріалі в результаті його виготовлення методом РККП.

Слід зазначити, що дисертаційна робота та одержані в ній наукові та практичні результати є **суттєвою складовою** досліджень, що проводяться у відділі фізики реальних кристалів ФТНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України; низку важливих результатів Г.В. Русакова одержала **вперше**. **Достовірність** результатів дисертації не викликає сумнівів. Виконане дисертаційне дослідження свідчить про зрілість автора як науковця.

Основні результати дисертаційної роботи Г.В. Русакової опубліковано в 29 наукових працях. З них 6 статей опубліковано у провідних фахових наукових виданнях. Зміст автореферату дисертації Г.В. Русакової повно і об'єктивно відображає зміст основних положень тексту дисертації.

Кандидатська дисертація Г.В. Русакової - завершене наукове дослідження, виконане на високому науковому рівні. Тема дисертаційної роботи і зміст її наукових і практичних результатів повністю відповідає паспорту спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Критичні зауваження.

1. У розділі I (Огляд літератури) автору слід було б приділити більше уваги результатам робіт, присвячених дослідженню механічних властивостей ультрадрібнозернистих полікристалів.
2. У тексті дисертації наведені оцінки активаційних параметрів пластичної деформації в зоні відбитка індентора, отримані з використанням для структурно подібних полікристалів двох різних теоретичних формул, а саме - лінійної і нелінійної залежності енергії активації від механічного напруження. З точки зору сучасних уявлень дислокаційної фізики пластичності про механізми деформації в цих матеріалах обґрунтованою є нелінійна залежність.
3. Розмірний ефект при індентуванні дисертант виявила як у металічних зразках, так і в кристалах фулериту C_{70} . Цю особливість стосовно фулериту необхідно було б підкреслити та прокоментувати.

Ці зауваження не ставлять під сумнів основні наукові і практичні результати і не впливають на позитивну і високу оцінку дисертації в цілому. Вона є **оригінальним, завершеним і науково обґрунтованим** внеском у фізику твердого тіла. За актуальністю, об'ємом проведених досліджень, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової і практичної значущості одержаних результатів дисертація Русакової Г.В. «Низькотемпературні мікромеханічні властивості нових ультрадрібнозернистих і наноструктурних матеріалів» є завершеною науковою працею. Вона у повній мірі задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (Постанова КМУ від 24.07.2013 № 567), зокрема, його пп. 9, 11, 12, а також вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор Русакова Ганна Вікторівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла, фізико-математичні науки.

Офіційний опонент

доктор фіз.-мат. наук,

професор

Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна



Ю.І. Бойко

Підпис Ю.І. Бойко зазначають

Учений секретар

ХНУ ім. В.Н. Каразіна

