

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Русаковой Ганни Вікторівни

«Низькотемпературні мікромеханічні властивості нових ультрадрібнозернистих і наноструктурних матеріалів», представленої на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

(спеціальність 01.04.07 - фізика твердого тіла)

**1. Актуальність теми дисертації.** Вивчення закономірностей і механізмів пластичної деформації ультрадрібнозернистих (УДЗ) і нанокристалічних (НК) матеріалів, що характеризуються поліпшеними, в порівнянні з крупнокристалічними аналогами, фізико-механічними властивостями, зокрема, істотно більш високою міцністю, є однією з важливих задач фізики твердого тіла. Отримання експериментальних даних про встановлення можливостей забезпечення поєднання високої міцності і достатньої пластичності УДЗ і НК металів і сплавів має не тільки велике наукове, а й прикладне значення, з огляду на перспективу експлуатації їх, як конструкційних матеріалів, в умовах низьких і помірно низьких температур. У зв'язку з цим, є актуальними і важливими здійснені в дисертації дослідження низькотемпературних мікромеханічних властивостей нових УДЗ і НК металевих матеріалів, а також нового вуглецевого матеріалу - фулериту  $C_{70}$ , побудованому з нанометрових молекул фулерену  $C_{70}$ .

Актуальність дисертації підтверджує перелік держбюджетних тем, включаючи молодіжний грант НАН України, виконаних у відділі фізики реальних кристалів ФТІНТ НАН України, в рамках яких здобувачем були отримані основні наукові результати.

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

Дисертація Г.В. Русаковой включає анотацію українською та англійською мовами і складається зі вступу, шести розділів, висновків і списку використаних джерел.

У вступі автором визначені предмет і об'єкт дослідження, показано зв'язок з НДР, учасником яких вона була, наведені дані про публікації та апробацію результатів дисертаційної роботи і ін.

**Розділ 1** містить опис структури, механічних властивостей в області низьких і помірно низьких температур, механізмів пластичної деформації фулериту  $C_{60}$  - найближчого «родича» фулериту  $C_{70}$ . Відзначено відсутність даних про низькотемпературні механічні властивості фулериту  $C_{70}$  на момент початку досліджень в рамках дисертації. У цьому розділі також представлені і проаналізовані особливості механічної поведінки НК металів і сплавів, теоретичні моделі пластичної деформації і зміцнення. З наданої інформації випливає, що основні експериментальні дані отримані на НК і УДЗ металах з ГЦК ґраткою, і це визначає необхідність розширення кола матеріалів і обґрунтовує доцільність дослідження в дисертації НК і УДЗ металів і сплавів з ГЦУ ґраткою.

У **розділі 2** описані об'єкти досліджень - металеві НК і УЗД матеріали з різним типом ґратки (ГЦУ - титан 3-х ступенів чистоти, магнієвий сплав AZ31 і ГЦК - сплав Al-3,5 ат.% Li), отримані із застосуванням методів криодеформації прокаткою, термомеханічної обробки, прямої і рівноканальної екструзії, рівноканального кутового пресування, а також монокристали фулериту  $C_{70}$ . Розділ містить докладний опис основної методики досліджень – мікроіндентування в температурному інтервалі 77-350 К. Представлені результати досліджень монокристалів фулериту  $C_{70}$  і зазначених вище нових металевих НК і УДЗ матеріалів, що свідчить про ефективність застосування мікроіндентування для характеризування їх властивостей.

**Розділи 3-6** містять результати систематичних досліджень низькотемпературних мікромеханічних властивостей монокристалів фулериту  $C_{70}$  і нових металевих НК и УДЗ матеріалів.

Серед найбільш значущих результатів, здобутих в дисертації, слід відзначити наступні:

1. Отримано нові дані про мікромеханічні властивості монокристалів фулериту  $C_{70}$ . Показано, що система ковзання  $(0001)[11\bar{2}0]$  є основною в інтервалі температур 77-350 К. На температурній залежності мікротвердості виявлений перелом при  $T=276$  К, що відповідає температурі орієнтаційного фазового переходу «деформована ГЦУ ґратка - моноклінна ґратка». Спостережувана сильна температурна залежність мікротвердості при  $T < 276$  К пов'язується з динамічною взаємодією дислокацій з термічно активованими обертальними станами молекул  $C_{70}$ .

2. Вперше визначено та проаналізовано температурні залежності міротвердості і анізотропії мікротвердості титану різної чистоти по домішках впровадження і розміру зерна в межах 10-35 нм. Показано, що в НК титані деформація здійснюється ковзними дислокаціями і контролюється їх взаємодією з локальними перешкодами типу дислокацій лісу, атомами домішок або їх комплексами.
3. Для титану VT1-0 встановлено білінійний характер залежності мікротвердості від середнього розміру  $d$  зерна в координатах Петча-Холла, що зумовлено переважним внеском в деформацію двійникування для  $d \geq 250$  нм і дислокаційного ковзання для  $250 > d \geq 35$  нм.
4. Встановлено, що для УЗД зразків сплаву Al-3,8 ат.% Li, деформованих розтягуванням до руйнування при  $T \geq 295$  К, на відміну від деформації при 77 і 4,2 К, відсутня кореляція локальної деформації і мікротвердості, що пов'язується з пригніченням деформаційного зміцнення внаслідок активізації динамічного повернення.

**Наукова значущість** отриманих результатів полягає в тому, що вони розширюють область експериментальних даних що до мікромеханічних властивостей нових УДЗ і НК матеріалів і є цінними для розвитку теорії низькотемпературної пластичності; дані про мікропластичність фулериту  $C_{70}$  є основою для розвитку теоретичних моделей руху дислокацій і руйнування таких матеріалів.

**Практичне значення** полягає у визначенні ефективності використання методу вимірювання мікротвердості як експресного для одержання оцінки рівня міцності і запасу пластичності, а також анізотропії цих властивостей для нових УДЗ і НК матеріалів, що дозволяє оптимізувати режими термомеханічних обробок для отримання потрібних експлуатаційних характеристик.

**Обґрунтованість наукових положень і рекомендацій**, сформульованих в дисертації, забезпечена використанням в експериментах стандартних вимірювальних приладів, апробованих методик досліджень мікромеханічних властивостей і структури. Слід також зазначити, що автор володіє основами фізичної теорії міцності і пластичності і використовує свої знання при аналізі та інтерпретації експериментальних даних.

Результати дисертації своєчасно і повному обсязі опубліковані в 6 статтях у провідних спеціалізованих наукових журналах. Матеріали дисертації апробовані і

обговорювалися на міжнародних наукових конференціях і викладені в 23 тезах доповідей. У дисертації отримано ряд нових результатів, надано їх інтерпретація і узагальнення. Дисертація написана хорошою науковою мовою і оформлена відповідно до вимог ДАК України. Автореферат повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, правильно відображає її основні положення. Тема дисертаційної роботи і сутність її наукових результатів відповідають паспорту спеціальності 01.04.07 - фізика твердого тіла.

#### **Зауваження щодо змісту дисертації та автореферату.**

Робота в цілому виконана на високому науковому рівні, однак, при читанні дисертації і автореферату виникає деякі зауваження.

#### Дисертація

1. На рисунках 1.11 і 1.13 не вказані літерні позначення згідно з підписами.
2. У підписі до рис.1.29 використаний термін «потрійна точка». Правильно – «потрійний стик».
3. В підписі до рис.1.31 використана фраза « ... деформація перебігала всередині зерен ...». Правильно, наприклад, - « ... деформація протікала всередині зерен ...».
4. Начало с.85: « ... Торр та залютували». Очевидно – «... загартували».
5. У тексті зустрічається розділення величини і її розмірності (кінець одного рядка і початок наступного, відповідно).
6. Табл.2.1. Домішки слід позначати як хімічні елементи: O, N, H.
7. На рис.3.4, рис.3.5, рис.4.7, рис. 5.7 не наведено вуси.
8. В підписі до рис.3.6, на відміну від рис.3.5, не зазначено навантаження на індендор.
9. Висновок 1 до розділу 3 фактично відповідає другому абзацу на с.85 розділу 2.
10. У кінці абзацу 3 на с.126 відзначено, що для однозначного з'ясування неоднаковості механічних властивостей титану на поверхні та в об'ємі потрібні додаткові дослідження. Слід відзначити, що в роботі, опублікованій в журналі ФНТ (1993, Т.19, №10, с.1077), досліджено вплив послідовного стоншення електрополіровкою на електрофізичні властивості монокристалічного ніобію, деформованого прокаткою при 20 К на велику ступінь. При стоншуванні було встановлено немонотонну зміну температури надпровідного переходу зразка внаслідок зміни епюри макропружень (стиску в центральній частині і розтягу в

приповерхневих шарях). Є всі підстави враховувати наявність макронапружень при аналізі відмінностей мікротвердості на поверхні і в об'ємі НК зразків отриманих кріопрокаткою.

11. Коментарі до рис.5.8. Для зразка титану, що відпалювався, не наведено величини мікротвердості що до розмірів зерна  $0,225 < d^{1/2} < 0,125 \text{ нм}^{-1/2}$ . Не приведені вуси, що характеризують розкид вимірювань мікротвердості  $\Delta H_V$ . Однак для зразка, деформованого кріопрокаткою, зіставляючи наведені на рисунку для  $d^{1/2} \approx 0,17 \text{ нм}^{-1/2}$  значення  $H_V$  ( $\approx 2,67 \text{ МПа}$  і  $\approx 2,83 \text{ МПа}$ ), можна оцінити  $\Delta H_V \approx 0,16 \text{ МПа}$ . Якщо для зразка, у якого розмір зерна змінювався відпалами, доповнити експериментальні точки вусами, відповідними  $\Delta H_V \approx 0,16 \text{ МПа}$ , то можна було би бачити, що нахил лінійної залежності  $H_V(d^{1/2})$  для  $0,125 \leq d^{1/2} \leq 0,17 \text{ нм}^{-1/2}$ , побудованої з урахуванням вусів, буде близько відповідати нахилу  $k_{HP2}$  для зразка BT1-0 в області НК стану, одержаного кріопрокаткою, що доцільно враховувати при інтерпретації залежностей  $H_V(d^{1/2})$  деформованого і відпаленого зразків.

12. Бажано було б надати дані про характеристики міцності і пластичності НК і УДЗ зразків, попередньо деформованих розтягування до розриву, на яких проводились дослідження мікромеханічних властивостей.

#### Автореферат

Рис.1 в розділі 3, що ілюструє морфологію кристалів  $C_{70}$ , в дисертації представлений як рис.2.2 в розділі 2.

Зазначені зауваження не стосуються суті вирішеного завдання і не впливають на загальну високу оцінку дисертації в цілому. Дисертаційна робота Г.В.Русаковой є цілісною і завершеною науковою працею, що містить оригінальні й важливі результати з таких актуальних проблем сучасної фізики твердого тіла, як механізми пластичної деформації наноматеріалів, аномалії в точці фазового переходу, локалізація деформації як причина низької пластичності, розмірні ефекти в пластичності і ін.

Враховуючи актуальність теми дисертації, значний об'єм проведених досліджень, цінність та обґрунтованість одержаних наукових результатів і їх практичну значущість, вважаю, що рецензована дисертація «Низькотемпературні мікромеханічні властивості нових ультрадрібнозернистих и наноструктурних матеріалів» цілком

відповідає вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор - Русакова Ганна Вікторівна, безумовно, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,

завідувач відділу фізики твердого тіла

і конденсованого стану речовини

інституту фізики твердого тіла,

матеріалознавства і технологій

ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

НАН України



В.І. Соколенко

