

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Корнійця Анатолія Васильовича «Низькотемпературні акустичні та пружні властивості чистого гафнію, цирконію і аморфних сплавів на основі цирконію», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

В центрі уваги сучасного фізичного матеріалознавства знаходиться ціла низка матеріалів, які одержані з використанням нових технологій і відрізняються від традиційних матеріалів більш складною структурою і морфологією. До них, перш за все, слід віднести наноструктурні (НС) та ультрадрібнозернисті (УМЗ) метали і сплави, металеві стекла (МС), високоентропійні сплави (ВЕС). Неабиякий інтерес при цьому прикутий до вивчення низькотемпературних механічних властивостей цих матеріалів, що пов'язано з двома обставинами. По-перше, пружна та непружна деформація і руйнування нових матеріалів в умовах низьких температур та фізичні механізми, що їх визначають, мають свою специфіку у порівнянні з традиційними матеріалами, проте досі залишаються слабо вивченими. По-друге, значна кількість з них відзначається унікальними технологічними і експлуатаційними характеристиками і тому може бути використана в якості перспективних конструкційних матеріалів для кріогенної техніки. Це робить дослідження нових матеріалів цікавими також у в прикладному відношенні. У цьому контексті, тема дисертаційної роботи Корнійця А.В., присвяченої комплексному дослідженню низькотемпературних пружних та непружних властивостей чистих металів гафнію та цирконію у різних структурних станах, двох аморфних сплавів на основі цирконію та високоентропійного сплаву $Al_{0,5}CoCrCuFeNi$, виглядає, безумовно, **важливою і актуальною.**

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що результати дослідження одержані в ході виконання планових науководослідних робіт за відомчою тематикою, у яких Корнієць А.В. брав участь як відповідальний виконавець:

1. «Дослідження взаємозв'язку структури, сформованої із застосуванням інтенсивних пластичних деформацій і конденсації при кріогенних температурах, ультразвукових, термічних і магнітних дій, і фізико-механічних властивостей металів, сплавів і сполук, перспективних для використання в атомній енергетиці» (2008 р., номер держреєстрації 080901UP0009);

2. «Експериментальні та теоретичні дослідження впливу різних

фізичних полів (температурно-силових, радіаційних, магнітних, електричних) на формування структури і фізичних властивостей матеріалів атомної енергетики» (2015 р., номер держреєстрації 011U008994).

Для вирішення поставленого завдання автор застосовував сучасні, добре апробовані експериментальні методи досліджень: прецизійний імпульсний метод ультразвукової спектроскопії, рентгеноструктурні методи, електронну мікроскопію, лазерну мас-спектрометрію, оптичну мікроскопію і металографію. Експериментальні дані, отримані за допомогою різних методів, добре узгоджені як між собою, так і з сучасними уявленнями про розповсюдження та поглинання ультразвуку у конденсованому середовищі. Теоретичний аналіз одержаних результатів був проведений з використанням найбільш відомих та апробованих моделей фізики твердого тіла та фізичної акустики. Усе це стало запорукою **достовірності** отриманих результатів та **обґрунтованості** зроблених у дисертації висновків і рекомендацій.

Дисертаційна робота Корнійця А.В. містить низку **нових важливих** результатів, серед яких особливо слід відзначити наступні:

1. При аналізі температурних залежностей поглинання ультразвуку мегагерцевого діапазону частот (20-150 МГц) в інтервалі температур 78-300 К в аморфних сплавах на основі цирконію вперше запропонований новий механізм термоактивованої динамічної релаксації у твердому тілі, що зумовлений «міграцією» кластернограничних атомів у полі знакозмінних ультразвукових деформацій. В припущенні відгуку стандартного лінійного тіла (моделі Дебая) визначена енергія міграції ($E_m \sim 0,3$ еВ) атомів і показано, що така «міграція» може бути причиною високих значень коефіцієнта Пуассона і параметра Грюнайзена для досліджених аморфних сплавів.

2. Проведено аналіз пружних властивостей аморфних сплавів на основі фізичної моделі ефективної об'ємної упаковки кластерів з ікосаедричною симетрією атомного впорядкування; вперше показано, що, завдяки ефективному топологічному і композиційному впорядкуванню кластерів і наявності ковалентно-подібного хімічного зв'язку, величини пружних параметрів аморфних сплавів досить добре відповідають «правилу суміші». Виявлено, що легування сплаву $Zr_{55}Al_{10}Ni_5Cu_{30}$ на 1% Y призводить до зниження пружних характеристик у порівнянні з вихідною матрицею та підвищенню його пластичності.

3. В межах уявлень про ефективну об'ємну упаковку кластерів вперше визначений розмір області середнього впорядкування, який складає для сплавів $Zr_{41,2}Ti_{13,8}Cu_{12,5}Ni_{10}Be_{22,5}$ і $Zr_{52,5}Ti_5Cu_{17,9}Ni_{14,6}Al_{10}$, відповідно, 0,98 і 1,05 нм.

4. Вперше для чистого гафнія в інтервалі температур 78-300 К одержано

повний набір параметрів, які характеризують пружні властивості цього металу: незалежні компоненти тензорів пружності та пружної піддатливості, лінійна та об'ємна стисливість, коефіцієнт Пуассона, модулі Юнга і зсуву, об'ємний модуль всебічного стиснення; вперше визначені температурні залежності характеристичної температури Дебая, акустичного та термодинамічного параметрів Грюнайзена; в інтервалі температур 4,2-300 К вперше отримані дані лінійних і об'ємного коефіцієнтів теплового розширення.

5. При вивченні впливу температури на акустичні властивості чистого полікристалічного цирконію з розміром зерна 1-3 мм та фрагментованого методами інтенсивної пластичної деформації УДЗ полікристалу Zr із середнім розміром зерна ~ 270 нм було виявлено аномальне зростання ($\sim 7\%$) величини швидкості поширення поздовжніх ультразвукових хвиль в УДЗ цирконії, обумовлене аксіальною текстурою типу $\langle 001 \rangle$, що сформувалася під час ПД. Встановлено, що наявність текстури призводить до анізотропії швидкості поширення поздовжнього ультразвуку в УДЗ зразках Zr.

6. Виявлено, що зниження концентрації домішок в монокристалічному Hf-0,3% Zr призводить до зростання на 8-12 % величин компонент тензора пружності у порівнянні з менш чистим Hf-4,1% Zr внаслідок підвищення структурної досконалості кристалу. У мегагерцевому діапазоні частот у більш чистому гафнії вперше виявлено динамічний релаксаційний процес, який інтерпретований автором як динамічна дислокаційна релаксація Бордоні.

Результати дисертаційної роботи є **новими** і відповідають світовому рівню досліджень в галузі фізичного матеріалознавства. Їх **наукова значимість** полягає в тому, що вони доповнюють існуючі фундаментальні уявлення низькотемпературної фізики твердого тіла щодо механізмів пружної та непружної деформації, зокрема, істотно розширюють і поглиблюють уявлення про фізику механічних процесів у твердих тілах при низьких температурах.

Одержані в дисертаційній роботі довідкові дані про фізико-механічні властивості металів і сплавів в умовах глибокого охолодження можуть знайти **практичне застосування** при конструкторських розробках криогенної та космічної техніки. Вони можуть бути використані для прогнозування поведінки функціональних матеріалів в екстремальних умовах їх експлуатації, а також можуть бути закладені в наукову основу технологій створення нових сучасних матеріалів.

Основні результати дисертаційної роботи Корнійця А.В. **в повному обсязі й вчасно** опубліковані у 22 наукових працях, з них 8 наукових статей у фахових журналах та 14 – у збірках матеріалів та тез докладів міжнародних нау-

кових конференцій. Серед робіт, опублікованих за темою дисертації, немає публікацій ідентичних за змістом. Дисертаційна робота не містить ознак академічного плагіату.

Автореферат в цілому **повно** та **точно** відображає зміст дисертації.

По змісту та оформленню дисертації і автореферату належить зробити декілька **критичних зауважень**:

1. В розділі 3.4.6.2 при аналізі температурного спектру поглинання ультразвуку автор користується виразами (3.43) та (3.44) (стор. 128 і 129) для визначення енергій активації відповідних релаксаційних процесів. Слід відмітити, що вираз (3.43) може бути використаний виключно для релаксаційних процесів дебаєвського типу з єдиним часом релаксації. Крім того, величини T_1 і T_2 у виразі (3.43), а також пари величин T_1, f_1 і T_2, f_2 у виразі (3.44) не можуть відноситись до різних піків або їх компонент.

2. Контroversійним виглядає наведене у розділі 3.6 тлумачення піка поглинання в УДЗ зразках цирконію внеском коливань дислокацій нерівноважної зернограничної області. Цілком правдоподібно розглядати його як аналог низькотемпературного піка Бордоні у ГЦК кристалах, про що свідчить узгодження температури піка та частоти коливань з даними графіка Арреніуса, що були одержані в УМЗ цирконії у кілогерцевому діапазоні (Ватажук Е.Н., Пальваль П.П., Нацик В.Д. и др. ФНТ, **37**, 210 (2011)).

3. Текст дисертації містить невдалі та жаргонні вирази, наприклад:

- «підвищенням рухливості дислокацій внаслідок зменшення їх стопорів (домішкових атомів)» (стор. 24 та 168);
- «транспортного дьюару» (стор. 71);
- «дислокацій і продуктів їх делокалізації» (стор. 132);
- «протяжність піку внутрішнього тертя» (стор. 140);
- «Низькотемпературная и частотная зависимость коэффициента поглощения...» (стор. 173, назва тез) та ін.

4. У дисертаційній роботі зустрічаються помилки в написанні деяких слів (почасти, пов'язані з недосконалістю перекладу на українську мову), наприклад:

- «методом акустичного містка (який перебудовувався частотою)» замість «переналаштовувався» або «перестроювався» (стор. 23);
- «константант» замість «константан» (стор. 68);
- «дислокаційне тертя відчутне до напрямку вектора поляризації» замість «є чутливим» або «чутливе» (стор. 124);

- «східної гілки максимуму» замість «висхідної» (стор. 126);
- «Чувальдиев В.Н.» замість «Чувильдеев В.Н.» (стор. 185) та ін.

Зазначені зауваження, загалом, не знижують високої наукової та практичної цінності роботи Корнійця А.В.

Отримані результати можуть бути використані у фундаментальних наукових дослідженнях, що ведуться у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, ДонФТІ ім. А.А. Галкіна НАН України, Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Харківському Національному університеті ім. В.Н. Каразіна, Харківському Національному технічному університеті «ХПІ», та ін.

Вважаю, що дисертація є **закінченою науковою працею**, яка містить **нові обґрунтовані результати** проведених здобувачем досліджень. В дисертації, в цілому, виконані поставлені наукові завдання з комплексного дослідження низькотемпературних акустичних, структурних і теплофізичних властивостей низки актуальних для сучасного матеріалознавства металів і сплавів, вивчення впливу чистоти, структурної досконалості, інтенсивної пластичної деформації на їх пружні та непружні властивості в досить широкому інтервалі низьких температур, встановлення мікроскопічних механізмів низькотемпературної динамічної релаксації у вивчених металах. Проведені в роботі дослідження відповідають **паспорту спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла**.

На мою думку, дисертація Корнійця А.В. повністю відповідає вимогам МОН України, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, а також «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Корнієць Анатолій Васильович, заслуговує присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Завідувач відділу фізики реальних кристалів
Фізико-технічного інституту низьких температур
ім. Б.І. Веркіна НАН України,
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник

 Паль-Валь П.П.

