

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію В.О. Маца “Радіаційно-стимульовані процеси у наноструктурованих цирконію та  $Zr_{1}Nb$ ,  $Zr_{2,5}Nb$  сплавах під дією електронного опромінення”, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

### 1. Актуальність теми дисертації.

Створення радіаційно-стійких та міцних матеріалів, які б забезпечували довготривалу і надійну роботу реакторних конструкцій є одним із основних завдань матеріалознавства та фізики твердого тіла. Зауважимо, що зазначена проблема за останні роки досить інтенсивно досліджувалась, як теоретично, так і експериментально. Внаслідок чого з’явилися два різні підходи до створення нових реакторних матеріалів з необхідними фізико-механічними властивостями. Перший із яких полягав у створенні нових сплавів, а другий – в зміні властивостей традиційних реакторних матеріалів, зокрема крупнозернистих цирконій-ніобієвих сплавів шляхом модифікації їх структури. Останні сплави є особливо перспективним, оскільки вони мають високу радіаційну і термо-механічну стійкість, а також високу технологічність обробки виробів на їх основі. Вибір саме таких сплавів є цілком оправданим ще й тому, що характеристики їх структури і особливості процесів пластичної деформації раніше вже детально досліджувались. Наявні дані разом з новими отриманими результатами, можуть стати основою для розробки нових технологічних процесів та розвитку фізичних уявлень про механізми, що їх контролюють. Наразі, покращення експлуатаційних характеристик реакторних конструкцій пов’язують з необхідністю розробки методів формування наноструктурованих цирконій-ніобієвих сплавів. Очевидно, що перспективи широкого використання таких сплавів, цілковито залежать від коректного дослідження стійкості їх структури в умовах, близьких до експлуатаційних. В зв’язку з цим, тема кандидатської дисертації В.О. Маца, в якій встановлені закономірності зміни фізико-механічних властивостей  $Zr$  і

сплавів Zr1Nb, Zr2,5Nb у результаті формування наноструктури та при подальшому її опроміненні електронами є **актуальною**.

Про актуальність, наукову і практичну значимість теми дисертації переконливо свідчить і те, що основні наукові результати отримані здобувачем при проведенні комплексних експериментальних досліджень, спрямованих на виконання в Національному науковому центрі «Харківський фізико-технічний університет» НАН України а НАН України таких Державних програм України: "Державна програма фундаментальних і прикладних досліджень з проблеми використання ядерних матеріалів і ядерних радіаційних технологій у сфері розвитку економіки" (ІН. № 0809991UP0009; 2006 р.), програма робіт з Атомної науки і техніки "Дослідження взаємозв'язку структури, сформованої із застосуванням інтенсивних пластичних деформацій і конденсацій при криогенних температурах, ультразвукових, термічних і магнітних дій і фізико-механічних властивостей металів, сплавів і з'єднань, перспективних для використання в атомній енергетиці" (2006 – 2010 р.р.); шифр теми (ІІІ-5-06ІФТТМТ); програма Науково-дослідний комплекс (НДК) "Прискорювач" "Формування, прискорення потужних і сильноточних потоків електронів і дослідження ядерно-фізичних процесів при взаємодії прискорених часток із речовиною" на 2010 р. (номер держреєстрації 080906UP0010. Шифр теми ІІІ-1-06); програма НДК "Прискорювач" "Розробка нових і модернізація існуючих лінійних прискорювачів і розвиток радіаційних і ядерних технологій для медицини і промисловості" на 2011 р. (номер держреєстрації 080906UP0010. Шифр теми ІІІ-1-11); програма АНТ ННЦ "ХФТІ" "Експериментальні і теоретичні дослідження впливу різних фізичних полів (температурно-силових, радіаційних, магнітних, електричних) на формування структури і фізичних властивостей матеріалів атомної енергетики" на 2011 – 2015 р.р. (номер держреєстрації 011U008994 (шифр теми ІІІ-5-11 ІФТТМТ).

## **2. Основні наукові і практичні результати дисертації і їх новизна.**

У дисертації Маца В.О. викладені наукові і практичні результати, які були отримані в результаті проведення комплексних експериментальних

досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей та фізичної природи радіаційно-стимульованих процесів, що призводять до суттєвої зміни фізико-механічних властивостей та структурних характеристик в цирконії і Zr1Nb, Zr2,5Nb сплавах, а також процесу накопичення водню в сплаві Zr1Nb під дією електронного опромінення.

Серед усіх наукових результатів, які були отримані Мацом В.О. уперше, слід, зокрема, відмітити такі.

Підтверджена можливість формування нанозеренної структури в цирконії і цирконій-ніобієвих сплавах, шляхом інтенсивного пластичного деформування холодною прокаткою, який на відміну від традиційних методів (розтягання, зсуву та кручення) дозволяє деформувати досліджувані зразки без порушення їх суцільності.

З'ясовано, що формування наноструктурного стану в цирконії і його сплавах призводить до суттєвого зменшення у зразку розміру зерен, а також підвищення у ньому густини дислокацій, дотичних напружень та об'ємної концентрації границь, порівняно з крупнозернистими зразками.

Виявлено, що для наноструктурованих цирконій-ніобієвих сплавів одним із домінуючих типів дефектів є висококутові границі, що обумовлює спостережувану в дослідах високу стійкість зразків в умовах дії електронного опромінення та механічних навантажень, а також суттєво сприяє їх зміцненню в поєднанні з високим рівнем пластичності.

Встановлено, що в процесі активного розтягування опромінених зразків при  $T=300\text{K}$  в сплавах Zr1Nb відбувається трансформація наноструктури, зумовлена тим, що пластична течія відбувається переважно в «граничній фазі», за рахунок руйнування початкових дефектів і утворення нових границь.

В якості **практичних** результатів, отриманих Мацом В.О. в ході виконання дисертаційної роботи, зокрема, необхідно відмітити такі.

Розроблені фізико-технологічні основи технології отримання наноструктурованих цирконій-ніобієвих сплавів з поліпшеними фізико-механічними і функціональними властивостями, а також встановлені раціональні режими їх деформаційно-термічної обробки.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації технології обробки реакторних матеріалів з метою продовження їх ресурсу експлуатації, а також для розробки технологій формування конкретних наноструктурованих конфігурацій, що визначатимуть необхідні фізико-механічні властивості опромінених матеріалів.

Перелічені вище **наукові і практичні результати** дисертації Маца В.О. є новими. Усі вони були отримані уперше, що, зокрема, витікає із вивчення змістовного літературного огляду, складеного здобувачем на основі критичного аналізу текстів наукових робіт по темі дисертації.

**3. Достовірність отриманих в роботі результатів. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.**

Для отримання достовірних наукових результатів здобувач Мац В.О. провів комплексні експериментальні дослідження, в ході яких використовував різні сучасні методи і методики фізичного експерименту.

У тому числі: методи вимірювання механічних параметрів, мікротвердості та електричного опору, а також методи рентгеноструктурного аналізу, електронної і термодесорбційної спектроскопії тощо. Обробку експериментальних даних та побудову аналітичних залежностей, було виконано за допомогою сучасних комп'ютерних програм. Усе це дало можливість здобувачеві надійно і достовірно встановити закономірності модифікації структури цирконій - ніобієвих сплавів в результаті застосування пластичної деформації, електронного опромінення, а також визначити фізико-механічні властивості та структурний стан досліджених матеріалів.

З вище викладеного витікає, що наукові результати, отримані в дисертації Маца В.О. є **достовірними**. Їх трактування проведене в рамках сучасних теоретичних уявлень про структуру і фізико-механічні властивості крупнозернистих і нанокристалічних матеріалів.

Тому наукові положення, висновки і рекомендації дисертації є обґрунтованими.

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

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи Маца В. О. висвітлені в повному об'ємі. За темою дисертації опубліковано 14 праць, у тому числі: 7 статей у фахових наукових журналах і 7 тез доповідей на наукових міжнародних конференціях.

Основну стратегію і зміст наукових досліджень, а також трактування фізичної суті отриманих наукових результатів в дисертації викладено чітко і послідовно із застосуванням наукового стилю викладення.

Зміст автореферату кандидатської дисертації Маца В.О. досить повно і об'єктивно відбиває зміст основних положень дисертації. Кандидатська дисертація Маца В.О. є завершеним і актуальним науковим дослідженням, виконаним на високому фаховому рівні.

Тема дисертаційної роботи, зміст її наукових і практичних результатів повністю відповідає паспорту спеціальності 01.04.07 - фізика твердого тіла.

#### **5. Наукова і практична значимість результатів дисертації.**

Основні наукові результати, отримані в дисертації Маца В.О. є важливими для розвитку фізичної теорії міцності і пластичності нанокристалічних матеріалів. Вони поглиблюють уявлення про застосування методів інтенсивної пластичної деформації для отримання наноструктурованих цирконій-ніобієвих сплавів з високою функціональною властивістю. Результати роботи можуть бути використані при розробці і подальшому удосконаленні промислових технологій виготовлення нанозерених сплавів, а також при аналізі механізмів зміцнення цирконій-ніобієвих сплавів за рахунок їх деформаційно-термічної обробки та дії електронного опромінення.

#### **6. Зауваження до змісту дисертації.**

1. На сторінці 52, рис.3.1(а),(б), представлені електронно-мікроскопічні знімки структури цирконію і сплаву  $Zr_{2,5}Nb$  у вихідному стані, а потім (на рис.3.2 і рис.3.3) показана їх структура після пластичного деформування на 80% і 90% відповідно. Вважаю, що для виявлення ролі легуючого елементу Nb у формуванні наноструктури було б корисним до цих знімків додати аналогічні дані і для сплаву  $ZrNb$ .

2. На рис.3.3 (в) показано нанокристаліти, які в основному, розділені висококутовими границями. Оскільки вони суттєво впливають на зміцнення кристалів, було б цікавим виявити їх концентрацію.

3. В дисертації повідомляється про проведення металографічних досліджень поверхонь зразків на мікроскопі ММР-4, однак результати таких досліджень не приводяться. Хоча, було б цікаво поглянути на поверхню зразка зафіксовану після його прокатки, а потім - після видалення верхнього наклепаного шару хімічним травленням.

Разом з тим, вказані зауваження не ставлять під сумнів основні наукові і практичні результати, положення і висновки дисертаційної роботи і не впливають на її позитивну оцінку.

Вважаю, що дисертація Маца В.О. є завершеною науковою працею, в якій успішно вирішено важливе актуальне завдання фізики твердого тіла. У ній встановлені основні закономірності формування наноструктурованого стану в цирконію та  $Zr1Nb$ ,  $Zr2,5Nb$  сплавах, при їх плющенні, що забезпечує зростання міцності, без суттєвої втрати пластичності.

По своїй актуальності, об'єму проведених досліджень, ступеню новизни, наукової і практичної значимості отриманих результатів, дисертація Маца В.О. задовольняє вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", які ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор Мац Вячеслав Олександрович заслуговує присудження йому вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 - фізика твердого тіла.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри фізики  
Харківського національного  
університету міського господарства  
імені О.М. Бекетова,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор



О.М.Петченко

Підпис проф. Петченка О.М. засвідчую.  
Вчений секретар  
Харківського національного університету  
міського господарства імені О.М. Бекетова



Д.В.Тугай