

## **Рецензія**

Доктора технічних наук, професора  
Брюханова Аркадія Олексійовича  
на дисертацію **Рибак Надії Іванівни**

**«Вплив типу деформації на анізотропію фізико-механічних властивостей деяких сплавів на основі магнію, титану та нікелю»**,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата  
фізико-математичних наук (доктора філософії) за спеціальності  
105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

### **Структура дисертаційної роботи**

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та бібліографічного переліку.

У вступі обґрунтовується актуальність теми досліджень у галузі обробки металів і сплавів з різною структурою. Особливу увагу автор приділяє взаємозв'язку орієнтаційних процесів у структурі полікристалів під час впливу на них різного роду деформаційних полів.

Особливу увагу автор приділяє легким сплавам з гексагональною структурою на основі титану і магнію, які навіть у монокристалічному стані виявляють суттєву анізотропію за механічними і фізичними властивостями.

З огляду на те, що будь-який технологічний процес під час виготовлення різного роду конструкцій завжди передбачає цілий комплекс деформацій типу "вигин", актуальність досліджень щодо впливу знакозмінного вигину на анізотропію властивостей справді є вкрай нагальним завданням.

Цей вид деформації автор пов'язує з одним із головних елементів технологічного процесу виробництва рулонного прокату - правки на правильних машинах шляхом малоциклового знакозмінного вигину.

Саме на цьому етапі відбуваються найсуттєвіші зміни структури листів, формування текстури, дефектної структури на мікро- та мезорівнях, фактично закладаються початкові умови формування мікродефектів, що призводять врешті-решт до руйнування матеріалу під час експлуатації конструкцій.

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження**

Вибір матеріалів для досліджень теж переконливо обґрунтований.

Титан і його сплави - конструкційні матеріали з високою питомою міцністю, або, як їх називають, "металами космічного століття", широко

застосовуються в авіакосмічній промисловості, у хімічній через їхню стійкість до агресивних середовищ, у криогенній і харчовій промисловості, у військовій для спецзахисту, тощо.

Великі надії нині покладаються і на сплави магнію. Економісти підрахували, що, незважаючи на високу вартість цих сплавів, виготовлення з них багатьох елементів автомобілів, наприклад, навісних деталей, може призвести до істотної економії пального за рахунок зниження загальної ваги конструкції.

Мету досліджень сформульовано досить повно, хоча й із застосуванням загальних фраз.

Для досягнення поставленої мети Н. І. Рибак довелося розв'язати низку конкретних завдань, які чітко сформульовані у вступі дисертації.

Для вивчення закономірностей утворення і розвитку текстур за різного роду і ступеня деформації Н. І. Рибак розробила оптимальні умови зйомки зворотних полюсних фігур титанових і магнієвих сплавів.

Її метод оцінки текстур титану після інтенсивної гвинтової екструзії представляє самостійний інтерес у загальній проблемі отримання висококоміцних наноструктурних матеріалів.

Зацікавленість представляють дослідження анізотропії властивостей кубічних гранецентрованих полікристалів, отриманих методом лазерного спікання порошком жароміцного сплаву на основі нікелю Inconel 718 за технологією 3D друку.

Тут Н. І. Рибак довелося розв'язати низку задач щодо приготування зразків для вимірювань і зйомки кривих полюсної густини, способу опису текстур і застосування різних текстурних параметрів. Результати таких досліджень є корисними в перспективі розробки матеріалів з урахуванням "ефекту текстури".

Додатково вона розглянула задачу оцінки анізотропії властивостей важливих у практичному відношенні матеріалів на основі параметрів текстури Кернса.

### **Вклад результатів дослідження в наукових працях**

Загалом актуальність досліджень дисертації Рибак Н.І. "ВПЛИВ ТИПУ ДЕФОРМАЦІЇ НА АНІЗОТРОПІЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕЯКИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ

МАГНІЮ, ТИТАНУ ТА НІКЕЛЮ" не викликає сумнівів, як і наукова та практична цінність отриманих у ній результатів.

Результати роботи добре представлені у відкритій пресі.

За результатами досліджень авторка виступила на \_\_4\_\_ конференціях міжнародного рівня та опублікувала \_\_11\_\_ статей, з яких \_\_6\_\_ з грифом Scopus.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків**

У першому розділі авторка розглядає існуючі на даний час методи вивчення та представлення текстур полікристалів. Порівнює ефективність різних підходів до опису текстур, наочність їхньої наочності та труднощі отримання експериментального матеріалу.

Детально описує найзагальніший спосіб опису текстур за допомогою функцій розподілу орієнтацій, виділяє ті труднощі, які виникають під час реконструкції функції з полюсних фігур. Показує, що для розв'язання низки завдань із прогнозування анізотропії тензорних властивостей другої та четвертої розмірностей необхідні й достатні деякі згортки ФРВ або, так звані, інтегральні характеристики текстури (ІХТ).

Особливу увагу Рибак Н. І. звернула на методи одержання й обробки обернених полюсних фігур, обґрунтувала пріоритетність використання ОПФ для розв'язання задач, які розв'язуються в даній дисертації.

Огляд методик вивчення й опису текстур проведено досить широко, що свідчить про те, що вона володіє основними методами текстурного аналізу і правильно визначає межі застосовності кожного з них.

Розділ 2 присвячено опису матеріалів, які досліджували в дисертації, та методам їхньої обробки.

Матеріали для досліджень, які вивчає Рибак Н. І., мають широке застосування на практиці. Вона вивчає вплив широкого спектра видів обробки сплавів на їхню структуру та анізотропію властивостей, починаючи з процесів екструзії та подальшої теплої та холодної прокатки. Для титану досліджено стан структури та вплив її на анізотропію властивостей інтенсивної пластичної деформації у вигляді гвинтової екструзії. Такий вид обробки розробляється для отримання матеріалів з наноструктурою.

Магнієвий сплав після первинної обробки екструзією і прокаткою обробляється за різними схемами знакозмінного вигину, тобто для підготовки листів сплаву до виготовлення тонкостінних деталей глибоким штампуванням.

Окремо за спеціальною схемою обробляється жароміцний сплав нікелю з порошку шляхом лазерного спікання за комп'ютерною технологією.

Охоплено великий спектр обробок, кожна з яких формує свою структуру, текстуру і, відповідно, анізотропію важливих у практичному відношенні властивостей.

Далі Н. І. Рибак описує методики вимірювання анізотропії властивостей досліджених матеріалів, характеристик текстури після різного виду обробок.

Модуль нормальної пружності авторка визначала динамічним методом за частотою власних коливань плоских зразків. Цей метод сертифікований у Standart Test Method for Dynamic Modulus, Shear Modulus, Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration/ ASTM international .-E1876-09.- p.1181-1196 як найбільш точний.

1. Механічні випробування на одноосьовий розтяг проводили на розривній машині Zwick Z250/SN5A із силовим датчиком на 20 кН у напрямку прокатки, у напрямку під кутом  $45^\circ$  до напрямку прокатки та в поперечному напрямку.

Текстуру досліджували рентгенівським методом з побудовою обернених полюсних фігур (ЗПФ), з яких визначали параметри текстури Кернса відповідних напрямків для аналізу впливу виду деформації на фізико-механічні властивості досліджуваних матеріалів.

Незрозуміло, чому розтягнення зразків проводили на машині Zwick Z250/SN5A, а механічні випробування на розривній машині INSTRON 8801.

Загалом, спектр обробок широкий, охоплює головні методи формозміни пластичних матеріалів. Результати досліджень несуть інформацію про фізичні процеси, що протікають у полікристалах при різних видах пластичної деформації гексагональних і кубічних полікристалів, та становлять також суто практичний інтерес.

У 2-й частині дисертації, яка має назву "РОЗДІЛ 3.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ" наведено отримані результати досліджень та проведено їх обговорення.

Обсяг експериментальних даних дуже великий. Рибак Н. І. групує їх за матеріалами, які називає розділами 3,4 і 5. Окремо розглядає дані досліджень текстури та анізотропії властивостей листів магнієвого сплаву ZE10.

Окремо РОЗДІЛ 4. ВПЛИВ ВИДУ ДЕФОРМАЦІЇ НА ТЕКСТУРУ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ПОШКОДЖУВАНІСТЬ СПЛАВІВ ТИТАНУ та окремо - РОЗДІЛ 5. ТЕКСТУРА ТА АНІЗОТРОПІЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ ЗІ СПЛАВУ INCONEL 718, ОТРИМАНИХ 3D-ДРУКОМ З ПОРОШКІВ.

Як вже було сказано, обсяг експериментальних даних просто величезний.

З єдиної точки зору його охопити важко. І тут Н. І. Рибак на допомогу приходять параметри текстури Кернса. Вона дуже вміло використовує їх для прогнозування анізотропії властивостей текстурованих об'єктів з орторомбічною симетрією розподілу кристалів за орієнтаціями та розв'язання оберненої задачі текстурного аналізу, а саме оцінювання констант тензорів властивостей монокристалів за даними вимірювань макровластивостей текстурованих полікристалів. Методами кореляційного аналізу автор показує, що точність такого підходу в оцінці констант податливості досліджуваних матеріалів лежить у задовільних межах.

### **Загальний висновок**

Інтерес становлять дослідження текстур і механічних властивостей пластин сплаву Inconel 718, отриманих за допомогою 3D-друку в горизонтальному (XY) та вертикальному (Z) напрямках методом селективного лазерного плавлення порошків PREP та VIGA.

Отримано характеристики текстур, які можна класифікувати як "текстури лазерного спікання". Отримано, що міцність горизонтальних зразків вища, ніж вертикальних, а, відповідно, пластичні характеристики горизонтальних зразків нижчі, ніж у вертикальних. Ці дослідження рекомендував би продовжити і на інших матеріалах за різних умов спікання.

Загальні висновки за дисертацією зроблено стисло і ясно.

Усього висновків - 5. Цього цілком достатньо, щоб скласти уявлення про дисертацію в цілому.

Слід зробити зауваження щодо третього пункту висновків. Автор пише: *«Між величинами модуля пружності, механічними характеристиками та параметрами пошкоджуваності досліджуваних листів сплавів магнію та титану з одного боку, та відповідними параметрами текстури Кернса, з іншого боку, мають місце сильні кореляційні зв'язки та встановлені рівняння регресії з коефіцієнтами надійності апроксимації 0,76 - 0,99.»*

Тут слід мати на увазі, що на значення модулів пружності та їхню анізотропію впливає безліч чинників. Це і морфологія пошкоджень, і їхній розподіл у матеріалі (в зернах або на їхніх межах, а може бути і на домішках і всіляких забрудненнях). Та й зародження пошкоджень в об'ємі металу теж може підкорятися тензорному опису невідомого рангу. Пошкоджуваність же автор оцінює непрямим методом, за величиною дефекту пружного модуля. Це цілком допустимо для тих матеріалів, які вивчала авторка. Однак для встановлення зв'язку і, навіть кореляційного, з параметрами Кернса, потрібні прямі дослідження полів пошкоджень. Такі дані можуть дати тільки

електронномікроскопічні дослідження для конкретних структур і видів обробок. Таким чином, узагальнювати застосовність параметрів Кернса для оцінки рівня пошкоджуваності полікристалів некоректно.

Цілком, дисертація «**ВПЛИВ ТИПУ ДЕФОРМАЦІЇ НА АНІЗОТРОПІЮ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕЯКИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ МАГНІЮ, ТИТАНУ ТА НІКЕЛЮ**» залишає сприятливе враження.

Виконана на рівні вимог, що висуваються до кваліфікаційних дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук (доктора філософії) зі спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Автор дисертації Рибак Надія Іванівна заслуговує на присудження їй шуканого ступеня.

Доктор технічних наук,  
Професор



А.О.Брюханов

