

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

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 спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

### Актуальність теми

У сучасній науці та технології матеріалів питання текстури та її впливу на анізотропію фізико-механічних властивостей є дуже важливим, як з наукового так і прикладному аспектах. З наукової точки зору спосіб опису розподілу кристалів за їх орієнтаціями має відповідати способу зовнішнього впливу на полікристал.

З прикладної точки зору, вибір способу представлення текстури дозволяє дати адекватний опис обумовленій анізотропії фізико-механічних властивостей. Знання взаємозв'язків текстури та властивостей є актуальною проблемою прикладної фізики металів та наноматеріалів, рішенню певних аспектів якої присвячена дисертаційне дослідження Н.І. Рибак.

Обрані в дисертації способи опису та представлення текстури відповідає як науковому, так і практичному погляду. Так, опис текстури досліджуваних гексагональних полікристалів параметрами текстури Кернса відповідає типам деформації, що вивчаються, і дозволяє здійснити теоретичну попередню адекватну оцінку властивостей досліджуваних полікристалів, якщо використовувати відомі відповідні властивості монокристалу. Крім того, обраний спосіб опису текстури параметрами, запропонованими вперше Кернсом, дозволяють за експериментальними властивостями полікристалу оцінити відповідні властивості монокристалу.

Спосіб представлення текстури досліджуваного сплаву на основі нікелю за допомогою параметра, що представляє собою сумарну полюсну густину орієнтацій вздовж діагоналі (001)-(111) на стереографічного трикутника достатньо обґрунтований механічною поведінкою гранецентрованих монокристалів при розтягуванні.

В дисертації Н.І. Рибак проведена комплексна робота з вивчення особливостей впливу актуальних типів деформації на формування кристалографічної текстури та розвиток анізотропії пружності та міцності властивостей широко вживаних у різних галузях промисловості сплавів на основі магнію, титану та нікелю.

## Структура дисертаційної роботи

Дисертація Рибак Н.І. складається із вступу, п'яти розділів, висновків та списку цитованої літератури зі 134 найменувань, що включає власні публікації автора. Робота викладена на 143 сторінках, включаючи список літератури, та містить 25 рисунків та 25 таблиць.

У вступі міститься визначення мети та завдань роботи, сформульовані наукова новизна, практична значимість та основні положення, що виносяться автором на захист.

У першому розділі представлено літературний огляд типів текстури, її вивчення, опису. Зокрема докладно розглянуто опис параметрів текстури Кернса, спосіб їх визначення з обернених полюсних фігур.

Другий розділ дисертації присвячений досліджуванним матеріалам, а саме листові гексагональні сплави на основі магнію (ZE10 – сплав магнію з цинком, цирконієм та рідкоземельними металами), Mg 5% Li, титану (Ti Grade 1, BT1-0), нікелю (Inconel 718) з ГЦК граткою, їх підготовці для дослідження (деформування вальцюванням, знакозмінним вигином, гвинтовою екструзією), та методам дослідження, які застосовувались автором при виконанні роботи.

У третьому розділі представлені результати дослідження впливу деформації на текстуру, механічні властивості та пошкоджуваність сплавів магнію. Оцінено вплив виду деформації й текстури на пружні властивості, межу міцності, межу плинності, відносне подовження листів сплавів ZE10 та Mg-5 % Li за параметрами текстури Кернса та відповідними властивостями монокристалів. Представлено результати кількісних оцінок. Порівняння з експериментальними даними показало добрий збіг у межах 10%. Представлено також результати кількісних оцінок пружних та механічних властивостей монокристалів за даними виміру відповідних властивостей на полікристалах та параметрами текстури Кернса. Далі представлено результати подальших розрахунків властивостей полікристалів на основі оціночних величин властивостей монокристалів. Порівняння з експериментальними даними показало відхилення розрахункових величин у межах 10%.

У четвертому розділі дисертації представлено результати впливу на текстуру, пружні та механічні властивості та пошкодження листового титану марки Grade 1 деформації вальцюванням та подальшим знакозмінним вигином і впливу гвинтової екструзії на текстуру і механічні властивості титану марки BT1-0 за параметрами текстури Кернса. Представлені кількісні розрахункові оцінки на основі параметрів текстури Кернса та характеристик монокристалів титану Grade 1 і BT1-0 відповідних властивостей

полікристалів та їх анізотропії після різних типів деформації: прокаткою, знакозмінним вигином і гвинтовою екструзією показали збіг з експериментальними в межах 5 – 10%. Представлено також розрахункові оцінки пружних та механічних властивостей монокристалу титану (СТ Grade 1), використовуючи параметри текстури Кернса та відповідні експериментальні властивості листів. Представлено результати розрахунків модуля пружності, меж міцності та плинності полікристалу титану, використовуючи отримані відповідні величини монокристалу. Збіг розрахункових та експериментальних величин зазначених механічних характеристик полікристалу титану виявився в межах 10 %.

П'ятий розділ дисертації присвячений дослідженню впливу сучасної так званої технології адитивного виробництва (Additive Manufacturing) за допомогою селективного лазерного спікання методом 3D друку з металевих порошків на структуру та властивості виробів зі сплаву з ГЦК граткою Inconel 718. Зокрема представлено результати дослідження впливу на текстуру та механічні властивості зразків надрукованих у горизонтальному та вертикальному напрямках побудови. Для аналізу впливу текстури на механічні властивості обрано оригінальний параметр текстури, що являє собою сумарну величину полюсної густини на діагоналі  $\langle 001 \rangle - \langle 111 \rangle$  обернених полюсних фігур зразків, надрукованих у горизонтальному та вертикальних напрямках побудови. Представлені результати кореляційного та регресійного аналізу продемонстрували сильні лінійні кореляційні зв'язки між параметрами текстури та механічними характеристиками. Це свідчить про те, що основною причиною анізотропії властивостей у досліджених зразках є кристалографічна текстура.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Основні результати дисертаційного дослідження одержані вперше, пройшли апробацію на різних наукових конференціях. За тематикою дисертаційного дослідження опубліковано 11 робіт, з них 7 статей опубліковано у журналах проіндексованих у науко-метричних базах Scopus та Web of Science, 4 опубліковано в тезах доповідей Всеукраїнських (1) та Міжнародних (3) науково-практичних конференцій.

У дисертації Рибак Н.І. вперше:

визначено параметри текстури Кернса напрямку нормалі (НН) та напрямку вальцювання (НВ), відповідно,  $(f_{\text{НН}})$  та  $(f_{\text{НВ}})$  за даними рентгенівських експериментальних досліджень кристалографічної текстури листів магнієвих сплавів марки ZE10, Mg – 5 % Li, титану марки 1 (Ti Grade 1) після заводської поставки та подальшого знакозмінного вигину;

визначено параметри текстури Кернса за даними рентгенівських експериментальних досліджень кристалографічної текстури титану марки VT1-0 після гвинтової екструзії, а також після відпалу при 200, 250, 300, 350 та 400°C, як вздовж напрямку екструзії, так і у поперечному напрямку;

реалізовано оцінювання фізико-механічних властивостей гексагональних полікристалів сплавів ZE10, Mg – 5 % Li, титану VT1-0 та марки Grade 1 за параметрами текстури Кернса та відповідними властивостями монокристалів з відхиленням від відповідних експериментальних значень в межах 10%;

отримані оцінки констант пружності монокристалів сплавів ZE10, Mg – 5 % Li гексагональної симетрії, використовуючи параметри текстури Кернса та експериментальні величини модуля Юнга відповідних полікристалів;

проведено порівняльний аналіз зв'язку параметрів текстури та механічних характеристик зразків сплаву Inconel 718, отриманих селективним лазерним спіканням за допомогою 3D печаті в горизонтальному та вертикальному напрямках побудови та після пост печатної обробки й показано, що основним чинником наявній анізотропії механічних властивостей зазначеного сплаву є кристалографічна текстура, що підтверджено результатами кореляційно-регресійного аналізу.

### **Практична значимість отриманих результатів дослідження**

Практично важливими є:

результати кількісного оцінювання характеристик монокристалів за відповідними експериментальними даними полікристалів, оскільки отримання монокристалів, достатніх для виміру відповідних властивостей, часто є складною проблемою;

закономірності формування текстури та змін параметрів пошкоджуваності листів титану та сплавів магнію після їх правки за допомогою знакозмінного вигину, що можуть бути застосовані для корегування технології отримання листового прокату з поліпшеними характеристиками формозміни та мінімальною анізотропією механічних властивостей;

закономірності утворення текстури у зразках, деформованих гвинтовою екструзією, які можуть бути застосовані для розробки технологічних режимів отримання металевих виробів із покращеними показниками міцності та пластичності.

закономірності формування текстури та її впливу на властивості сплаву Inconel 718, які можуть бути використані при отриманні деталей методом

селективного лазерного плавлення у відповідних напрямках 3D-друку з оптимальним комплексом властивостей;

результати оцінювання фізико-механічних властивостей гексагональних полікристалічних матеріалів за даними текстурних параметрів Кернса та відповідними характеристиками монокристалів у тих випадках, коли експериментальне визначення властивості за даним напрямком полікристала неможливі або ускладнені (у напрямку перпендикулярному до надмірно тонкого листа, дроту або осі гвинтової екструзії).

#### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій та висновків**

Достовірність та наукова обґрунтованість отриманих результатів забезпечувалися використанням різних методів досліджень та аналізу, доброю відтворюваністю результатів вимірювань та розрахунків, а також відповідністю результатів даного дисертаційного дослідження результатам робіт інших авторів на цю тематику. Положення, що виносяться на захист, засновані на коректності отриманих експериментальних результатів та їх докладному та ретельному аналізі. Підсумкові результати та висновки дисертаційного дослідження добре узгоджуються з результатами виконаних ранніх наукових досліджень.

#### **Дискусійні питання та зауваження.**

Позитивно оцінюючи в цілому досягнуті в дисертації Н.І. Рибак теоретичні та практичні результати дослідження вважаю за необхідне висловити певні зауваження:

1. Потребує пояснення, чи є кореляція між параметрами пошкоджуваності та параметрами текстури Кернса.
2. Робота б тільки виграла, якби в ній були представлені дані мікроструктурних досліджень щодо ушкоджень.
3. У тексті дисертації зустрічаються помилки, наприклад, на с. 63 використане слово «відносини інтенсивностей», вірно писати «відношення» і т. д.
4. У таблицях 3.11 та 3.12 межа текучості має порядок 170 ГПа. Вважаю що це помилка.
5. Сильно детально розписана мета роботи. Слід було б вказати у меті що треба досягти за результатами дисертації і за рахунок чого.
6. Поставлено 10 задач, а загальних висновків по роботі 5. Чи всі завдання були вирішені?

7. У п.2.1 слід було б більш повніше обґрунтувати обрані способи обробки заготовок. Чому саме обрані вальцювання (прокатка) та гвинтова екструзія.

8. При знакозмінній деформації у дослідженнях слід було б врахувати вплив ефекту Баушингера на властивості матеріалу.

9. Не погоджуюсь з терміном «вальцювання», доцільно було б використовувати «прокатка/прокатування».

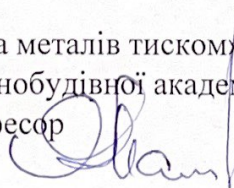
Перелічені зауваження не знижують загального позитивного враження від цього дисертаційного дослідження.

### Висновок

Дисертація Рибак Надії Іванівни є науково-кваліфікаційною роботою, у якій досліджено важливі закономірності впливу різних видів деформації на текстуру та анізотропію фізико-механічних властивостей деяких сплавів на основі магнію, титану та нікелю. Враховуючи актуальність виконаних досліджень, наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів, вважаю, що подана дисертація задовольняє всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 14 січня 2022 року №44, а її автор Надія Іванівна Рибак заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

### Офіційний опонент

Професор кафедри «Обробка металів тиском»  
Донбаської державної машинобудівної академії,  
доктор технічних наук, професор



Марков Олег Євгенійович

Підпис Маркова О.Є. засвідчую,  
Ректор ДДМА, проф.



Ковальов Віктор Дмитрович