

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми. Вплив полів напруження на структуру твердих тіл в їх монокристалічному та полікристалічному станах займає важливе місце у фізиці твердого тіла. Симетрія, характер поля напруження, структурний стан полікристала і елементів, з яких складається полікристал, разом забезпечують реалізацію певних механізмів деформації, які в свою чергу формують структуру деформованого полікристала, його орієнтаційний стан (кристалографічну текстуру) і тим самим визначають його властивості, характер і величину їх анізотропії.

Найбільш прості схеми напружено-деформованого стану реалізуються при розтягуванні і стискуванні, які разом моделюють деформацію полікристала прокаткою. В результаті деформації прокаткою полікристал набуває орторомбічної симетрії, тобто деформований прокаткою полікристал можна розглядати як квазімонокристал орторомбічної симетрії. Таке представлення дозволяє розробляти методи дослідження текстурного стану полікристала за допомогою обмеженого набору параметрів, використання яких разом з відповідними характеристиками монокристалів дає можливість вивчати процеси деформації полікристала і анізотропію його властивостей, які піддаються тензорному опису.

З практичної точки зору отримання оптимальної текстури, яка забезпечує задану анізотропію властивостей, текстурне зміцнення або розміцнення, є важливим резервом поліпшення експлуатаційних характеристик полікристалічних напівфабрикатів і виробів. Найбільш значний "ефект текстури" виявляється в гексагональних матеріалах, серед яких важливе місце займають титанові сплави із структурою α -твердого розчину. В зв'язку з цим дослідження умов текстуроутворення в гексагональних металах і сплавах, перетворень текстур, розробка способів визначати і прогнозувати по характеристиках текстури анізотропію властивостей полікристалів, що працюють в умовах складного напружено-деформованого стану, є актуальними.

Зв'язок з науковими програмами. Дисертаційна робота є часткою експериментальних і теоретичних досліджень процесів формування текстур і анізотропії властивостей по загальній темі «Дослідження впливу напружено-деформованого стану на текстуроутворення і анізотропію властивостей твердого тіла», Державний реєстраційний №01090000216, які проводяться на кафедрі фізики інституту фізики і математики Південноукраїнського національного університету ім. К.Д.Ушинського.

Мета роботи: встановити кількісний зв'язок між тензорними властивостями моно- і текстурованих полікристалів деяких α -твердих розчинів системи Ti-Al-V. **Для досягнення постановленої мети було необхідно вирішити наступні завдання:**

1. Проаналізувати границі застосування сучасних методів дослідження і опису текстур гексагональних полікристалів і визначити оптимальний підхід до вивчення текстури і анізотропії властивостей α -сплавів титану.

2. Для металів і сплавів з різним співвідношенням c/a вивчити вплив типу текстур, параметрів розсіяння орієнтировок на інтегральні характеристики текстури з метою отримання в матеріалах необхідної анізотропії фізичних властивостей.

3. У представленні інтегральних характеристик вивчити утворення, розвиток і перетворення текстури в сплавах системи Ti-Al-V з різним вмістом алюмінію при різних режимах холодної прокатки.

4. Користуючись розробленим методом, визначити монокристалні характеристики пружності досліджуваних сплавів після різних видів деформації і використати ці характеристики разом з результатами текстурного аналізу для знаходження орієнтаційної залежності параметрів пружності, у тому числі тих, що експериментально важко вимірюються.

5. Вивчити можливість зміцнення сплавів за рахунок текстури при різних деформаціях.

6. Розробити підходи застосування отриманих інтегральних характеристик гексагональних металів для знаходження орієнтаційної залежності їх коефіцієнта ушкодження.

Наукова новизна роботи.

1. Шляхом застосування удосконаленого метода отримані інтегральні характеристики текстур листових полікристалів сплавів системи Ti-Al-V при різних схемах напружено-деформованого стану полікристалів.

2. Показана некоректність застосування констант піддатливості монокристалів Ti для визначення анізотропії властивостей сплавів на основі титану. Для практичного використання знайдені значення компонентів тензора піддатливості монокристалів сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V.

3. Показана роль процесів ковзання і двійникування в механізмі пластичної деформації титанових сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V.

4. Розраховані орієнтаційні залежності модуля зсуву, коефіцієнта Пуассона листів досліджених сплавів, а також значення модуля Юнга в напрямку, нормальному до площини листів, для різних видів напружено-деформованого стану.

5. Визначена тензорна розмірність коефіцієнту ушкодження монокристала титану VT1-0. Запропонований метод розрахунку коефіцієнта ушкодження в нормальному напрямку до площини листового текстурованого гексагонального полікристала, в якому використовуються інтегральні характеристики текстури і параметри анізотропії коефіцієнта ушкодження.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Отримані текстурні характеристики промислових α -титанових сплавів Ti-3Al-1,5V (2,9%Al, 1,3%V) і Ti-5Al-2V (4,9Al, 2,2V) для різних видів їх обробки. Результати представлені у вигляді інтегральних характеристик текстури, за допомогою яких пропонується сертифікувати листові гексагональні полікристали для врахування "ефекту текстури" в фізичних і конструкторських задачах.

2. Встановлені режими обробки сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V для отримання листів з високим рівнем текстурного зміцнення і низьким рівнем анізотропії властивостей.

3. Встановлено, що ушкодження листів титану в процесі деформації холодною прокаткою описується тензором другого рангу і оцінюється за допомогою інтегральних характеристик і диференціального модуля Юнга.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації докладалися на:

1. Міжнародній конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики, Евріка-2005. Львів, травень 2005, ЛНУ ім. І.Франка.

2. Міжнародній конференції (Курдюмівські читання), Дніпропетровськ, ПААС, 28 травня-1 червня 2006.

3. 4 Євразійській конференції «Міцність неоднорідних структур». ПРОСТ 2008. М.8-10 квітня 2008 р. М.:МИСИС. 2008.

4. Міжнародній конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики. Евріка-2009. Львів, травень 2009, ЛНУ ім. І.Франка.

5. 5 Євразійській конференції «Міцність неоднорідних структур». ПРОСТ 2010. М.15-17 квітня 2010 р. М.:МИСИС. 2010.

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 15 статтях періодичних видань, рекомендованих ВАК України для публікації матеріалів дисертацій на здобуття вчених ступенів по фізико-математичних і технічних науках.

Структура і об'єм дисертації. Дисертація містить вступ, чотири розділи, висновки по кожному розділу і загальні висновки по дисертації, список цитованої літератури. Загальний об'єм дисертації склав 173 сторінок, 80 рисунків, 33 таблиці, 216 бібліографічних джерел.

Основний зміст роботи.

У вступі обґрунтовується направлення і об'єм досліджень. Для досліджень вибрали сплави системи Ti-Al-V, що містять 3 і 5% алюмінію і 1,5 і 2% ванадію. Алюміній в такій кількості забезпечує стабільність гексагональної α -фази; ванадій, розчиняючись в решітці титану, перешкоджає утворенню крихкої фази Ti_3Al . *Розглянули основні проблеми текстуроутворення, роль процесів ковзання і двійникування в пластичній деформації полікристалів з гексагональною структурою. Сформульовані мета і завдання досліджень. Представлені основні наукові результати роботи.

У першому розділі викладені експериментальні методи аналізу текстури, які використані в дисертації. Показано, що найбільш інформативним методом є рентгенодифрактометричний з побудовою прямих полюсних фігур (ПФ). Для кількісних досліджень текстури оптимальним є нормування полюсних фігур в рівнях середньої полюсної щільності, що дає можливість оцінювати полюсну щільність у кожній точці ПФ як щільність імовірності наявності в текстурі орієнтировок в інтервалі кутів ($\alpha \pm d\alpha$) і ($\beta \pm d\beta$).

*Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов.*-М.: МИСиС, 2005.-432 с.

Знайдено, що врахування дефокусировки, яка виникає при нахилі зразка на кут α до вісі гоніометра, доцільно проводити без використання безтекстурного еталону. На мові DELFY розробили програму по врахуванню зміни геометричних розмірів рентгенівської плями на зразку при його нахилі і знайшли оптимальні режими зйомки кривих полюсної

щільності гексагональних сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V на дифрактометрі ДРОНЗ-М. Вказали переваги представлення текстур полюсною фігурою {0002} як найбільш інформативною.

Запропонували метод визначення диференціальних модулів Юнга в пружнопластичній області методом дотичних для різних точок кривої "напруження-деформація". Криві "напруження-деформація" побудували за результатами виміру залежності стріли прогинання плоского зразка від навантаження трьохточковим методом. Анізотропію модуля Юнга визначали модифікованим динамічним методом по частоті власних поперечних коливань з реєстрацією і визначенням частот із результатів Фур'є-аналізу коливань плоских зразків.

У другому розділі розглянули методи опису текстур гексагональних металів і сплавів. У методі ідеальних орієнтировок текстуру задають орієнтуванням одного або дискретного набору монокристалів. Текстуру гексагональних металів задають кутом α нахилу гексагональної вісі c кристала до площини листа або нормального до нього напрямку (НН). Ідеальні орієнтировки і кут α знаходять або з полюсних фігур шляхом порівняння з стандартними стереографічними проекціями кристала, або за результатами Фур'є-аналізу анізотропії властивостей, які піддаються тензорному опису.

Якнайповніше описує текстуру безперервна функція розподілу кристалів по орієнтаціях (ФРО). Проте, реконструкція ФРО з експериментальних даних вимагає обробки великих масивів даних рентгенодифрактометричного аналізу і використання не однієї, а набору ПФ від різних кристалографічних площин. Для встановлення кількісного зв'язку між анізотропією властивостей моно- і текстурованого полікристала в роботі скористалися наступними міркуваннями.

ПФ і анізотропія властивостей полікристалів, деформованих в умовах утворення симетричного поля напруження (розтягування, стискування, прокатка), мають симетрію орторомбічного кристала. Анізотропія властивостей четвертої тензорної розмірності (модуля Юнга) для такого кристала може бути обчислена в напрямку, заданому кутом φ з напрямком прокатки в площині листового полікристала з гексагональною симетрією його складових у вигляді:

$$E(\varphi) = \left[s_{11} + 2 \left[s_{13} - s_{11} + \frac{1}{2} s_{44} \right] \psi_2(\varphi) + (s_{33} + s_{11} - 2s_{13} - s_{44}) \psi_4(\varphi) \right]^{-1}, \quad (1)$$

де s_{ij} -компоненти тензора піддатливості гексагонального монокристала, ψ_2 і ψ_4 - функції анізотропії орторомбічного квазімонокристала, які дорівнюють:

$$\psi_2(\varphi) = I_1 \cos^4 \varphi + I_2 \sin^4 \varphi + \frac{1}{4}(I_1 + I_2) \sin^2 2\varphi; \psi_4 = I_6 \cos^4 \varphi + I_4 \sin^4 \varphi + 1,5I_5 \sin^2 2\varphi; I_i - \text{деякі}$$

комбінації направляючих косинусів (α_{i3}) гексагональної вісі c кристала відносно зовнішніх координат зразка, якими є напрямок прокатки (НП), поперечний напрямок (ПН) і НН, і усереднені по всіх можливих орієнтаціях кристала в текстурованому об'єкті у вигляді:

$$I_1 = \langle \alpha_{13}^2 \rangle; I_2 = \langle \alpha_{23}^2 \rangle; I_3 = \langle \alpha_{33}^2 \rangle; I_4 = \langle \alpha_{13}^4 \rangle; I_5 = \langle \alpha_{23}^4 \rangle; I_6 = \langle \alpha_{13}^2 \alpha_{23}^2 \rangle. \quad (2)$$

Тут $\langle \rangle$ означає усереднювання α_{i3}^n по всіх можливих орієнтаціях текстурованого полікристала.

Кількість незалежних I_i дорівнює п'яти, оскільки очевидно: $I_1 + I_2 + I_3 = 1$.

Характеристики I_i несуть основну інформацію щодо анізотропії властивостей модуля Юнга у текстурованому листовому полікристалі і названі інтегральними характеристиками текстури (ІХТ).

Враховуючи, що площина (0001) відносно тензорних властивостей є ізотропною, вказане усереднювання можна проводити безпосередньо по функції розподілу полюсної щільності $P(\alpha, \beta)$ вісі [0001] гексагонального кристала по сфері проєкцій, тим паче, що ПФ (0002) для гексагональних полікристалів рентгенографічно досліджується досить просто.

Оскільки $\alpha_{13} = \sin \alpha \cdot \cos \beta$; $\alpha_{23} = \sin \alpha \cdot \sin \beta$; $\alpha_{33} = \cos \alpha$, то для ІХТ:

$$\langle \alpha_{i3}^n \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi/2} \int_0^{2\pi} P_{(0002)}(\alpha, \beta) \alpha_{i3}^n(\alpha, \beta) \sin \alpha d\alpha d\beta. \quad (3)$$

Знання ІХТ цілком достатньо для розрахунку анізотропії пружних властивостей в довільному напрямку полікристала з орторомбічною симетрією.

Вираз для анізотропії модуля зсуву має вигляд:

$$G(\varphi) = \frac{1}{2} S_{44} + s_{11} - s_{12} + \frac{1}{2} s_{11} - 2s_{33} - 4s_{13} - \frac{3}{2} s_{44} + s_{12} \psi_2(\varphi) + 2(s_{11} + s_{33} - 2s_{13} - s_{44}) \psi_4 \quad (4)$$

Модуль Юнга в НН дорівнює $1/s_{3333}^T$, де s_{3333}^T - компонента тензора піддатливості текстурованого орторомбічного квазімонокристала. Тоді

$$(E_{HH})^{-1} = s_{3333}^T = s_{11} + \frac{1}{2} s_{13} - s_{11} + \frac{1}{2} s_{44} \left[I_3 + (s_{11} + s_{33} - 2s_{13} - s_{44}) (1 - 2I_1 - 2I_2 + I_4 + I_5 + 2I_6) \right] \quad (5)$$

У роботі показана ефективність використання для опису текстури кута нахилу призми до площині листа, який визначає площину кристала, що має ту ж анізотропію властивостей, що і лист. Цей кут був названий статистичним кутом нахилу α гексагональної призми до площині листа і встановлено, що він може бути оцінений із співвідношення $\sin^2 \alpha = |I_2 - I_1|$. Цей кут характеризує не одну, навіть найсильнішу орієнтовку, а весь набір орієнтіровок, які присутні в текстурі.

Використовуючи α_{i3} для відповідних ІХТ, значення E_{HH} можна виразити безпосередньо через статистичний кут нахилу призми у вигляді:

$$(E_{HH})^{-1} = s_{11} \sin^4 \alpha + s_{33} \cos^4 \alpha + (2s_{13} + s_{44}) \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha. \quad (6)$$

Для дослідження впливу типу текстури і величини її розсіяння на ІХТ і статистичний кут нахилу призми до площині прокатки побудували модельні ПФ [0001] для текстур базисного центрального типу з розсіянням від 10 до 60°, а також

для кільцевої текстури, призматичних текстур з відхиленням базисних полюсів в НП і ПН, текстур "типа цинку" і "типа титану", їх комбінацій з однаковими ступенями розсіяння (20°). Розподіл інтенсивності в областях підвищеної полюсної щільності задавали за законом Гауса. Для всіх текстур, а також для квазімонокристалів з орієнтацією $[0001] \parallel \text{HN}$ і безтекстурного зразка розраховували ІХТ за допомогою розробленої для цієї мети програми на мові DELFY. Отримали: для текстур з відхиленням базисних полюсів в НП $I_2 > I_1$, а для текстур з відхиленням базисних полюсів в ПН $I_2 < I_1$; подібно поведуться I_4 і I_5 . Для текстур центрального і кільцевого типу I_1, I_2 і I_4, I_5 є попарно рівними. Збільшення розсіяння приводить до зменшення цих ІХТ до деякого граничного значення і збільшення I_3 . Для монокристалів I_1, I_2, I_4 і I_5 наближаються до нуля, I_3 наближається до одиниці. Для безтекстурного стану розраховані ІХТ наближаються до значень: $I_1 = I_2 = I_3 = 1/3$; $I_4 = I_5 = 1/5$; $I_6 = 1/15$.

Результати, отримані при аналізі модельних ПФ, апробували на гексагональних металах з різним співвідношенням c/a . Вивчили зміни ІХТ для деформованих листів титану, цирконію, цинку і магнієвого сплаву AZ31 (3% Al, 1% Zn, решта Mg). Співвідношення I_i для модельних і експериментальних текстур знаходяться в хорошій відповідності.

Для зазначених металів по I_1 і I_2 знайшли статистичні кути нахилу призми. По ІХТ і значеннях монокристалів характеристик для металів розраховували їх теоретичну анізотропію модуля Юнга в плоскості текстурованих листів. Порівняння показало хороший збіг теоретичних кривих, отриманих за допомогою ІХТ, з експериментальними, побудованими по значенням безпосередніх вимірів модуля Юнга в різних напрямках листів Ti, Zr, Zn и сплаву AZ31. Це дозволило по формулі (5) розрахувати значення модуля Юнга в HN, в якому отримати дослідним шляхом значення пружних властивостей представляє складне завдання. Для Ti, Zr, Zn і сплаву AZ31 значення модуля Юнга в нормальному до плоскості листа напрямку дорівнюють: 120,28; 98,80; 108,70; 50,6 ГПа, відповідно. Значення цих же характеристик, отриманих по (6) з використанням статистичних кутів нахилу гексагональної призми до плоскості листів, відрізняються від приведених в другому знаку після коми.

Метод представлення текстури за допомогою ІХТ дозволяє вирішити важливе завдання фізики твердого тіла – визначити пружні константи, не удаючись до штучного вирощування відповідних монокристалів, що особливо є важливим для монокристалів сплавів. Прямим інтегруванням виразу (1) отримали формули для амплітуд гармонік представлення анізотропії модуля Юнга у вигляді:

$$A_0 = s_{11} + \frac{1}{2}(s_{13} - s_{11}) + \frac{1}{2}s_{44} \left[(I_1 + I_2) + \frac{3}{8}(s_{33} + s_{11} - 2s_{13} - s_{44})(I_4 + 2I_5 + I_6) \right],$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \left[(2s_{13} - 2s_{11} + s_{44})(I_1 - I_2) + (s_{33} + s_{11} - 2s_{13} - s_{44})(I_6 - I_4) \right],$$

$$A_4 = \frac{1}{8}(s_{11} + s_{33} - 2s_{13} - s_{44})(I_4 + I_6 - 6I_5).$$

Далі, якщо A_0 , A_2 , A_4 визначені експериментально, константи піддатливості монокристалів сплаву і їх комбінації знаходяться таким чином:

$$\begin{aligned}
s_{11} &= A_0 - \frac{A_2(I_1 + I_2)}{I_1 - I_2} + 4 \frac{A_4(I_6 - I_4)(I_1 + I_2)}{(I_1 - I_2)(I_4 + I_6 - 6I_5)} - 3 \frac{A_4(I_4 + I_6 + 2I_5)}{(I_4 + I_6 - 6I_5)} \\
s_{13} - s_{11} + \frac{1}{2}s_{44} &= \frac{2A_2}{I_1 - I_2} - 8A_4 \frac{I_6 - I_4}{(I_1 - I_2)(I_4 + I_6 - 6I_5)} \\
s_{33} + s_{11} - 2s_{13} - s_{44} &= \frac{8A_4}{(I_4 + I_6 + 6I_5)}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Експериментальну залежність модуля Юнга від напрямку виміру в деформованих прокаткою (60%) листах титана ВТ1-0 представили у вигляді ряду Фур'є: $E^{-1}(\varphi) = (0,940 + 0,18\cos 2\varphi - 0,005\cos 4\varphi) \times 10^{-11}$ м²/Н. По (7) розраховали s_{11} і комбінації компонентів піддатливості $s_{13} - s_{11} + 0,5s_{44}$ і $s_{33} + s_{11} - 2s_{13} - s_{44}$. Враховуючи, що для відомих гексагональних металів s_{13} по модулю \sim у 12 разів менше s_{44} , а $s_{11} \approx -2s_{12}$, розраховали усі константи: $s_{11} = 0,99 \times 10^{-11}$ м²/Н; $s_{12} = -0,495 \times 10^{-11}$ м²/Н; $s_{33} = 0,672 \times 10^{-11}$ м²/Н; $s_{44} = 2,31 \times 10^{-11}$ м²/Н; $s_{13} = -0,21 \times 10^{-11}$ м²/Н.

Значення констант піддатливості для титану, які розраховані з даних Фур'є-аналізу експериментальної анізотропії модуля Юнга і ІХТ, отриманих з даних рентгенівського аналізу текстури, декілька завищені в порівнянні з табличними значеннями, отриманими прямими вимірами на монокристалах

$$(s_{11} = 0,958 \times 10^{-11}; s_{12} = -0,462; s_{33} = 0,698; s_{44} = 2,14; s_{13} = -0,189) \times 10^{-11} \text{ м}^2/\text{Н}.$$

Це пов'язано з впливом границь між зернами у полікристалі. Деформація також декілька підвищує s_{ij} . Проте, в цілому збіг розрахункових даних з табличними можна вважати за задовільний.

Для вивчення можливостей ІХТ, як методу представлення текстур, вивчили анізотропію коефіцієнта ушкодження (D) в відпалених і деформованих прокаткою до 20 і 40% листах технічного титана ВТ1-0.

D визначали по методу Леметре*: $D = \left\| \frac{E_0}{E_D} - 1 \right\|$, де E_D і E_0 - диференціальний і динамічний модулі Юнга, відповідно. Анізотропію E_D знаходили з кривих "напруження-деформація" за результатами вимірів модуля Юнга для 7 напрямків в відпалених і деформованих прокаткою листах ВТ1-0 по описаній в першому розділі методиці для навантажень ($\sigma = 2, 5, 10, 15$) $\times 10^7$ Па, а динамічні - по частоті власних поперечних коливань плоских зразків.

*Lemaitre, J.A Course on Damage Mechanics/ J. Lemaitre.- Berlin: Springer-Verlag, 1992.- 210p.

Отримано, що залежність диференціальних модулів Юнга від напруження для всіх листів задовільно описується наступною залежністю: $E_D = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c(a - c)}}{2c}$, де a , b , c - параметри, які визначили методом найменших квадратів. Інтерполяція до $\sigma = 0$ показала, що значення диференціальних модулів (E_D) для всіх напрямків наближаються до величин, визначених динамічним методом для ненавантажених зразків.

Анізотропію коефіцієнта ушкодження (D) представляли у вигляді рядів Фур'є, коефіцієнти якого розраховували методом найменших квадратів в моделі орторомбічного квазімонокристалла. Найкраще наближення до експерименту дає представлення анізотропії D шістьма гармоніками ряду. Задовільний результат дає опис за допомогою двох гармонік. Представлення анізотропії коефіцієнта ушкодження тензором четвертого рангу не узгоджується з експериментальними даними. Збільшення числа гармонік до восьми не вносить істотної зміни до результатів. Можна вважати, що коефіцієнт ушкодження досліджених листів із задовільною точністю може бути описаний тензором другого рангу. Тоді анізотропія орторомбічного полікристалла може бути представлена у вигляді: $D(\varphi) = D_1 + (D_1 - D_2)\cos^2 \varphi$, де $D_1 = d_1 + (d_2 - d_1)I_1$; $D_2 = d_2 + (d_2 - d_1)I_2$; d_1, d_2 – компоненти тензора коефіцієнта ушкодження монокристалла, I_i – інтегральні характеристики; $D_1 = D(0^\circ)$, $D_2 = D(90^\circ)$. Компоненти d_i розраховували для відпалених листів титана ВТ1-0, які дорівнюють 0,015 і 0,079, відповідно. Визначили значення коефіцієнта $D_{\text{НН}} = d_1 + (d_2 - d_1)I_3$, яке для напруження $\sigma = 10 \cdot 10^7 \text{ Па}$ дорівнює 0,044.

У третьому розділі вивчили текстуроутворення і анізотропію властивостей важливих в практичному відношенні α -сплавів титана Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V після деформації холодною прокаткою до різних ступенів. Текстура вихідних листів обох сплавів характеризується, головним чином, базисною компонентою $\{0001\} \langle 10\bar{1}0 \rangle$ із значною протяжністю областей розсіяння в НП і ПН. Холодна прокатка до 20% формує в листах обох сплавів нарівні з базисною компонентою текстуру "типа цинку" $\{(0001)\pm\alpha_2\text{НН-НП}\}$. Із збільшенням ступеня деформації перетворення текстур у вивчених сплавах протікають по різних схемах. У сплаві Ti-3Al-1,5V з підвищенням ступеня деформації до 40-60% поряд з орієнтовкою "типа цинку" розвивається орієнтовка "типа титану", які разом з базисною центральною типом текстурою "типа магнію" представляють остаточний текстурний стан листів даного сплаву: $(0001)[10\bar{1}0] + \{(0001)\pm\alpha_2\text{НН-НП}\} + \{(0001)\pm\alpha_1\text{НН-ПН}\}$.

В сплаві Ti-5Al-2V з підвищенням ступеня деформації до 40-60% продовжує розвиватися орієнтовка "типа цинку", а при вищих ступенях деформації розвиток цієї орієнтовки пригнічується розвитком компоненти "типа титану" при збереженні базисної компоненти. Остаточна текстура характеризується сумою орієнтувань $(0001)[10\bar{1}0] + \{(0001)\pm\alpha_1\text{НН-ПН}\}$. Особливості текстуроутворення досліджуваних сплавів використали для оцінки вкладу в деформаційні процеси різних систем ковзання і двійникування, активність яких визначається співвідношенням складових розтягування і стискування при прокатці, а також впливом алюмінію на величину критичних напружень зсуву. Отримали, що в сплаві Ti-3Al-1,5V формування текстури здійснюється на початкових стадіях за рахунок переважно базисного, а також пірамідального ковзання, які формують орієнтовки "типа магнію" і "типа цинку". При підвищенні ступеня деформації текстура листів Ti-3Al-1,5V розвивається за рахунок призматичного ковзання і множинного двійникування по системах $\{30\bar{3}4\} \langle uviv \rangle$, $\{10\bar{1}3\} \langle uviv \rangle$ і $\{11\bar{2}1\} \langle 11\bar{2}\bar{6} \rangle$, які сприяють розвитку компонентів "типа цинку" і "типа титану" за рахунок ослаблення базисної компоненти. При подальшому підвищенні

ступеня деформації і зростання ролі компоненти розтягування на процес двійникування накладається протилежний процес роздвійникування, який сприяє збереженню базисною компоненти нарівні з орієнтировками "типа цинку" і "типа титану".

У сплаві Ti-5Al-2V основними механізмами деформації є базисне, призматичне ковзання і двійникування по системі $\{11\bar{2}2\} \langle 11\bar{2}\bar{3} \rangle$, які сприяють розвитку орієнтировки "типа титану". У цьому сплаві ступінь деформації за кожен подальший прохід при прокатці була меншою, ніж в сплаві Ti-3Al-1,5V і тому компонента розтягування в сплаві Ti-5Al-2V грає меншу роль, а, отже, і процеси роздвійникування є менш розвиненими. Збереження в остаточній текстурі інтенсивної базисної компоненти пов'язано з впливом алюмінію, який зменшує критичне напруження зсуву при базисному ковзанні.

Для досліджуваних твердих розчинів по формулах (2) визначили значення інтегральних характеристик текстури вихідних листів і підданих холодній прокатці до 20-90%. Характер співвідношень між ІХТ деформованих сплавів відрізняється від таких співвідношень для титану. Тип текстури в чистому титані при прокатці не міняється, змінюється лише статистичний кут нахилу гексагональної призми до площині прокатки; значення I_1 і I_2 , які є відповідальними за тип текстури, змінюються монотонно. У твердих розчинах характер співвідношень між I_1 і I_2 постійно змінюється, відображаючи особливості формування текстури в них і спостережувані перетворення текстур.

За допомогою ІХТ розраховали статистичні кути нахилу гексагональної призми до площині прокатки листів досліджуваних сплавів. Відповідно до перетворень текстур при деформації прокаткою величина кута для сплаву Ti-3Al-1,5V змінюється від ~ 16 до 20° . Для сплаву Ti-5Al-2V величина цього кута міняється в межах $20-27^\circ$.

Вивчили анізотропію модуля Юнга досліджуваних сплавів. Виміри проводили динамічним методом для 7 напрямків на прямокутних зразках завдовжки 120 і шириною 12 мм. Вихідні листи сплаву Ti-3Al-1,5V характеризуються невеликою анізотропією $\eta = (E_{\max} - E_{\min}) / E_{\min} \sim 2,3\%$. Холодна прокатка вже на малих деформаціях (20%) збільшує коефіцієнт анізотропії до 5,4%. Деформації 90% відповідає коефіцієнт анізотропії, рівний 10%.

Листи сплаву Ti-5Al-2V вже в вихідному стані характеризуються підвищеним ступенем анізотропії: 7,4%. Із збільшенням ступеня деформації коефіцієнт анізотропії змінюється до 10,1%. Зміна коефіцієнтів анізотропії модуля Юнга залежно від ступеня деформації знаходиться в повній відповідності із зміною відповідального за анізотропію статистичного кута нахилу гексагональної призми до площині прокатки.

З метою визначення анізотропії інших тензорних властивостей оцінена можливість вживання монокристалічних констант піддатливості титану для розрахунку анізотропії модуля Юнга сплавів на основі титану. Отримали, що експериментальна і теоретична анізотропія, яка розрахована по (1), не узгоджуються, тобто для розрахунку властивостей сплавів некоректно використовувати монокристалічні характеристики чистого металу.

Для вирішення завдання по визначенню анізотропії тензорних властивостей використали метод визначення монокристалних характеристик сплаву (без вирощування для цієї мети монокристала сплаву), викладений в другому розділі (7). При розрахунку компонентів тензора піддатливості монокристалів титанових сплавів використовували визначені експериментально ІХТ і результати Фур'є-аналізу експериментальної анізотропії модуля Юнга. Для вихідного стану сплаву Ti-3Al-1,5V значення його монокристалних характеристик дорівнюють:

($s_{11}=1,1282$; $s_{12}=-0,5641$; $s_{33}=0,6464$; $s_{44}=2,2149$; $s_{13}=-0,1845$) $\cdot 10^{-11}$ м²/Н.

Для монокристалів сплаву Ti-5Al-2V: ($s_{11}=0,970$; $s_{12}=-0,485$; $s_{33}=0,373$; $s_{44}=1,620$; $s_{13}=-0,135$) $\cdot 10^{-11}$ м²/Н.

Апробували можливість вживання отриманих монокристалних характеристик сплавів для теоретичного розрахунку анізотропії модуля Юнга. Теоретичні криві, отримані з використанням цих констант, показали хороший збіг з експериментальними кривими, що дозволило визначити аналітично і інші пружні властивості.

Значення монокристалних характеристик сплавів використали для розрахунку модуля Юнга по (5) в нормальному до листа напрямку, безпосередній вимір якого має експериментальні труднощі. Для сплаву Ti-3Al-1,5V значення E_{HH} склали: (123,7; 168,0; 152,4; 119,8; 109,7; 122,1) ГПа для вихідних листів сплаву і катаних подовжньо до 20, 40, 60, 80 і 90%, відповідно. Для сплаву Ti-5Al-2V E_{HH} дорівнюють (101,1; 104,3; 98,1; 104,1; 113,9; 116,8) ГПа для вихідних листів сплаву і катаних подовжньо до 20, 40, 60, 80 і 90%, відповідно.

Значення монокристалних характеристик сплавів використали також для розрахунку анізотропії модуля зсуву (4) і коефіцієнта Пуассона досліджуваних твердих розчинів. Анізотропію коефіцієнта Пуассона розраховували за формулою $\nu = \frac{E}{2G} - 1$. Листи сплаву Ti-3Al-1,5V вже в вихідному стані мають підвишену анізотропію модуля зсуву і коефіцієнта Пуассона. Коефіцієнти анізотропії для них склали величини ~ 10 і 25%, відповідно.

Деформація холодною прокаткою листів сплаву до 20-40% різко збільшує анізотропію, як модуля зсуву, так і коефіцієнта Пуассона. Їх коефіцієнти анізотропії досягають величин 37 і 60%, відповідно.

Подальша деформація знижує коефіцієнти анізотропії для цих властивостей і вони встановлюються приблизно на одній величині і для модуля зсуву, і для коефіцієнта Пуассона (~ 15 -16%). Для сплаву Ti-5Al-2V ступінь анізотропії модуля зсуву зростає від 11,6% для вихідних листів до 22,4% - для листів, прокатаних до 90%. Анізотропія коефіцієнта Пуассона виражена ще різкіше. Його ступінь анізотропії змінюється від 37% для вихідного листа до 55% - при деформації холодною прокаткою 60%.

Монокристалні характеристики сплавів дозволяють проаналізувати анізотропію пружних властивостей не лише в плоскості прокатки, але і в різних кристалографічних площинах монокристала сплаву. Використовуючи результати гармонійного аналізу анізотропії модуля Юнга, побудували перетини характеристичної поверхні модуля Юнга монокристалів сплавів Ti-3Al-1,5V і

характер. Низькі значення K_{\perp} в сплаві Ti-5Al-2V пояснюються тим, що в кінцевій текстурі листів нарівні з "твердою" базисною компонентою є присутньою чимало іншої компоненти "типа титану". У сплаві ж Ti-3Al-1,5V поряд з базисною присутні компоненти "типа цинку" і "типа титану", які разом утворюють квазікільцеву текстуру. Кільцева і базисна орієнтировки забезпечують більш високе текстурне зміцнення.

Отже, листи сплаву Ti-3Al-1,5V в вихідному стані мають низьку анізотропію пружних властивостей, досить високі значення E_{HH} і K_{\perp} . Такі листи можуть бути ефективно використані в елементах конструкцій, що працюють в умовах двовісного збалансованого напружено-деформованого стану (оболонки, сферичні судини високого внутрішнього тиску). При одноосних навантаженнях доцільно використовувати ПН листів, деформованих холодною прокаткою до високих ступенів деформації.

Листи сплаву Ti-5Al-2V мають високу анізотропією властивостей в вихідному стані і після деформації прокаткою. Тому використання листів цього сплаву для отримання виробів глибоким витягом, які працюють в умовах двовісного збалансованого напружено-деформованого стану, з боку текстури не є доцільним, хоча для виробів, які експлуатують в умовах незбалансованого двовісного напружено-деформованого стану (труби із зварним швом), "ефект текстури" може бути корисним.

У четвертому розділі вивчили вплив поперечної прокатки на текстуру і анізотропію властивостей листів сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V. Вихідні листи і листи, піддані попередній подовжній прокатці до 20 і 40% першого сплаву, прокатували уперек до 10, 20, 40 і 50% деформацій, а листи другого сплаву – до 15, 30, 45 і 60% поперечної прокатки.

Поперечна прокатка істотно змінює характер ПФ листів сплавів (рис.2). Спостережувані перетворення текстур протікають по схемі: початкові стадії поперечної прокатки приводять до деякої зміни величини розсіяння полюсів [0001] в ПН. Подальше підвищення ступеня поперечної прокатки супроводиться появою на ПФ максимумів в ПН, які при збільшенні ступеня деформації посилюються і витягуються в НП. Текстура наближається до кільцевої із збереженням досить сильної вихідної базисної компоненти.

Для певних комбінацій подовжньої і поперечної прокаток характерним для листів обох сплавів є стягання областей максимальної полюсної щільності до центру ПФ, зменшення кута α до мінімального значення, витягування максимумів по кільцю довкола НН. При подальшому підвищенні ступеня поперечної прокатки починається зворотний процес, максимуми в ПН відсовуються від центру, кільця розриваються.

Із збільшенням ступеня попередньої подовжньої прокатки процес формування кільцевої текстури відповідає більш високим ступеням подальшої поперечної прокатки. Для сплаву Ti-5Al-2V області підвищеної полюсної щільності максимально витягуються по кільцю довкола НН після обробок: подовжня прокатка 20%+поперечна прокатка 45%, подовжня прокатка 40%+поперечна прокатка 60%, а також вихідний лист+поперечна прокатка 30%.

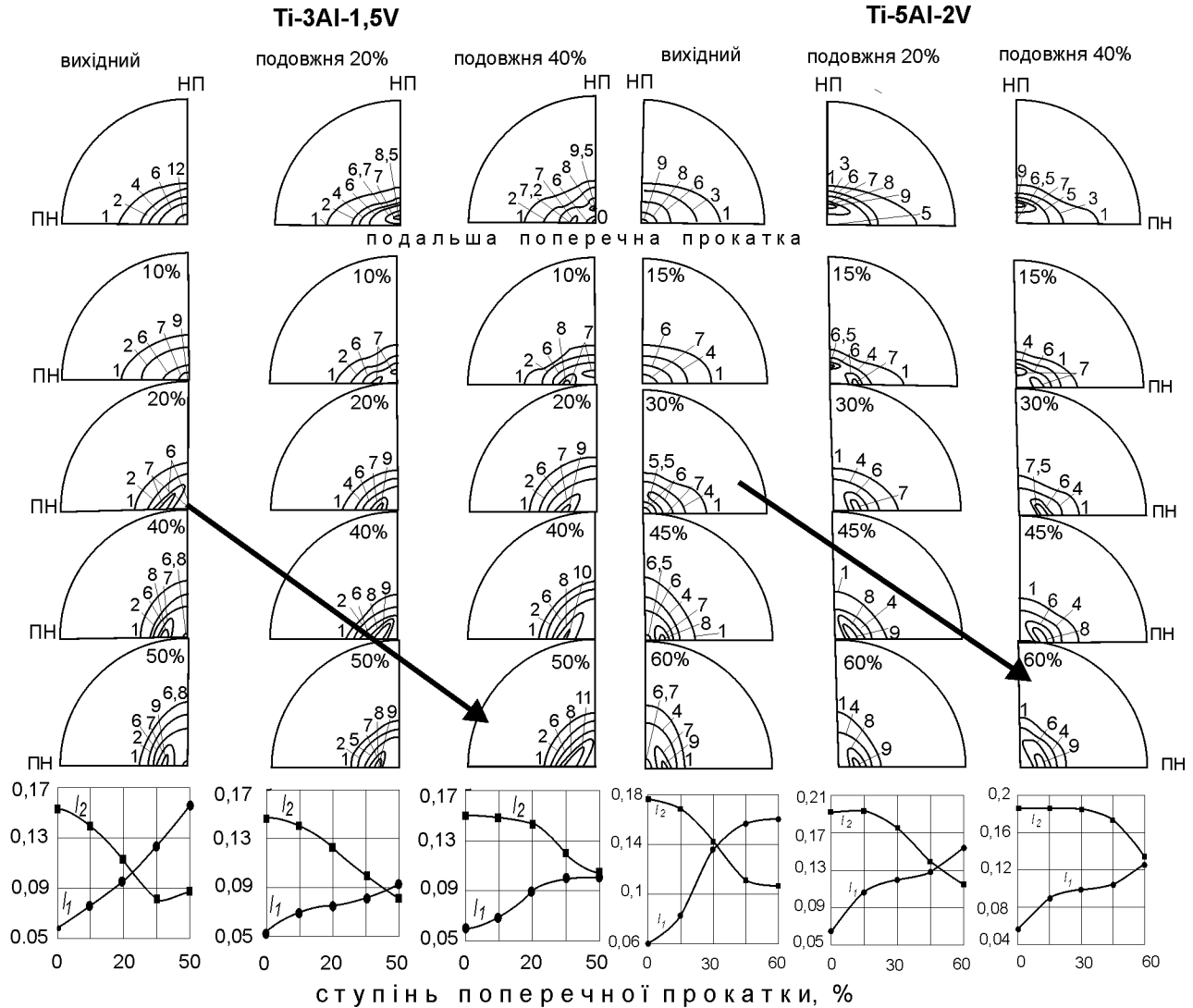


Рис.2. ПФ $\{0002\}$ і ІХТ вихідних і подовжньоокатаних листів сплавів $Ti-3Al-1,5V$ і $Ti-5Al-2V$, деформованих подальшою поперечною прокаткою

Для сплаву $Ti-3Al-1,5V$ аналогічні перетворення текстур відповідають обробкам: подовжня прокатка 20%+поперечна прокатка 40%, подовжня прокатка 40%+поперечна прокатка 50%, а також вихідний лист+поперечна прокатка 20%.

Інтегральні характеристики текстури I_1 і I_2 при вказаних режимах стають рівними, що відповідає формуванню кільцевої або базисної центрального типу текстури. На малюнку 2 показані графіки зміни I_1 і I_2 залежно від ступеня поперечної прокатки для листів досліджених сплавів, підданих різним обробкам. Стрілками відмічені ПФ, які відповідають $I_1 = I_2$.

Вивчили вплив поперечної прокатки на анізотропію модуля Юнга. Для вихідних листів досліджуваних сплавів максимальні значення модуля Юнга відповідають ПН. Поперечна прокатка змінює характер анізотропії модуля Юнга, зміщуючи його максимальні значення у бік менших кутів з НП. Мінімальні значення коефіцієнта анізотропії модуля Юнга для обох сплавів відповідають обробкам, для яких $I_1 = I_2$. Отримання практично ізотропного листа для сплаву

Ti-3Al-1,5V з коефіцієнтом анізотропії 0,7% відповідає обробці: подовжня прокатка 20%+поперечна прокатка 40%. Для сплаву Ti-5Al-2V мінімальне значення коефіцієнта анізотропії модуля Юнга 1,7% забезпечується обробками: подовжня прокатка 20%+поперечна прокатка 45% і подовжня прокатка 40%+поперечна прокатка 60%.

Визначили монокристалні характеристики досліджуваних сплавів після різних режимів обробки. По монокристалних характеристиках і ІХТ розрахували анізотропію модуля зсуву і коефіцієнта Пуассона. Для сплаву Ti-3Al-1,5V мінімальні значення ступеня анізотропії модуля зсуву (4%) і коефіцієнта Пуассона (11%) відповідають одній і тій же обробці: подовжня прокатка 20%+поперечна прокатка 40%, яка забезпечує і мінімальне значення коефіцієнта анізотропії модуля Юнга (0,7%). Для сплаву Ti-5Al-2V мінімальні значення ступеня анізотропії модуля зсуву 3,6% і 5% відповідають обробкам: подовжня прокатка 40%+поперечна прокатка 60%, подовжня прокатка 20%+поперечна прокатка 45%, відповідно.

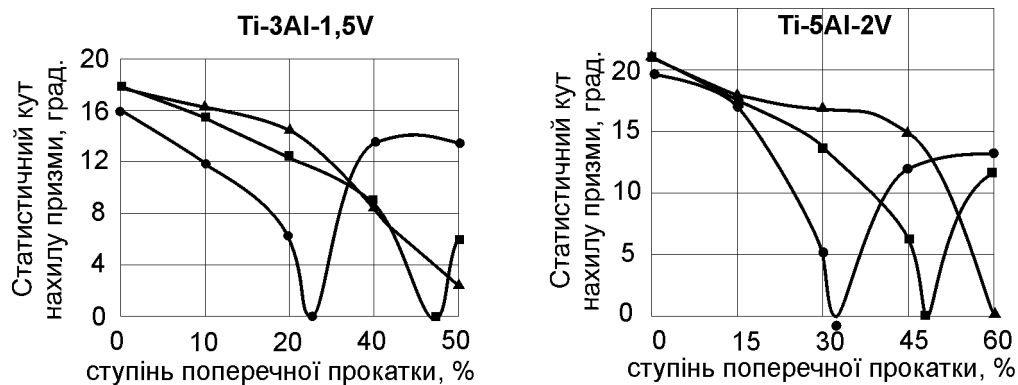


Рис.3. Зміна статистичного кута нахилу призми до площини прокатки вихідних ● і подовженьокатаних до ■- 20 і ▲- 40% листів сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V в залежності від ступеня поперечної прокатки

Ці ж режими обробки забезпечують мінімальне значення ступеня анізотропії коефіцієнта Пуассона (~6,5%) і модуля Юнга (~1,7%). Отримані дані по анізотропії всіх пружних властивостей знаходяться у цілковитій згоді з поведінкою інтегральних характеристик I_1 , I_2 і статистичного кута. Саме при вказаних режимах $I_1 = I_2$, усереднений кут нахилу гексагональної призми до площини прокату дорівнює нулю і ступінь анізотропії властивостей є мінімальним. На рисунку 3 показана зміна статистичного кута нахилу гексагональної призми до площини прокатки в залежності від режиму обробки листів сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V.

Вимірами мікротвердості в НН, НП, ПН визначили вплив поперечної прокатки на текстурне зміцнення досліджуваних сплавів. У сплаві Ti-3Al-1,5V максимальне зміцнення відповідає обробці: подовжня прокатки 20%+поперечна прокатка 40%. В цьому випадку коефіцієнт зміцнення текстури дорівнює 0,22. Листи сплаву Ti-5Al-2V під впливом поперечної прокатки зміцнюються більшою мірою. Максимальне зміцнення в листах цього сплаву відповідає обробці: подовжня

прокатка 20%+поперечна прокатка 45% і складає величину 0,252. Високе зміцнення сплавів при вказаних режимах забезпечується формуванням в текстурі кільцевої і базисної орієнтировок.

Значне зміцнення подовжньоокатаних до 20% листів сплаву Ti-5Al-2V в процесі подальшої поперечної прокатки робить їх переважними для виготовлення виробів, що працюють в умовах двовісного напружено-деформованого стану.

Загальні висновки по дисертації

1. Удосконалена методика кількісного опису анізотропії властивостей текстурованих гексагональних полікристалів орторомбічної симетрії. Встановлено, що нарівні з інтегральними характеристиками текстури (ІХТ), реконструйованими з ПФ {0002}, важливе значення має введений в даній роботі статистичний кут α нахилу осі [0001] до площині полікристала.

2. Показано, що представлення текстур за допомогою ІХТ дозволяє оцінити тензорну розмірність властивості матеріалу для подальшого розрахунку її анізотропії, що є важливим для отримання матеріалів з заданими фізико-механічними властивостями. Встановлено, що анізотропія коефіцієнта ушкодження в деформованих листах технічного титану описується тензором 2-го рангу.

3. З'ясовано, що холодна прокатка до 20% формує в листах сплавів Ti-3Al-1,5V і Ti-5Al-2V поряд з базисною орієнтировку "типа цинку". При подальшій деформації в сплаві Ti-3Al-1,5V розвивається орієнтировка "типа титану" і його остаточний текстурний стан є представлений орієнтировками:

$$(0001)[10\bar{1}0] + \{(0001)\pm\alpha_2\text{НН-НП}\} + \{(0001)\pm\alpha_1\text{НН-ПН}\}.$$

У сплаві Ti-5Al-2V при деформаціях більше 60% орієнтировка "типа цинку" зникає і остаточна текстура характеризується сумою орієнтировок:

$$(0001)[10\bar{1}0] + \{(0001)\pm\alpha_1\text{НН-ПН}\}.$$

4. Встановлено, що формування текстури холодної прокатки в досліджених сплавах на початкових стадіях здійснюється за рахунок базисного і пірамідального ковзання, які сприяють розвитку орієнтировок "типа магнію" і "типа цинку". При підвищенні ступеня деформації текстура в листах сплаву Ti-3Al-1,5V розвивається за рахунок призматичного ковзання і множинного двійникування по системах $\{30\bar{3}4\} \langle uvw \rangle$, $\{10\bar{1}3\} \langle uvw \rangle$ і $\{11\bar{2}1\} \langle 11\bar{2}\bar{3} \rangle$, що формують орієнтировки "типа цинку" і "типа титану". Збереження базисною компоненти в цьому сплаві при високих ступенях деформацій пов'язано з процесами роздвійникування.

У сплаві Ti-5Al-2V основними механізмами деформації є базисне, призматичне ковзання і двійникування по системі $\{11\bar{2}2\} \langle 11\bar{2}\bar{3} \rangle$, які сприяють розвитку орієнтировки "типа титану". Збереження в остаточній текстурі інтенсивної базисною компоненти обумовлено зменшенням критичного напруження зсуву при базисному ковзанні за рахунок підвищеного вмісту алюмінію в цьому сплаві.

5. З аналізу розрахункових і експериментальних анізотропій модуля Юнга листів сплавів слідує некоректність використання монокристалних характеристик Ti для розрахунку анізотропії властивостей сплавів на його основі. Розрахунково-

експериментальним методом за результатами аналізу текстур в представленні ІХТ і Фур'є-аналізу анізотропії модуля Юнга визначили монокристалльні характеристики сплавів. Значення монокристалльних характеристик сплавів використали для розрахунку анізотропії модуля зсуву, коефіцієнта Пуассона, модуля Юнга в НН досліджуваних сплавів. Коректність вживання монокристалльних характеристик сплавів була підтверджена розрахунками анізотропії модуля Юнга, які показали хороший збіг з експериментом.

6. На основі проведених експериментальних і теоретичних досліджень запропоновані оптимальні режими обробки досліджених сплавів, що забезпечують мінімальний ступінь анізотропії пружних властивостей і максимальне текстурне зміцнення.

Основні публікації по темі дисертації

1. Волчок Н., Гохман О. Дослідження анізотропії коефіцієнта ушкодження прокатаних листів технічного титану ВТ1-0//Вісник Львів.ун-ту.Серія фізична.-2006.-вип. 39.-с.294-299.
3. Бах Ф.В., Брюханов А.А., Зильберг Ю.В., Волчок Н.А., Родман М., Хепке М. Текстурное разупрочнение листов магниевое сплава AZ31 при знакопеременном изгибе// Деформация и разрушение металлов.-2009.-№5.-с.21-28.
3. Брюханов А.А. Гохман А.Р., Волчок Н.А., Иовчев С.И., Беке Д. Л., Сабо И.А., Буки Д. А. Текстурная неоднородность и распределение анизотропии свойств толстолистового проката стали 06Г2МТФБР по толщине.// Деформация и разрушение металлов.-2010.-№2.-с.111-118.
4. Гохман А.Р., Н.А. Волчок Н.А., Изучение ориентационной зависимости коэффициента повреждаемости прокатанных листов технического титана ВТ1-0// Физика и техника высоких давлений.-2010.- 19.-№4.-с.111-117.
5. Брюханов А.А., Волчок Н.А., Совкова Т.С. Влияние холодной прокатки на характеристики текстуры и анизотропию свойств α -сплава Ti-3Al-1,5V// Материаловедение.-2010.- №4.- с. 9-14.
6. Брюханов А.А., Волчок Н.А., Совкова Т.С. Текстура и анизотропия модуля Юнга холоднокатаных листов титанового сплава Ti-5Al-2V // Физика и техника высоких давлений.- 2010.-20.-№1.- с. 123-132.
7. Усов В.В., Волчок Н.А., Шкатуляк Н.М. Анизотропия упругости и дислокационной неупругости титана // Металлы. – 2005. – №1. – с. 110-117.
8. Usov V.V., Volchok N.A., Shkatulyak N.M Anisotropy of the Elasticity and Dislocation Inelasticity of Titanium//Russian metallurgy (Metally) – Vol. 2005, № 1. – P. 91 – 96.
9. Захарченко И.Г., Волчок Н.А., Брюханов П.А. Анизотропия упругих свойств α -сплавов титана и их монокристалльные характеристики// Металознавство та термічна обробка металів.-2009.-№3.-7-16.
10. Захарченко И.Г., Волчок Н.А., Брюханов П.А., Совкова Т.С. Влияние комбинации прямой и поперечной прокаток на текстуру и анизотропию свойств листов α - титанового сплава Ti-3Al-1,5V // Нові матеріали і технології в

- металургії та машинобудуванні.-2010.- № 1. с. 93-98.
11. Брюханов А.А., Волчок Н.А., Совкова Т.С. Текстурующее упрочнение листов α -титанового сплава Ti-5Al-2V при деформации холодной прокаткой.// Технология металлов.-2010.- №12. – с.14-21.
 12. Бах Ф.В., Брюханов А.А., Зильберг Ю.В., Волчок Н.А., Родман М., Хепке М. Текстурующее разупрочнение листов магниевого сплава AZ31 при знакопеременном изгибе./ Тезисы 4 Евразийской конференции «Прочность неоднородных структур». ПРОСТ 2008. М.8-10 апреля 2008 г. М.:МИСИС. 2008.С.40.
 13. Ювчев С.І , Стоянов П.П., Волчок Н.А. Интегральные характеристики гексагональных текстур. International Conference of Students and Young Scientists in Theoretical and Experimental Physics. HEUREKA-2009. Book of abstracts. May 20-22, 2009 Lviv. Ukraine. Lviv: LNU. p.A19.
 14. Совкова Т.С., Брюханова З.А., Волчок Н.А.Влияние ванадия на текстуру и анизотропию свойств листов сплава Ti-4Al// тез. 5 Евразийской конференции «Прочность неоднородных структур, ПРОСТ-10.-МИСиС. 2010. с. 36.
 15. Захарченко И.Г., Совкова Т.С., Волчок Н.А., Брюханов П.А. Влияние вида и степени деформации холодной прокаткой на текстуру и анизотропию упругих свойств листов сплава Ti-3Al-1,5V.// тез. 5 Евразийской конференции «Прочность неоднородных структур, ПРОСТ-10.-МИСиС. 2010. с.35.

Анотація

Волчок Н.А. Кількісні характеристики текстури і анізотропія пружних властивостей деформованих α – твердих розчинів на основі титану -Рукопис. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за фахом 01.04.07 – Фізика твердого тіла. - Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д.Ушинського. Одеса 2011 р.

Вивчили вплив типу гексагональних текстур, величини і характеру їх розсіяння на кількісні інтегральні характеристики текстури (ІХТ) і статистичний кут нахилу призми до площини прокатки на основі модельних полюсних фігур (ПФ) (0002) і експериментальних ПФ, які отримали для металів з різним співвідношенням c/a . Ці характеристики дозволили розрахувати анізотропію пружних властивостей текстурованих полікристалів гексагональних металів, знайти компоненти тензорів піддатливості для їх монокристалів, оцінити тензорну розмірність коефіцієнта ушкодження, розрахувати компоненти тензора ушкодження для монокристалів титану, знайти значення коефіцієнта ушкодження в нормальному до площини листів титану напрямку. Представлення текстур за допомогою ІХТ і статистичного кута нахилу призми до площини прокатки рекомендується використовувати для сертифікації листового прокату по характеристиках текстури.

Метод представлення текстур за допомогою кількісних характеристик текстури застосували до вивчення текстур сплавів Ti-3Al-1,5V и Ti-5Al-2V після деформації подовжньою і поперечною прокатками. Показана некоректність використання констант піддатливості монокристала титану для розрахунку властивостей текстурованих полікристалів Ti- сплавів. Розрахунково-експериментальним

методом знайдені константи монокристалів сплавів і розраховані властивості полікристалів в різних напрямках. Визначені режими обробки сплавів для отримання листів з високим рівнем текстурного зміцнення і низьким рівнем анізотропії властивостей. Відмінність в текстуроутворенні в сплавах пояснюється різним кристалографічним механізмом деформації. Оцінили вклад процесів ковзання і двійникування в механізм пластичної деформації при холодній прокатці α -титанових сплавів.

Ключові слова: текстура, полюсна фігура, інтегральні характеристики, анізотропія, модулі Юнга і зсуву, коефіцієнт Пуассона, ушкодження, текстурне зміцнення, ковзання, двійникування.

Анотація

Волчок Н.А. Количественные характеристики текстуры и анизотропия упругих свойств деформированных α -твердых растворов на основе титана -Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 –Физика твердого тела. - Южноукраинский национальный педагогический университет имени К.Д.Ушинского. Одесса 2011 г.

Изучено влияние типа гексагональных текстур, величины и характера их рассеяния на количественные интегральные характеристики текстуры (ИХТ) и статистический угол наклона призмы к плоскости прокатки на основе модельных полюсных фигур (ПФ) (0002) и экспериментальных ПФ, полученных для металлов с различным соотношением c/a . Эти характеристики позволили рассчитать анизотропию упругих свойств текстурованных поликристаллов гексагональных металлов, найти компоненты тензоров податливости для их монокристаллов, оценить тензорную размерность коэффициента повреждаемости, рассчитать компоненты тензора повреждаемости для монокристаллов титана, найти значение коэффициента повреждаемости в нормальном к плоскости листов титана направлении. Представление текстур при помощи ИХТ и статистического угла наклона призмы к плоскости прокатки рекомендуется использовать для сертификации листового проката по текстурным характеристикам.

Метод представления текстур при помощи количественных характеристик текстуры применен к изучению текстур сплавов Ti-3Al-1,5V и Ti-5Al-2V после деформации прямой и поперечной прокатками. Показана некорректность использования констант податливости монокристалла титана для расчета свойств текстурованных поликристаллов сплавов на его основе. Расчетно-экспериментальным методом найдены константы монокристаллов сплавов и рассчитаны свойства поликристаллов в различных направлениях. Определены режимы обработки сплавов для получения листов с высоким уровнем текстурного упрочнения и низким уровнем анизотропии свойств. Различие в текстурообразовании в сплавах объясняется разным кристаллографическим механизмом деформации. Оценен вклад процессов скольжения и двойникования в механизм пластической деформации при холодной прокатке α -титановых сплавов.

Ключевые слова: текстура, полюсная фигура, интегральные характеристики, анизотропия, модули Юнга и сдвига, коэффициент Пуассона, повреждаемость, текстурное упрочнение, скольжение, двойникование.

Abstract

Volchok N.A. The quantitative characteristics of texture and the anisotropy of the elastic properties of the α -solid solutions on the titanium base.- Manuscript.

The thesis on competition of a scientific degree of a Cand. Phys. Math. Sci. on the trade 01.04.07-Solid State Physics – the Ushinski South Ukrainian National Pedagogical University. Odessa 2011.

The effect of the hexagonal texture types, the values and characters of their dissipation on the quantitative integral characteristics of texture (ICT) and statistic angle of inclination of the hexagonal prism to the rolling plane on the base of model pole figures (PF) (0002) and experimental (PF), obtained for metals with different relation c/a , were investigated. These characteristics gave the opportunity to calculate the elastic properties anisotropy of textured hexagonal metals, to find the components of the compliance tensors for its monocrystals. to estimate the tensor power of the damage coefficient, to calculate the components of the damage coefficient tensor, to find the value of the damage coefficient in the normal direction to the sheet plane for titanium. Representation of textures using ICT recommended for certification metal sheets on the texture characteristics.

The method of representation of textures in terms of quantitative texture characteristics was applied to study the textures of Ti-3Al-1,5V and Ti-5Al-2V alloys after deformation by direct and cross rolling.

The incorrect use of compliance constants of the pure single crystal titanium for calculating the properties of textured polycrystalline Ti-alloys was shown. By the experimentally- calculating method, the constants of monocrystals of alloys and the properties of the polycrystals in different directions after direct and cross rolling deformation were found. The modes of processing for alloys sheets with a high level of texture hardening and low anisotropy of the properties were defined.

The difference in the texture formation in alloys is regarded due to different crystallographic deformation mechanisms. The contribution of the slipping and twinning in the mechanism of plastic deformation during cold rolling of titanium alloys were estimated.

Key words; texture, pole figure, integer characteristics, anisotropy, Young's and shear modulus, Poisson's coefficient, damage, slipping, twinning.

