

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Структурні зміни в полікристалах, що протікають при різного роду зовнішніх впливах на них, відбиваються на їх текстурі та відповідно, на анізотропії властивостей полікристалів. Це проявляється, зокрема, у процесі пластичної деформації листових полікристалів, при якій відбуваються інтенсивне ковзання, двійникування або дифузійна повзучість. Вивчення текстур деформації дозволяє одержати інформацію про внесок різних деформаційних механізмів на загальну формозміну конструкційних матеріалів і обумовлену текстурою анізотропію їх властивостей. Текстурованість полікристалічних конструкційних матеріалів має важливе значення, як головна причина анізотропії властивостей напівфабрикатів і виробів. Текстура супроводжує практично всі технологічні процеси отримання та обробки металів і сплавів. Текстура в одних випадках є шкідливою, а в інших текстура може служити додатковим резервом поліпшення властивостей металопродукції за основними параметрами: габаритним, міцністним, пластичним та ін. Тому врахування «ефекту текстури» є дуже важливим на всіх етапах отримання й обробки металів і сплавів. Необхідно також враховувати можливість зміни текстури в процесі експлуатації виробів, яка може здійснюватися в широкому діапазоні швидкостей і видів навантаження.

Разом із традиційними текстуrowаними матеріалами, облік текстури в яких продовжує залишатися актуальним, розроблені нові технічні матеріали, практичне використання яких цілком залежить від створення в них певної кристалографічної текстури. До таких матеріалів відносяться низьковуглецеві сталі з однофазної і двофазної структурою, основою яких є ОЦК решітка α - заліза. У деяких випадках можлива також і заміна монокристалічних виробів, технологію одержання яких важко реалізувати, на вироби, що мають гостру кристалографічну текстуру.

Останнім часом істотний інтерес дослідники проявляють до дослідження структурних неоднорідностей, що утворюються при деформації. Деформаційні структурні неоднорідності відбивають процеси структурних змін на мезорівні. Механізм утворення мезоструктурних неоднорідностей вивчений недостатньо, пропонуються тільки гіпотези та моделі. Дослідження в цьому напрямку повинні істотно розширити можливості теорії текстуроутворення при моделюванні текстур стиску, розтягування, прокатки та ін.

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

Метою роботи: встановити кількісний зв'язок між характеристиками текстури листових ОЦК полікристалів низьковуглецевих сталей, деформованих розтягом з різними швидкостями, знакозмінним згином, прокаткою з анізотропією їх властивостей.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати методи вивчення й представлення текстур і анізотропії властивостей полікристалів. Обґрунтувати вибір і границі застосування оптимальних з них стосовно досліджуваних матеріалів. Розробити програмне забезпечення для розрахунку характеристик текстури ОЦК полікристалів за результатами експериментальних рентгенівських і електронно-мікроскопічних досліджень текстур.

2. Реалізуючи процеси розтягу й стиску деформацією знакозмінного згину листів сталі St1.03 12 вивчити зміну текстурних характеристик залежно від числа циклів такої деформації. Встановити зв'язок між характеристиками текстури стиску та розтягу з анізотропією властивостей деформованих листових полікристалів.

3. Вивчити вплив швидкості деформації розтягом на текстурні характеристики та анізотропію пружних, міцністних і пластичних властивостей листів низьковуглецевої сталі St1.03 12 (0.06% C, до 0.35% Mn, до 0.40% Si, ~ 0.025% S і P) після рекристалізаційного відпалу. Визначити можливість прогнозування анізотропії властивостей по характеристиках текстури в тензорному поданні.

4. Вивчити анізотропію характеристик схованого руйнування листів сталі St1.03 12 при різних швидкостях деформації розтягом.

5. Вивчити неоднорідність текстури, анізотропію пружних і магнітних властивостей, залишкових напружень по товщині листів трубної сталі після гарячої прокатки та встановити їх внесок у загальну анізотропію властивостей листів.

Об'єкт дослідження – листові полікристали низьковуглецевої сталі St1.03 12 (0.06% C, до 0.35% Mn, до 0.40% Si, ~ 0.025% S и P), а також трубної сталі 06Г2МТФБР (0,06% C, 1,5% Mn, 0,28% Si, 0,2% Ti, 0,27 %Mo, 0,66% V, 0,05% Nb).

Предмет дослідження – текстурований стан, мікроструктура та анізотропія пружних, механічних та магнітні властивості полікристалів низьковуглецевої сталі.

Рішення сформульованих завдань досягнуто в рамках таких методів:

- сучасних уявлень про механізми пластичної деформації в металах і сплавах з кубічної структурою;
- експериментальних методів рентгенівського аналізу текстур полікристалів;
- експериментального методу аналізу текстур полікристалів на основі дифракції зворотньовідображених електронів.
- кількісних методів опису текстур кубічних полікристалів;
- методів вивчення анізотропії пружних і механічних властивостей;
- комп'ютерних методів обробки експериментальних даних.

Наукова новизна роботи.

1. Вивчено зв'язок текстурних характеристик з анізотропією властивостей листів низьковуглецевої сталі при деформації різним числом циклів знакозмінного згину.

2. Методами зворотної дифракції електронів (ESBD) встановлена закономірність текстурних перетворень у площині та перерізі листів α -заліза при швидкостях деформації розтягом в інтервалі швидкостей 0.0017 - 5 мм/с.

3. Встановлено зв'язок між характеристиками текстури та анізотропією механічних властивостей в листах ОЦК - заліза при різних швидкостях деформації розтягом до 10%.

4. Отримано залежність зміни анізотропії коефіцієнта руйнування від швидкості розтягування в площині листів низьковуглецевої сталі.

5. Отримано характеристики текстурних змін по перерізу товстолистого прокатка трубної сталі 06Г2МТФБР (0,06% С, 1,5% Мn, 0,28% Si, 0,2% Ti, 0,27 %Мо, 0,66% V, 0,05% Nb) і їх зв'язок зі змінами анізотропії властивостей по товщині листів.

6. Отримано залежність енергії піка Баркгаузена в різних шарах по товщині неоднорідних листів сталі 06Г2МТФБР і встановлена її зв'язок з розподілом характеристик текстури по товщині.

Науково-практичне значення одержаних результатів.

1. Визначено оптимальні характеристики міцності і пластичності, а також пружних властивостей, які досягаються в листах низьковуглецевої сталі після деформації певним числом циклів (1-3 циклу) знакозмінного згину при кімнатній температурі.

2. Визначено швидкості деформації низьковуглецевої сталі St1.03 12, що забезпечують високий рівень пружних, міцностних і пластичних властивостей, а також найменший коефіцієнт прихованої пошкоджуваності. Для розтягування зі швидкостями 0.0017 - 5 мм /с визначена критична швидкість деформації (1 мм /с), вище якої спостерігається різке падіння міцностних властивостей і зростання коефіцієнта пошкоджуваності.

3. Вивчено неоднорідність пружних, магнітних властивостей, текстури і залишкових напружень першого роду по глибині для листів трубної сталі 06Г2МТФБР. Показана можливість контролю текстурної неоднорідності в товстолистому прокаті трубної сталі по зміні з глибиною енергії піку Баркгаузена.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів підтверджується надійністю методів рентгенівського текстурного експерименту і методів визначення анізотропії досліджуваних властивостей; задовільним збігом експериментальних результатів з розрахунковими; відповідністю висновків загальноприйнятим уявленням.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися на:

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

2. Міжнародній конференції студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики. Еврика-2010. Львів, травень 2010, ЛНУ ім. І.Франка.

3. Евразийской конференции «Прочность неоднородных структур». ПРОСТ 2010. М. 20-22 апреля 2010 г. М.:МИСИС. 2010.

4. Евразийской конференции «Прочность неоднородных структур». ПРОСТ 2010. М. 17-19 апреля 2012 г. М.:МИСИС. 2012.

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що їм безпосередньо:

1. Підготовлені зразки й проведені рентгенівські та металографічні дослідження.

2. Встановлено основні закономірності текстурних перетворень сплавів α -заліза ST1.3 12 і 06ГМТФБР та виконана математична обробка результатів.

3. Проведені механічні випробування на згин і визначено модуль Юнга в головних напрямках після різної кількості циклів знакозмінного згину.

4. Підготовлено зразки, вирізані по товщині товстолистого прокату сталі 06ГМТФБР, і визначено модуль Юнга в головних напрямках пошарово, а також оцінений розподіл залишкових напруг по товщині та зміна мікротвердості із глибиною.

Публікації. Основний зміст дисертації опублікований в 6 статтях періодичних видань, рекомендованих МОН України для публікації матеріалів дисертацій на здобуття вчених ступенів по фізико-математичним наукам, і у вигляді 6 тез у збірниках праць міжнародних конференцій.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація містить вступ, три розділи, висновки по кожному розділі та загальні висновки по дисертації, список цитованої літератури. Загальний об'єм дисертації склав 134 сторінки, 51 рисунок, 8 таблиць, 185 бібліографічних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність досліджень про внесок різних механізмів деформації на загальну формозміну конструкційних матеріалів і обумовлену текстурою анізотропію їх властивостей. «Ефект текстури» важливо враховувати на всіх етапах одержання й обробки металів і сплавів у широкому діапазоні швидкостей і видів навантаження. Формування певного типу текстури визначається надійністю теоретичних механізмів пластичної деформації при різних видах зовнішніх силових і температурних полів.

Визначено коло матеріалів для досліджень, методи досліджень, умови проведення експерименту, методи й моделі аналізу результатів, теоретична й практична результативність роботи, апробація, публікації та положення, що виносяться на захист.

У першому розділі наведений огляд літератури по впливу умов деформації та відпаду на текстуру кубічних полікристалів. Розглянуто характеристики текстур деформації холодною прокаткою металів з ОЦК решіткою, а також їх зміни в результаті рекристалізаційного відпаду.

Режим пластичний деформації ОЦК полікристалів впливає на формування компонентного складу його текстури. Вихідна текстура впливає на еволюцію текстури при деформації. При переході від малих ступенів деформації до середніх і високих спостерігаються зміни в механізмах розвитку текстури. Сильний вплив на компонентний склад текстури прокатки робить зміна схеми деформації (розтяг, стиск, прокатка, зміна напрямку прокатки та ін.). Деформація полікристалів здійснюється шляхом ковзання по характерним для матеріалу системам ковзання (СК) і двійникування по системах двійникування (СД). Вплив швидкості деформації виражається в перерозподілі частки ковзання і двійникування, а також у зміні співвідношення між внутрішнім ковзанням в зернах та прикордонному ковзанні між ними. При імпульсному навантаженні завдяки більшим по величині нормально

діючим напругам можливе ковзання по СК, для яких критична зсувна напруга більше, ніж характерні для цього кристала. Практично відсутні роботи, у яких би вивчалися зміни в механізмах деформації в широкому інтервалі швидкостей і ступенів деформації.

У другому розділі описані методи вивчення текстури та анізотропії властивостей, стосовно до кубічних полікристалів. Рентгенодифрактометричні методи дозволяють одержати кількісний розподіл полюсів кристалографічних площин у полікристалі у вигляді прямих або зворотних полюсних фігур (ПФ), а також функцій розподілу орієнтацій (ФРО). При цьому необхідно враховувати ефект дефокусування, що має місце при зйомці прямих ПФ, який може визначатися за допомогою бестекстурованого еталона або аналітично з підбором оптимальної ширини щілин джерела й детектора. Для вивчення впливу орієнтаційного розподілу кристалів у полікристалі на анізотропію його властивостей, у наближенні механіки суцільних середовищ, ФРО несе надлишкову інформацію. Тому для таких завдань із урахуванням симетрії досліджуваного об'єкта зайвим є описання текстури всієї ФРО, натомість користуються деякими її згортками, що описують внесок текстури в анізотропію властивостей полікристала. Для кубічних листових полікристалів досить трьох таких згорток, які називаються інтегральними характеристиками текстури (ІХТ) (I_i), що представляють собою комбінації направляючих косинусів системи координат кристала щодо системи координат полікристала:

$$\left. \begin{aligned} I_1^{(c)} &= \langle a_{11}^4 + a_{12}^4 + a_{13}^4 \rangle \\ I_2^{(c)} &= \langle a_{21}^4 + a_{22}^4 + a_{23}^4 \rangle \\ I_3^{(c)} &= \langle a_{11}^2 a_{21}^2 + a_{12}^2 a_{22}^2 + a_{13}^2 a_{23}^2 \rangle \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Формули для розрахунку модуля Юнга (E) і модуля зсуву (G) у площині листа полікристалів, що складаються із кристалів кубічної симетрії, мають вигляд:

$$E^{-1}(\varphi) = s_{11} - k\psi(\varphi), \quad (2)$$

$$G^{-1}(\varphi) = s_{44} + 2k\psi(\varphi), \quad (3)$$

де $\psi(\varphi) = 1 - (I_1 \cos^4 \varphi + I_2 \sin^4 \varphi + 1,5I_3 \sin^2 2\varphi)$ – функція анізотропії; $k = \left(s_{11} - s_{12} - \frac{1}{2}s_{44} \right)$, а s_{11} ,

s_{12} , s_{14} – константи податливості монокристала.

Значення властивостей у важковимірюваних напрямках (наприклад, напрямком нормалі до площини листа) листів кубічних кристалів можна знайти за формулою:

$$E_{HH}^{-1} = s_{11} - k(I_1 + I_2 + 2I_3) \quad (4)$$

ІХТ розраховуються із ФРО або безпосередньо із ПФ від ізотропних площин, якими для кубічних кристалів є площини $\{111\}$. Опис текстур, крім ФРО, проводиться за допомогою ідеальних орієнтувань (ІО), кожна з яких відображає систему ковзання або двійникування, що її утворила. В сукупності набір ІО визначає реальну анізотропію властивостей текстурованого полікристала. Для завдань з прогнозування анізотропії властивостей листових полікристалів достатньо подання текстур у вигляді ІХТ, набір яких достатній для сертифікації листових полікристалів з кубічною решіткою.

Експериментальні прямі полюсні фігури $\{001\}$ і $\{111\}$ ОЦК металів неможливо одержати прямими рентгенодифрактометричними методами через закон загасання рефлексів. Тому для їхнього отримання потрібне визначення спершу ФРО по трьох ПФ, а потім розрахувати зазначені ПФ $\{111\}$ або отримати необхідну ПФ за допомогою аналізу кілчиграм, які можливо одержати методами дифракції зворотньовідображених електронів. У цей час для рішення таких завдань розроблений метод «АСОМ» (Automated Crystal Orientation Measurement/Mapping - автоматичний вимір і побудова карт кристалографічних орієнтації) на базі скануючого електронного мікроскопа LEO 1455 VP. Перевагою його є можливість переглядати досить великі поверхні зразка, обираючи необхідні ділянки для орієнтаційного аналізу структури.

Анізотропію пружних властивостей листів ОЦК-металів вивчали в дисертації динамічним методом по частоті власних поперечних коливань плоских зразків вирізаних під різними кутами до головних вісей координат листів. Механічні властивості вивчали стандартними методами.

У **третьому розділі** наведені результати власних досліджень текстур та анізотропії властивостей листових полікристалів з ОЦК решіткою. Одним з матеріалів для досліджень служила низьковуглецева сталь DC 04. За європейською класифікацією це Advanced high-strength steels (AHSS), інакше – St1.03 12 (0.06% C, до 0.35% Mn, до 0.40%Si, ~ 0.025% S і P) товщиною 0.95 мм після рекристалізаційного відпалу в лабораторній печі (600°C у атмосфері аргону, витримка 1 година). Для досліджень впливу процесів розтягування та стиски на текстуру та анізотропію властивостей використовували сталь із вмістом вуглецю менше 0.06% без легуючих добавок, близьку за структурою до армко-заліза. Це давало можливість для розрахунків анізотропії властивостей використовувати характеристики податливості заліза. Листи розпускали на карти розмірами 95x95мм, які піддавали деформації знакозмінним згином у напрямку прокатки (НП) на роликах діаметром 50 мм. Один цикл деформування включав згин в одну та протилежну сторони та повернення зразка у випрямлений стан. Один згин в одну сторону становив 0.25 циклу.

Початкові стадії ЗЗ (1, 2 цикли) істотно змінюють характер анізотропії $1/E$ (Е-Модуль Юнга), представлені у вигляді рядів Фур'є: $\frac{1}{E} = A_0 + A_2 \cos 2\varphi + A_4 \cos 4\varphi$. Якщо у вихідних листах внесок в анізотропію $1/E$ другої та четвертої гармонік сумірні, а після деформації в НП одним циклом ЗЗ – практично однакові, то після двох циклів ЗЗ листи мають анізотропію, внесок у яку четвертої гармоніки приблизно в п'ять разів вище, ніж другої.

Коефіцієнт анізотропії приймає значення: 7,4%, 6,2%, 7,3%, 7,3%, 7,3%, відповідно для 1, 2, 4, 6 і 8 циклів деформації ЗЗ. Анізотропія $1/E$ в поданні гармонік рядів Фур'є представлена на рис.1.

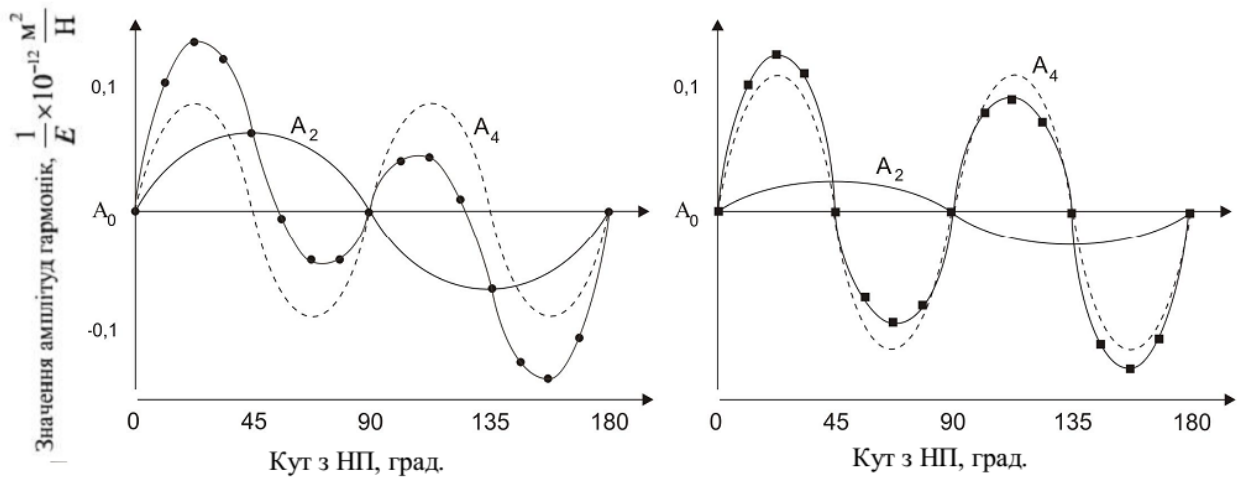


Рис.1. Анізотропія $1/E(\varphi)$ листів низьковуглецевої сталі: в ●-вихідному стані, ■-після деформації двома циклами знакозмінного згину та гармоніки подання анізотропії $1/E(\varphi)$ у вигляді рядів Фур'є.

Анізотропія пружних властивостей з високим внеском четвертої гармоніки характерна для орієнтувань $\{112\} [1\bar{1}0]$, $\{11\bar{2}\} [111]$ і $\{013\} [100]$. Орієнтування характерні для анізотропії пружних властивостей з високим внеском другої гармоніки є $\{001\} [100]$, $\{001\} [110]$. У досліджуваній сталі з ОЦК решіткою явище двійникування також можливо по площині (111), однак аналіз двійникових переорієнтувань показав, що двійникова орієнтація компоненти $\{111\} [UVW]$ попадає в область розсіювання – на ПФ орієнтування $\{001\} [110]$.

ІХТ розраховали з використанням компонентів тензора податливості монокристала для армко-заліза. У вихідному стані I_1 і I_2 відрізняються мало, а $I_3 \sim$ у три рази менше перших двох. I_1 і I_2 уже після одного циклу деформації ЗЗ ростуть, а I_3 – падає. Два цикли далі збільшують I_2 , і також незначно збільшують I_1 . Далі I_2 монотонно зменшується, а I_1 і I_3 коливаються біля деяких середніх значень.

По даним ІХТ і константам податливості для заліза розраховали анізотропію модуля зсуву для деформацій ЗЗ різним числом циклів і значення для них модуля Юнга в нормальному до площини листів напрямку. Анізотропія модуля зсуву по характеру протилежна анізотропії модуля Юнга. У середньому модуль зсуву приблизно в три рази менше модуля Юнга. Модуль Юнга в НН міняється залежно від числа циклів деформації ЗЗ в межах 5-6% і, як і для модуля Юнга в площині листового полікристала, найбільш різка зміна доводиться на початкові деформації ЗЗ.

Середнє значення межі текучості росте до деякого максимального значення після деформації малим (<3) числом циклів ЗЗ. Межа міцності (деформаційне зміцнення) росте на самих початкових ступенях деформації. Потім, після невеликого падіння в області 1-3 циклів ЗЗ, продовжує рости до деякого найбільшого значення. Після деформації числом циклів > 5.5 спостерігається зменшення, тобто зменшення цієї характеристики міцності. Межа текучості починає зменшуватися досить різко вже після 3 циклів ЗЗ. Характеристики пластичності міняються після кожного циклу деформації ЗЗ теж циклічно, коливаючись для кожного з напрямків біля деякого середнього значення. Це має місце й для відносного рівномірного

подовження й для відносного подовження. Оптимальні характеристики міцності й пластичності, а також пружних властивостей досягаються в листах досліджуваної сталі деформацією 33 при кімнатній температурі 1-3 циклами.

Дані про мікроструктуру та текстуру одержували на скануючому електронному мікроскопі LEO 1455 VP при прискорювальній напрузі 20 кВ. Методом дифракції зворотньовіображених електронів вивчали текстуру листів сталі St1.03 12 кінцевим видом обробки якої, був рекристалізаційний відпал. Вивчали ПФ від площини листів і від перерізу, перпендикулярного НП. Текстура листів досить добре описується орієнтуваннями $(111)[12\bar{3}]$ й $(111)[11\bar{2}]$, а також близькими до них $(554)[22\bar{5}]$ і $(1087)[13\bar{5}]$, в області розсіювання входять орієнтування $(335)[71\bar{2}3]$ і $(112)[6\bar{8}1]$. Є присутнім також і орієнтування $(100)[001]$, а в області розсіювання - $(100)[012]$.

ПФ $\{111\}$ від перерізу, перпендикулярного НП, описуються добре орієнтуваннями: $(522)[4\bar{5}\bar{5}]$, $(135)[108\bar{7}]$, $(681)[1\bar{1}2]$, $(7123)[\bar{3}3\bar{5}]$, $(112)[11\bar{1}]$, $(123)[11\bar{1}]$, $(012)[100]$, $(001)[100]$, які пов'язані з орієнтуваннями для відповідної ПФ від площини листів співвідношенням: $(h_1k_1l_1) = (u_2v_2w_2)$ і $[u_1v_1w_1] = [h_2k_2l_2]$, де індекс (1) відповідає орієнтуванню у площині листа, а (2) – у його перерізі, перпендикулярному НП. Значення ІХТ склали: $I_1^{(ND)} = 0.68$, $I_2^{(ND)} = 0.62$, $I_3^{(ND)} = 0.23$ (для площини прокатки) і $I_1^{(RD)} = 0.73$, $I_2^{(RD)} = 0.64$, $I_3^{(RD)} = 0.18$ (для перерізу листа).

Анізотропію $1/E$ розраховали для площини прокатки та перерізу, перпендикулярного НП по даним ІХТ і константам податливості для заліза. Результати розрахунків $1/E(\varphi)$ для площини листів добре узгоджуються з даними прямих вимірів анізотропії модуля Юнга динамічним методом. З геометричних міркувань видно, що значення модуля Юнга в НП, при розрахунку з використанням значень ІХТ у площині листа, відповідає його значенню при $\varphi=0^\circ$, при використанні ІХТ у перерізі листа і, навпаки, значення модуля Юнга в НП по даним ІХТ у площині листа повинне відповідати його значенню в напрямку, перпендикулярному перерізу листа, при використанні відповідних ІХТ. Цей зв'язок спостерігався в результатах розрахунків. Значення модуля Юнга в напрямках, перпендикулярних площинам розраховували по формулі (4): $E_{III}^{ND} = 172.3$ ГПа й $E_{III}^{RD} = 177$ ГПа.

Вплив швидкості деформації розтягом на механічні властивості та текстурні характеристики листів низьковуглецевої сталі вивчали на стандартних зразках, які вирізали в НП і поперечному напрямку (ПН). Зразки розтягували зі швидкостями переміщення траверсу 0.0017, 0.017, 1, 2 і 5 мм/с або $(2.2 \cdot 10^{-5}, 2.2 \cdot 10^{-4}, 0.013, 0.027, 0.067) \text{с}^{-1}$ відносно початкового перерізу до руйнування на розривній машині "Zwick Z100 (100kN)", класу 0.5 з гарантованою погрішністю не більше 0.5%. Паралельно деформували розтягом зразки з тими ж швидкостями до 10% деформації. Після деформації ці зразки розрізали в середині робочої частини і від зрізу проводили зйомку кікучіграм.

Зерна в площині прокатки витягнуті і у поле мікроскопа попадає невелика кількість зерен (~30-50). У перерізі, перпендикулярному НП напрямку, зерна ближче до рівноосних і в поле мікроскопа їх попадає значно більше (~ 100). Тому текстуру

вивчали від зрізу листів безпосередньо в зоні деформації. Далі, при збільшенні швидкості деформації ($v=0,017-2$ мм/с) на мікроструктурах з'являються зерна з більше різноманітною орієнтацією, які також виявляють тенденцію до коагуляції при швидкостях розтягування ~ 5 мм/с. На рівні аналізу мікроструктур можна зробити висновок про те, що процес деформування ОЦК-заліза істотно залежить від швидкості. На рис. 2 наведені ПФ листів сталі після зазначених видів обробки.

Малі швидкості деформації розтягом (0.0017 мм/с) формують текстуру з розташуванням у площині, перпендикулярній площині прокатки, кристалографічної площини (011) . У НН розташовуються напрямки $\langle 11\bar{1} \rangle$, $\langle 31\bar{1} \rangle$, $\langle 21\bar{1} \rangle$, $\langle 53\bar{3} \rangle$, $\langle 12\bar{2} \rangle$ і $\langle 35\bar{5} \rangle$. Інакше можна сказати, що за таких умов деформації в листах сталі формується квазіаксиальна текстура $[011]$ у напрямку розтягування (НП). При швидкості деформації 2 мм/с вид ПФ істотно міняється, що відповідає появі нових орієнтувань $(134)[84\bar{5}]$, $(135)[53\bar{3}]$, $(135)[21\bar{1}]$. Збільшення швидкості деформації до 5 мм/с відбивається на ПФ об'єднанням розрізних областей підвищеної полюсної густини в три групи, що відповідають формуванню в площині, перпендикулярній площині прокатки, текстури з орієнтуванням $(134)[84\bar{5}]$ і близькими до неї орієнтуваннями $(135)[21\bar{1}]$ й $(135)[53\bar{3}]$. Орієнтування $(011)[UVW]$ зберігаються. Розподіл полюсної густини на ПФ $\{011\}$ і $\{001\}$ відповідають наведеним ідеальним орієнтуванням.

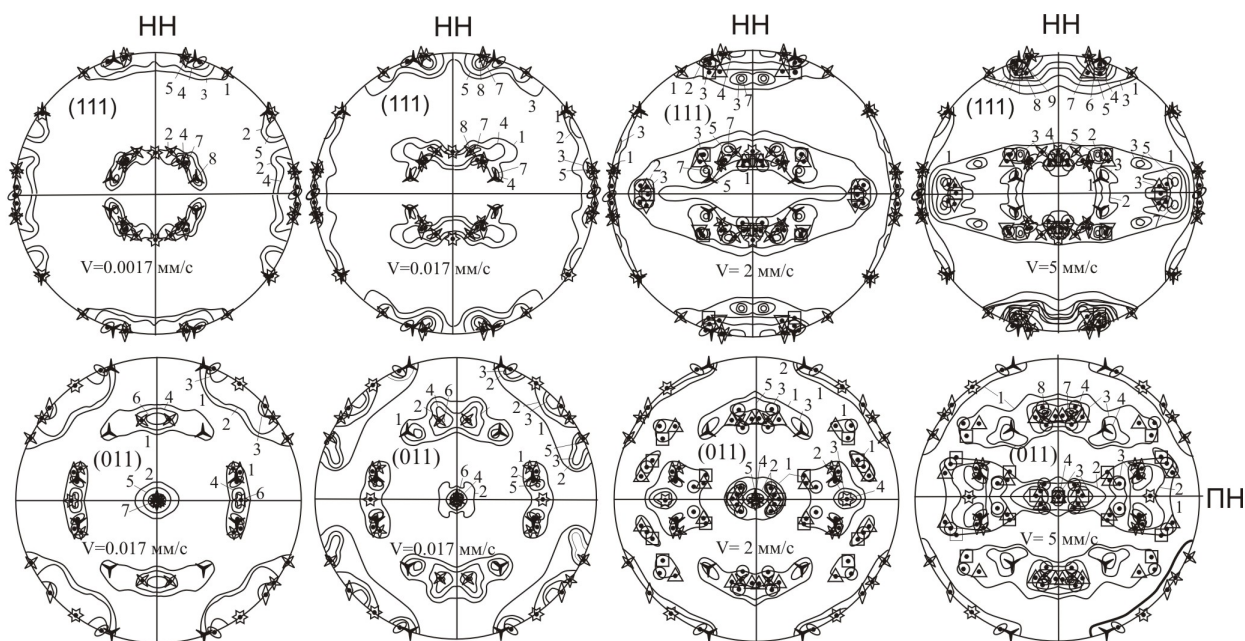


Рис. 2. Полюсні фігури $\{111\}$ і $\{011\}$ в перерізі листів сталі St1.03 12, деформованих розтягом з різними швидкостями (V) та ідеальні орієнтування, які їм відповідають: \odot $-(011)[35\bar{5}]$, \star $-(011)[21\bar{1}]$, \diamond $-(011)[11\bar{1}]$, \blacklozenge $-(011)[53\bar{3}]$, \times $-(011)[31\bar{1}]$, \blacktriangle $-(011)[12\bar{2}]$, \odot $-(134)[84\bar{5}]$, \square $-(135)[21\bar{1}]$, \triangle $-(135)[53\bar{3}]$

Зміни ІХТ зі збільшенням швидкості деформації розтягом мають вигляд (рис. 3).

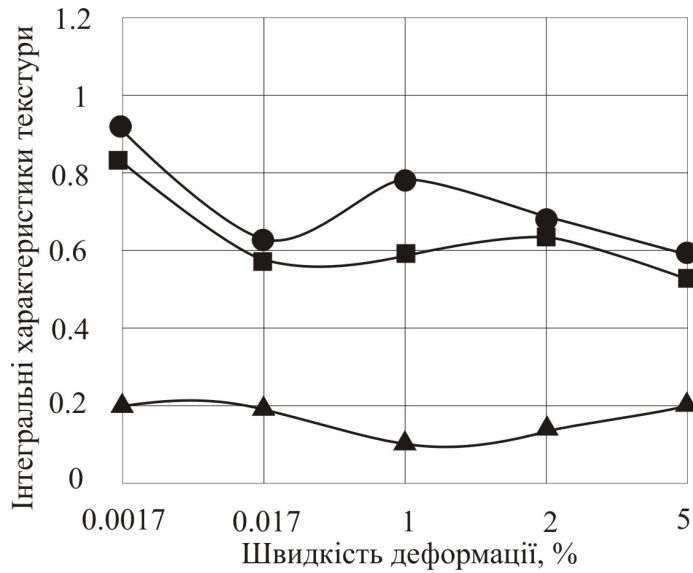


Рис. 3. Зміна ІХТ зі збільшенням швидкості деформації розтягом листів сталі St1.3 12 в площині листів: ● - I_1 ; ■ - I_2 ; ▲ - I_3 .

При малих швидкостях деформації перші дві ІХТ різко міняються, третя ІХТ практично не змінюється в цих областях швидкостей деформації та трохи зменшується при середніх швидкостях з тенденцією невеликого росту при збільшенні швидкості деформації. Перші дві після різкого зменшення при швидкостях до 1 мм/с далі коливаються біля деяких значень із тенденцією невеликого падіння. У моделі орторомбічного квазімонокристалу розраховали анізотропію модуля Юнга в площині листів деформованих розтягом з різними швидкостями.

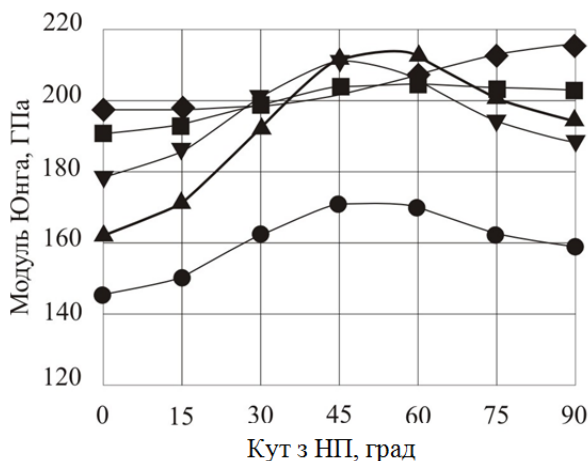


Рис. 4. Анізотропія модуля Юнга листів сталі St1.3 12, деформованих з різними швидкостями: ●-0.0017, ■-0.017, ▲-1, ▼-2, ◆-5 мм/з

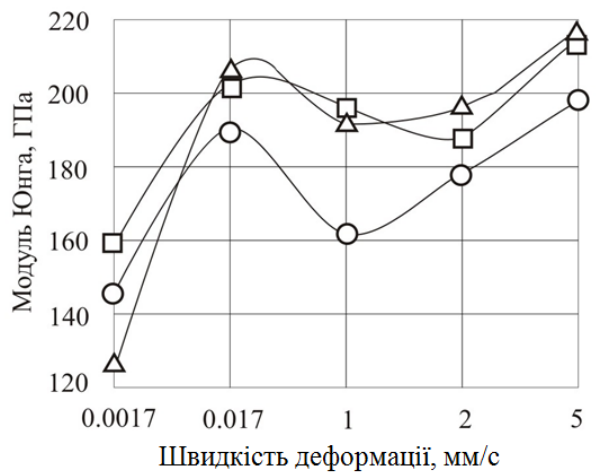


Рис. 5. Теоретичні значення модуля Юнга при деформації розтягом з різними швидкостями в головних напрямках листів St1.3 12: ○-НП, □-ПН, △-НН

Порівняння розрахункових значень модуля Юнга з експериментальними для НП і ПН показали хороший збіг для швидкостей деформації від 0.017 мм/с і вище,

до 5 мм/с. Що ж стосується малих швидкостей деформації, то тут розбіжність із експериментом істотна. Це, очевидно, обумовлено процесами релаксації, які протікають при малих швидкостях деформації. Для таких деформацій і експериментальні значення модуля Юнга в НП і ПН істотно нижче загальноприйнятих для низьковуглецевих сталей.

Зміна пружних і механічних властивостей листів сталі St1.3 12, деформованих розтягом з різною швидкістю, наведені на рис. 6.

Приймаючи концепцію про представлення анізотропії механічних властивостей тензорами четвертої розмірності, анізотропію довільної властивості в площині листа орторомбічної симетрії можна записати у вигляді:

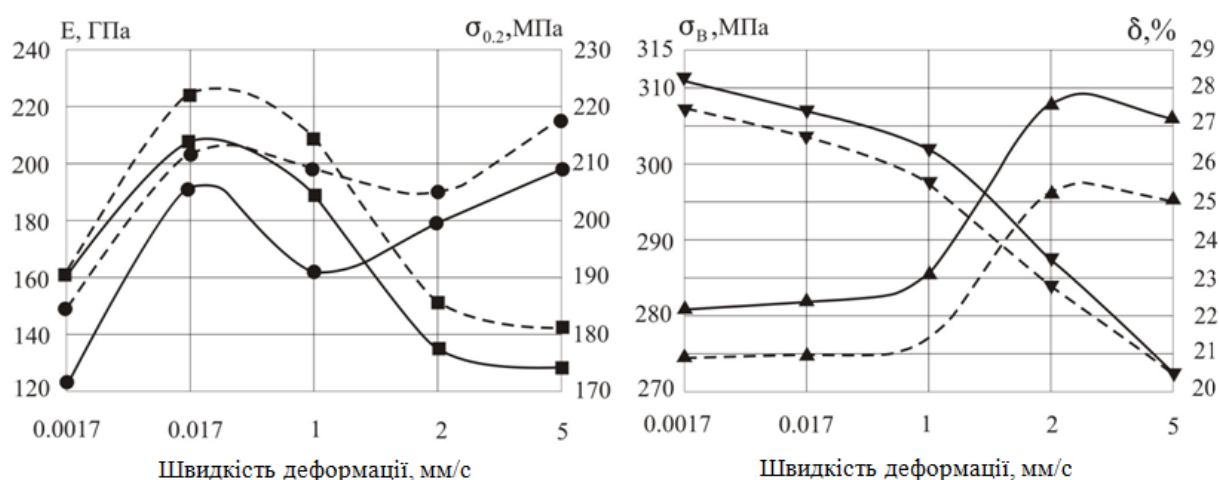


Рис. 6. Зміна модуля Юнга (●), межі текучості (■), межі міцності (▼), відносного подовження при розтяганні (▲) з різними швидкостями в напрямку прокатки (—) і поперечному напрямку (- - -)

$$D(\varphi) = d_1 + k\psi(\varphi) \quad (5)$$

де d_1 і k – деякі константи, що характеризують анізотропію властивостей монокристалу.

Тоді значення d_1 і k можна виразити через ІХТ і значення властивостей у НП і ПН у вигляді:

$$k = \frac{D(90^\circ) - D(0^\circ)}{I_2 - I_1} \quad (6)$$

$$d_1 = D(0^\circ) + k(1 - I_1) \quad (7)$$

або

$$d_1 = D(90^\circ) - k(1 - I_2) \quad (8)$$

Скориставшись даними виміру механічних властивостей і розрахунком ІХТ, по формулах (6) - (7) розраховали значення d_1 та k для вивчених властивостей досліджуваних листів низьковуглецевої сталі для різних швидкостей деформації розтягом. Анізотропію цих властивостей далі розраховали по формулі (5). Результати розрахунку показали задовільний збіг з даними прямих вимірів.

Від швидкості деформації залежать не тільки значення головних характеристик механічних властивостей, але й характер їхньої анізотропії в площині листів.

Коефіцієнт пошкоджуваності (D) розраховували по формулі Леметре:

$$D = \frac{E_0 - E_D}{E_0}, \quad (9)$$

де E_0 – модуль Юнга зразків у неушкодженому стані, тобто в лінійній частині кривої розтягування; E_D – диференційний модуль Юнга або модуль Юнга зразка в ушкодженому стані, тобто в нелінійній частині цієї кривої.

Для визначення E_D зразки однієї з партій піддавали розвантаженню після досягненні напруги 175 МПа відповідно до рекомендацій щодо вибору оптимальної області навантажень для вимірювання E_D : $0.15 \frac{F_{\max}}{S} < \frac{F}{S} < 0.85 \frac{F_{\max}}{S}$, де F – навантаження, а S – площа поперечного перерізу зразка в зоні деформації.

При малих швидкостях деформації D міняється мало та лежить у межах 0.015-0.025 для НП і ПН. При збільшенні швидкості деформації до 2 мм/с коефіцієнти пошкоджуваності істотно збільшуються для обох напрямків і продовжують рости при збільшенні швидкості деформації до 5 мм/с. Причому в НП D росте швидше, ніж у ПН.

При швидкостях деформації 0.0017-0.017 мм/с максимум коефіцієнта пошкоджуваності припадає на напрямок НП±60°. При швидкостях деформації більше 1 мм/с характер кривих $D(\varphi)$ міняється і на напрямок НП±45° тепер припадає мінімум D .

Текстуру неоднорідність і розподіл анізотропії властивостей по перерізу товстолистого прокату, важливі в практичному відношенні, вивчали на прикладі трубної сталі 06Г2МТФБР (0,06%С-1,5%Mn-0,28%Si-0,2%Ti-0,27%Mo-0,66%V-0,05%Nb).

Виробництво таких листів містить у собі виготовлення безперервнолитих слябів з наступною гомогенізацією при температурі 1100° протягом 3-4 годин. Далі проводилася чорнова прокатка в інтервалі температур 1100° - 920° до 50 мм по товщині, а потім остаточна до 18,7 мм із кінцевою температурою 730°С. Листи розрізали по товщині до середини на 3 пластини. Верхній шар являв собою пластину від поверхні вглиб листа на 2,5 мм, проміжний шар - від 3,05 до 5,10 мм і середній шар - від 6,10 до 8,15 мм по товщині.

Текстуру вивчали методом зворотних полюсних фігур (ЗПФ), які одержували шляхом зйомки дебаєграм від плоских зразків в (НН) і (НП). У НН ОПФ будували для двох поверхонь пластин, а для НП виготовили набірні зразки для кожної пластини. Таким чином, отримали шість пар ОПФ для різних відстаней від поверхні вихідного листа. Залишкові напруги першого роду оцінювали по зсуву центра тяжіння рентгенівських ліній для кристалографічних площин (110), (200) і (112). Для додаткової оцінки розподілу залишкових напруг по товщині використовували метод що базується на ефекті Баркгаузена. Зміну анізотропії модуля Юнга по товщині листа вивчали на прямокутних зразках шириною 10 мм, довжиною 120 мм і товщиною 2 мм, вирізаних під різними кутами до НП із пластин поверхневого, середнього й проміжного шарів.

Одержали, що орієнтування (100), (101), (102), (103), (111), (112), (123)[*UVW*] неоднаково розподілені по товщині листа (рис.7)

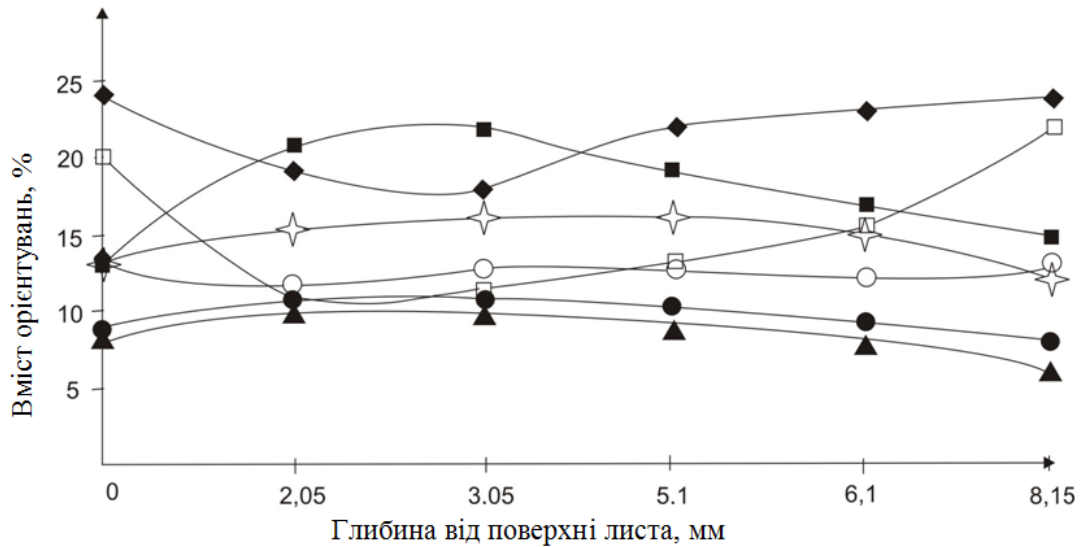


Рис. 7. Зміна вмісту по товщині текстурних компонентів (*hkl*) в листі сталі 06Г2МТФБР:◆ - (100); ■ - (101); ○ - (102); ☆ - (103); □ - (111); ● - (112); ▲ - (123).

Орієнтування (112) і (103) [*UVW*] мало змінюються при переході від шару до шару та залишаються порівняно слабкими. Найбільш сильними є орієнтування (100), (101) і (111) [*UVW*]. Причому процентний вміст орієнтувань (100) і (111) [*UVW*] значно зменшується, а компоненти (101)[*UVW*] збільшується із глибиною до проміжного шару. Значний вміст орієнтувань із площинами (100) і (111) у площині прокатки, у поверхневих шарах дослідженої сталі може бути пояснено наявністю тертя між металом і валками прокатного стану при деформації в ГЦК області. Іншою причиною появи орієнтування (111) [*UVW*] є первинне поперечне ковзання по системі (101) [111] у процесі попередньої гарячої прокатки в ГЦК області та наступному фазовому перетворенні по схемах Курдюмова-Закса або Гренигера-Трояно. У проміжному шарі зсувні компоненти послабляються та переважну роль грають текстури холодної прокатки, де головним орієнтуванням є (101)[*UVW*].

Мікротвердість у проміжному шарі менше, ніж у поверхневому та середньому шарах, що пояснюється зменшенням вмісту в ньому компоненти (111) [*UVW*], що робить найбільший опір вдавненню індентора в порівнянні з іншими компонентами, якщо не враховувати дефектну структуру.

Поверхневий шар має мінімальну анізотропію модуля Юнга (8%) і характерний досить плавним зменшенням *E* від НП до ПН. Найбільшою анізотропією модуля Юнга володіє середній шар листа, для якого коефіцієнт анізотропії *E* склав 17% з мінімумом для напрямку 45-50° до НП. Проміжний шар по характеру близький до середнього, але трохи з меншою анізотропією (14%). Інтегральна анізотропія модуля Юнга визначається внеском в анізотропію всіх орієнтувань по перерізу листа і має вигляд, характерний для кубічних металів і сплавів.

Залишкові напруження першого роду (σ) демонструють різний характер розподілу їх по глибині для різних площин (рис. 8), що свідчить про необхідність строгого обліку текстури у наступних дослідженнях.

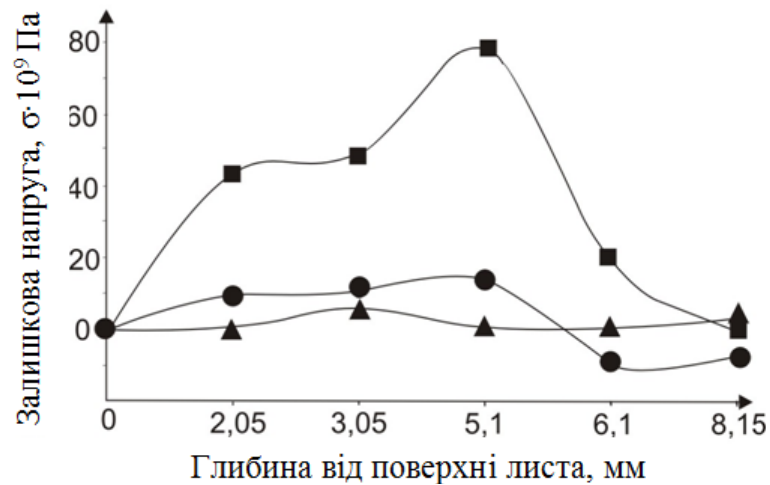


Рис. 8. Оцінка залишкових напруг по зсуву центра тяжіння деяких рентгенівських ліній для різних перерізів сталі 06Г2МТФБР кристаллографічних площин: ■ - (110), ● - (200), ▲ - (112).

Енергію піку Баркгаузена та інтенсивність шуму Баркгаузена вимірювали приладом Rollscan 300. Поведінка зміни із глибиною енергії піка Баркгаузена аналогічна зміні залишкових напруг першого роду. У поверхневому шарі орієнтаційна залежність інтенсивності шуму Баркгаузена подібна до характеру орієнтаційної залежності модуля Юнга.

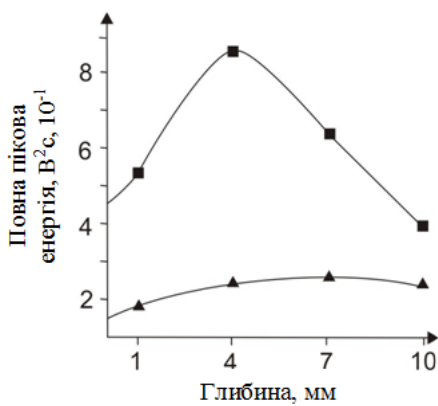


Рис. 9. Зміна із глибиною енергії піка Баркгаузена для НП і ПН досліджуваної сталі: 0-2 мм - верхній шар, 3-5 мм - проміжний шар, 6-8 мм - середній шар ■ - НП, ▲ - ПН.

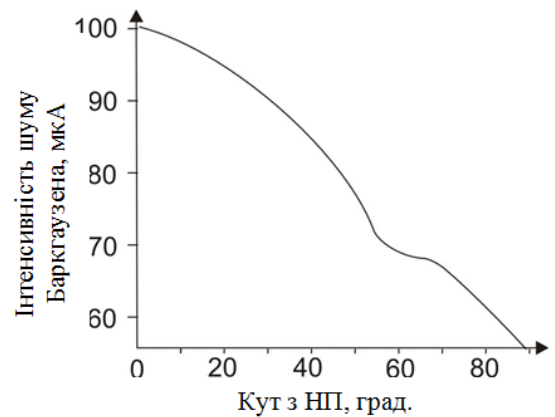


Рис. 10. Орієнтаційна залежність інтенсивності шуму Баркгаузена в поверхневому шарі.

Загальні висновки по дисертації

У дисертації досліджено впливу напружено-деформованого стану на текстуроутворення та анізотропію властивостей низьковуглецевих сталей St1.03 12 та 06Г2МТФБР. Для рішення сформульованих завдань використано такі методи: теоретичні – кількісні методи опису текстур кубічних полікристалів, сучасних уявлень про механізми пластичної деформації в металах і сплавах з кубічної решіткою; експериментальні – метод рентгенівського аналізу текстур полікристалів, метод аналізу текстур полікристалів на основі дифракції зворотньо-відображених електронів, методи вивчення анізотропії пружних і механічних властивостей.

Отримано наступні результати:

1. Деформація менше одного циклу знакозмінного згину смуг низьковуглецевої сталі (близької до армко-заліза) з початковою текстурою типу $\{001\} \langle 110 \rangle + \{112\} \langle 110 \rangle + \{001\} \langle 100 \rangle$, яка властива текстурам прокатки та рекристалізації, формує типову текстуру деформації ОЦК металів і сплавів з компонентою текстури зсуву $\{011\} \langle 100 \rangle$. Після деформацій більше 3 циклів ЗЗ зсувна компонента текстури зникає, характеристики міцності зменшуються, пластичності збільшуються за рахунок активізації процесів двійникування. Анізотропія властивостей, характерна для орієнтувань типу $\{112\}$, $\{013\}$ [UVW].

2. Інтегральні характеристики текстури ОЦК металів і сплавів з відомими монокристалними характеристиками були знайдені з даних Фур'є-аналізу експериментальної анізотропії модуля Юнга в площині листів, за значеннями яких можна знайдену анізотропію модуля зсуву та значення модуля Юнга в напрямку, нормальному до площини листів після деформації різним числом циклів ЗЗ.

3. Анізотропія пружних і пластичних властивостей характерна тим, що максимальні значення їх доводяться на напрямки, що утворюють із НП кути $\pm \sim 45^\circ$. Оптимальні характеристики міцності й пластичності, а також пружних властивостей досягаються в листах досліджуваної сталі деформацією ЗЗ при кімнатній температурі 1-3 циклами.

4. Текстура листів сталі St1.03 12 після рекристалізаційного відпалу описується наборами ідеальних орієнтувань для площини листа та поперечного перерізу, перпендикулярного напрямку прокатки, зв'язаними співвідношеннями $(h_1 k_1 l_1) = (u_2 v_2 w_2)$ й $[u_1 v_1 w_1] = [h_2 k_2 l_2]$, де $(h_1 k_1 l_1) [u_1 v_1 w_1]$ і $[h_2 k_2 l_2] (u_2 v_2 w_2)$ - орієнтування в площині та перерізі листа, відповідно. ІХТ у площині листа склали $I_1^{(ND)} = 0.68$, $I_2^{(ND)} = 0.62$, $I_3^{(ND)} = 0.23$ і $I_1^{(RD)} = 0.73$, $I_2^{(RD)} = 0.64$, $I_3^{(RD)} = 0.18$ – у перерізі листа.

5. При деформації розтягом листів сталі St1.0312 розвиток текстури залежить від швидкості деформації. При малих швидкостях (< 0.017 мм/с) у площині рекристалізованих листів розвивається текстура $(hkl)[011]$. При швидкостях деформації більше 1 мм/с до квазіаксальної складової текстури додаються орієнтування типу (134), (135) [uvw]. Індокси площин і напрямків орієнтувань текстури в площині листів відповідають індексам напрямків і площин орієнтувань у поперечному перерізі листів.

6. Зміна ІХТ протилежна зміні модуля Юнга та характеристик міцності в головних напрямках листів зі збільшенням швидкості деформації розтягом з невеликим ростом в області швидкостей 0.017 - 1 мм/с. Для малих швидкостей

(<0.0017 мм/с) спостерігається розходження між експериментальними та розрахунковими даними, що, мабуть, обумовлено процесами релаксації, які протікають при малих швидкостях деформації. Для таких швидкостей деформації і експериментальні значення модуля Юнга в НП і ПН істотно нижче загальноприйнятих для низьковуглецевих сталей. При збільшенні швидкості деформації більше 0.0017 мм/с модуль Юнга збільшується в обох напрямках з невеликим падінням в області 0.017-2 мм/с. Границя текучості росте до деякої величини, а при швидкостях деформації більше 0.017 мм/с падає. Межа міцності із збільшенням швидкості деформації монотонно падає в обох напрямках, величина відносного подовження росте. Для опису анізотропії властивостей полікристалів досліджуваної сталі застосовували тензорну модель четвертого рангу. У такому наближенні провели розрахунок характеристик квазімонокристалу після деформації різними швидкостями та потім розраховували анізотропію пружних і механічних властивостей у площині листів. Результати розрахунку показали задовільний збіг з даними прямих вимірів.

7. При малих швидкостях деформації (< 0.017 мм/с) максимум коефіцієнта пошкоджуваності припадає на напрямок $\text{НП}\pm 60^\circ$. При швидкостях деформації більше 1 мм/с характер кривих коефіцієнта пошкоджуваності міняється і на напрямок $\text{НП}\pm 45^\circ$ припадає мінімум.

8. Листи сталі 06Г2МТФБР проявляють істотну неоднорідність пружних, магнітних властивостей, текстури та залишкових напруг першого роду по глибині. Максимальна зміна пружних властивостей спостерігається на товщині від 6,1 до 8,15 мм листа. Орієнтаційна залежність модуля Юнга і шуму Баркгаузена в поверхневому шарі носить аналогічний характер. Зі зміною глибини поведінка енергії піка Баркгаузена в НП аналогічно залишковим напругам першого роду, що свідчить про наявність найбільших структурних неоднорідностей на глибині 4-5 мм від поверхні досліджуваної сталі, а також зв'язку розподілу текстури та зміни енергії піка Баркгаузена із глибиною.

Низьковуглецевих сталі з однофазної структурою (наприклад, St1.03 12), що розробляються найбільшими світовими виробниками сталей для автомобілебудування в рамках «програми створення надлегких, високоміцних корпусів» (ULSAB Ultra Light Steel Auto Body) і «Програма розробки загальної концепції» (ULSAB AVC Advanced Vehicle Concepts), знаходять все більш широке застосування в сучасному автомобілебудуванні завдяки високій міцності і штампуємості. Результати досліджень дисертації дозволяють вибрати оптимальні швидкості і напрями деформування листів для виключення можливих дефектів виробів при штампуванні і глибокої витяжці і раціонального використання ефекту анізотропії властивостей і деформаційного зміцнення.

1. Большаков В. И. Текстурные характеристики толстолистового проката / В. И. Большаков, А. А. Брюханов, **С. И. Иовчев**, О. Л. Чепок // Металлознавство та термічна обробка металів: зб. наук. праць / ПДАБА – Д., 2009. – № 3 (46). – С. 11–19.
2. Брюханов А. А. Текстурная неоднородность и распределение анизотропии свойств толстолистового проката стали 06Г2МТФБР по толщине / А.А. Брюханов, А.Р. Гохман, Н.А. Волчок **С. И. Иовчев** [и др.] // Деформация и разрушение материалов. – 2010. – №2. – с. 31–35.
3. Брюханов А.А. Влияние деформации знакопеременным изгибом на текстуру и анизотропию упругих свойств листов низкоуглеродистой стали / А.А. Брюханов, Ю.В. Зильберг, М. Шапер, **С. И. Иовчев** [и др.] // Материаловедение. – 2010. – №10. – С. 28-38.
4. **Иовчев С. І.** Інтегральні характеристики гексагональних текстур / **С. І. Іовчев**, П.П. Стоянов, Н.А. Волчок // Вісник Львівського нац. ун-ту. Серія фізична. – 2010. – вип 39. – С. 294-299.
5. Брюханов А.А. Текстура и анизотропия свойств листов низкоуглеродистой стали после деформации растяжением с различной скоростью / А.А. Брюханов, Д. Фасман, **С. И. Иовчев** // Материаловедение. – 2012. – №9. – С. 21-25.
6. Брюханов А.А. Свойства и текстура листов из низкоуглеродистой стали, деформированных растяжением с различной скоростью / А. А. Брюханов, Д. Фасманн, М. Шапер, **С. И. Иовчев** // Производство проката. – 2013. – №7. – С. 18-22.
7. **Иовчев С. І.** Інтегральні характеристики гексагональних текстур / **С. Іовчев**, П. Стоянов, Н. Волчок // Еврика-2009. Львів, травень 2009, ЛНУ ім. І. Франка. – С. А19.
8. **Иовчев С. І** Інтегральні характеристики текстур і анізотропія тензорних властивостей листів низьковуглецевої сталі деформованих згином // **С. Іовчев**, П. Стоянов, О. Тадеуш // Еврика-2010. Львів, травень 2010, ЛНУ ім. І.Франка. – С. А2.
9. Брюханов А.А. Анизотропия упругих и механических свойств листов сплав АЦ31, деформированных правкой / А.А. Брюханов, Ю.В. Зильберг, М. Шапер, **С. И. Иовчев** [и др.] // Сб. трудов 5 Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ-10.-20-22 апреля 2010. – М.: МИСиС. – С. 32.
10. Брюханов А.А. Анизотропия упругих свойств листов низкоуглеродистой стали, деформированных знакопеременным изгибом / А.А. Брюханов, Ю.В. Зильберг, М. Шапер, **С. И. Иовчев** [и др.] // Сб. трудов 5 Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ-10.-20-22 апреля 2010. – М.: МИСиС. – С. 33.
11. Брюханов А.А. Изменения текстуры листов низкоуглеродистой стали при различных скоростях испытания растяжением / А.А. Брюханов, Д. Фасман, З.А. Брюханова, **С. И. Иовчев** // Сб. трудов 6 Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ-2012. – М.: МИСиС. – С. 230.
12. Брюханов А.А. Влияние скорости растяжения на анизотропию механических свойств листов низкоуглеродистой стали ST1.3 12 / А.А. Брюханов, Д.

Фасман, М. Шапер, **С. И. Иовчев** // Сб. трудов 6 Евразийской научно-практической конференции «Прочность неоднородных структур» ПРОСТ-2012/ – М.: МИСиС. – С. 225.

АНОТАЦІЯ

Иовчев С. И. Формування текстури та анізотропія властивостей в полікристалах α -заліза. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – Фізика твердого тіла. – Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д.Ушинського», Одеса, 2014 р.

У дисертації проведено дослідження впливу різних видів деформації (розтягування+стиск, розтягування) на кристалографічну текстуру, властивості смуг сталі St1.03 12 (0.06% Zr, до 0.35% Mn, до 0.40% Si, ~ 0.025% S і P), а також неоднорідності кристалографічної текстури і властивостей по товщині товстолистого прокату трубної сталі 06Г2МТФБР (0,06% C, 1,5% Mn, 0,28% Si, 0,2% Ti, 0,27 %Mo, 0,66% V, 0,05% Nb).

Як метод для опису текстури обрали метод подання текстур за допомогою інтегральних характеристик текстури (ІХТ), тому що він досить повно описує текстуру, і дозволяє встановити кількісний зв'язок між текстурою та анізотропією властивостей полікристала в цілому.

Оптимальні характеристики міцності та пластичності, а також пружних властивостей досягаються в листах досліджуваної сталі деформацією ЗЗ при кімнатній температурі 1-3 циклами.

При малих швидкостях деформації (< 0.017 мм/с) максимум коефіцієнта пошкоджуваності припадає на напрямок НП±60°. При швидкостях деформації більше 1 мм/с коефіцієнт пошкоджуваності різко зростає, при цьому характер кривих коефіцієнта пошкоджуваності міняється і на напрямок НП±45° припадає мінімум.

При вивченні неоднорідності пружних, магнітних властивостей, текстури й залишкових напруг першого роду по глибині сталі 06Г2МТФБР виявлено, що вони мають істотну неоднорідність.

Ключові слова: α -залізо, текстура, формування текстури, полюсна фігура, інтегральні характеристики текстури, анізотропія властивостей.

АННОТАЦИЯ

Иовчев С. И. Формирование текстуры и анизотропия свойств в поликристаллах α -железа. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика твердого тела. – Государственное учреждение «Южноукраинский национальный педагогический университет имени К.Д.Ушинского», Одесса, 2014 г.

В диссертации проведено исследование влияния различных видов деформации (растяжение+сжатие, растяжение) на кристаллографическую текстуру, свойства

полос стали St1.03 12 (0.06% C, до 0.35% Mn, до 0.40% Si, ~ 0.025% S и P), а также неоднородности кристаллографической текстуры и свойств по толщине толстолистового проката трубной стали 06Г2МТФБР (0,06% C, 1,5% Mn, 0,28% Si, 0,2% Ti, 0,27 %Mo, 0,66% V, 0,05% Nb).

В качестве метода для описания текстуры выбрали метод представления текстур при помощи интегральных характеристик текстуры (ИХТ), так как он достаточно полно описывает текстуру, и позволяет установить количественную связь между текстурой и анизотропией свойств поликристалла в целом.

Деформация меньше 1 цикла знакопеременного изгиба (ЗИ) полос низкоуглеродистой стали (близкой к армко-железу) с начальной текстурой типа $\{001\} \langle 110 \rangle + \{112\} \langle 110 \rangle + \{001\} \langle 100 \rangle$, присущими текстурам прокатки и рекристаллизации, формирует типичную текстуру деформации ОЦК металлов и сплавов с компонентой текстуры сдвига $\{011\} \langle 100 \rangle$. После деформаций более 3 циклов ЗИ сдвиговая компонента текстуры исчезает, характеристики прочности уменьшаются, пластичности увеличиваются за счет активизации процессов двойникования. Анизотропия свойств, характерна для ориентировок типа $\{112\}$, $\{013\}$ [UVW].

Анизотропия упругих и пластичных свойства характерна тем, что максимальные значения их приходится на направления, образующие с НП углы $\pm 45^\circ$. Оптимальные характеристики прочности и пластичности, а также упругих свойств достигаются в листах исследуемой стали деформацией ЗИ при комнатной температуре 1-3 циклами.

При деформации растяжением листов стали St1.0312 развитие текстуры зависит от скорости деформации. При малых скоростях (< 0.0017 мм/с) в плоскости рекристаллизованных листов развивается текстура $(hkl)[011]$. При скоростях деформации более 1 мм/с к квазиаксиальной составляющей текстуры добавляются ориентировки типа (134), (135) [uvw].

Изменение ИХТ противоположно изменению модуля Юнга и характеристик прочности в главных направлениях листов с увеличением скорости деформации растяжением с небольшим ростом в области скоростей 0.017-1 мм/с. Для малых скоростей (< 0.0017 мм/с) наблюдается различие между экспериментальными и расчетными данными, что, по-видимому, обусловлено процессами релаксации, которые протекают при малых скоростях деформации. Для таких скоростей деформаций и экспериментальные значения модуля Юнга в НП и ПН существенно ниже общепринятых для низкоуглеродистых сталей.

При малых скоростях деформации (< 0.017 мм/с) максимум коэффициента повреждаемости приходится на направление $\text{НП} \pm 60^\circ$. При скоростях деформации более 1 мм/с характер кривых коэффициента повреждаемости меняется и на направление $\text{НП} \pm 45^\circ$ приходится минимум.

При изучении неоднородности упругих, магнитных свойств, текстуры и остаточных напряжений первого рода по глубине стали 06Г2МТФБР выявлено, что они обладают существенной неоднородностью. Максимальное изменение упругих свойств наблюдается на толщине от 6,10 до 8,15 мм листа. Ориентационная зависимость модуля Юнга и шума Баркгаузена в поверхностном слое носит аналогичный характер. С изменением глубины поведение энергии пика Баркгаузена

в НП аналогично остаточным напряжениям первого рода, что свидетельствует о наличии наибольших структурных неоднородностей на глубине 4-5 мм от поверхности исследуемой стали.

Ключевые слова: α -железо, текстура, формирования текстуры, полюсная фигура, интегральные характеристики текстуры, анизотропия свойств.

ANNOTATION

Iovchev S.I. Texture forming and anisotropy of properties in α - iron polycrystals. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialty 01.04.07 - physics of solids. – State establishment «South Ukrainian National Pedagogical University named after K.D. Ushinskii», Odessa, 2014.

This thesis contains the investigation of deformation different types (tension + compression, tension) influence on crystallographic texture, properties of St1.03 12 (0.06% C, до 0.35% Mn, до 0.40% Si, ~ 0.025% S и P) steel and also the crystallographic texture non-homogeneities and properties through the thickness of the pipe steel 06Г2МТФБР (0,06% C, 1,5% Mn, 0,28% Si, 0,2% Ti, 0,27 %Mo, 0,66% V, 0,05% Nb) hot-rolled plate.

To describe the texture there was selected the method of presenting the texture by means of texture integral characteristics (TIC) as it sufficiently completely describes the texture and allows determining the quantitative correlation between the texture and anisotropy of polycrystal properties in whole.

Anisotropy of the elastic and plastic properties is characterized by fact that their maximum values correspond to directions which form the angles of $\pm\sim 45^{\circ}$ relatively to RD. Optimal strength and plasticity characteristics as well as the elastic properties are achieved in the studied steel sheets with AB 1-3 cycles deformation at room temperature.

At low deformation velocities (< 0.017 mm/s), the damageability factor maximum is observed for $RD\pm 60^{\circ}$ direction. At deformation velocities higher than 1 mm/s, the damageability factor curves pattern changes, and minimum is observed for $RD\pm 45^{\circ}$ direction.

While studying the non-homogeneities of the elastic and magnetic properties, texture and macroscopic stresses for depth of steel 06Г2МТФБР, it was found that they have the considerable non-homogeneities.

Key words: α -iron, texture, texture forming, pole figure, integral characteristics of texture, anisotropy of properties.