

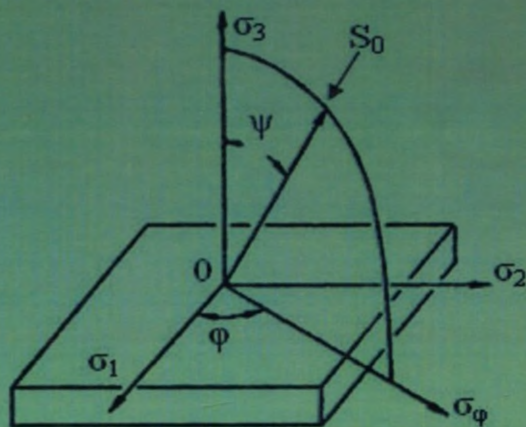
539.26
168



Tempus

П. І. Лобода, О. П. Карасевська, І. Ю. Троснікова

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ У ДИСПЕРСНОМУ СТАНІ



НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

П. І. Лобода, О. П. Карасевська, І. Ю. Троснікова

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ У ДИСПЕРСНОМУ СТАНІ

*Затверджено Вченою радою
Національного технічного університету України
«КПІ імені Ігоря Сікорського» як навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються
за напрямом «Матеріалознавство»*

Видавництво
«Центр учбової літератури»
Київ - 2020

УДК 539.26:620.2(075.8)

ББК 22.36/37я73

Л 68

*Гриф надано Вченою радою
Національного технічного університету України
«КПІ імені Ігоря Сікорського»
Міністерства освіти і науки України
(протокол №1 від 16 січня 2017 р)*

Рецензенти:

В. Б. Молодкін, доктор фізико-математичних наук, член-кореспондент НАН України, професор ФТННЦ НАН України,

В. А. Татаренко, доктор фізико-математичних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, завідувач відділу «Теорії твердот тіла».

Л 68 **Лобода П. І.** Рентгеноструктурний аналіз матеріалів у дисперсному стані [текст] : навч. посіб. / П. І. Лобода, О. П. Карасевська, І. Ю. Троснікова. - Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 140 с.

ISBN 978-617-673-528-1

Навчальний посібник присвячено опису основ традиційних і сучасних методів рентгеноструктурного аналізу в матеріалознавстві. Метою авторів було поєднання в навчальному посібнику розумної фундаментальності і практичних методів вирішення конкретних науково-дослідних та інженерно-технічних матеріалознавчих задач. У міру можливості автори намагалися показати ясність і очевидність фізичних явищ, які лежать в основі рентгеноструктурних методів

Навчальний посібник розроблено для студентів спеціальностей: «Матеріалознавство порошкових композитів і покриттів», «Нанотехнології і комп'ютерний дизайн матеріалів» та «Порошкова металургія», які бажують освоїти сучасні методи рентгеноструктурного аналізу, вивчити основи взаємодії рентгенівського випромінювання з речовиною і отримати повне уявлення як про можливості рентгеноструктурного аналізу, так і про методи обчислення X-гау програм повнопрофільного аналізу методом Рітвельда. Посібник може бути корисним викладачам при розробці курсів лекцій для спеціалістів та магістрантів кафедр матеріалознавства і фізики.

УДК 539.26:620.2(075.8)

ББК 22.36/37я73

ISBN 978-617-673-528-1

© П. І. Лобода, О. П. Карасевська, І. Ю. Троснікова. 2020.
© Видавництво «Центр учбової літератури», 2020.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
ВСТУП	9
Розділ 1. Введення в рентгеноструктурний аналіз. Теорія та техніка	11
рентгеноструктурного аналізу. Закон Вульфа-Брегга	
1.1 Взаємодія рентгенівського випромінювання із речовиною	11
1.1.1 Перші дослідження дифракції рентгенівського	12
випромінювання	
1.1.2 Характеристика рентгенівського випромінювання	13
1.1.3 Механізми взаємодії між рентгенівським	14
випромінюванням і речовиною	
1.2 Техніка для рентгеноструктурного аналізу	15
1.2.1 Рентгенівські трубки. Вибір випромінювання,	15
монохроматори та фільтри	
1.2.2 Рентгенівські апарати і камери	17
1.2.3 Рентгенівські дифрактометри	20
1.2.4 Закон Вульфа - Брегга	22
1.2.5 Вибір режимів зйомки. Вимоги до зразка	23
1.3 Отримання рентгенівських відбитків	24
1.3.1 Кристалічна будова металів	24
1.3.2 Перші дослідження взаємодії рентгенівського	26
випромінювання з речовиною	
1.3.3 Інтегральна інтенсивність рентгенівського відбитка в	27
ідеальному випадку	
1.3.4 Закономірні згасання рефлексів на рентгенограмах	28
Контрольні запитання	29
Розділ 2. Рентгенофазовий аналіз, визначення кристалічної ґратки	30
речовини за даними міжплощинних відстаней	
2.1 Отримання рентгенограми від полікристалу	30

2.2	Визначення індексів відбитків на дифрактограмі полікристалу із кубічною ґраткою	34
2.3	Закономірності розташування відбитків на дифрактограмі полікристалу із різною симетрією кристалічної ґратки	35
	Контрольні запитання	38
Розділ 3.	Поглинання рентгенівського випромінювання та визначення товщини покриття	39
3.1	Визначення товщини покриття за послабленням рентгенівських променів, дифрагованих матеріалом підкладки	39
3.2	Фазовий аналіз багат шарових покриттів	41
	Контрольні запитання	44
Розділ 4.	Рентгенівський фазовий аналіз речовини: якісні та кількісні методи	45
4.1	Вибір умов проведення рентгенофазового аналізу	45
4.1.1	Походження похибок в рентгенофазовому аналізі	46
4.2	Методи кількісного рентгенофазового аналізу	47
4.3	Метод відносної інтенсивності відбитків (RIR)	50
4.4	Основні поняття повнопрофільного рентгенофазового аналізу за Рітвельдом	51
4.5	Методи якісного рентгенофазового аналізу	53
	Контрольні запитання	53
Розділ 5.	Напруження в матеріалі. Визначення макронапружень	55
5.1	Залишкові напруження і їх класифікація	55
5.2	Перентгенівські методи вимірювання залишкових напружень	58
5.3	Принципи рентгенівського методу вимірювання залишкового макронапруження	59
5.4	Напруження, що обумовлені навантаженням різної природи	60
5.5	Розрахунок макронапруження методом « $\sin^2\psi$ »	64
5.6	Порядок виконання роботи по визначенню макронапруження	67

Контрольні запитання	68
Розділ 6. Мікронапруження та розмір ОКР, розділення їх вкладів в розподіл інтенсивності на рентгенограмі	69
6.1 Залишкові мікронапруження та причини їх виникнення	69
6.2 Вплив мікронапружень на розподіл інтенсивності відбитків на рентгенограмі	70
6.3 Залежність ширини відбитків від розміру ОКР	72
6.3.1 Метод, заснований на підрахунку числа відбитків на інтерференційному колі	72
6.3.2 Розрахунок розміру ОКР	73
6.4 Розширення відбитків на дифрактограмі від мікронапруження і ОКР	76
6.4.1 Ширина експериментальної лінії на дифрактограмі	77
6.4.2 Основні прийоми розділення вкладів ОКР і мікронапруження в розширення відбитків на дифрактограмі	80
Контрольні запитання	82
Розділ 7. Кристалографічні текстури та методи їх дослідження	84
7.1 Утворення кристалографічних текстур	84
7.2 Класифікація текстур	85
7.3 Вплив текстури на розподіл інтенсивності на дифрактограмі	90
7.3.1 Побудова площинних проєкцій кристалу	90
7.3.2 Прямі полюсні фігури при різних видах навантаження на матеріал	93
7.4 Пряма і обернена полюсні фігури	94
7.4.1 Вплив текстури на розподіл інтенсивності на дифрактограмі	95
7.4.2 Принципи побудови ОПФ	96
7.4.3 Дифрактометричний метод дослідження текстури	98

7.5 Приклади текстур в дифрактометричному виконанні	99
Контрольні запитання	100
Розділ 8. Рентгеноструктурний аналіз монокристалів	101
8.1 Рівняння Вульфа-Брегга і сфера Евальда	101
8.2 Форма вузлів оберненої ґратки і дефекти кристалічної структури	103
8.3 Порядок проведення рентгенографічного дослідження монокристалів	106
8.4 Обчислення щільності дислокацій за розширенням вузла оберненої ґратки	110
Контрольні запитання	114
Розділ 9. Рентгенографія спрямовано закристалізованих багатофазних композитів	116
9.1 Композиційні матеріали та рентгеноструктурні методи їх дослідження	116
9.2 Рентгенівські методи контролю властивостей армованих композиційних матеріалів на різних етапах технологічного процесу	120
Контрольні запитання	123
Розділ 10. Практичні роботи по рентгеноструктурному аналізу за дифрактограмами	^
10.1 Фазовий аналіз	
10.2 Оцінка ОКР та макро- і мікронапружень	129
10.3 Аналіз текстурного стану	134
10.4 Дослідження монокристалів	135
Список використаної літератури	137