

А.Я.Александров и М.Х.Ахметзянов

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-
ОПТИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ
МЕХАНИКИ
ДЕФОРМИРУЕМОГО
ТЕЛА



А. Я. АЛЕКСАНДРОВ и М. Х. АХМЕТЗЯНОВ

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-
ОПТИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ МЕХАНИКИ
ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1973

Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. Александров А. Я., Ахметзянов М. Х., Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973 г., 576 стр.

Книга содержит изложение теоретических основ и техники современных поляризационно-оптических методов механики деформируемого тела, основанных на использовании как прозрачных моделей, так и фотоупругих покрытий.

Значительное место уделено новым приложениям: упруго-пластическим задачам при малых и больших деформациях, задачам ползучести, температурным, анизотропным, динамическим задачам, исследованию напряженно-деформированного состояния натуральных конструкций, пластинок и оболочек, остаточных напряжений в телах произвольной формы, деформаций микрообъектов типа зерен металла, полей напряжений вокруг дислокаций в полупроводниках и некоторых других задач.

© Издательство «Наука», 1973.

Авраам Яковлевич Александров и Марат Халикович Ахметзянов

**ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА**

М., 1973., 576 стр. с илл.

Редактор *И. И. Бугаков*

Техн. редактор *С. Я. Шкляр*

Корректор *Т. С. Вайсберг*

Сдано в набор 19/II 1973 г. Подписано к печати 23/XI 1973 г. Бумага 60×90¹/₁₆.
Физ. печ. л. 36+5 вкл. Условн. печ. л. 36,625. Уч.-изд. л. 37,1. Тираж 3500 экз. Т-17680.
Цена книги 3 р. 45 к. Заказ. № 45.

Издательство «Наука»

Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

4-я типография изд-ва «Наука». г. Новосибирск, 630079, ул. Станиславского, 25.

A 0242—1844
042(02)-73 160-72

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	9

РАЗДЕЛ I

ОСНОВЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

<i>Глава I. Основные уравнения механики твердого деформируемого тела (краткие сведения)</i>	15
§ 1.1. Напряжения	15
§ 1.2. Деформации	22
§ 1.3. Зависимости между напряжениями и деформациями (упругость и неупругость)	24
§ 1.4. Типы задач	36
§ 1.5. Первая основная плоская задача линейной теории упругости. Теоремы Леви и Мичелла	38
<i>Глава II. Основы теории моделирования</i>	43
§ 2.1. Общие положения. Методы анализа уравнений и анализа размерностей	43
§ 2.2. Статические задачи линейной теории упругости	48
§ 2.3. Динамические задачи линейной теории упругости	53
§ 2.4. Задачи термоупругости	54
§ 2.5. Задачи теории упругости анизотропного тела	56
§ 2.6. Пластины и оболочки	58
§ 2.7. Геометрически нелинейная упругость	60
§ 2.8. Задачи деформационной теории пластичности	61
§ 2.9. Задачи линейной наследственной теории ползучести	63
§ 2.10. Предельные условия моделирования	65
<i>Глава III. Физические основы поляризационно-оптических методов</i>	67
§ 3.1. Характеристики электромагнитных волн	67
§ 3.2. Отражение и преломление света на границе раздела двух диэлектриков	69
§ 3.3. Двойное лучепреломление. Поляризаторы	72
§ 3.4. Интерференция световых волн	73
§ 3.5. Теория пьезооптического эффекта	80
§ 3.6. Прохождение поляризованного света через напряженную пластинку. Плоский и круговой полярископ	86
§ 3.7. Прохождение поляризованного света через пространственно-напряженную среду	94

Глава IV. Схемы поляризационно-оптических методов исследования напряжений и деформаций	101
§ 4.1. Исследование плоских задач на прозрачных моделях	101
§ 4.2. Метод фотоупругих покрытий	102
§ 4.3. Метод замораживания	106
§ 4.4. Составные модели	112
§ 4.5. Метод рассеянного света	119
§ 4.6. Сквозное просвечивание пространственно-напряженных моделей	124
Глава V. Методы измерений и аппаратура	128
§ 5.1. Метод полос	128
§ 5.2. Определение квазиглавных направлений	133
§ 5.3. Компенсационные методы	138
§ 5.4. Электрические способы измерений	145
§ 5.5. Приборы для исследований в проходящем свете	149
§ 5.6. Приборы для исследований в отраженном свете	156
Глава VI. Пьезооптические материалы, модели и покрытия	165
§ 6.1. Требования к материалам. Тарировочные испытания	165
§ 6.2. Обзор материалов	174
§ 6.3. Материалы на основе эпоксидных смол	179
§ 6.4. Изготовление моделей	184
§ 6.5. Изготовление и нанесение покрытий	186
Глава VII. Разделение напряжений и деформаций	190
§ 7.1. Предварительные замечания	190
§ 7.2. Наклонное просвечивание	191
§ 7.3. Измерение поперечных деформаций	198
§ 7.4. Измерение абсолютных разностей хода	205
§ 7.5. О применении метода муаровых полос	208
§ 7.6. О применении голографии	211
§ 7.7. Метод аналогий	213
§ 7.8. Разрезка покрытия	214
§ 7.9. Понятие о методе конечных разностей	215
§ 7.10. Применение уравнений равновесия плоской задачи	217
§ 7.11. Использование уравнений равновесия пространственной задачи	222
§ 7.12. Численное интегрирование уравнения Лапласа	224
§ 7.13. Применение уравнений совместности деформаций	226
Глава VIII. Исследование линейных упругих задач (метод фотоупругости)	231
§ 8.1. Предварительные замечания	231
§ 8.2. Плоские задачи	231
§ 8.3. Пространственные задачи	238
Глава IX. Точность метода фотоупругих покрытий	249
§ 9.1. Общие сведения	249
§ 9.2. Учет жесткости покрытий	250
§ 9.3. Влияние неравномерности распределения деформаций по толщине покрытия	257
§ 9.4. Погрешности при измерениях вблизи свободного края покрытия	265

§ 9.5. Влияние поворота направлений квазиглавных деформаций по толщине покрытия	266
§ 9.6. Влияние изменения температуры	270
§ 9.7. Корректировка результатов измерений	271

РАЗДЕЛ II

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ

Глава X. Исследование неупругих задач на модельных материалах	283
§ 10.1. Фотоползучесть	283
§ 10.2. Фотопластичность	288
§ 10.3. Применение метода упругих решений	293
§ 10.4. Исследование задач ползучести на моделях с использованием фотоупругих покрытий	296
Глава XI. Исследование упруго-пластических задач методом фотоупругих покрытий	298
§ 11.1. Предварительные замечания	298
§ 11.2. Определение границ пластических областей	300
§ 11.3. Одноосное напряженное состояние	305
§ 11.4. Определение напряжений на основе уравнений деформационной теории пластичности	310
§ 11.5. Применение теорий течения	313
§ 11.6. Использование отдельных гипотез теории пластичности	315
§ 11.7. Метод разгрузки	321
§ 11.8. Воспроизведение истории деформирования	323
Глава XII. Исследования при больших деформациях	327
§ 12.1. Общие сведения	327
§ 12.2. Законы нелинейной фотоупругости и их экспериментальная проверка	327
§ 12.3. Разделение напряжений и деформаций при упругом деформировании	332
§ 12.4. Об определении напряжений при больших пластических деформациях	337
§ 12.5. Примеры	338
Глава XIII. Анизотропные задачи	345
§ 13.1. Предварительные замечания	345
§ 13.2. Исследования на монокристаллах	345
§ 13.3. Исследование моделей из конструктивно-анизотропных и текстурированных материалов	350
§ 13.4. Применение фотоупругих покрытий	355
Глава XIV. Температурные задачи	362
§ 14.1. Исследования на прозрачных нагреваемых или охлаждаемых моделях	362
§ 14.2. Использование аналогий	367
§ 14.3. Применение фотоупругих покрытий	374
Глава XV. Динамические задачи	378
§ 15.1. Особенности исследования	378
§ 15.2. О волнах в твердых телах. Особенности моделирования	380
§ 15.3. Техника эксперимента	384

§ 15.4.	Связь между механическими и оптическими величинами	399
§ 15.5.	О разделении напряжений	413
§ 15.6.	Исследование на плоских прозрачных моделях	414
§ 15.7.	Решение пространственных задач	424
§ 15.8.	Фотоупругие покрытия и датчики	427
Глава XVI. Исследования в невидимой части спектра		431
§ 16.1.	Общие сведения и аппаратура	431
§ 16.2.	Примеры	435
§ 16.3.	Внутренние напряжения вокруг дислокаций в монокристаллах	439
Глава XVII. Исследование деформаций в микрообластях методом фотоупругих покрытий		442
§ 17.1.	Методика исследования	442
§ 17.2.	Разрешающая способность покрытия	445
§ 17.3.	Деформации зерен металлов при статических нагрузениях	447
§ 17.4.	Концентрация деформаций вблизи отверстий малого радиуса	451
§ 17.5.	Деформации в зернах металла при циклическом нагружении	453
Глава XVIII. Определение остаточных напряжений методом фотоупругих покрытий		460
§ 18.1.	Предварительные замечания	460
§ 18.2.	Плоское напряженное состояние	462
§ 18.3.	Плоское деформированное состояние	463
§ 18.4.	Пространственная задача	466
§ 18.5.	Осесимметричная пространственная задача	469
§ 18.6.	Техника эксперимента. Пример	473
Глава XIX. Исследование пластинок, оболочек и натуральных конструкций методом фотоупругих покрытий		478
§ 19.1.	Методика исследования пластинок и оболочек	478
§ 19.2.	Техника исследований оболочек	481
§ 19.3.	Примеры исследования напряжений около вырезов в оболочках	483
§ 19.4.	Исследование натуральных конструкций	489
§ 19.5.	Датчики перемещений	494
§ 19.6.	Датчики деформаций	499
§ 19.7.	Интерферометрический датчик деформаций	501
Глава XX. Об особенностях исследования некоторых задач		504
§ 20.1.	О применении двойного замораживания	504
§ 20.2.	Задачи горной механики, механики грунтов, геологии	506
§ 20.3.	Армированные конструкции	512
§ 20.4.	Образование и развитие трещин	515
Литература		525
Предметный указатель		573