
СОДЕРЖАНИЕ

1. Методы исследования и контроля макро- и микроструктуры (А. Г. Рахштадт, Б. А. Клыпин)	7
1.1. Задачи и методы исследования макроструктуры (макроанализа)	7
1.2. Контроль макроструктуры и дефектов сталей	13
1.2.1. Поверхностные дефекты	13
1.2.2. Внутренние дефекты и особенности макроструктуры	17
1.3. Исследование микроструктуры (микроанализ)	27
1.3.1. Приготовление микрошлифов	28
1.3.2. Выявление микроструктуры	40
1.3.3. Металлографические микроскопы и методы микроскопического исследования металлов	44
1.3.3.1. Принцип действия и устройство металлографического микроскопа	44
1.3.3.2. Методы микроскопического исследования	48
1.3.3.3. Основные типы металлографических микроскопов	53
1.3.4. Количественные анализаторы структуры	53
1.3.5. Исследование микроструктуры при повышенных температурах	59
1.4. Основные методы микроанализа	60
1.4.1. Определение и оценка микроструктуры сталей	60
1.4.1.1. Феррито-перлитная и перлитная структуры	63
1.4.1.2. Карбидная неоднородность, структурная полосчатость и карбидная сетка	64
1.4.1.3. Структурно-свободный цементит, полосчатость и видманштеттова структура	66
1.4.1.4. Альфа-фаза в нержавеющей стали	67
1.4.2. Исследование и контроль неметаллических включений	68
1.4.3. Выявление и определение величины зерна	83
1.4.4. Определение глубины обезуглероженного слоя	86
Библиографический список	88
2. Просвечивающая электронная микроскопия (М. П. Усиков, Л. М. Утевский)	90
2.1. Конструкция микроскопа и принципа его работы	90
2.2. Методы электронномикроскопического исследования металлов и сплавов	96
2.2.1. Косвенный метод	96
2.2.2. Полупрямой метод	97
2.2.3. Прямой метод	98
2.3. Информация, получаемая при исследовании металлов и сплавов методом тонких фольг	104
2.3.1. Микродифракционный фазовый анализ	104
2.3.2. Определение ориентировки кристаллов, разориентировки зерен и субзерен и ориентационных соотношений	105
2.3.3. Структурные особенности фазовых превращений	109
2.3.4. Диффузное рассеяние электронов	111
2.3.5. Изучение дислокационной структуры	114

2.3.6. Прямое изучение процессов, происходящих в тонкой фольге	115
2.4. Тенденции и перспективы развития метода	117
Библиографический список	119
3. Растровая электронная микроскопия (Е. А. Шур)	120
3.1. Растровый электронный микроскоп	120
3.1.1. Место РЭМ в микроскопии	120
3.1.2. Принцип работы	122
3.1.3. Взаимодействие электронов с веществом	123
3.1.4. Детектирование сигналов и формирование контраста изображения	125
3.1.5. Обработка сигнала	130
3.1.6. Конструкция РЭМ	132
3.1.7. Локальный анализ	135
3.1.8. Стереомикроскопия	136
3.2. Применение РЭМ в металловедческих исследованиях	137
3.2.1. Металлография	137
3.2.2. Фрактография	139
3.2.3. Изучение кристаллографической и дислокационной структуры металлов	141
3.2.4. Другие области использования	142
3.2.5. Перспективы развития РЭМ	142
Библиографический список	143
4. Стереология (количественная металлография) (К. С. Чернявский)	144
4.1. Методология количественного анализа микроструктуры	144
4.2. Объекты и техника анализа	149
4.2.1. Объекты	149
4.2.2. Ручной и полуавтоматический анализ	150
4.2.3. Автоматический анализ	154
4.3. Характеристики размеров частиц	159
4.3.1. Распределение размеров частиц	159
4.3.2. Средний размер и число частиц в единице объема	160
4.4. Описание формы частиц	162
4.4.1. Непосредственная реконструкция	162
4.4.2. Статистическая реконструкция	163
4.4.3. Факторы формы	164
4.4.4. Описание контура фигур изображения	166
4.5. Характеристики поверхностей раздела	168
4.5.1. Протяженность (удельная поверхность)	168
4.5.2. Кривизна	170
4.5.2.1. Средняя кривизна	170
4.5.2.2. Средняя гауссова кривизна	171
4.5.3. Двугранные углы	171
4.6. Характеристики линейных элементов	172
4.6.1. Плотность	172

4.6.2. Характеристики искривленности	173
4.7. Объемная доля	173
4.8. Характеристики взаимного размещения элементов структуры. . .	174
4.8.1. Ориентировка	174
4.8.2. Расстояния между элементами структуры	176
4.8.3. Связанность	176
4.8.4. Однородность и регулярность	177
4.9. Фрактографические характеристики	178
4.9.1. Поверхность разрушения	178
4.9.2. Линия разрушения	180
Библиографический список	182
5. Рентгеноструктурный анализ (Ю. А. Скаков)	183
5.1. Задачи рентгеноструктурного анализа в исследованиях и контроле качества металлических материалов	183
5.2. Принципы дифракционных методов анализа и аппаратура. . . .	184
5.2.1. Основные определения и формулы структурной кристаллогра- фии. Структура кристаллов	184
5.2.2. Геометрия дифракционных картин и обратная решетка кристаллов	206
5.2.3. Интенсивность рассеяния рентгеновских лучей кристаллом. . .	213
5.2.4. Техника получения и регистрация дифракционных картин. Аппа- ратура	216
5.2.5. Дозиметрия и техника безопасности в лабораториях рентгено- структурного анализа	230
5.3. Анализ фазового состава	232
5.3.1. Фазовый (качественный и количественный) анализ.	232
5.3.2. Анализ твердых растворов.	238
5.3.3. Построение диаграмм состояния	244
5.3.4. Анализ фазового состава стали после термической обработки	246
5.3.5. Анализ аморфных металлических сплавов	255
5.4. Анализ структурного состояния металлических материалов. . . .	257
5.4.1. Анализ текстур	257
5.4.2. Анализ напряжений	263
5.4.3. Анализ субструктуры в отожженных и слабо деформированных материалах	265
5.4.4. Анализ дефектов кристаллического строения по эффекту ушире- ния линий рентгенограмм	270
5.4.5. Рентгеновский анализ фазового состава и структурного состоя- ния тонких приповерхностных слоев	272
Библиографический список	273
6. Нейтроноструктурный анализ (А. З. Меньшиков)	276
6.1. Свойства нейтронов	276
6.2. Взаимодействие нейтрона с атомом	278
6.3. Структурная и магнитная нейтронография.	283
6.4. Некогерентное рассеяние нейтронов	288
6.5. Неупругое рассеяние нейтронов	289

6.6. Области использования нейтроноструктурного анализа	291
Библиографический список	292
7. Метод рентгеноспектрального микроанализа (Л. Г. Шевякова)	292
7.1. Общие принципы метода и его практические разновидности	292
7.2. Современные приборы, используемые для проведения РСМА	294
7.2.1. Принципиальное устройство	294
7.2.2. Локальность и чувствительность РСМА	296
7.3. Методология проведения анализа	298
7.3.1. Особенности подготовки объектов для исследования	298
7.3.2. Выбор эталонов	300
7.3.3. Качественный анализ	300
7.3.4. Полуколичественный анализ	302
7.3.5. Количественный анализ	303