

К
И
М

КЛАССИКА

ИНЖЕНЕРНОЙ МЫСЛИ

И. И. НОВИКОВ



Лауреат Государственной премии СССР

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР

Ученик и последователь выдающегося
ученого-металловеда, академика АН СССР
А. А. Бочвара, сменивший его в качестве
заведующего кафедрой металловедения
цветных металлов МИСиС (1965–1991)

ТЕОРИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

УЧЕБНИК
с грифом Министерства
высшего и среднего
специального
ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Металловедение



URSS

И. И. НОВИКОВ

**ТЕОРИЯ
ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ
МЕТАЛЛОВ**

Допущено

Министерством высшего и среднего специального образования СССР
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Металловедение, оборудование и технология
термической обработки металлов»

Издание пятое



URSS
МОСКВА

ББК 30.13 30.3 34.1 34.2 34.3 34.4

Новиков Илья Изриэлович

Теория термической обработки металлов: Учебник. Изд. 5-е. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 480 с. (Классика инженерной мысли: металловедение.)

Изложена теория термической обработки сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов. Проанализированы изменения структуры и свойств при закалке, отпуске, старении, отжиге с фазовой перекристаллизацией, рекристаллизационном и докристаллизационном отжиге, гомогенизации, отжиге для уменьшения напряжений, термомеханической, химико-термической и других разновидностях термообработки.

Учебник рассчитан на студентов, специализирующихся по металловедению и термической обработке, а также студентов других металлургических специальностей. Он может быть полезен инженерам — металловедам, термистам, литейщикам, сварщикам, специалистам по обработке металлов давлением и порошковой металлургии.

Рецензент:

кафедра термообработки и физики металлов
Уральского политехнического института им. С. М. Кирова

Формат 60×90/16. Печ. л. 30. Зак. № АР-0007.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 11А, стр. 11.

ISBN 978-5-9710-8165-4

(мягкий переплет)

ISBN 978-5-9710-8308-5

(твердый переплет)

© ЛЕНАНД, 2020



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к четвертому изданию	6
Введение	8
Раздел первый. ОТЖИГ ПЕРВОГО РОДА	15
Глава I. Гомогенизационный отжиг	15
§ 1. Изменение структуры сплавов при гомогенизационном отжиге	15
§ 2. Изменение свойств сплавов при гомогенизационном отжиге	28
§ 3. Гомогенизация с нагревом выше температуры неравновесного солидуса	31
Глава II. Рекристаллизационный и дорекристаллизационный отжиги	34
§ 4. Изменение структуры металла при холодной обработке давлением	34
§ 5. Изменение свойств металла при холодной обработке давлением	42
§ 6. Изменение структуры при дорекристаллизационном отжиге	45
§ 7. Первичная рекристаллизация (рекристаллизация обработки)	55
§ 8. Собирательная рекристаллизация	68
§ 9. Текстуры рекристаллизации	74
§ 10. Вторичная рекристаллизация	77
§ 11. Размер рекристаллизованного зерна	82
§ 12. Изменение свойств металла при дорекристаллизационном и рекристаллизационном отжиге	91
§ 13. Анизотропия свойств отожженного металла	101
§ 14. Выбор режимов дорекристаллизационного и рекристаллизационного отжига	105
Глава III. Отжиг, уменьшающий напряжения	110
§ 15. Возникновение и роль остаточных напряжений	110
§ 16. Уменьшение остаточных напряжений при отжиге	114
Раздел второй. ОТЖИГ ВТОРОГО РОДА	122
Глава IV. Общие закономерности фазовых превращений в твердом состоянии	123
§ 17. Термодинамика фазовых превращений	123
§ 18. Роль строения межфазных границ при фазовых превращениях	132
§ 19. Гомогенное и гетерогенное зарождение фаз	135
§ 20. Образование промежуточных метастабильных фаз	143
§ 21. Кинетика фазовых превращений	147
Глава V. Отжиг сталей	154
§ 22. Образование аустенита при нагреве	155
§ 23. Структурная наследственность и перекристаллизация аустенита	166
§ 24. Диффузионные превращения аустенита при охлаждении	169
§ 25. Разновидности отжига сталей	182
Глава VI. Отжиг чугунов	193
§ 26. Графитизирующий отжиг чугуна	194
§ 27. Нормализация чугуна	202
Глава VII. Отжиг цветных металлов и сплавов	203

§ 28. Гетерогенизационный отжиг	204
§ 29. Отжиг с фазовой перекристаллизацией	210
Раздел третий. ЗАКАЛКА	212
Глава VIII. Закалка без полиморфного превращения	213
§ 30. Изменение свойств при закалке без полиморфного превращения	214
§ 31. Нагрев и охлаждение при закалке без полиморфного превращения	217
Глава IX. Закалка с полиморфным превращением	225
§ 32. Особенности мартенситного превращения в углеродистых сталях	225
§ 33. Термодинамика мартенситных превращений	228
§ 34. Механизм мартенситного превращения	236
§ 35. Микроструктура и субструктура сплавов, закаленных на мартенсит	249
§ 36. Кинетика мартенситных превращений	257
§ 37. Влияние деформации на мартенситное превращение	267
§ 38. Изменение свойств сплавов при закалке на мартенсит	274
§ 39. Бейнитное превращение	279
§ 40. Прокаливаемость сталей	287
§ 41. Объемная закалка сталей	293
§ 42. Поверхностная закалка сталей	302
Глава X. Закалка с плавлением поверхности	306
§ 43. Общие закономерности формирования структуры при сверхбыстром охлаждении расплава	307
§ 44. Изменение структуры и свойств при закалке с плавлением поверхности	310
Раздел четвертый. СТАРЕНИЕ И ОТПУСК	315
Глава XI. Старение	316
§ 45. Термодинамика процессов выделения из твердого раствора	318
§ 46. Структурные изменения при старении	324
§ 47. Изменение свойств сплавов при старении	358
§ 48. Влияние состава сплава на старение	369
§ 49. Выбор режима старения	374
§ 50. Возврат после старения	384
Глава XII. Отпуск	386
§ 51. Структурные изменения при отпуске сталей	387
§ 52. Изменение механических свойств при отпуске сталей и выбор режима отпуска	397
§ 53. Отпускная хрупкость	403
Раздел пятый. ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	416
Глава XIII. Изменение структуры металла при горячей обработке давлением	417
§ 54. Структурные изменения во время горячей деформации	419
§ 55. Структурные изменения по окончании горячей деформации	425
Глава XIV. Термомеханическая обработка стареющих сплавов	430
§ 56. Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)	431

§ 57. Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)	436
§ 58. Предварительная термомеханическая обработка (ПТМО)	438
Глава XV. Термомеханическая обработка сталей, закаливаемых на мартенсит	440
§ 59. Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)	440
§ 60. Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)	441
§ 61. Термомеханическая обработка с деформацией во время перлитного превращения	444
§ 62. Контролируемая прокатка	445
§ 63. Предварительная термомеханическая обработка (ПТМО)	446
Раздел шестой. ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	447
Глава XVI. Закономерности изменения состава и структуры при химико-термической обработке	447
§ 64. Образование однофазной диффузионной зоны	448
§ 65. Образование многофазной диффузионной зоны	450
§ 66. Особенности строения диффузионной зоны	459
Глава XVII. Разновидности химико-термической обработки	460
§ 67. Диффузионное насыщение неметаллами	463
§ 68. Диффузионное насыщение металлами	468
§ 69. Диффузионное удаление элементов	469
Приложение	471
Рекомендательный библиографический список	475
Предметный указатель	479