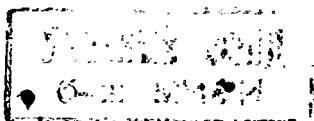

МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Издание 3-е, переработанное
и дополненное

Допущено Министерством высшего и среднего
специального образования СССР в качестве учебника
для студентов металлургических специальностей вузов



ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|------------|
| Предисловие | 6 |
| Введение | 7 |
| Глава I. Кристаллическое строение металлов | 8 |
| 1. Общая характеристика металлов | 8 |
| 2. Атомно-кристаллическая структура металлов | 13 |
| 3. Дефекты кристаллической решетки металлов | 19 |
| 4. Диффузия | 26 |
| Глава II. Кристаллизация металлов и строение металлического слитка | 28 |
| 1. Первичная кристаллизация металлов | 28 |
| 2. Строение металлического слитка | 37 |
| 3. Полиморфные превращения | 40 |
| Глава III. Деформация и разрушение металлов | 41 |
| 1. Виды напряжений | 41 |
| 2. Упругая и пластическая деформации металлов | 43 |
| 3. Сверхпластичность металлов и сплавов | 49 |
| 4. Разрушение металлов | 50 |
| Глава IV. Влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла | 53 |
| 1. Возврат и полигонизация | 53 |
| 2. Рекристаллизация | 55 |
| 3. Холодная и горячая деформации | 59 |
| Глава V. Механические свойства металлов | 60 |
| 1. Общая характеристика механических свойств | 60 |
| 2. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях | 61 |
| 3. Твердость металлов | 66 |
| 4. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях | 68 |
| 5. Механические свойства при переменных (циклических) нагрузках | 71 |
| 6. Изнашивание металлов | 73 |
| Глава VI. Основы теории сплавов | 77 |
| 1. Фазы в металлических сплавах | 77 |
| 2. Диаграммы фазового равновесия и структура сплавов | 85 |
| 3. Фазовые превращения в сплавах в твердом состоянии | 103 |
| 4. Понятие о диаграммах состояния тройных сплавов | 114 |
| Глава VII. Железо и его сплавы | 116 |
| 1. Компоненты и фазы в системе железо—углерод | 117 |
| 2. Диаграмма состояния железо—цементит (метастабильное равновесие) | 119 |
| 3. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства стали | 128 |
| 4. Легирующие элементы в стали | 131 |
| 5. Структурные классы легированных сталей | 138 |
| Глава VIII. Чугун | 139 |
| 1. Процесс графитизации | 139 |
| 2. Серый и белый чугуны | 142 |
| 3. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом | 149 |
| 4. Ковкий чугун | 150 |
| Глава IX. Фазовые превращения в сплавах железа (теория термической обработки стали) | 152 |
| 1. Фазовые превращения при нагреве | 152 |
| 2. Рост зерна аустенита при нагреве | 156 |

| | |
|---|------------|
| 3. Общая характеристика превращения переслабленного аустенита (диаграмма изотермического превращения аустенита) | 161 |
| 4. Перлитное превращение | 164 |
| 5. Мартенситное превращение в стали | 167 |
| 6. Промежуточное (бейнитное) превращение | 175 |
| 7. Изотермическое превращение аустенита в легированных сталях | 178 |
| 8. Превращение аустенита при непрерывном охлаждении | 180 |
| 9. Термодинамические диаграммы превращения переохлажденного аустенита | 183 |
| 10. Превращение мартенсита и остаточного аустенита при нагреве (отпуск стали) | 184 |
| 11. Термическое и деформационное старение углеродистой стали | 190 |
| Глава X. Технологи́я термической обработки стали | 191 |
| 1. Отжиг I рода | 193 |
| 2. Отжиг II рода (фазовая перекристаллизация) | 199 |
| 3. Закалка стали | 216 |
| 4. Отпуск стали | 218 |
| 5. Термомеханическая обработка (ТМО) стали | 219 |
| 6. Дефекты, возникающие при термической обработке стали | 220 |
| 7. Поверхностная закалка стали | 227 |
| Глава XI. Химико-термическая обработка стали | 227 |
| 1. Общая характеристика процессов химико-термической обработки стали | 227 |
| 2. Цементация стали | 231 |
| 3. Азотирование | 238 |
| 4. Нитроцементация | 244 |
| 5. Цианирование | 245 |
| 6. Борирование | 246 |
| 7. Силицирование | 246 |
| 8. Диффузионное насыщение металлами | 247 |
| Глава XII. Конструкционные стали и сплавы | 248 |
| 1. Углеродистые конструкционные стали | 249 |
| 2. Легирующие элементы в конструкционных сталях | 254 |
| 3. Конструкционные строительные низколегированные стали | 257 |
| 4. Стали повышенной и высокой обрабатываемости резанием (автоматические стали) | 258 |
| 5. Конструкционные машиностроительные цементуемые (нитроцементуемые) легированные стали | 260 |
| 6. Конструкционные машиностроительные улучшаемые легированные стали | 267 |
| 7. Мартенситостареющие высокопрочные стали | 271 |
| 8. Высокопрочные трип-стали (ПНП-стали) | 273 |
| 9. Рессорно-пружинные стали общего назначения | 273 |
| 10. Шарикоподшипниковые стали | 275 |
| 11. Износостойкая (аустенитная) сталь | 276 |
| 12. Коррозионностойкие (нержавеющие) стали и сплавы | 277 |
| 13. Жаропрочные стали и сплавы | 285 |
| Глава XIII. Инструментальные стали | 295 |
| 1. Стали для режущего инструмента | 296 |
| 2. Штамповые стали для деформирования в холодном состоянии | 302 |
| 3. Штамповые стали для деформирования в горячем состоянии (полутеплостойкие и теплостойкие) | 304 |
| Глава XIV. Стали и сплавы с особыми физическими свойствами | 307 |
| 1. Магнитные стали и сплавы | 307 |
| 2. Стали и сплавы с высоким электросопротивлением для нагревательных элементов | 310 |

| | |
|--|-----|
| 3. Сплавы с заданным температурным коэффициентом линейного расширения | 311 |
| Глава XV. Тугоплавкие металлы и их сплавы | 312 |
| Глава XVI. Титан и сплавы на его основе | 313 |
| 1. Титан | 313 |
| 2. Сплавы на основе титана | 314 |
| Глава XVII. Алюминий и сплавы на его основе | 320 |
| 1. Алюминий | 320 |
| 2. Классификация алюминиевых сплавов | 321 |
| 3. Термическая обработка алюминиевых сплавов | 322 |
| 4. Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой | 327 |
| 5. Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой | 331 |
| 6. Литейные алюминиевые сплавы | 333 |
| Глава XVIII. Магний и его сплавы | 337 |
| 1. Магний | 337 |
| 2. Сплавы магния | 338 |
| Глава XIX. Медь и сплавы на ее основе | 342 |
| 1. Медь | 342 |
| 2. Сплавы на медной основе | 344 |
| Глава XX. Антифрикционные (подшипниковые) сплавы на оловянной, свинцовой, цинковой и алюминиевой основах | 355 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

В соответствии с решениями XXVI съезда КПСС повышение качества и долговечности промышленности продукции является одной из наиболее актуальных проблем. Повышение качества металла и его механических свойств — основной путь увеличения долговечности деталей и один из главных источников экономии сталей и сплавов.

Для решения этой проблемы технолог (инженер-металлург, инженер-механик) должен владеть основами повышения качества и долговечности изделий за счет рационального выбора материалов и методов их упрочнения при достижении высокой технико-экономической эффективности. В учебнике этим вопросам уделено основное внимание.

По сравнению со вторым изданием учебник подвергся существенной переработке. Автор отразил в учебнике современные достижения отечественного и зарубежного металловедения, уделяя основное внимание физической сущности явлений, при сохранении инженерной направленности книги. В учебник введены новые разделы. В соответствии с основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года в книге дано описание новых видов термической, термомеханической, химико-термической обработки стали и цветных сплавов.

Большое внимание уделено оценке конструкционной прочности металла и сплавов, определяющей их долговечность и надежность против внезапных хрупких разрушений.

Автор не претендует на исчерпывающую полноту изложения всех вопросов металловедения, а стремится последовательно на современном научном уровне в доступной форме изложить вопросы, предусмотренные программой курса «Металловедение» и «Металловедение и термическая обработка металлов» для технологических специальностей металлургических и машиностроительных вузов. Учебник поможет инженерно-техническим работникам, недавно пришедшим на производство, увязать свои теоретические знания с практической работой и облегчить понимание специальной литературы по металловедению и термической обработке, а имеющим практический опыт работы — обновить теоретические знания.

В третьем издании книги учтены замечания, сделанные ко второму изданию. Автор признателен коллегам за их замечания, которые способствовали совершенствованию учебника.

Автор приносит глубокую благодарность профессору докт. техн. наук. М. Л. Бернштейну за ценные советы и замечания, которые были даны им при рецензировании рукописи учебника, а также профессору докт. техн. наук А. Г. Рахштадту за целый ряд важных предложений, внесенных в рукопись. Автор благодарен мл. научному сотруднику Т. М. Боровской за подготовку материалов рукописи к изданию.

Металловедение — наука, изучающая зависимость между составом, строением и свойствами металлов и сплавов и закономерности их изменения под воздействием внешних факторов: тепловых, химических, механических, электромагнитных и радиоактивных.

Впервые связь между строением стали и ее свойствами была установлена П. П. Аносовым (1799—1855 гг.).

Важнейшие положения научного металловедения были заложены русским металлургом Д. К. Черновым (1839—1921 гг.), который в 1868 г. открыл внутренние структурные превращения в стали при нагреве и охлаждении. В 1878 г. им были изложены основы современной теории кристаллизации металлов. Эти и последующие работы Д. К. Чернова создали фундамент современного металловедения и термической обработки стали.

В начале XX в. большую роль в развитии металловедения сыграли работы Н. С. Курнакова, применившего для исследования металлов методы физико-химического анализа (электрический, dilatометрический, магнитный и др.). Н. С. Курнаковым и его учениками было изучено большое число металлических систем, построены диаграммы состояния и установлены зависимости между составом, структурой и свойствами сплавов.

Широкое использование рентгеновского анализа, предпринятое с начала 20-х гг., позволило установить кристаллическое строение металлических сплавов и фаз и изучить изменение его в зависимости от обработки сплава. Эти важные исследования выполняли М. Лауэ и П. Дебай (Германия), Г. В. Вульф (СССР), У. Г. Брэгг и У. Л. Брэгг (Англия), А. Вестгрен, В. Фрагмен (Швеция) и др.

Начиная с 1928—1930 гг. большое внимание уделяется теории фазовых превращений в сплавах. Это дало возможность определить механизм превращений и разработать теорию и практические вопросы термической обработки стали, дуралюмина и ряда других технически важных сплавов. В числе работ, выполнявшихся в этом направлении, следует прежде всего отметить исследования С. С. Штейнберга и его школы (СССР), Э. Бэйна и Р. Мейла (США) и Велера (Германия).

Весьма большое значение в развитии как металлофизики, так и металловедения имели работы Г. В. Курдюмова, А. А. Бочвара, В. Д. Садовского, С. Т. Конобеевского (СССР), Юм-Розери и Н. Мотта (Англия), Ф. Зейтца (США) и др.

В создании новой технологии термической и химико-термической обработки стали и изыскании различных композиций сплавов велика заслуга советских ученых Н. А. Минкевича, Н. Т. Гудцова, А. А. Бочвара и др.

Металловедение в связи с непрерывным ростом уровня современной техники, усложнением и расширением требований, предъявляемых к свойствам и качеству металлических сплавов, продолжает успешно развиваться и в настоящее время.

1. Общая характеристика металлов

Из известных в настоящее время 106 элементов 76 являются металлами. В табл. I приведена Периодическая система элементов Д. И. Менделеева, в правой части которой расположены неметаллические элементы. Такие элементы, как Si, Ge, As, Se, Te рассматриваются как промежуточные между металлами и неметаллами.

Металлы в твердом и отчасти в жидком состояниях обладают рядом характерных свойств:

- 1) высокой тепло- и электропроводностью;
- 2) положительным температурным коэффициентом электросопротивления; с повышением температуры электросопротивление чистых металлов возрастает; большое число металлов (~ 30) обладает сверхпроводимостью; у этих металлов при температуре, близкой к абсолютному нулю, электросопротивление падает скачкообразно практически до нуля;
- 3) термоэлектронной эмиссией, т. е. способностью испускать электроны при нагреве;
- 4) хорошей отражательной способностью; металлы непрозрачны и обладают металлическим блеском;
- 5) повышенной способностью к пластической деформации.

Все металлы и металлические сплавы — тела кристаллические: атомы (ионы) расположены в металлах закономерно с образованием так называемой *кристаллической решетки*.

Указанные свойства характерны для металлического состояния вещества, главным в котором является наличие свободных электронов.

Металлическое состояние возникает в комплексе атомов, когда при их сближении внешние электроны теряют связь с отдельными атомами, становятся общими, т. е. коллективизируются и свободно перемещаются по определенным энергетическим уровням (зоны Бриллюэна) между положительно заряженными и периодически расположенными в пространстве ионами.

Таким образом, устойчивость металла, представляющего собой ионно-электронную систему, определяется электрическим взаимодействием между положительно заряженными ионами и коллективизированными электронами. Такое взаимодействие между ионным скелетом и электронным газом получили название *металлической связи*.

Сила связи в металлах определяется соотношением между силами отталкивания и силами притяжения между ионами и электронами. Атомы (ионы) располагаются на таком расстоянии один от другого, чтобы энергия взаимодействия была минимальной (рис. 1). Этому положению, как видно из рис. 1, *a* соответствует равновесное расстояние R_0 .

Таблица 1

| Период | Группа | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--|---|--|
| | Ia | IIa | IIIa | IVa | Va | VIIa | VIIIa | IIb | IIIb | IVb | Vb | VIb | VIIb | 0 | |
| 1 | (H) 1,007 | | | | | | | | | | | | (H) He 4,00 | | |
| 2 | Li 6,94 | 4 Be 9,01 | | | | | | | | | | | B 10,81 C 12,01 N 14,00 O 16,00 F 19,00 Ne 20,18 | | |
| 3 | 11 Na 22,99 | 12 Mg 24,31 | 13 Al 26,98 | | | | | | | | | | Si 28,04 P 30,97 S 32,06 Cl 35,45 Ar 39,96 | | |
| 4 | K 39,10 | Ca 40,08 | Sc 44,96 | 22 Ti 47,90 | 23 V 50,94 | 24 Cr 52,00 | 25 Mn 54,94 | 26 Fe 55,86 | 27 Co 58,93 | 28 Ni 58,71 | 29 Cu 63,55 | 30 Zn 65,37 | 31 Ga 69,72 | 32 Ge 72,61 33 As 74,92 34 Se 78,96 35 Br 79,90 36 Kr 83,80 | |
| 5 | Rb 85,47 | Sr 87,62 | 39 Y 88,90 | 40 Zr 91,22 | 41 Nb 92,91 | 42 Mo 95,94 | 43 Tc [99] | 44 Ru 101,07 | 45 Rh 102,90 | 46 Pd 106,4 | 47 Ag 107,87 | 48 Cd 112,40 | 49 In 114,82 50 Sn 118,69 51 Sb 121,76 52 Te 127,60 53 I 126,90 54 Xe 131,30 | | |
| 6 | | | 55 Ba 137,34 | 56 La 138,91 | 57 Ce 140,12 | 58 Pr 140,91 | 59 Nd 144,24 | 60 Pm [145] | 61 Sm 150,36 | Лантаноиды | | | 62 Eu 151,96 63 Gd 157,25 64 Tb 158,92 65 Dy 162,50 66 Ho 164,93 67 Er 167,26 68 Tm 168,93 | | |
| | | | 70 Yb 174,04 | 71 Lu 174,97 | 72 Hf 178,49 | 73 Ta 180,95 | 74 W 183,85 | 75 Re 186,2 | 76 Os 190,2 | 77 Ir 192,2 | 78 Pt 196,09 | 79 Au 196,97 | 80 Hg 200,00 | 81 Tl 204,37 82 Pb 207,19 83 Bi 208,98 84 Po [210] 85 At [210] 86 Rn [222] | |
| | | | 87 Fr [223] | 88 Ra [226] | 89 Ac [227] | 90 Th 232,04 | 91 Pa [231] | 92 U 238,03 | 93 Np [237] | 94 Pu [242] | Актиноиды | | | 95 Am [243] 96 Cm [247] 97 Bk [247] 98 Cf [249] 99 Es [254] 100 Fm [253] 101 Md [256] | |
| | | | 102 No [266] | 103 Lw [267] | 104 Ku [260] | | | | | | | | | | |

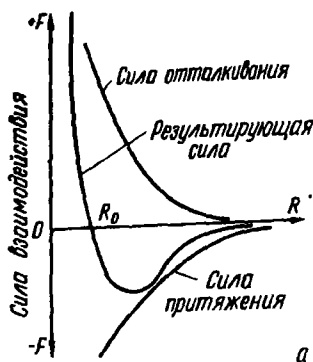
| Атомный номер. | |
|----------------|----|
| 26 | Fe |
| 56,86 | |

| Символ | |
|--------|----|
| Fe | Fe |
| 56,86 | |

- Металлы
- Полуметаллы
- Неметаллы
- Легкоплавкие
- Тугоплавкие

Сближение атомов (ионов) на расстояние меньше R_0 или удаление их на расстояние больше R_0 осуществимо лишь при совершении определенной работы против сил отталкивания или притяжения. При закономерном расположении атомов в металле с образованием правильной кристаллической решетки будет реализовано состояние с минимальной энергией взаимодействия атомов.

Характер изменения потенциальной энергии атомов в кристаллической решетке показан на рис. 1, б. Атомы (ионы) занимают положение с минимальной потенциальной энергией. Атомы, составляющие поверхностный слой, обладают повышенной потенциальной энергией за счет наличия нескомпенсированных сил взаимодействия (принимая сферический характер силового поля вокруг атома (иона)).



Металлы (если их получают обычным способом) представляют собой поликристаллические тела, состоящие из большого числа мелких (1000 — 0,1 мкм), различно ориентированных один по отношению к другому кристаллитов. Вследствие не регламентированных условий кристаллизации, они имеют неправильную форму и называются иногда *кристаллитами*, а иногда *зернами*.

Чистые металлы¹ в обычном структурном состоянии обладают низкой прочностью и не обеспечивают во многих случаях требуемых свойств. Поэтому их применяют сравнительно редко. Наиболее широко используют сплавы. Сплавы получают сплавлением или спеканием (редко — осаждением)² двух или более металлов или металлов с неметаллами. Они

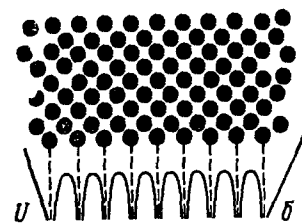


Рис. 1. Силы взаимодействия двух атомов (а) и изменение потенциальной энергии атомов в кристаллической решетке (б)

обладают характерными свойствами, присущими металлическому состоянию. Химические элементы, образующие сплав, называют *компонентами*. Сплав может состоять из двух или большего числа компонентов.

Для рассмотрения строения, превращений и свойств металлов и сплавов введем понятия фаза и структура, широко используемые в металловедении. Системой называют совокупность фаз, находя-

¹ Понятие *чистый металл* весьма условно. Любой чистый металл в большем или меньшем количестве содержит примеси и, следовательно, должен рассматриваться как сплав. В дальнейшем под термином чистый металл мы будем понимать металл, содержащий 99,99—99,999 % основного металла. Во всех остальных случаях подразумевается технически чистый металл с малым количеством примесей (99,5—99,9 %), получаемый обычными промышленными способами.

² Некоторые сплавы получают без расплавления, т. е. без перевода в жидкое состояние, а в твердом виде — спеканием металлических порошков или химических соединений, а также путем осаждения из газовой фазы.

Металлолом

Первый научный сайт про металлы в Рунете

Большое спасибо за чтение ознакомительной версии контента с сайта “Металлолом”. Если вы заинтересованы в полной версии, пожалуйста - нажмите кнопку “Facebook” или “Twitter” и поделитесь своей находкой, чтоб остальным было легче найти наш сайт.

После этого вам нужно будет обновить страницу, где вы расшарили ссылку - и полный контент будет доступен вам для чтения онлайн прямо на сайте!

Если вы находите данный ресурс полезным - пожертвуйте, сколько можете

<https://secure.wayforpay.com/payment/mitalolom>



Важно!

Весь контент защищен авторскими правами и служит только для ознакомительных целей - например, когда вам нужно написать реферат или курсовую.

После прочтения и ознакомления, вам нужно будет удалить скачанный контент или оплатить издателю.