

Donald R. Askeland

Materialwissenschaften

Grundlagen · Übungen · Lösungen

Aus dem Amerikanischen
von Wolfgang Fahland und Wilfried Holzhäuser

Mit 586 Abbildungen

Spektrum
AKADEMISCHER VERLAG

Inhalt

Teil I Aufbau, Anordnung und Bewegung von Atomen

1 Allgemeines über Werkstoffe	3
1.1 Einleitung	3
1.2 Werkstoffarten	4
1.3 Zusammenhang zwischen Struktur, Eigenschaften und Verarbeitungstechnologie	7
1.4 Einflüsse der Umgebung auf das Materialverhalten	10
1.5 Entwicklung und Auswahl von Werkstoffen	13
1.6 Zusammenfassung	14
1.7 Glossar	14
1.8 Übungsaufgaben	15
2 Struktur der Atome	16
2.1 Einleitung	16
2.2 Atomaufbau	16
2.3 Elektronenstruktur der Atome	17
2.4 Bindungsarten	21
2.5 Bindungsenergie und zwischenatomarer Abstand	28
2.6 Zusammenfassung	31
2.7 Glossar	31
2.8 Übungsaufgaben	33
3 Atomarer Aufbau von Festkörpern	34
3.1 Einleitung	34
3.2 Nah- und Fernordnung	34
3.3 Elementarzellen	36
3.4 Allotrope oder polymorphe Übergänge	43
3.5 Kristallographische Punkte, Richtungen und Ebenen	44
3.6 Zwischengitterplätze	54
3.7 Ionenkristalle	57
3.8 Kovalente Strukturen	60
3.9 Röntgenstrahlenbeugung	62
3.10 Zusammenfassung	65
3.11 Glossar	66
3.12 Übungsaufgaben	68
4 Störungen des atomaren Aufbaus von Festkörpern	72
4.1 Einleitung	72
4.2 Versetzungen	72
4.3 Bedeutung von Versetzungen	78
4.4 Gesetz von Schmid	79

4.5	Einfluß der Kristallstruktur	81
4.6	Punktdefekte	83
4.7	Flächendefekte	88
4.8	Technologische Beeinflussung des Gleitverhaltens	93
4.9	Zusammenfassung	95
4.10	Glossar	96
4.11	Übungsaufgaben	97
5	Diffusion von Atomen in Festkörpern	99
5.1	Einleitung	99
5.2	Platzwechsel von Atomen	99
5.3	Diffusionsmechanismen	101
5.4	Aktivierungsenergien bei Diffusionsprozessen	103
5.5	Diffusionsstrom (Erstes Ficksches Gesetz)	104
5.6	Konzentrationsprofil (Zweites Ficksches Gesetz)	113
5.7	Diffusion und Materialbearbeitung	116
5.8	Zusammenfassung	118
5.9	Glossar	119
5.10	Übungsaufgaben	120

Teil II Steuerung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften von Materialien

6	Mechanische Prüfverfahren und Eigenschaften	125
6.1	Einleitung	125
6.2	Zugversuch: Anwendung der Spannungs-Dehnungs-Kurve	125
6.3	Materialeigenschaften, die sich aus dem Zugversuch ergeben	129
6.4	Biegeversuch für spröde Materialien	134
6.5	Wahre Spannung - wahre Dehnung	136
6.6	Härteprüfverfahren: Prinzip und Anwendung	137
6.7	Schlagprüfung	139
6.8	Ableitbare Eigenschaften aus Schlagversuchen	140
6.9	Bruchzähigkeit	143
6.10	Bedeutung der Bruchmechanik	145
6.11	Schwingversuch	146
6.12	Aussagen des Schwingversuchs	148
6.13	Anwendungen des Schwingversuchs	149
6.14	Kriechversuch	153
6.15	Anwendung von Kriechergebnissen	155
6.16	Zusammenfassung	157
6.17	Glossar	158
6.18	Übungsaufgaben	160
7	Kaltverfestigung und Entspannung	163
7.1	Einleitung	163
7.2	Zusammenhang zwischen Kaltverformung und Spannungs-Dehnungs-Kurve	163
7.3	Mechanismen der Kaltverfestigung	165

7.4	Materialeigenschaften in Abhängigkeit vom Kaltverformungsgrad	166
7.5	Mikrostruktur und innere Spannung	170
7.6	Merkmale der Kaltverformung	173
7.7	Drei Stufen der Entspannung	176
7.8	Steuerung der Entspannung	178
7.9	Entspannungsverhalten und Prozeßgestaltung	180
7.10	Warmverformung	182
7.11	Superplastizität	183
7.12	Zusammenfassung	184
7.13	Glossar	185
7.14	Übungsaufgaben	186
8	Grundlagen der Erstarrung	189
8.1	Einleitung	189
8.2	Keimbildung	189
8.3	Wachstum	193
8.4	Erstarrungszeit und Dendritengröße	195
8.5	Abkühlungskurven	199
8.6	Guß- oder Blockstruktur	200
8.7	Erstarrung von Polymeren	202
8.8	Erstarrungsfehler	202
8.9	Gießverfahren	206
8.10	Erstarren von Schweißverbindungen	210
8.11	Zusammenfassung	211
8.12	Glossar	212
8.13	Übungsaufgaben	213
9	Mischkristallverfestigung und Phasengleichgewicht	217
9.1	Einleitung	217
9.2	Phasen und das Einstoff-Phasendiagramm	217
9.3	Löslichkeit und Lösungen	220
9.4	Bedingungen für unbegrenzte Löslichkeit im festen Zustand	222
9.5	Mischkristallverfestigung	224
9.6	Isomorphe Zustandsdiagramme	226
9.7	Zusammenhang zwischen Materialeigenschaften und Zustandsdiagramm	233
9.8	Erstarren bei vollständiger Mischbarkeit der Komponenten	235
9.9	Nichtgleichgewichtserstarren und Seigerung	237
9.10	Zusammenfassung	240
9.11	Glossar	241
9.12	Übungsaufgaben	242
10	Ausscheidungshärtung beim Erstarren	247
10.1	Einleitung	247
10.2	Grundlagen der Ausscheidungshärtung	247
10.3	Intermetallische Verbindungen	248
10.4	Zustandsdiagramme mit Dreiphasenreaktionen	252
10.5	Eutektisches Zustandsdiagramm	254

10.6	Festigkeit eutektischer Legierungen	262
10.7	Anwendungsbeispiele für eutektische Materialien	268
10.8	Nichtgleichgewichts-Erstarrung von eutektischen Systemen	270
10.9	Ternäre Zustandsdiagramme	271
10.10	Zusammenfassung	273
10.11	Glossar	274
10.12	Übungsaufgaben	276

11 Ausscheidungshärtung durch Phasenumwandlung und

Wärmebehandlung	279	
11.1	Einleitung	279
11.2	Keimbildung und Wachstum bei Phasenumwandlungen im festen Zustand	279
11.3	Verfestigung von Legierungen durch Überschreiten der Löslichkeitsgrenze	283
11.4	Aushärten	286
11.5	Einfluß von Auslagerungstemperatur und -zeit	288
11.6	Bedingungen für Aushärtung	290
11.7	Einsatz ausgehärteter Legierungen bei hohen Temperaturen	290
11.8	Eutektoide Reaktion	291
11.9	Steuerung eutektoider Reaktionen	296
11.10	Martensitische Reaktion und Anlassen	301
11.11	Zusammenfassung	307
11.12	Glossar	308
11.13	Übungsaufgaben	309

Teil III Technische Werkstoffe

12 Eisenlegierungen	315	
12.1	Einleitung	315
12.2	Bezeichnung von Stählen	316
12.3	Wärmebehandlung von Stählen	319
12.4	Isotherme Wärmebehandlungen	321
12.5	Abschrecken und Anlassen	325
12.6	Einfluß von Legierungselementen	331
12.7	Härtbarkeit	333
12.8	Spezialstähle	337
12.9	Oberflächenbehandlungen	338
12.10	Schweißbarkeit von Stählen	341
12.11	Nichtrostende Stähle	342
12.12	Phasenumwandlungen in Gußeisen	345
12.13	Eigenschaften und Herstellungsverfahren von Gußeisen	348
12.14	Zusammenfassung	354
12.15	Glossar	356
12.16	Übungsaufgaben	358

13 Nichteisenmetalle	361
13.1 Einleitung	361
13.2 Aluminium	362
13.3 Magnesium	372
13.4 Beryllium	374
13.5 Kupfer	375
13.6 Nickel und Cobalt	379
13.7 Titan	383
13.8 Hochschmelzende Metalle	390
13.9 Zusammenfassung	391
13.10 Glossar	392
13.11 Übungsaufgaben	392
14 Keramische Stoffe	395
14.1 Einleitung	395
14.2 Struktur kristalliner keramischer Stoffe	396
14.3 Struktur kristalliner Silikate	398
14.4 Störungen kristalliner Keramikstrukturen	401
14.5 Struktur keramischer Gläser	408
14.6 Mechanische Fehler keramischer Stoffe	411
14.7 Verformung keramischer Stoffe bei hohen Temperaturen	419
14.8 Technologie und Anwendungen von Gläsern	424
14.9 Technologie und Anwendungen von Glaskeramik	428
14.10 Technologie und Anwendungen von Tonprodukten	430
14.11 Technologie und Anwendungen neu entwickelter keramischer Stoffe	433
14.12 Feuerfeste keramische Stoffe	437
14.13 Weitere keramische Stoffe und ihre Anwendungen	439
14.14 Zusammenfassung	441
14.15 Glossar	441
14.16 Übungsaufgaben	443
15 Polymere	445
15.1 Einleitung	445
15.2 Klassifizierung der Polymere	445
15.3 Kettenbildung durch Additionspolymerisation	448
15.4 Kettenbildung durch Kondensation	454
15.5 Polymerisationsgrad	456
15.6 Kettenanordnung in Thermoplasten	458
15.7 Verformung und Bruch thermoplastischer Polymere	464
15.8 Beeinflussung von Struktur und Eigenschaften thermoplastischer Polymere	473
15.9 Elastomere (Gummi- oder Kautschukstoffe)	483
15.10 Duroplaste	489
15.11 Klebstoffe	492
15.12 Polymerzusätze	493
15.13 Formgebungsverfahren	494
15.14 Zusammenfassung	498
15.15 Glossar	498
15.16 Übungsaufgaben	500

16 Verbundwerkstoffe	503
16.1 Einleitung	503
16.2 Dispersionsgehärtete Verbundstoffe	504
16.3 Teilchenverbunde	506
16.4 Faserverstärkte Verbunde	511
16.5 Charakteristische Kenngrößen von Faserverbunden	516
16.6 Herstellung von Faserverbunden	523
16.7 Faserverbundsysteme und ihre Anwendungen	530
16.8 Schichtverbunde	537
16.9 Beispiele und Anwendungen von Schichtverbunden	539
16.10 Sandwich-Strukturen	541
16.11 Zusammenfassung	542
16.12 Glossar	543
16.13 Übungsaufgaben	544

17 Baustoffe	547
17.1 Einleitung	547
17.2 Struktur von Holz	547
17.3 Feuchtigkeitsgehalt und Dichte von Holz	549
17.4 Mechanische Eigenschaften von Holz	552
17.5 Dehnung und Kontraktion von Holz	554
17.6 Sperrholz	555
17.7 Beton	555
17.8 Eigenschaften von Beton	558
17.9 Stahl- und Spannbeton	562
17.10 Asphalt	562
17.11 Zusammenfassung	563
17.12 Glossar	564
17.13 Übungsaufgaben	564

Teil IV Physikalische Eigenschaften von Werkstoffen

18 Elektrische Eigenschaften von Stoffen	569
18.1 Einleitung	569
18.2 Ohmsches Gesetz und elektrische Leitfähigkeit	569
18.3 Bändertheorie	573
18.4 Methoden zur Einstellung der elektrischen Leitfähigkeit	577
18.5 Supraleitung	581
18.6 Leitfähigkeit anderer Stoffe	585
18.7 Eigenhalbleiter	587
18.8 Störstellenhalbleiter	590
18.9 Halbleiterbauelemente	596
18.10 Herstellungstechnologie von Halbleiterbauelementen	600
18.11 Isolatoren und dielektrische Eigenschaften	600
18.12 Dipole und Polarisierung	601
18.13 Dielektrische Eigenschaften	605
18.14 Dielektrische Eigenschaften und Kondensatoren	609
18.15 Dielektrische Eigenschaften von Isolierstoffen	611

18.16	Piezoelektrizität und Elektrostriktion	611
18.17	Ferroelektrizität	613
18.18	Zusammenfassung	615
18.19	Glossar	616
18.20	Übungsaufgaben	617
19	Magnetische Eigenschaften von Stoffen	619
19.1	Einleitung	619
19.2	Magnetische Dipole und magnetische Momente	619
19.3	Magnetisierung und Permeabilität	621
19.4	Wechselwirkungen zwischen magnetischen Dipolen und Magnetfeld	623
19.5	Domänenstruktur und Hystereseschleife	625
19.6	Anwendungen der Magnetisierungskurve	628
19.7	Curietemperatur	632
19.8	Magnetwerkstoffe	633
19.9	Zusammenfassung	639
19.10	Glossar	639
19.11	Übungsaufgaben	640
20	Optische Eigenschaften von Stoffen	641
20.1	Einleitung	641
20.2	Das elektromagnetische Spektrum	641
20.3	Emission elektromagnetischer Strahlung	642
20.4	Wechselwirkung zwischen Photonen und Festkörpern	652
20.5	Lichtleitsysteme und Werkstoffe für Lichtleiter	663
20.6	Zusammenfassung	665
20.7	Glossar	666
20.8	Übungsaufgaben	667
21	Thermische Eigenschaften von Stoffen	669
21.1	Einleitung	669
21.2	Molwärme und spezifische Wärme	669
21.3	Thermische Ausdehnung	672
21.4	Wärmeleitung	677
21.5	Temperaturschockfestigkeit	681
21.6	Zusammenfassung	682
21.7	Glossar	683
21.8	Übungsaufgaben	683
 Teil V Schutzmaßnahmen gegen Materialversagen		
22	Korrosion und Verschleiß	687
22.1	Einleitung	687
22.2	Chemische Korrosion	687
22.3	Elektrochemische Korrosion	689
22.4	Elektrodenpotentiale in elektrochemischen Elementen	692
22.5	Korrosionsstrom und Polarisation	696

22.6	Formen elektrochemischer Korrosion	697
22.7	Schutzmaßnahmen gegen elektrochemische Korrosion	702
22.8	Biokorrosion und biologisch abbaubare Polymere	709
22.9	Oxydation und Reaktionen mit anderen Gasen	709
22.10	Verschleiß und Erosion	713
22.11	Zusammenfassung	715
22.12	Glossar	716
22.13	Übungsaufgaben	718
23	Materialversagen. Ursachen, Nachweis und Vorbeugung	721
23.1	Einleitung	721
23.2	Bruchmechanismen in Metallen	721
23.3	Bruch in Nichtmetallen	731
23.4	Versagen von Metallen. Ursachen und Vorbeugung	733
23.5	Zerstörungsfreie Materialprüfverfahren	737
23.6	Zusammenfassung	750
23.7	Glossar	751
23.8	Übungsaufgaben	752
	Lösungen der Übungsaufgaben	755
	Anhang A Physikalische Eigenschaften von Metallen	767
	Anhang B Atom- und Ionenradien	770
	Anhang C Elektronenkonfiguration der Elemente	772
	Sachverzeichnis	775