

E. Hornbogen, H. Warlimont

Metallkunde

Aufbau und Eigenschaften
von Metallen und Legierungen

Mit einem Beitrag
von Th. Ricker

Zweite, völlig neubearbeitete
und erweiterte Auflage

Mit 281 Abbildungen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest

Inhalt

1 Allgemeiner Überblick	1
1.1 Natur der Metalle	1
1.2 Geschichte der Metalle	4
1.3 Metalle als Werkstoffe	5
1.4 Aufgaben der Metallkunde	7
Literatur	8
2 Übergang in den festen Zustand	9
2.1 Aggregatzustände	19
2.2 Übergang gasförmig zu kristallin	10
2.3 Übergang flüssig zu kristallin	10
2.4 Keimbildung	12
2.5 Heterogene Keimbildung	15
2.6 Stabile und instabile Grenzflächen	15
2.7 Erstarrung in einer Form	17
2.8 Einkristalle	18
Literatur	19
3 Kristallstrukturen	20
3.1 Bindung und Koordination	20
3.2 Punkte, Richtungen und Ebenen	23
3.3 Stereographische Projektion	27
3.4 Intermetallische Phasen	30
3.5 Anisotropie	34
3.6 Quasikristalline Phasen	34
Literatur	35
4 Konstitution von Legierungen	36
4.1 Grundlagen der heterogenen Gleichgewichte	36
4.2 Mischkristalle, geordnete Atomverteilung, intermetallische Phasen	39
4.3 Zweistoffsysteme	40
4.4 Mehrstoffsysteme	50
Literatur	52

5 Gitterbaufehler	53
5.1 Überblick	53
5.2 Leerstellen	54
5.3 Versetzungen	56
5.4 Stapelfehler	60
5.5 Korngrenzen	62
Literatur	65
6 Elektronen in Metallen	66
6.1 Modell freier Elektronen	66
6.2 Bändermodell	69
6.3 Leitfähigkeit	72
6.4 Supraleitung	74
6.5 Ferromagnetismus	76
Literatur	78
7 Physikalische Eigenschaften	79
7.1 Gitterschwingungen und spezifische Wärme	79
7.2 Wärmeausdehnung	82
7.3 Elastische Eigenschaften	84
7.4 Elektrische und Wärmeleitfähigkeit	87
7.5 Physikalische Eigenschaften von Vielkristallen und Phasengemischen	90
Literatur	92
8 Plastizität und Bruch	93
8.1 Zugversuch	93
8.2 Strukturabhängigkeit der plastischen Verformung	96
8.3 Verformung von Ein- und Vielkristallen	100
8.4 Zwillingsbildung	105
8.5 Verformungstextur	107
8.6 Kriechen, Superplastizität	108
8.7 Bruch	111
8.8 Wechselverformung, Ermüdung	114
8.9 Mischkristallhärtung	117
Literatur	118
9 Thermisch aktivierte Reaktionen	119
9.1 Aktivierungsenergie	120
9.2 Diffusion	122
9.3 Erholung	126
9.4 Spannungsrelaxation	128
9.5 Rekristallisation	129
Literatur	133

10 Strukturelle Phasenumwandlungen	134
10.1 Umwandlungsarten	134
10.2 Thermodynamische Grundlagen und Triebkräfte	135
10.3 Teilvorgänge der Umwandlungen	138
10.4 Umwandlungstypen	144
10.4.1 Diskontinuierliche Umwandlungen	144
10.4.2 Entmischungsreaktionen	148
10.4.3 Allgemeine Umwandlung und Ausscheidung	150
10.4.4 Ordnungsreaktionen	151
10.4.5 Martensitische Umwandlungen	154
10.4.6 Bainitische Umwandlungen	160
Literatur	161
11 Untersuchungsmethoden der Mikrostruktur	162
11.1 Mikroskopische Methoden	162
11.1.1 Lichtmikroskopie (LM)	162
11.1.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)	166
11.1.3 Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	167
11.1.4 Feldionenmikroskopie (FIM) und Atomsondenspektroskopie	169
11.1.5 Beugung von Röntgenstrahlen	171
11.1.6 Elektronenbeugung	172
11.1.7 Chemische Analyse der Gefügebestandteile	174
11.1.8 Raster-Tunnel-Mikroskopie	175
11.2 Makroskopische Methoden	175
11.2.1 Physikalsche Analyse	176
11.2.2 Thermochemische Analyse	180
Literatur	182
12 Erstarrung flüssiger Legierungen – Gußwerkstoffe	183
12.1 Metallschmelzen	183
12.2 Bildung von Mischkristallen	185
12.3 Eutektische Erstarrung	189
12.4 Seigerung	191
12.5 Gußlegierungen	192
12.6 Gießtechnik	198
Literatur	201
13 Umformung und Werkstoffprüfung	202
13.1 Einfluß von Gefüge, Temperatur und Verformungsgeschwindigkeit	202
13.2 Mechanik der Umformung	204
13.3 Umformverfahren	207
13.4 Werkstoffprüfverfahren	212
13.5 Kaltverfestigte Werkstoffe	216
Literatur	218

14	Aufbau, Umwandlungen und Eigenschaften der Stähle	219
14.1	Legierungsgruppen und Gleichgewichtssysteme	219
14.2	Umwandlungen, Gefüge, mechanische Eigenschaften	222
14.3	Stahlarten	228
	Literatur	233
15	Teilchengehärtete Legierungen	234
15.1	Gefügeabhängige Eigenschaften	234
15.2	Härtungsmechanismen	236
15.3	Wechselwirkung von Versetzungen mit Teilchen	236
15.4	Ausscheidungsgefüge	241
15.5	Aushärtbare Aluminiumlegierungen	243
15.6	Weitere aushärtende Nichteisenmetall-Legierungen	245
15.7	Besonderheiten der Eisenlegierungen und Stähle	246
15.8	Dispersionshärtung	248
15.9	Warmfeste Legierungen	248
	Literatur	252
16	Oberflächen, Korrosion und Verschleiß	253
16.1	Oberflächenenergie, Adsorption und Adhäsion	253
16.2	Korrosion	255
16.3	Chemisch beständige Stähle Korrosionsschutz,	260
16.4	Verzunderung	262
16.5	Reibung and Verschleiß	264
	Literatur	267
17	Pulvermetallurgie	268
17.1	Umgehung des flüssigen Zustands	268
17.2	Pulvermetallurgische Verfahren	269
17.3	Sintertheorie	272
17.4	Anwendungen der Pulvermetallurgie	275
	Literatur	280
18	Magnetische Werkstoffe	281
18.1	Ferromagnetische Phasen	281
18.2	Magnetische Kenngrößen	282
18.3	Physikalische und metallkundliche Grundlagen	284
18.4	Weichmagnetische Werkstoffe	292
18.5	Hartmagnetische Werkstoffe	297
18.6	Besondere Werkstoffeigenschaften durch magnetische Anomalien	304
18.7	Eigenschaftsverbesserungen bei Magnetwerkstoffen	306
	Literatur	307

19 Metalle und Strahlung	309
19.1 Strahlenschäden	309
19.2 Reaktorwerkstoffe	311
19.3 Metallkunde des Urans	316
19.4 Ionenimplantation	317
Literatur	319
20 Ausgewählte Spezialgebiete der Metallkunde	320
20.1 Die drei Werkstoffgruppen und Werkstoffverbunde	320
20.1.1 Drei Werkstoffgruppen und leitende Nichtmetalle	320
20.1.2 Beispiele für Verbundwerkstoffe	326
20.2 Amorphe Metalle	329
20.2.1 Herstellung, Zusammensetzung, Struktur	329
20.2.2 Beziehungen zwischen Struktur und Eigenschaften	331
20.2.3 Anwendung amorpher Metalle	333
20.3 Legierungen mit Formgedächtnis	334
20.4 Technische Supraleiter	341
20.4.1 Grundlagen technischer Supraleiter	341
20.4.2 Nb-Ti-Supraleiter	344
20.4.3 Nb ₃ Sn-Supraleiter	345
20.4.4 Weitere Supraleiter und konkurrierende Werkstoffe	346
Literatur	347
Sachverzeichnis	349