

r

Eberhard Roos • Karl Maile[^]

Werkstoffkunde für Ingenieure

Grundlagen, Anwendung, Prüfung

3., neu bearbeitete Auflage

4u Springer

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick	1
1.1 Was ist ein Werkstoff?.....	1
1.2 Werkstoffkunde.....	2
1.3 Geschichte und Zukunft.....	4
2 Atomarer Aufbau kristalliner Stoffe	7
2.1 Atomaufbau.....	7
2.2 Die chemischen Elemente.....	8
2.2.1 Eigenschaften metallischer Elemente.....	9
2.2.2 Einteilung und Übersicht.....	9
2.2.3 Leichtmetalle.....	10
2.2.4 Schwermetalle.....	10
2.2.5 Bindungen zwischen Atomen.....	11
2.3 Anordnung der Atome im festen Körper.....	13
2.3.1 Kristallstrukturen.....	13
2.3.2 Modifikationen - Allotropie (Polymorphie).....	18
2.3.3 Kristallographische Ebenen.....	19
2.4 Reale kristalline Festkörper.....	23
2.4.1 Nulldimensionale Gitterstörungen.....	24
2.4.2 Eindimensionale Fehler.....	25
2.4.3 Zweidimensionale Fehler.....	29
2.4.4 Dreidimensionale Fehler.....	31
Fragen zu Kapitel 2.....	32
3 Legierungsbildung	33
3.1 Grundbegriffe.....	33
3.1.1 Substitutionsmischkristall.....	34
3.1.2 Einlagerungsmischkristall.....	35
3.2 Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen.....	35
3.2.1 Vollkommene Unlöslichkeit im flüssigen und im festen Zustand.....	36
3.2.2 Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und im festen Zustand.....	37
3.2.3 Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und vollkommene Unlöslichkeit im festen Zustand.....	39
3.2.4 Vollkommene Löslichkeit im flüssigen und teilweise Löslichkeit im festen Zustand.....	42
3.2.5 Peritektisches System.....	44
3.2.6 Verbindungsbildung.....	45
3.3 Zustandsdiagramme von Dreistoffsystemen.....	47

3.4 Reale Zustandsdiagramme.....	50
3.5 Gefügeänderungen im festen Zustand.....	51
3.5.1 Ausscheidungshärtung.....	51
3.5.2 Eutektoide Umwandlung.....	53
Fragen zu Kapitel 3.....	54
4 Thermisch aktivierte Vorgänge.....	55
4.1 Allgemeines.....	55
4.2 Diffusion.....	56
4.3 Kristallerholung und Rekristallisation.....	60
4.3.1 Kristallerholung.....	60
4.3.2 Rekristallisation.....	61
4.3.3 Weiteres Kornwachstum nach Rekristallisation.....	65
4.4 Sintervorgänge.....	68
Fragen zu Kapitel 4.....	70
5 Mechanische Eigenschaften.....	71
5.1 Einleitung.....	71
5.2 Reversible Verformung.....	72
5.2.1 Elastische Verformung.....	72
5.2.2 Hyperelastisches Verhalten.....	79
5.2.3 Anelastische Verformung.....	79
5.3 Irreversible Verformung.....	80
5.3.1 Plastische Verformung.....	80
5.3.2 Verformungstexturen.....	90
5.3.3 Eigenspannungen.....	91
5.3.4 Viskose Verformung.....	93
5.3.5 Superplastizität.....	94
5.3.6 Kriechen.....	95
5.3.7 Relaxation.....	99
5.4 Schwingfestigkeitsuntersuchung.....	99
5.4.1 Grundlagen.....	99
5.4.2 Spannungskontrollierter Versuch (Wöhlerversuch).....	102
5.4.3 Dehnungskontrollierter Versuch (Anrisskennlinie).....	103
5.4.4 Einflussgrößen auf die Dauerfestigkeit.....	106
5.5 Verfestigungsmechanismen.....	110
5.5.1 Kaltverfestigung.....	111
5.5.2 Mischkristallverfestigung.....	112
5.5.3 Ausscheidungshärtung.....	114
5.5.4 Verfestigung durch Kornverfeinerung.....	115
5.6 Bruchvorgänge und Bruchmechanik.....	115
5.6.1 Verformungsloser Bruch (Spröbruch, Spaltbruch).....	117
5.6.2 Verformungsbruch.....	121
5.6.3 Ermittlung des J-Integrals (Bauteilcharakteristik).....	123
5.6.4 Ermittlung der zähbruchmechanischen Werkstoffkennwerte.....	124
5.6.5 Zeitstand- bzw. Kriechbruch.....	126

5.6.6 Zeit- und Dauerbruch.....	128
5.7 Zerstörungsfreie Prüfung.....	131
Fragen zu Kapitel 5.....	138
6 Eisenwerkstoffe.....	139
6.1 Gewinnung und Verarbeitung von Eisen.....	139
6.1.1 Erze und Erzaufbereitung.....	139
6.1.2 Roheisengewinnung.....	140
6.1.3 Roheisenweiterverarbeitung zu Stahl (Frischen).....	142
6.1.4 Verfahren der Nachbehandlung des Stahles.....	144
6.1.5 Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren (ESU).....	145
6.2 Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.....	146
6.2.1 Eisen-Kohlenstoffdiagramm.....	146
6.2.2 Phasenbildungen.....	147
6.3 Legierungen.....	153
6.3.1 Stahl.....	153
6.3.2 Bezeichnungssysteme der Stähle.....	157
6.3.3 Einteilung und Verwendung von Stählen.....	160
6.4 Verfahren zur Eigenschaftsänderung.....	162
6.4.1 Glühen von Stahl.....	162
6.4.2 Härten und Vergüten von Stahl.....	165
6.4.3 Ausscheidungshärtung.....	189
6.5 Stähle für besondere Anforderungen.....	189
6.5.1 Stähle für den Kraftwerks- und Anlagenbau.....	189
6.5.2 Hochfeste Feinkornbaustähle (FK-Stähle).....	190
6.5.3 Warmfeste legierte Stähle für Druckbehälter und Schmiedestücke.....	196
6.5.4 Hochfeste Stähle für den Automobilbau.....	198
6.6 Versprödungserscheinungen an Stählen.....	203
6.6.1 Diffusions- und Ausscheidungsvorgänge.....	204
6.7 Eisengusswerkstoffe.....	211
6.7.1 Einteilung.....	211
6.7.2 Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL).....	212
6.7.3 Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS).....	214
6.7.4 Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV).....	216
Fragen zu Kapitel 6.....	219
>	
7 Nichteisenmetalle.....	221
7.1 Kupfer und Kupferlegierungen (Buntmetalle).....	221
7.1.1 Kupfer.....	221
7.1.2 Kupferlegierungen.....	224
7.2 Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	234
7.2.1 Aluminium.....	234
7.2.2 Legierungen.....	237
7.3 Titan und Titanlegierungen.....	246
7.3.1 Herstellung.....	246
7.3.2 Reines Titan.....	247

7.3.3 Titanlegierungen.....	248
7.4 Nickel und Nickellegierungen.....	252
7.4.1 Nickel.....	252
7.4.2 Nickellegierungen.....	253
7.5 Magnesium und Magnesiumlegierungen.....	265
7.5.1 Herstellung und Verarbeitung.....	265
7.5.2 Eigenschaften.....	266
7.5.3 Legierungen.....	266
Fragen zu Kapitel 7.....	269
8 Kunststoffe.....	271
8.1 Bezeichnung der Kunststoffe.....	272
8.2 Herstellung von Kunststoffen.....	273
8.2.1 Synthese.....	273
8.2.2 Technische Herstellung (Polymerisation).....	276
8.2.3 Formgebung.....	277
8.2.4 Additive.....	279
8.3 Kunststoffgruppen.....	281
8.3.1 Thermoplaste.....*	281
8.3.2 Elastomere.....	283
8.3.3 Duroplaste.....	284
8.4 Physikalische und mechanische Eigenschaften.....	286
8.4.1 Physikalische Eigenschaften.....	286
8.4.2 Mechanische Eigenschaften.....	287
8.5 Wichtige Kunststoffe mit Anwendungen.....	291
Fragen zu Kapitel 8.....	293
9 Keramische Werkstoffe ^.....	295
9.1 Herstellung, Struktur.....	296
9.1.1 Einteilung der keramischen Massen.....	296
9.1.2 Formgebung.....	297
9.1.3 Brennvorgang - Sintern - Reaktionsintern.....	297
9.1.4 Atomare Vorgänge beim Brennen.....	299
9.1.5 Gefügeaufbau.....	299
9.2 Eigenschaften.....	300
9.2.1 Oxidkeramik.....	302
9.2.2 Nichtoxidkeramik.....	305
9.3 Wärmedämmschichten.....	310
Fragen zu Kapitel 9.....	311
10 Verbundwerkstoffe.....	313
10.1 Allgemeines.....	313
10.1.1 Verstärkungsstoffe und Füllstoffe.....	314
10.1.2 Matrixwerkstoffe.....	315
10.2 Faserverstärkte Verbundwerkstoffe.....	315
10.2.1 Faserverstärkte Kunststoffe.....	318

10.2.2 Herstellung faserverstärkter Kunststoffe.....	319
10.2.3 Faserverstärkte Metalle (MMC, Metal Matrix Composite).....	322
10.2.4 Herstellung faserverstärkter Metalle.....	322
10.2.5 Faserverstärkte Keramik (CMC, Ceramic Matrix Composite).....	324
10.2.6 Herstellung keramischer Verbundwerkstoffe.....	324
10.3 Teilchenverbundwerkstoffe.....	326
10.3.1 Metallkeramik.....	326
10.4 Schichtverbundwerkstoffe.....	326
10.5 Beschichtungstechnik.....	328
10.5.1 Einleitung.....	328
10.5.2 Beschichtungsverfahren.....	328
10.5.3 Verhalten von Beschichtungen.....	332
Fragen zu Kapitel 10.....	333
11 Physikalische Eigenschaften.....	335
11.1 Dämpfung.....	335
11.2 Wärmeleitfähigkeit.....	336
11.3 Thermoelektrizität.....	337
11.4 Halbleiter.....	339
11.4.1 Gewinnung und Verarbeitung.....	340
11.4.2 Eigenschaften.....	341
11.5 Supraleitung.....	342
11.5.1 Supraleiter I. Art.....	342
11.5.2 Supraleiter II. Art.....	343
11.5.3 Supraleiter III. Art.....	343
Fragen zu Kapitel 11.....	344
12 Korrosion.....	345
12.1 Definition der Korrosion.....	345
12.2 Korrosion metallischer Werkstoffe.....	348
12.2.1 Grundlagen zur Korrosion in wässrigen Medien.....	348
12.2.2 Korrosionsarten.....	352
12.2.3 Korrosionsschutz.....	365
12.3 Beispiele für die Korrosion nichtmetallischer Werkstoffe.....	372
12.3.1 Korrosion silikatechnischer Werkstoffe.....	372
12.3.2 Korrosion hochpolymerer Werkstoffe.....	373
Fragen zum Kapitel 12.....	374
13 Recycling.....	375
13.1 Recycling von Stahl.....	375
13.1.1 Einteilung und Klassifizierung von Stahlschrott.....	376
13.1.2 Aufbereitung.....	376
13.1.3 Wirtschaftliche Bedeutung.....	377
13.1.4 Nebenprodukte und Entfallstoffe.....	378
13.2 Recycling von Aluminium.....	378
13.2.1 Aufbereitung von Rückständen aus der Aluminiumindustrie.....	379

13.2.2 Recycling von Altschrotten.....	380
13.3 Recycling von Kupferwerkstoffen.....	382
13.3.1 Wirtschaftliche Bedeutung.....	382
13.3.2 Einteilung der Kupferschrotte.....	382
13.3.3 Aufbereitung.....	383
13.3.4 Nebenprodukte und Entfallstoffe.....	384
13.4 Recycling von Kunststoffen.....	385
Fragen zu Kapitel 13.....	388
/	
14 Tribologische Beanspruchung.....	389
14.1 Problematik.....	389
14.2 Verschleißarten und Verschleißmechanismen.....	389
14.3 Beispiele tribologischer Systeme.....	392
14.3.1 Adhäsionsprozesse.....	392
14.3.2 Abrasionsprozesse.....	393
14.3.3 Ermüdungsprozesse.....	395
14.3.4 Schwingungsverschleiß.....	397
14.4 Werkstoffe für tribologisch beanspruchte Bauteile ;.....	399
Fragen zum Kapitel 14.....	400
15 Kriterien zur Werkstoffauswahl.....	401
15.1 Gründe für die Werkstoffauswahl.....	401
16 Kriterien zur Schadensbewertung.....	403
17. Antworten zu den Verständnisfragen.....	405
Antworten zu Kapitel 2:.....	405
Antworten zu Kapitel 3:.....	406
Antworten zu Kapitel 4.....	407
Antworten zu Kapitel 5.....	408
Antworten zu Kapitel 6.....	408
Antworten zu Kapitel 7.....	409
Antworten zu Kapitel 8.....	410
Antworten zu Kapitel 9.....	410
Antworten zu Kapitel 10.....	411
Antworten zu Kapitel II.. ¹	411
Antworten zu Kapitel 12>.....	411
Antworten zu Kapitel 13.....	412
Antworten zu Kapitel 14.....	413
18 Weiterführende Literatur.....	415
Konkordanz.....	421