

E. Roos, K. Maile

Werkstoffkunde für Ingenieure

Grundlagen, Anwendung, Prüfung

Zweite, neu bearbeitete Auflage

Mit 343 Abbildungen und 50 Tabellen

 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.....	12
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 Legierungsbildung	33
3.1.1 Grundbegriffe	33
3.1.2 Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen	36
3.1.3 Zustandsdiagramme von Dreistoffsystemen.....	47
3.1.4 Reale Zustandsdiagramme.....	50
3.1.5 Gefügeänderungen im festen Zustand	51
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	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 (Sprödbbruch, Spaltbruch).....	117
5.6.2 Verformungsbruch	121
5.6.3 Ermittlung des J-Integrals (Bauteilcharakteristik).....	123
5.6.4 Ermittlung der 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 (Fruschen).....	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.....	194
6.5 Stähle für besondere Anforderungen	196
6.5.1 Stähle für den Kraftwerks- und Anlagenbau	196
6.5.2 Hochfeste Feinkornbaustähle (FK-Stähle)	197
6.5.3 Warmfeste legierte Stähle für Druckbehälter und Schmiedestücke ..	203
6.5.4 Hochfeste Stähle für den Automobilbau	205
6.6 Versprödungserscheinungen an Stählen	210
6.6.1 Diffusions- und Ausscheidungsvorgänge	211
6.7 Eisengusswerkstoffe	218
6.7.1 Einteilung	218
6.7.2 Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL).....	219
6.7.3 Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS)	221
6.7.4 Gusseisen mit Vermiculargraphit (GJV)	223
Fragen zu Kapitel 6.....	226
 7 Nichtisenmetalle.....	 227
7.1 Kupfer und Kupferlegierungen (Buntmetalle).....	227
7.1.1 Kupfer	227
7.1.2 Kupferlegierungen.....	230
7.2 Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	239
7.2.1 Aluminium	239
7.2.2 Legierungen.....	242
7.3 Titan und Titanlegierungen.....	251
7.3.1 Herstellung	251
7.3.2 Reines Titan.....	252
7.3.3 Titanlegierungen.....	253

7.4 Nickel und Nickellegierungen	257
7.4.1 Nickel	257
7.4.2 Nickellegierungen	258
7.5 Magnesium und Magnesiumlegierungen	267
7.5.1 Herstellung und Verarbeitung	267
7.5.2 Eigenschaften	267
7.5.3 Legierungen	268
Fragen zu Kapitel 7	270
8 Kunststoffe	271
8.1 Bezeichnung der Kunststoffe	271
8.2 Herstellung von Kunststoffen	272
8.2.1 Polykondensation	273
8.2.2 Polymerisation	274
8.2.3 Polyaddition	274
8.2.4 Zusatzstoffe	274
8.2.5 Eigenschaften der Kunststoffe	275
8.3 Thermoplaste	276
8.3.1 Amorphe Thermoplaste	277
8.3.2 Teilkristalline Thermoplaste	278
8.4 Elastomere	282
8.5 Duromere	283
8.6 Silikone (Persiloxane)	285
Fragen zu Kapitel 8	286
9 Keramische Werkstoffe	287
9.1 Herstellung, Struktur	288
9.1.1 Einteilung der keramischen Massen	288
9.1.2 Formgebung	289
9.1.3 Brennvorgang - Sintern - Reaktionssintern	289
9.1.4 Atomare Vorgänge beim Brennen	290
9.1.5 Gefügebau	291
9.2 Eigenschaften	291
9.2.1 Oxidkeramik	294
9.2.2 Nichtoxidkeramik	297
9.3 Wärmedämmschichten	302
Fragen zu Kapitel 9	304
10 Verbundwerkstoffe	305
10.1 Allgemeines	305
10.1.1 Verstärkungsstoffe und Füllstoffe	306
10.1.2 Matrixwerkstoffe	307

10.2 Faserverstärkte Verbundwerkstoffe	307
10.2.1 Faserverstärkte Kunststoffe	310
10.2.2 Herstellung faserverstärkter Kunststoffe	311
10.2.3 Faserverstärkte Metalle (MMC, Metal Matrix Composite)	314
10.2.4 Herstellung faserverstärkter Metalle	314
10.2.5 Faserverstärkte Keramik (CMC, Ceramic Matrix Composite)	316
10.2.6 Herstellung keramischer Verbundwerkstoffe	316
10.3 Teilchenverbundwerkstoffe	318
10.3.1 Metallkeramik	318
10.4 Schichtverbundwerkstoffe	318
10.5 Beschichtungstechnik	320
10.5.1 Einleitung	320
10.5.2 Beschichtungsverfahren	320
10.5.3 Verhalten von Beschichtungen	324
Fragen zu Kapitel 10	325
11 Physikalische Eigenschaften	327
11.1 Dämpfung	327
11.2 Wärmeleitfähigkeit	328
11.3 Thermoelektrizität	329
11.4 Halbleiter	331
11.4.1 Gewinnung und Verarbeitung	332
11.4.2 Eigenschaften	333
11.5 Supraleitung	334
11.5.1 Supraleiter I. Art	334
11.5.2 Supraleiter II. Art	335
11.5.3 Supraleiter III. Art	335
Fragen zu Kapitel 11	336
12 Korrosion	337
12.1 Definition der Korrosion	337
12.2 Korrosion metallischer Werkstoffe	340
12.2.1 Grundlagen zur Korrosion in wässrigen Medien	340
12.2.2 Korrosionsarten	344
12.2.3 Korrosionsschutz	357
12.3 Beispiele für die Korrosion nichtmetallischer Werkstoffe	364
12.3.1 Korrosion silikatechnischer Werkstoffe	364
12.3.2 Korrosion hochpolymerer Werkstoffe	365
Fragen zum Kapitel 12	366
13 Recycling	367
13.1 Recycling von Stahl	367
13.1.1 Einteilung und Klassifizierung von Stahlschrott	367
13.1.2 Aufbereitung	368
13.1.3 Wirtschaftliche Bedeutung	369
13.1.4 Nebenprodukte und Entfallstoffe	370

13.2 Recycling von Aluminium.....	370
13.2.1 Aufbereitung von Rückständen aus der Aluminiumindustrie.....	371
13.2.2 Recycling von Altschrotten.....	372
13.3 Recycling von Kupferwerkstoffen.....	374
13.3.1 Wirtschaftliche Bedeutung.....	374
13.3.2 Einteilung der Kupferschrotte.....	375
13.3.3 Aufbereitung.....	375
13.3.4 Nebenprodukte und Entfallstoffe.....	377
13.4 Recycling von Kunststoffen.....	378
Fragen zu Kapitel 13.....	382
14 Tribologische Beanspruchung.....	383
14.1 Problematik.....	383
14.2 Verschleißarten und Verschleißmechanismen.....	383
14.3 Beispiele tribologischer Systeme.....	386
14.3.1 Adhäsionsprozesse.....	386
14.3.2 Abrasionsprozesse.....	387
14.3.3 Ermüdungsprozesse.....	389
14.3.4 Schwingungsverschleiß.....	391
14.4 Werkstoffe für tribologisch beanspruchte Bauteile.....	393
Fragen zum Kapitel 14.....	394
15 Kriterien zur Werkstoffauswahl.....	395
15.1 Gründe für die Werkstoffauswahl.....	395
16 Kriterien zur Schadensbewertung.....	397
17 Antworten zu den Verständnisfragen.....	399
Antworten zu Kapitel 2.....	399
Antworten zu Kapitel 3.....	400
Antworten zu Kapitel 4.....	401
Antworten zu Kapitel 5.....	402
Antworten zu Kapitel 6.....	402
Antworten zu Kapitel 7.....	403
Antworten zu Kapitel 8.....	404
Antworten zu Kapitel 9.....	404
Antworten zu Kapitel 10.....	405
Antworten zu Kapitel 11.....	405
Antworten zu Kapitel 12.....	405
Antworten zu Kapitel 13.....	406
Antworten zu Kapitel 14.....	407
18 Weiterführende Literatur.....	409
Konkordanz.....	415