

HANSER



Inhaltsverzeichnis

Josef Reissner

Werkstoffkunde für Bachelors

ISBN: 978-3-446-42012-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42012-0>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

METALLE

1	Kristallzustand der Metalle	23
1.1	Idealstruktur-Anordnung der Atome	23
1.1.1	Raumgitter und Kristallsysteme	24
1.1.2	Gitteraufbau	27
1.1.3	Bezeichnung von Punkten, Geraden und Ebenen im Raumgitter (Millersche Indizes)	30
1.1.4	Anisotropie und Textur	33
1.2	Realstruktur: Kristallbaufehler	35
1.2.1	Nulldimensionale Gitterfehler	37
1.2.2	Eindimensionale Gitterfehler (Versetzungen)	38
1.2.3	Zweidimensionale Gitterfehler	44
1.2.4	Gefüge und Legierungsstrukturen	48
1.3	Mikro- und Nano-Gefügeelemente (Überblick)	52
2	Legierungskunde – Zustandsdiagramme	53
2.1	Mehrphasige Werkstoffe	53
2.1.1	Werkstoffzustand	53
2.1.2	Energie eines Werkstoffsystems	55
2.1.3	Binäres Zustandsdiagramm und Phasenregel	57
2.1.4	Aufstellen von Zustandsdiagrammen	59
2.1.5	Phasengleichgewichte, Gesetz der wechselnden Phasenzahl, Hebelgesetz (Phasenräume)	60
2.2	Grundtypen der Zustandsdiagramme	64
2.2.1	Vollkommene Unlöslichkeit im festen und flüssigen Zustand	64
2.2.2	Völlige Mischbarkeit im festen und flüssigen Zustand	64
2.2.3	Begrenzte Löslichkeit im festen Zustand bei vollständiger Löslichkeit im flüssigen Zustand	66
2.2.4	Peritektische Erstarrung	68
2.2.5	Ausscheidungen im festen Zustand	70
2.2.6	Intermetallische Verbindung (Phasen)	70
2.3	Reales Zustandsdiagramm: Fe-Fe₃C-Diagramm	72
2.3.1	Eisen	72
2.3.2	Metastabiles Fe-C-System oder stabiles Fe-Fe ₃ C-System	73
2.3.3	Gefügebeispiele bei verschiedenen C-Konzentrationen	78
2.3.4	Mengendiagramm	82
2.4	Komponenten, Phasen, Systeme und Gefüge	84

3	Kristallplastizität	85
3.1	Plastifizierung durch Spannungen	85
3.1.1	Normal- und Schubspannungen	85
3.1.2	Einfluss der Spannungsarten auf die Anordnung der Atome	86
3.1.3	Schubspannungen im Zugversuch	87
3.2	Einkristallverformung	88
3.2.1	Gleitsysteme	88
3.2.2	Schmid'sches Schubspannungsgesetz	92
3.2.3	Vervielfachung von Versetzungen – Versetzungsquellen	94
3.2.4	Mechanische Zwillingsbildung	94
3.3	Verformung von Vielkristallen	96
3.3.1	Polykristallplastizität durch Gleiten und Zwillingsbildung	96
3.3.2	Superplastizität	97
3.3.3	Vielkornverformung – Ablauf	98
4	Diffusion	99
4.1	Diffusionsprozesse	99
4.2	Diffusionsarten	99
4.2.1	Selbstdiffusion (Thermodiffusion)	99
4.2.2	Fremddiffusion (konzentrationsabhängige Diffusion)	99
4.3	Diffusionsgesetze	100
4.4	Diffusionsmechanismen	106
5	Kristallerholung und Rekristallisation	109
5.1	Kaltumformung	109
5.2	Erholung	110
5.2.1	Erholung der physikalischen Eigenschaften	110
5.2.2	Erholung der mechanischen Eigenschaften	111
5.3	Rekristallisation	114
5.3.1	Primäre Rekristallisation	114
5.3.2	Kornvergrößerung und Sekundärkristallisation	118
6	Erstarrung (Kristallisation)	121
6.1	Übergang vom flüssigen in den kristallinen Zustand	121
6.1.1	Keimbildung	121
6.1.2	Wachstum	123
6.2	Erstarrungsgesetze	125
6.2.1	Gussblockstruktur	126

6.2.2	Gerichtete Erstarrung und Einkristall	127
6.3	Erstarrungsfehler – Seigerung	128
6.4	Erstarrungsgefüge	130
7	Elastizität und Plastizität	131
7.1	Zugversuch	131
7.2	Elastische Konstanten	132
7.2.1	Bindungskräfte in Festkörpern	132
7.2.2	Elastische Konstanten E, G, ν , K	136
7.3	Festigkeitskennwerte und plastischer Bereich	140
7.3.1	Proportionalitätsgrenze und 0,01 % Dehngrenze	140
7.3.2	Streckgrenze und 0,2 % Dehngrenze	140
7.3.3	Reckalterung	142
7.4	Möglichkeiten zur Erhöhung der Streckgrenze	143
7.4.1	Ideale Festigkeit	143
7.4.2	Linienspannung einer Versetzung	145
7.4.3	Streckgrenzenerhöhung	147
7.5	Verformungskennwerte	149
7.6	Versetzungsstruktur beim Zugversuch	150
7.7	Teilschritte im Zugversuch	151
8	Kriechen und Kriechbruch	153
8.1	Kriechvorgang	153
8.2	Kriechkurve	153
8.3	Spannungsrelaxation	157
8.4	Kriechmechanismen	158
8.5	Kriechfeste Stoffe	160
8.6	Dimensionierung von Hochtemperaturkomponenten	161
9	Gewaltbruch und Bruchzähigkeit	165
9.1	Bruchverhalten (Gewaltbruch)	165
9.1.1	Phasen des Bruchvorgangs	165
9.1.2	Rissentstehung	166
9.1.3	Brucharten und Bruchtopografie	169
9.1.4	Einflüsse auf das Bruchverhalten	170
9.2	Bruchmechanik	171
9.2.1	Energiekriterium (G-Konzept)	171

9.2.2	Linear-elastische Bruchmechanik (K-Konzept)	173
9.2.3	COD-Konzept (Crack Opening Displacement)	176
9.2.4	J-Integral-Konzept	177
9.2.5	Probenabmessungen	179
9.2.6	Einflüsse auf die Bruchzähigkeit	180
9.3	Kerbschlagbiegeversuch	182
9.4	Überblick der Stadien von Bruchvorgängen	184
10	Ermüden und Ermüdungsbruch	185
10.1	Charakterisierung von Betriebsbeanspruchungen	185
10.2	Elastoermüdung	188
10.2.1	Wöhlerermüdung (HCF – high-cycle-fatigue)	188
10.2.2	Basquin-Beziehung	190
10.2.3	Minerregel	191
10.2.4	Goodman-Regel	192
10.2.5	Zeit- und Dauerfestigkeitsschaubild	192
10.2.6	Beeinflussung der Wechselfestigkeit	196
10.3	Plastoermüdung (Coffin–Manson–Ermüdung)	200
10.4	Ermüdung von Bauteilen mit Anrissen	201
10.5	Ermüdungsfeste Werkstoffe und Ermüdungsbruch	204
10.5.1	HCF-Bereich (Wöhler)	204
10.5.2	LCF-Bereich (Manson-Coffin)	207
10.5.3	Bauteile mit Anrissen	208
11	Wärmebehandlung: Gefüge im Gleichgewicht	209
11.1	Wärmebehandlung	209
11.2	Glühen	211
11.2.1	Rekristallisationsglühen	212
11.2.2	Normalglühen	212
11.2.3	Spannungsarmglühen und Eigenspannung	216
11.3	Überblick über die Glühverfahren	217
12	Wärmebehandlung: Gefüge im Ungleichgewicht	219
12.1	Umwandlung mit und ohne Diffusion	219
12.2	Umwandlung in der Perlitstufe	219
12.3	Umwandlung in der Martensitstufe	221
12.3.1	Thermisch induzierter Martensit (Abkühlungsmartensit)	223
12.3.2	Spannungsinduzierter Martensit	228

12.3.3	Verformungsinduzierter Martensit	231
12.4	Umwandlung in der Zwischenstufe	232
12.5	Mechanische Eigenschaften und Umwandlungstemperatur	233
13	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Diagramme	235
13.1	Umwandlungskinetik	235
13.2	Das isotherme ZTU-Schaubild	236
13.3	Das kontinuierliche ZTU-Diagramm	241
13.4	Konstruktion von schematischen ZTU-Schaubildern	243
14	Vergüten und kontrolliertes Walzen	245
14.1	Vergütungsgefüge	245
14.2	Anlassvergüten	246
14.3	Zwischenstufenvergüten und Patentieren	248
14.4	Kontrolliertes Walzen	249
15	Wärmebehandlung der Oberflächen	251
15.1	Oberflächenhärten und Beschichten	251
15.2	Flammen-, Laser- und Induktionshärten	252
15.3	Aufkohlen, Nitrieren und Borieren	253
16	Ausscheidung, Aushärtung (Teilchenhärtung)	255
16.1	Bedingung und Ablauf	255
16.2	Keimbildung	256
16.3	Teilchenwachstum	257
16.4	Mechanische Eigenschaften durch Teilchenhärtung	259
16.5	Sonderformen der Teilchenhärtung	263
16.6	Aushärtbare Legierungen	264
17	Thermische Eigenschaften	265
17.1	Wärmeschwingungen des Kristallgitters	265
17.2	Molwärme und spezifische Wärmekapazität	266
17.3	Wärmeausdehnung	268
17.4	Wärmeleitung	271
17.5	Thermische Eigenschaften im Überblick	272

18 Elektrische Eigenschaften	273
18.1 Klassische Elektronentheorie	273
18.2 Bändermodell	275
18.3 Supraleitung	280
18.4 Spezifischer elektrischer Widerstand von Werkstoffen	282
19 Magnetische Eigenschaften	283
19.1 Grundeigenschaften und Grundgrößen	283
19.2 Der atomare Ursprung des Magnetismus	285
19.3 Struktureller Magnetismus	286
19.3.1 Magnetisierungsprozess	290
19.3.2 Magnetostriktion	292
19.3.3 Eigenschaften ferromagnetischer Werkstoffe	292
19.4 Physikalische Eigenschaften und Gefüge	294
20 Stähle	297
20.1 Bau- und Werkzeugstähle	297
20.2 Werkstoffprobleme bei Baustählen	298
20.2.1 Mischkristallhärtung	298
20.2.2 Längs-, Quer- und Dickenzähigkeit	299
20.2.3 Kornfeinung	300
20.2.4 Dreifachwirkung: Umwandlung, Rekristallisation und Teilchenhärtung	301
20.3 Werkzeugstähle – Eigenschaften und Wärmebehandlung	301
20.3.1 Eigenschaften	301
20.3.2 Werkzeugstähle – Gütegruppen	302
20.3.3 Wärmebehandlung von Werkzeugstählen	303
21 Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe	305
21.1 Gusslegierungen	305
21.2 Stahlguss	305
21.3 Gusseisen	306
21.3.1 Grauguss – Gusseisen mit Lamellengraphit (GGL)	307
21.3.2 Gusseisen mit Kugelgraphit (GGG) – Sphäroguss	311
21.4 Temperguss	312
22 Aluminium und Aluminium-Legierungen	313
22.1 Streckgrenze und Festigkeiten	313

22.2	Nichtaushärtbare Legierungen (Mischkristallhärtung und Härtung durch Versetzungen)	314
22.3	Aushärtbare Legierungen	315
22.3.1	Lösungsglühen, Warm- und Kaltauslagern, Rückbildung	315
22.3.2	Durchführung der Aushärtung	316
22.4	Glühen von Al-Werkstoffen	319
22.4.1	Barren-Hochglühen	319
22.4.2	Weichglühen	319
22.5	Aluminiumgusslegierungen	319
22.6	Korrosionsverhalten von Aluminium	321
22.6.1	Natürlicher Korrosionsschutz	321
22.6.2	Künstlicher Korrosionsschutz	321
23	Kupfer und Kupferlegierungen	323
23.1	Physikalische und mechanische Eigenschaften	323
23.2	Reinkupfer	324
23.3	Legiertes Kupfer (> 99% Cu)	325
23.4	Kupferlegierungen (Cu-Gehalt max. 99 %)	326
23.4.1	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing und Sondermessing)	326
23.5	Kupfer-Nickel-Legierungen	328
23.5.1	Cu-Sn-Legierungen (Zinnbronze, meist + 0,5 % P)	329
23.5.2	Kupfer-Aluminium-Legierungen (Al-Bronzen)	329
24	Nickel und Nickellegierungen	331
24.1	Nickel	331
24.2	Fe-Ni-Legierungen	331
24.3	Maraging-Stähle	332
24.4	Werkstoffe mit kleinem Ausdehnungskoeffizienten	333
24.5	Hochwarmfeste Nickellegierungen (Superlegierungen)	334
24.6	„Memory“-Legierungen	335
 POLYMERE		
25	Struktur der Polymere	339
25.1	Chemischer Aufbau	339
25.1.1	Kettenpolymerisation	345
25.1.2	Kondensationspolymerisation	345
25.1.3	Additionspolymerisation	346
25.1.4	Copolymerisate und Mischpolymerisate	346

25.2	Gestalt der Makromoleküle von Polymeren	347
25.3	Größe der Makromoleküle von Polymeren	348
25.4	Ordnung der Makromoleküle	349
25.4.1	Glasartige amorphe Strukturen	349
25.4.2	Voraussetzungen für die Kristallisierbarkeit	350
25.4.3	Teilkristalline Strukturen	351
25.5	Bindungskräfte der Makromoleküle	355
26	Polymerzustände und thermomechanische Kurven	361
26.1	Polymerzustände	361
26.1.1	Energieelastischer Zustand (oft auch hartelastischer Bereich)	362
26.1.2	Erweichungszustand (auch Einfrierbereich oder Glasübergangsbereich)	363
26.1.3	Entropieelastischer Zustand (auch gummi- oder weichelastischer Bereich)	364
26.1.4	Fließbereich	366
26.1.5	Plastischer Zustand	367
26.2	Thermisch-mechanisches Verhalten verschiedener Kunststoffe	368
26.2.1	Amorphe Thermoplaste	368
26.2.2	Teilkristalline Thermoplaste	370
26.2.3	Duromere	371
26.2.4	Elastomere	372
27	Mechanische Eigenschaften der Polymere im festen Zustand ...	375
27.1	Spannungs-Dehnungs-Verhalten	375
27.2	Zeitabhängiges Verhalten	376
27.2.1	Verformungsverhalten bei dynamischer Belastung	380
27.3	Torsionsschwingungsversuch	383
27.4	Verformungsmechanismen und Bruchverhalten	385
27.4.1	Polymere unter statischer Dehndeformation	385
28	Polymere – Physikalische Eigenschaften	391
28.1	Wärmeleitfähigkeit	391
28.2	Wärmeausdehnung	392
28.3	Elektrische Eigenschaften	393
29	Spezial-Polymere	397
29.1	Flüssigkristalline Polymere (LCP – Liquid Crystal Polymer)	397
29.2	Polymerlegierungen	399

KERAMIK, GLAS UND GLASKERAMIK

30	Keramische Werkstoffe – Struktur	405
30.1	Keramische Werkstoffe	405
30.2	Atomistische Grundlagen	405
30.3	Kristalline Festkörper	407
30.4	Nichtkristalline Festkörper	414
30.5	Der porige Festkörper	416
31	Keramische Werkstoffe – Herstellung	419
31.1	Keramik-, Glas- und Zementprozessketten	419
31.2	Keramikherstellung	420
31.2.1	Pulverherstellung	422
31.2.2	Formgebungsmethoden	422
31.2.3	Der Brand keramischer Werkstoffe (Sinterung)	422
31.3	Sinterverfahren	423
31.3.1	Festphasensintern und Sintergleichungen	424
31.3.2	Flüssigphasensintern	426
32	Keramische Werkstoffe – Mechanische Eigenschaften	427
32.1	Keramik- und Metalleigenschaften	427
32.2	Elastisches Verhalten	428
32.3	Verformungsverhalten bei Raumtemperatur	428
32.4	Festigkeit von keramischen Werkstoffen	429
32.5	Bruchverhalten	434
32.6	Langzeitfestigkeit (Lebensdauer unter statischer Last)	437
32.7	Lebensdauer unter dynamischer Last	440
32.8	Kriechen	441
33	Keramische Werkstoffe – Physikalische Eigenschaften	443
33.1	Elektrische Leitfähigkeit	443
33.1.1	Ionenleitung	444
33.1.2	Elektronen-Leitung	445
33.1.3	Supraleitung	447
33.2	Dielektrische Eigenschaften	448
33.2.1	Piezoelektrizität	448

33.2.2	Pyroelektrizität	449
33.2.3	Ferroelektrika	450
33.3	Magnetische Eigenschaften	451
33.4	Thermische Eigenschaften	452
33.4.1	Spezifische Wärmekapazität	452
33.4.2	Wärmeleitfähigkeit	452
33.4.3	Schmelzpunkt/Wärmeausdehnung	453
33.5	Chemische Eigenschaften	455
34	Glas	457
34.1	Glas-Struktur	457
34.2	Mechanische Eigenschaften	460
34.3	Erzeugung eines oberflächigen Druckspannungszustandes	461
34.3.1	Thermische Vorspannung	461
34.3.2	Chemische Vorspannung	461
34.3.3	Vorspannung durch unterschiedliche Wärmeausdehnung	461
34.4	Physikalische Eigenschaften	462
34.4.1	Lichtleiterfasern	462
34.4.2	Photochrome Gläser	463
35	Glaskeramik	465
35.1	Glaskeramikstruktur	465
35.2	Mechanische Eigenschaften	467
35.3	Thermische Eigenschaften	467
36	Metallische Gläser	469
36.1	Metallischer Glaszustand	469
36.2	Herstellung metallischer Gläser	471
36.3	Eigenschaften metallischer Gläser	471

VERBUNDWERKSTOFFE

37	Strukturen der Verbundwerkstoffe	475
37.1	Verbundwerkstoffe – Werkstoffkombinationen	475
37.2	Einteilung der Verbundwerkstoffe	477
37.3	Eigenschaften von Verbundwerkstoffen	477

38	Teilchenverbundwerkstoffe	479
38.1	Teilchenverbundwerkstoffe – Struktur und Herstellung	479
38.2	Wichtige Teilchenverbundwerkstoffe	480
38.2.1	Dispersionsgehärtete Werkstoffe	480
38.2.2	Kontaktwerkstoffe	481
38.2.3	Hartmetalle	482
39	Faserverbundwerkstoffe	487
39.1	Struktur von faserverstärkten Werkstoffen	487
39.1.1	Faserwerkstoffe (Verstärkungswerkstoffe)	487
39.1.2	Matrixwerkstoffe	491
39.2	Mechanische Eigenschaften des Faserverbundwerkstoffes	491
39.2.1	Festigkeit und Steifigkeit in FV-Kunststoff	492
39.2.2	Haftung der Faser	495
39.3	Herstellung und Verarbeitung von Faserverbundwerkstoffen	497
39.3.1	Kurzfaserverstärkte Thermoplaste	497
39.3.2	Glasmattenverstärkte Thermoplaste (GMT)	497
39.3.3	Bulk Molding Compounds (BMC)	498
39.3.4	Sheet Molding Compounds (SMC)	499
39.3.5	Hochleistungs-Prepregs	500
39.3.6	Wickeltechnik	500
39.3.7	Strangziehen	501
39.3.8	Harzinjektionsverfahren	501
40	Schichtverbundwerkstoffe und Durchdringungswerkstoffe	503
40.1	Schichtverbundwerkstoffe	503
40.2	Durchdringungswerkstoffe	506
	Literaturangaben	507
	Stichwortverzeichnis	508