

Inhaltsverzeichnis

A Struktureller Aufbau von Werkstoffen

1	Atomare Struktur	1
1.1	Atomaufbau und Periodensystem der Elemente	1
1.1.1	Atomare Elementarteilchen	1
1.1.2	Aufbau der Elektronenhülle	2
1.1.3	Periodensystem der Elemente	6
1.2	Interatomare Bindungen	8
1.2.1	Primärbindungen	9
1.2.1.1	Ionische Bindung	9
1.2.1.2	Kovalente Bindung	11
1.2.1.3	Metallische Bindung	15
1.2.2	Sekundärbindungen	16
1.2.2.1	Zwischenmolekulare Bindungen	16
1.2.2.2	Grenzflächen- und Oberflächenbindungen	18
1.2.3	Bindung und Temperatur	20
1.3	Aggregatzustände	20
2	Struktur des Festkörpers	22
2.1	Kristalline und amorphe Strukturen	22
2.2	Ideale Kristallstruktur	24
2.2.1	Strukturprinzipien	24
2.2.2	Atomare Nah- und Fernordnung	24
2.3	Reale Kristallstruktur	29
2.3.1	Nulldimensionale Gitterfehler	30
2.3.2	Eindimensionale Gitterfehler	31
2.3.3	Zweidimensionale Gitterfehler	35
2.3.3.1	Korngrenzen	35
2.3.3.2	Grenzflächen innerhalb eines Kornes	37
2.3.3.3	Phasengrenzen	38
2.3.3.4	Stapelfehler	39
2.4	Anisotropie, Quasiisotropie, Textur	40

B Metallische Werkstoffe

1	Strukturaufbau metallischer Werkstoffe	43
1.1	Metallische Gitterstrukturen	43
1.2	Legierungsbildung	46
1.2.1	Allgemeine Ziele der Legierungsbildung	46

1.2.2	Legierungsphasen	47
1.2.2.1	Lösungsphasen	48
1.2.2.2	Intermetallische Verbindungen	51
1.3	Thermodynamisches Phasengleichgewicht	54
1.3.1	Gleichgewichtsbedingungen	54
1.3.2	Diffusion	57
1.3.2.1	Diffusionsmechanismen	58
1.3.2.2	Einflußfaktoren	58
1.3.3	Phasenumwandlungen	60
1.3.3.1	Umwandlung einer flüssigen in eine feste Phase	61
1.3.3.2	Phasenumwandlungen im festen Zustand	67
1.3.4	Phasengleichgewichtsdiagramme	71
1.3.4.1	Einstoffsysteme	72
1.3.4.2	Zweistoffsysteme	72
1.3.5	Dreistoffsysteme	81
1.4	Ausbildung realer Gefüge	82
2	Mechanische Eigenschaften	84
2.1	Verformungsverhalten	85
2.1.1	Elastisches Verhalten von Metallen	85
2.1.1.1	Verformungsmechanismus	85
2.1.1.2	Linear-Elastizität (Hookesches Gesetz)	87
2.1.1.3	Anelastizität	88
2.1.1.4	Elastische Hysterese, mechanische Dämpfung	90
2.1.2	Plastisches Verhalten von Metallen	91
2.1.2.1	Verformungsmechanismus	91
2.1.2.2	Gleitebenen, Gleitsysteme	94
2.1.2.3	Mikroskopische Schubspannungen bei makroskopischen Normalspannungen	97
2.1.2.4	Versetzungsbewegungen	99
2.1.2.5	Versetzungsreaktionen	100
2.1.3	Spannung-Dehnung-Verhalten	104
2.1.3.1	Verformung von Einkristallen	104
2.1.3.2	Verformung von Vielkristallen	106
2.1.3.3	Wahre Spannung-Dehnung-Kurve	112
2.1.4	Verformungsverhalten bei hohen Temperaturen	114
2.1.4.1	Verformungsmechanismen	114
2.1.4.2	Entfestigungsvorgänge	115
2.1.4.3	Kriechverhalten	122
2.1.5	Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung statisch beanspruchter Metalle	124
2.1.5.1	Allgemeines Prinzip der Festigkeitssteigerung	124
2.1.5.2	Verfestigung durch Verformung	126
2.1.5.3	Verfestigung durch Korngrenzen	127
2.1.5.4	Verfestigung durch Mischkristallbildung	127

2.1.5.5	Verfestigung durch Teilchen	128
2.1.5.6	Struktureller Aufbau hochfester Metalle	132
2.2	Bruchverhalten	134
2.2.1	Bruchformen	134
2.2.2	Duktiles und sprödes Bruchverhalten	134
2.2.2.1	Duktilbruch	137
2.2.2.2	Energiearmer Duktilbruch	139
2.2.2.3	Interkristalliner Spröbruch	139
2.2.2.4	Transkristalliner Spröbruch	140
2.2.2.5	Struktureller Aufbau spröbruchunempfindlicher Werkstoffe	143
2.2.3	Dauerbruchverhalten	144
2.2.3.1	Ermüdungsverfestigung	146
2.2.3.2	Rißbildung	148
2.2.3.3	Rißausbreitung	151
2.2.3.4	Einflußfaktoren	155
2.2.3.5	Maßnahmen zur Steigerung der Schwingfestigkeit	161
2.2.4	Kriechbruchverhalten	162
2.3	Prüfung der mechanischen Eigenschaften	163
2.3.1	Prüfung des Verformungsverhaltens	163
2.3.1.1	Zügige Beanspruchung	163
2.3.1.2	Statische Langzeitbeanspruchung	164
2.3.2	Prüfung des Bruchverhaltens	165
2.3.2.1	Duktiles und sprödes Verhalten	165
2.3.2.2	Einfluß der Beanspruchungsbedingungen	166
2.3.2.3	Spröbruchprüfung	169
2.3.2.4	Ermüdungsprüfung	174
2.3.3	Mechanische Kennwerte und deren Bedeutung für die Werkstoffanwendung	178
2.3.3.1	Festigkeitskennwerte	178
2.3.3.2	Verformungskennwerte	180
2.3.3.3	Übertragbarkeit von Kennwerten	182
3	Korrosionsverhalten	183
3.1	Korrosionsvorgänge	183
3.1.1	Die elektrolytische Auflösung von Metallen	184
3.1.2	Korrosionsreaktionen in wäßrigen Lösungen	187
3.1.2.1	Anodische und kathodische Teilreaktionen	187
3.1.2.2	Säurekorrosion, Wasserstoffkorrosion	188
3.1.2.3	Sauerstoffkorrosion	188
3.1.3	Korrosionselemente	189
3.1.4	Passivität	191
3.1.5	Stromdichte-Potential-Kurven	192
3.2	Erscheinungsformen der Korrosion	197
3.2.1	Gleichmäßige Korrosion	197
3.2.2	Lokalisierter Korrosionsangriff	198

3.2.2.1	Kontaktkorrosion	198
3.2.2.2	Selektive Korrosion	200
3.2.2.3	Interkristalline Korrosion	201
3.2.2.4	Spaltkorrosion	202
3.2.2.5	Lochfraßkorrosion	203
3.2.2.6	Mechanisch-korrosiver Angriff	206
3.3	Einflußfaktoren	211
3.3.1	pH-Wert	211
3.3.2	Sauerstoffgehalt	212
3.3.3	Temperatur	213
3.3.4	Bewegungszustand	214
3.3.5	Salzgehalt	214
3.3.6	Korrosionsmedien	215
3.4	Korrosionsschutz (Grundsätzliche Möglichkeiten)	217
4	Technisch wichtige Metalle	218
4.1	Werkstoffe auf Fe-Basis	218
4.1.1	Phasenausbildungen	219
4.1.1.1	Allotropie von Eisen	219
4.1.1.2	Lösungsphasen	220
4.1.1.3	Verbindungsphasen	222
4.1.1.4	Metastabile und stabile Phasenzustände	222
4.1.2	Legierungen Fe-C, metastabil (unlegierte Stähle)	224
4.1.2.1	Gleichgewichtsnahе Gefüge (metastabil)	224
4.1.2.2	Ungleichgewichtige Gefüge (metastabil)	232
4.1.3	Legierungen Fe-C-X (niedriglegierte Stähle)	241
4.1.3.1	Ziele der Legierung von Eisen	241
4.1.3.2	Im Eisengitter lösliche Legierungselemente	242
4.1.3.3	Verbindungen bildende Legierungselemente	243
4.1.3.4	Einfluß von Legierungselementen auf die Umwandlung von Austenit	245
4.1.3.5	Einfluß von Legierungselementen auf die Umwandlung von Martensit	246
4.1.3.6	Einfluß von Legierungselementen auf die mechanischen Eigenschaften von Stählen	248
4.1.4	Legierungen Fe-X (hochlegierte Stähle)	250
4.1.4.1	Legierungen Fe-Ni	250
4.1.4.2	Legierungen Fe-Cr	252
4.1.4.3	Legierungen Fe-Cr-Ni	254
4.1.5	Legierungen Fe-C, stabil (Gußeisen)	258
4.1.5.1	Gefügeausbildung	258
4.1.5.2	Technische Gußeisensorten	262
4.2	Werkstoffe auf Al-Basis	263
4.2.1	Aushärtung	264
4.2.2	Al – Legierungen	268
4.2.2.1	Nicht aushärtbare Legierungen vom Typ AlMg	269
4.2.2.2	Aushärtbare Legierungen	269

4.2.2.3	Gußlegierungen vom Typ AlSi	271
4.3	Werkstoffe auf Cu-Basis	272
4.3.1	Kupfer-Zink-Legierungen	275
4.3.2	Kupfer-Zinn-Legierungen	276
4.3.3	Kupfer-Aluminium-Legierungen	277
4.3.4	Kupfer-Beryllium-Legierungen	278
4.3.5	Kupfer-Nickel-Legierungen	279
4.4	Werkstoffe auf Ni-Basis	279
4.4.1	Nickel-Chrom-Legierungen	280
4.4.2	Nickel-Kupfer-Legierungen	283
4.5	Werkstoffe auf Ti-Basis	284
4.5.1	Titan technischer Reinheit	284
4.5.2	Titanlegierungen	285
4.5.2.1	Titanlegierungen mit α -Gefüge	286
4.5.2.2	Titanlegierungen mit β -Gefüge	287
4.5.2.3	Titanlegierungen mit $(\alpha + \beta)$ -Gefüge	288

C Polymerwerkstoffe

1	Strukturaufbau	289
1.1	Unvernetzte und vernetzte Polymere (Kunststoffe)	289
1.2	Struktureller Aufbau und räumliche Anordnung von Kettenmolekülen	290
1.2.1	Konstitution	290
1.2.2	Konfiguration	293
1.2.3	Konformation	293
1.2.4	Molekülanordnungen im Schmelzzustand	294
1.2.5	Kristalline Molekülanordnungen	295
1.2.6	Amorphe Molekülanordnungen	300
1.2.7	Orientierte Molekülzustände	302
1.3	Struktureller Aufbau von Netzwerken	303
2	Mechanische Eigenschaften	305
2.1	Verformungsverhalten	305
2.1.1	Verformungsmechanismen	305
2.1.1.1	Energie-Elastizität	305
2.1.1.2	Entropie-Elastizität	305
2.1.1.3	Plastizität	306
2.1.1.4	Viskosität	309
2.1.2	Visko-Elastizität	310
2.1.3	Spannung-Dehnung-Verhalten	312
2.1.4	Prüfung des Verformungsverhaltens	317
2.1.4.1	Torsionsschwingversuch	317

2.1.4.2	Zugversuch	320
2.1.4.3	Langzeitprüfung, isochrone Spannung-Dehnung-Linien	321
2.2	Bruchverhalten	324
2.2.1	Duktil-, Sprödbbruch	324
2.2.2	Dauerbruch	326
2.3	Möglichkeiten zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften	329
2.3.1	Copolymerisation	330
2.3.2	Weichmachung	330
2.3.3	Polymermischungen	332
2.3.4	Füll- und Verstärkungsmittel	333
2.3.5	Sonstige Möglichkeiten	335
3	Korrosionsverhalten	336
3.1	Verhalten unter Witterungseinfluß (Alterung)	336
3.2	Verhalten gegenüber flüssigen Medien	337
3.3	Thermische Zersetzung von Kunststoffen	338
4	Technisch wichtige Kunststoffe	339
4.1	Thermoplaste	339
4.1.1	Massenkunststoffe	341
4.1.1.1	Polyethylen (PE)	341
4.1.1.2	Polypropylen (PP)	342
4.1.1.3	Polyvinylchlorid (PVC)	343
4.1.1.4	Polystyrol (PS)	345
4.1.2	Thermoplastische Konstruktions-Kunststoffe	347
4.1.2.1	Polyamid (PA)	347
4.1.2.2	Polyoximethylen (POM)	351
4.1.2.3	Polyethylen- und -butylenterephthalat (PETB, PBTP)	352
4.1.3	Thermoplastische Kunststoffe mit speziellen Eigenschaften	353
4.1.3.1	Polymethylmethacrylat (PMMA)	353
4.1.3.2	Polycarbonat (PC)	353
4.1.3.3	Polytetrafluorethylen (PTFE)	354
4.1.4	Thermoplaste mit erhöhter Temperaturbeständigkeit	356
4.2	Duroplaste	358
4.2.1	Phenol- und Aminoharze (PF, UF, MF)	359
4.2.2	Ungesättigte Polyesterharze (UP)	361
4.2.3	Epoxidharze (EP)	362
4.3	Elastomere	363
4.3.1	Dien-Elastomere normaler Beständigkeit	364
4.3.2	Dien-Elastomere erhöhter Beständigkeit	366
4.3.3	Dienfreie Spezial-Elastomere	367

D	Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe	
1	Struktureller Aufbau	370
1.1	Keramik	370
1.1.1	Reine Nichtmetalle und nichtoxidische Verbindungen	370
1.1.2	Reine Oxide und oxidische Verbindungen	375
1.1.2.1	Ionische Gitterstrukturen	375
1.1.2.2	Siliziumdioxid SiO_2	376
1.1.2.3	Aluminiumoxid Al_2O_3	378
1.1.2.4	Titandioxid TiO_2	379
1.1.2.5	Eisenoxide	379
1.1.2.6	Hochschmelzende Oxide	380
1.1.3	Oxidische Verbindungen	382
1.1.3.1	Oxide mit Perowskit-Struktur	382
1.1.3.2	Oxide mit Spinell-Struktur	382
1.1.3.3	Silikate	383
1.1.4	Entstehung keramischer Gefüge	386
1.1.4.1	Sintern fester Phasen	386
1.1.4.2	Sintern mit flüssiger Phase	388
1.1.4.3	Reaktionssintern	389
1.2	Gläser	389
1.3	Glaskeramik	392
1.4	Metallische Gläser	394
2	Mechanische Eigenschaften	396
2.1	Verformungsverhalten	396
2.1.1	Verformungsverhalten bei tiefen Temperaturen	396
2.1.1.1	Keramik	396
2.1.1.2	Glas	397
2.1.2	Verformungsverhalten bei hohen Temperaturen	397
2.1.2.1	Keramik	397
2.1.2.2	Glas	398
2.2	Bruchverhalten	398
2.2.1	Keramik	398
2.2.2	Glas	400
2.3	Möglichkeiten zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften	401
2.3.1	Keramik	401
2.3.2	Glas	404
3	Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe	405
3.1	Keramische Werkstoffe	405
3.1.1	Silikatkeramische Werkstoffe	405
3.1.2	Oxidkeramik	409

3.1.2.1	Aluminiumoxid Al_2O_3	410
3.1.2.2	Zirkoniumdioxid ZrO_2	412
3.1.2.3	Nichtoxidkeramik	413
3.1.2.4	Kohlenstoff	417
3.1.2.5	Feuerfeste Werkstoffe (Steine)	419
3.2	Gläser	420
3.2.1	Technisch wichtige Glassorten	420
3.2.2	Kalknatron-Gläser	421
3.2.3	Borosilikat-Gläser	421
3.2.4	Gläser mit speziellen optischen Eigenschaften	422
3.2.4.1	Kristallglas	422
3.2.4.2	Optische Gläser	422
3.2.4.3	Gläser mit veränderter Strahlungsdurchlässigkeit	425
3.2.4.4	Phototrope Gläser	426
	Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur	427
	Stichwortverzeichnis	431