

Professor Dr.-Ing. Olaf Jacobs

Werkstoffkunde

3., überarbeitete und erweiterte Auflage

Vogel Business Media

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Vorwort zur 3. Auflage	7
1 Einleitung und Grundbegriffe	17
1.1 Bedeutung der Werkstoffkunde	17
1.1.1 Werkstoffe und Produktfunktionalität	18
1.1.2 Werkstoffe und Produktqualität	18
1.1.3 Werkstoffe und Produktlebensdauer	19
1.1.4 Werkstoffe und Kosten	20
1.1.4.1 Werkstoffe und Herstellkosten	20
1.1.4.2 Werkstoffe und Betriebskosten	20
1.1.4.3 Werkstoffe und Entsorgungskosten	21
1.1.5 Werkstoff, Fertigung und Konstruktion	22
1.1.5.1 Werkstoff und Fertigung	22
1.1.5.2 Fertigung und Konstruktion	23
1.1.5.3 Werkstoff und Konstruktion	23
1.1.5.4 Simultaneous Engineering	24
1.2 Grundbegriffe	24
1.2.1 Leitfragen	25
1.2.2 Elastische Verformung	25
1.2.3 Plastische Verformung	26
1.2.4 Zähigkeit und Sprödigkeit	27
1.3 Aufgaben zur Selbstüberprüfung	28
1.3.1 Aufgaben	29
1.3.2 Musterlösungen	30
2 Aufbau von Werkstoffen	33
2.1 Atombau und Periodensystem	33
2.1.1 Leitfragen	34
2.1.2 Atombau	34
2.1.2.1 Chemische Elemente	35
2.1.2.2 Die Elektronenhülle	37
2.1.3 Periodensystem der Elemente	39
2.2 Bindungen	40
2.2.1 Leitfragen	40
2.2.2 Übersicht über die Bindungsarten	41
2.2.3 Ionenbindung	42
2.2.4 Kovalente Bindung	43
2.2.5 Metallische Bindung	44
2.2.6 Sekundäre Bindungen	46
2.2.7 Bindungspotenzial und Bindungskräfte	48
2.3 Gitterstrukturen	50
2.3.1 Leitfragen	50
2.3.2 Überblick über Gitterstrukturen	51

2.3.3	Das krz-Gitter	53
2.3.4	Das hdp-Gitter	55
2.3.5	Das kfz-Gitter	56
2.3.6	Gleitsysteme	57
2.3.7	Kristallgitter und Werkstoffeigenschaften	59
2.3.7.1	Isotropie und Anisotropie	59
2.3.7.2	Umformbarkeit	60
2.3.7.3	Allotropie	61
2.4	Gitterbaufehler	62
2.4.1	Leitfragen	62
2.4.2	Übersicht über Gitterbaufehler	63
2.4.3	Punktdefekte	64
2.4.4	Versetzungen	66
2.4.5	Korngrenzen	68
2.4.6	Volumendefekte	68
2.4.7	Gitterbaufehler und Werkstoffeigenschaften	69
2.5	Entstehung von Gefügestrukturen	70
2.5.1	Leitfragen	71
2.5.2	Der Kristallisationsvorgang	72
2.5.3	Diffusion	74
2.5.4	Phasendiagramme	76
2.5.4.1	Unlöslichkeit im festen und flüssigen Zustand	79
2.5.4.2	Vollständige Löslichkeit im festen Zustand	80
2.5.4.3	Eutektische Systeme	83
2.5.4.4	Ausscheidungshärtung	87
2.5.4.5	Weitere Phasendiagramme	89
2.5.4.6	Das Hebelgesetz	89
2.6	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	91
2.6.1	Aufgaben	91
2.6.2	Musterlösungen	96
3	Mechanische Werkstoffeigenschaften	105
3.1	Dehnung und Spannung	106
3.2	Belastungsarten	109
3.2.1	Leitfragen	109
3.2.2	Einführung	109
3.2.3	Zugbelastung	110
3.2.4	Druckbelastung	111
3.2.5	Schub- oder Scherbelastung	112
3.2.6	Zusammenhang Zug, Druck und Schub	112
3.3	Mechanische Werkstoffkennwerte	116
3.3.1	Der Zugversuch	116
3.3.1.1	Leitfragen	116
3.3.1.2	Versuchsdurchführung und -auswertung	117
3.3.2	Druck und Schubkennwerte	124
3.3.3	Risszähigkeit	126
3.3.3.1	Leitfragen	127
3.3.3.2	Risszähigkeit	127

3.3.4	Werkstoffermüdung	131
3.3.4.1	Leitfragen	131
3.3.4.2	Wöhlerkurven	132
3.3.4.3	Mechanismen der Materialermüdung	137
3.3.4.4	Rissfortschrittskurven	139
3.3.4.5	Dauerfestigkeitsschaubilder nach SMITH	141
3.3.5	Härteprüfung	143
3.3.5.1	Leitfragen	144
3.3.5.2	Härteprüfung nach VICKERS	144
3.3.5.3	Härteprüfung nach BRINELL	145
3.3.5.4	Härteprüfung nach ROCKWELL	146
3.3.5.5	Allgemeine Betrachtungen zur Härte	147
3.3.6	Kerbschlagbiegeversuch	148
3.3.6.1	Leitfragen	149
3.3.6.2	Versuchsdurchführung und -auswertung	149
3.3.7	Temperatureinflüsse	152
3.3.7.1	Leitfragen	152
3.3.7.2	Spezifische Wärmekapazität	153
3.3.7.3	Spezifische Wärmeleitfähigkeit	154
3.3.7.4	Wärmeausdehnung	156
3.3.7.5	Festigkeit und Temperatur	158
3.3.7.6	Kriechen	159
3.3.8	Korrosion	161
3.3.8.1	Leitfragen	161
3.3.8.2	Chemische Korrosion	161
3.3.8.3	Elektrochemische Korrosion	162
3.3.8.4	Korrosionsarten	165
3.3.9	Reibung und Verschleiß	167
3.3.9.1	Leitfragen	168
3.3.9.2	Reibungs- und Verschleißkennwerte	168
3.3.9.3	Reibung und Verschleiß als Systemeigenschaften	171
3.4	Bedeutung der Werkstoffkennwerte	173
3.4.1	Leitfragen	173
3.4.2	Kennwert Fließgrenze	174
3.4.3	Kennwert Festigkeit	174
3.4.4	Kennwert E-Modul	175
3.4.5	Kennwert Bruchdehnung	175
3.4.6	Kennwert Risszähigkeit	176
3.4.7	Kennwert Dauer-/Zeitfestigkeit	176
3.4.8	Kennwert Härte	176
3.5	Ausblick: Weitere Werkstoffkennwerte und Prüfverfahren	176
3.6	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	177
3.6.1	Aufgaben	177
3.6.2	Musterlösungen	183
4	Eisenwerkstoffe	191
4.1	Herstellung und Struktur von Eisenwerkstoffen	191

4.1.1	Leitfragen	191
4.1.2	Herstellung von Stahl und Gusseisen	192
4.1.3	Gitterstrukturen von Eisen	195
4.1.4	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm (EKD)	196
4.1.4.1	Abkühlung eines untereutektoiden Stahls mit C < 0,02%	198
4.1.4.2	Abkühlung eines eutektoiden Stahls mit C = 0,8%	199
4.1.4.3	Abkühlung eines untereutektoiden Stahls mit C-Gehalt zwischen 0,02% und 0,8%	201
4.1.4.4	Abkühlung eines übereutektoiden Stahls mit C > 0,8%	202
4.2	Wärmebehandlungsverfahren für Stähle	204
4.2.1	Leitfragen	204
4.2.2	Glühverfahren für Stähle	204
4.2.2.1	Normalglühen oder Normalisieren	206
4.2.2.2	Weichglühen	207
4.2.2.3	Grobkornglühen	207
4.2.2.4	Rekristallisationsglühen	208
4.2.2.5	Diffusionsglühen (Homogenisieren)	208
4.2.2.6	Spannungsarmglühen	208
4.2.3	Härten und Vergüten von Stahl	209
4.2.3.1	Martensitische Härtung	209
4.2.3.2	Vergüten	212
4.2.3.3	Randschichthärtung	213
4.2.3.4	Einsatzhärtung	214
4.2.3.5	Nitrieren	215
4.2.4	Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder	216
4.3	Gebräuchliche Eisenwerkstoffe	218
4.3.1	Leitfragen	218
4.3.2	Stahlarten	218
4.3.2.1	Legierungselemente	218
4.3.2.2	Einteilung der Stähle nach DIN EN 10 020	221
4.3.2.3	Einteilung nach Einsatzgebiet	222
4.3.3	Gusseisentypen	225
4.3.4	Bezeichnung von Eisenwerkstoffen	228
4.3.4.1	Stahlkurznamen nach DIN EN 10 027-1	229
4.3.4.2	Kurznamen für Gusswerkstoffe nach DIN EN 1560	231
4.3.4.3	Werkstoffnummern nach DIN EN 10 027-2	231
4.4	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	232
4.4.1	Aufgaben	232
4.4.2	Musterlösungen	235
5	Nichteisenmetalle	239
5.1	Übersicht	239
5.2	Leichtmetalle	240
5.2.1	Leitfragen	240

5.2.2	Aluminium	241
5.2.2.1	Reinaluminium	242
5.2.2.2	Naturharte Aluminiumlegierungen	243
5.2.2.3	Ausscheidungshärtbare Aluminiumlegierungen	244
5.2.2.4	Al-Gusslegierungen	246
5.2.2.5	Eloxieren	247
5.2.3	Magnesium	248
5.2.3.1	Reinmagnesium	248
5.2.3.2	Magnesiumlegierungen	249
5.2.4	Titan	250
5.2.4.1	Reintitan	251
5.2.4.2	α -Titan	251
5.2.4.3	β -Titan	251
5.2.4.4	α - β -Titan	252
5.2.5	Leichtbaueignung von Werkstoffen	253
5.3	Schwermetalle	256
5.3.1	Leitfragen	256
5.3.2	Kupfer und Kupferlegierungen	257
5.3.2.1	Reinkupfer	258
5.3.2.2	Messing	259
5.3.2.3	Bronze	261
5.3.3	Nickel und Nickellegierungen	262
5.3.3.1	Reinnickel	262
5.3.3.2	Hochwarmfeste Nickellegierungen	263
5.3.4	Hochschmelzende Metalle	263
5.3.5	Hartmetalle	264
5.4	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	265
5.4.1	Aufgaben	265
5.4.2	Musterlösungen	268
6	Keramische Werkstoffe	275
6.1	Leitfragen	275
6.2	Besonderheiten keramischer Werkstoffe	276
6.3	Einsatzgebiete für Keramiken	278
6.4	Keramikverarbeitung (Sintern)	280
6.5	Hochleistungskeramiken	283
6.6	Übersicht: Keramische Werkstoffe	286
6.6.1	Silikatkeramik	287
6.6.2	Oxidkeramik	288
6.6.3	Nichtoxidkeramik	290
6.6.4	Hochleistungskeramiken im Vergleich	293
6.7	Konstruieren mit Keramik	293
6.8	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	294
6.8.1	Aufgaben	294
6.8.2	Musterlösungen	295
7	Kunststoffe	297
7.1	Aufbau von Kunststoffen	297

7.1.1	Leitfragen	297
7.1.2	Monomere, Polymere	298
7.1.2.1	Additionspolymerisation als Kettenreaktion	301
7.1.2.2	Additionspolymerisation als Stufenreaktion	302
7.1.2.3	Kondensationspolymerisation	303
7.1.2.4	Einfluss der Monomerstruktur auf die Polymereigenschaften	304
7.1.3	Thermoplaste, Elastomere, Duromere	307
7.1.4	Morphologie	310
7.1.5	Zuschlagstoffe	314
7.2	Eigenschaften von Kunststoffen	314
7.2.1	Leitfragen	315
7.2.2	Thermische Eigenschaften	316
7.2.3	Zugversuch an Kunststoffen	319
7.2.4	Kriechen von Kunststoffen	322
7.2.5	Viskoelastizität	325
7.3	Gebäuchliche Kunststoffe	327
7.3.1	Leitfragen	327
7.3.2	Thermoplaste	327
7.3.2.1	Teilkristalline Thermoplaste	328
7.3.2.2	Amorphe Thermoplaste	333
7.3.2.3	Thermoplastische Elastomere	335
7.3.3	Duromere	336
7.3.4	Elastomere	338
7.4	Kunststoffverarbeitung	341
7.4.1	Leitfragen	341
7.4.2	Extrusion	341
7.4.3	Thermoformen	343
7.4.4	Spritzguss	344
7.4.5	Übersicht: Weitere Verarbeitungsverfahren	346
7.5	Kunststoffrecycling	348
7.5.1	Leitfragen	349
7.5.2	Werkstoffliches Recycling	349
7.5.3	Rohstoffliches Recycling	351
7.5.4	Energetisches Recycling	352
7.5.5	Schlussfolgerungen	353
7.6	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	354
7.6.1	Aufgaben	354
7.6.2	Musterlösungen	360
8	Verbundwerkstoffe	367
8.1	Leitfragen	367
8.2	Klassifizierung der Verbundwerkstoffe	368
8.3	Polymer-Verbundwerkstoffe	370
8.3.1	Beispiele für Polymer-Verbundwerkstoffe	371
8.3.2	Faserverstärkte Kunststoffe	373
8.3.2.1	Auswahl des Matrixmaterials	373
8.3.2.2	Verstärkungsform	374

8.3.2.3	Faserarten	378
8.3.2.4	Anisotropie	380
8.4	Aufgaben zur Selbstüberprüfung	382
8.4.1	Aufgaben	382
8.4.2	Musterlösungen	383
9	Werkstoffauswahl	387
9.1	Einleitung	387
9.2	Werkstoffspezifikationen	388
9.2.1	Vorgehensweise	388
9.2.2	Gebrauchseigenschaften	390
9.2.3	Ver- und Bearbeitungseigenschaften	391
9.2.4	Umweltverträglichkeit	393
9.3	Informationsquellen	394
9.4	Methoden der Entscheidungsfindung	396
9.4.1	Nutzwertanalyse	396
9.4.2	Performance-Indices	400
9.4.3	Wirtschaftlichkeitsvergleich	403
9.4.4	Ökobilanzen und ganzheitliche Bilanzen	406
9.5	Werkstoffgerechtes Konstruieren	409
Anhang 1 Quantenmechanisches Atommodell und Periodensystem		411
Anhang 2 Miller'sche Indizes		415
Anhang 3 Schrauben- und gemischte Versetzungen		419
Anhang 4 Bezeichnungssysteme für Werkstoffe		421
A4.1	Bezeichnung von Eisenwerkstoffen	421
A4.2	Bezeichnungssysteme für Nichteisenmetalle	426
A4.3	Bezeichnung von Polymerwerkstoffen	431
Anhang 5 Werkstoffkennwerte		433
Quellenverzeichnis der Bilder		441
Literaturverzeichnis		443
Stichwortverzeichnis		447