

Werkstofftechnik

Werkstoffe – Eigenschaften – Prüfung – Anwendung

von Wolfgang W. Seidel und Frank Hahn

9., überarbeitete Auflage

mit 389 Bildern sowie zahlreichen Tabellen,
Beispielen, Übungen und Testaufgaben

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	15
1 Struktur und Eigenschaften der Metalle	19
1.0 Überblick	19
1.1 Metallbindung und Gitterstruktur	19
1.1.0 Übersicht	19
1.1.1 Wechselwirkung zwischen Atomen	20
1.1.2 Kristallstruktur der Metalle	25
1.1.2.1 Der kristalline Zustand (Idealkristall)	25
1.1.2.2 Gittertypen	28
1.1.2.3 Realstruktur	32
1.1.2.4 Gitterstruktur und technische Eigenschaften	36
1.2 Kristallisation	39
1.2.0 Übersicht	39
1.2.1 Phasenumwandlungen	40
1.2.2 Thermische Analyse	42
1.2.3 Übergang flüssig-kristallin	43
1.3 Elastische und plastische Verformung	48
1.3.0 Übersicht	48
1.3.1 Mechanische Beanspruchung	48
1.3.2 Elastische Verformung	49
1.3.3 Plastische Verformung	50
1.4 Thermisch aktivierte Vorgänge	56
1.4.0 Übersicht	56
1.4.1 Gittervorgänge unter Temperatureinfluss	57
1.4.2 Diffusion	57
1.4.3 Erholung und Rekristallisation	61
Lernzielorientierter Test zu Kapitel 1	67
2 Legierungen	69
2.0 Überblick	69
2.1 Aufbau der Legierungen	69
2.1.0 Übersicht	69
2.1.1 Mischkristall	70
2.1.2 Überstruktur	71
2.1.3 Intermetallische Verbindungen	72
2.1.4 Gefügebau der Legierungen	73
2.2 Zustandsdiagramme	74
2.2.0 Übersicht	74
2.2.1 Begriffe, Einstoffsystem	75

2.2.2	Zweistoffsysteme (binäre Systeme)	76
2.2.2.0	Einführung	76
2.2.2.1	Völlige Löslichkeit im festen Zustand	78
2.2.2.2	Unlöslichkeit im festen Zustand	79
2.2.2.3	System mit begrenzter Löslichkeit im festen Zustand – eutektisches System	79
2.2.2.4	System mit begrenzter Löslichkeit im festen Zustand – peritektisches System	82
2.2.3	Das Lesen der Zweistoffdiagramme	83
2.2.3.1	Regeln	83
2.2.3.2	Beispiele	83
2.3	Legierungseigenschaften	86
2.3.0	Übersicht	86
2.3.1	Tendenzen	87
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 2	90
3	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	91
3.0	Überblick	91
3.1	Reines Eisen	91
3.2	Komponente Kohlenstoff	93
3.3	Allgemeines zum System Eisen-Kohlenstoff	94
3.4	System Eisen-Eisencarbid ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$)	95
3.5	Die Gefügearten des Systems Eisen-Eisencarbid	99
3.6	Einteilung der Eisenwerkstoffe	103
3.7	Stabiles System Eisen-Kohlenstoff (Fe-C)	104
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 3	106
4	Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe	108
4.0	Überblick	108
4.1	Grundlagen der Wärmebehandlung	108
4.1.0	Übersicht	109
4.1.1	Erwärmung in das Austenitgebiet (Austenitisierung)	111
4.1.2	Abkühlung aus dem Austenitgebiet	113
4.2	Thermische Verfahren	126
4.2.0	Übersicht	126
4.2.1	Glühen	126
4.2.1.1	Diffusionsglühen	128
4.2.1.2	Grobkornglühen	128
4.2.1.3	Normalglühen	129
4.2.1.4	Glühen auf kugelige Carbide	130
4.2.1.5	Spannungsarmglühen	132
4.2.1.6	Rekristallisationsglühen	133
4.2.2	Härten und Anlassen	135
4.2.3	Vergüten	139
4.2.4	Randschichthärten	143

4.3	Thermochemische Verfahren	147
4.3.0	Übersicht	147
4.3.1	Einsatzhärten	149
4.3.2	Nitrieren	153
4.4	Thermomechanische Verfahren	157
4.4.0	Übersicht	157
4.4.1	Verfahrensgrundlagen	158
4.4.2	Verfahrensvarianten	159
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 4	161
5	Eisengusswerkstoffe	163
5.0	Überblick	163
5.1	Erstarrung und Gefügeausbildung von Eisengusswerkstoffen	163
5.1.0	Übersicht	163
5.1.1	Einteilung der Eisengusswerkstoffe	164
5.1.2	Schwindung, Lunker, Gasblasen und Seigerung	165
5.1.3	Gefügeausbildung bei Eisengusswerkstoffen	169
5.1.3.1	Stabile und metastabile Erstarrung	169
5.1.3.2	Grundgefüge	170
5.1.3.3	Der Einfluss von Abkühlgeschwindigkeit und Wandstärke des Gussteiles	172
5.1.3.4	Graphitformen bei Gusseisen	174
5.2	Gusseisen mit Lamellengraphit	177
5.2.0	Übersicht	177
5.2.1	Erschmelzung und chemische Zusammensetzung	177
5.2.2	Wärmebehandlung	179
5.2.3	Eigenschaften und Anwendung	180
5.3	Grauguss mit Kugelgraphit	183
5.3.0	Übersicht	183
5.3.1	Erschmelzung und chemische Zusammensetzung	183
5.3.2	Wärmebehandlung	185
5.3.3	Eigenschaften und Anwendung	188
5.4	Weitere Eisengusswerkstoffe	190
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 5	195
6	Eisenknetwerkstoffe	197
6.0	Überblick	197
6.1	Stähle – Einteilung und Bezeichnungssysteme	197
6.1.0	Übersicht	197
6.1.1	Stahl – Definition	198
6.1.2	Einteilung der Stähle	201
6.1.3	Eisenbegleiter und Legierungselemente	204
6.1.4	Bezeichnung der Stähle	209
6.2	Stahlgruppen	216
6.2.0	Übersicht	216
6.2.1	Baustähle	216

6.2.2	Baustähle für bestimmte Wärmebehandlungen	222
6.2.3	Nichtrostende Stähle	226
6.2.4	Werkzeugstähle	231
6.2.4.1	Unlegierte und legierte Kaltarbeitsstähle	234
6.2.4.2	Warmarbeitsstähle	236
6.2.4.3	Schnellarbeitsstähle	237
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 6	240
7	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	241
7.0	Überblick	241
7.1	Allgemeines zur Werkstoffbezeichnung	242
7.1.0	Übersicht	242
7.1.1	Werkstoff- und Zustandsbezeichnungen nach EN	242
7.2	Aluminium, Aluminiumlegierungen	244
7.2.0	Übersicht	244
7.2.1	Reinaluminium	245
7.2.1.1	Eigenschaften	245
7.2.1.2	Anwendung	246
7.2.2	Aluminiumlegierungen	246
7.2.2.1	Einteilung, Eigenschaften	246
7.2.2.2	Wirkung der Legierungselemente	247
7.2.2.3	Aushärten	249
7.2.3	Legierungstyp, technische Anwendung	252
7.3	Kupfer, Kupferlegierungen	256
7.3.0	Übersicht	256
7.3.1	Reinkupfer	256
7.3.2	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	258
7.3.3	Kupfer-Zinn-Legierungen	261
7.4	Magnesium, Magnesiumlegierungen	262
7.4.0	Übersicht	262
7.4.1	Reinmagnesium	263
7.4.2	Magnesiumlegierungen	263
7.5	Titan, Titanlegierungen	264
7.5.0	Übersicht	264
7.5.1	Reintitan	265
7.5.2	Titanlegierungen	266
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 7	266
8	Sinterwerkstoffe	268
8.0	Überblick	268
8.1	Grundlagen der Sintertechnik	268
8.1.0	Übersicht	269
8.1.1	Pulverherstellung	269
8.1.2	Formgebung	269
8.1.3	Sintern	270
8.1.4	Nachbehandlung	272

8.2	Eigenschaften, Anwendungsgebiete	272
8.2.0	Übersicht	273
8.2.1	Sintermetalle	273
8.2.2	Gesinterte Carbidhartmetalle (Hartmetalle)	274
8.2.3	Oxid- und Mischkeramik	274
8.2.4	Nichtoxidkeramik	276
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 8	277
9	Korrosion und Korrosionsschutz	278
9.0	Überblick	278
9.1	Grundlagen	278
9.1.0	Übersicht	278
9.1.1	Ursachen der Korrosion	279
9.1.2	Chemische Korrosion	279
9.1.3	Elektrochemische Korrosion	280
9.1.4	Passivierung	282
9.2	Korrosionsarten	283
9.2.0	Übersicht	283
9.2.1	Korrosionsarten ohne mechanische Beanspruchung	284
9.2.1.1	Gleichmäßige und ungleichmäßige Flächenkorrosion	284
9.2.1.2	Lochkorrosion	284
9.2.1.3	Spaltkorrosion	285
9.2.1.4	Bimetallkorrosion (Kontaktkorrosion)	285
9.2.2	Korrosionsarten mit mechanischer Beanspruchung	286
9.2.2.1	Spannungskorrosion/Spannungsrissskorrosion	286
9.2.2.2	Schwingungsrissskorrosion	286
9.2.2.3	Erosions- und Kavitationskorrosion	287
9.3	Korrosionsschutz	288
9.3.0	Übersicht	288
9.3.1	Aktiver Korrosionsschutz	289
9.3.1.1	Werkstoffauswahl	289
9.3.1.2	Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren	290
9.3.1.3	Katodischer Korrosionsschutz	290
9.3.1.4	Beeinflussung des Korrosionsmediums	291
9.3.2	Passiver Korrosionsschutz	292
9.3.2.1	Vorbereitung der Oberfläche	292
9.3.2.2	Organische Beschichtungen	292
9.3.2.3	Metallische Überzüge	294
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 9	297
10	Kunststoffe	298
10.0	Überblick	298
10.1	Struktur von Kunststoffen	298
10.1.0	Übersicht	299
10.1.1	Entstehung der Makromoleküle	299
10.1.2	Räumliche Anordnung der Makromoleküle	302
10.1.3	Hilfs- und Zusatzstoffe	306

10.2	Eigenschaften und Verarbeitung von Kunststoffen	307
10.2.0	Übersicht	307
10.2.1	Allgemeine Eigenschaften	308
10.2.2	Thermisch mechanische Eigenschaften von Kunststoffen	310
10.2.2.1	Einfluss von Struktur und Temperatur	310
10.2.2.2	Einfluss der Belastungsdauer/-geschwindigkeit	317
10.3	Verarbeitung von Kunststoffen	319
10.4	Ausgewählte Kunststoffe	321
10.4.0	Übersicht	322
10.4.1	Thermoplaste	322
10.4.1.1	Polyethylen PE	322
10.4.1.2	Polypropylen PP	323
10.4.1.3	Polystyrol PS	324
10.4.1.4	Polyvinylchlorid PVC	324
10.4.1.5	Polyethylenterephthalat PET	325
10.4.1.6	Weitere technische Thermoplaste	326
10.4.2	Duroplaste	327
10.4.2.1	Epoxidharz EP	327
10.4.2.2	Ungesättigtes Polyesterharz UP	328
10.4.2.3	Polyurethan (vernetzt) PUR	329
10.4.3	Elastomere	330
10.4.3.1	Naturkautschuk NR	330
10.4.3.2	Styrol-Butadien-Kautschuk SBR	331
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 10	332
11	Verbundwerkstoffe	333
11.0	Überblick	333
11.1	Die Struktur von Verbundwerkstoffen	333
11.1.0	Übersicht	333
11.1.1	Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde	334
11.1.2	Verbundwerkstoffe – ihre Einsatzziele	338
11.2	Teilchen- und faserverstärkte Verbundwerkstoffe	339
11.2.0	Übersicht	339
11.2.1	Teilchenverstärkte Verbundwerkstoffe	340
11.2.2	Faserverstärkte Verbundwerkstoffe	344
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 11	351
12	Werkstoffprüfung	352
12.0	Überblick	352
12.1	Grundlagen der Werkstoffprüfung	352
12.1.0	Übersicht	352
12.1.1	Werkstoffbeanspruchung	353
12.1.2	Werkstoffprüfung – Begriff, Aufgaben und Einteilung der Werkstoffprüfverfahren	355
12.2	Mechanische Werkstoffprüfung	358
12.2.0	Übersicht	358

12.2.1	Zugversuch	358
12.2.1.0	Übersicht	358
12.2.1.1	Prüfprinzip	359
12.2.1.2	Versuchsauswertung, Kenngrößen	362
12.2.1.3	Werkstoffverhalten unter Zugbeanspruchung	369
12.2.2	Härteprüfung	374
12.2.2.0	Übersicht	374
12.2.2.1	Härteprüfung nach Brinell	376
12.2.2.2	Härteprüfung nach Vickers	378
12.2.2.3	Härteprüfung nach Rockwell (HRC)	380
12.2.2.4	Instrumentierte Eindringprüfung – Martenshärte	382
12.2.2.5	Umwerten von Härtewerten	384
12.2.3	Zähigkeitsprüfung	385
12.2.3.0	Übersicht	385
12.2.3.1	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy	387
12.2.4	Bruchmechanische Werkstoffprüfung	392
12.2.4.1	Linear elastische Bruchmechanik LEBM	394
12.2.4.2	Fließbruchmechanik FBM	397
12.2.5	Dauerschwingprüfung	402
12.2.5.0	Übersicht	402
12.2.5.1	Dynamische Beanspruchung und Werkstoffverhalten	403
12.2.5.2	Dauerschwingversuch	405
12.2.5.3	Das Dauerfestigkeitsdiagramm nach Smith	414
12.3	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	418
12.3.0	Übersicht	418
12.3.1	Durchstrahlungsprüfung	419
12.3.2	Ultraschallprüfung	423
12.3.3	Magnetische Prüfverfahren	428
12.3.3.1	Einführung	428
12.3.3.2	Magnetpulverprüfung	429
12.3.3.3	Wirbelstromprüfung	432
12.4	Gefügeanalyse – Materialographie	436
12.4.0	Überblick	436
12.4.1	Makroskopische Untersuchungen	436
12.4.2	Lichtmikroskopie	437
12.4.3	Rasterelektronenmikroskopie	442
12.4.4	Transmissionselektronenmikroskopie	445
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 12	446
	Lösungsteil	448
	Weiterführende Literatur	464
	Auskunfts- und Beratungsstellen	464
	Sachwortverzeichnis	465