

Werkstofftechnik

Werkstoffe – Eigenschaften – Prüfung – Anwendung

von Wolfgang Seidel

3., neubearbeitete Auflage

mit 381 Bildern sowie zahlreichen Tabellen,
Beispielen, Übungen und Testaufgaben



Carl Hanser Verlag München Wien

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	16
1 Struktur und Eigenschaften der Metalle	17
1.0 Überblick	17
1.1 Metallbindung und Gitterstruktur	17
1.1.0 Übersicht	17
1.1.1 Wechselwirkung zwischen Atomen	18
1.1.2 Kristallstruktur der Metalle	23
1.1.2.1 Der kristalline Zustand (Idealkristall)	23
1.1.2.2 Gittertypen	26
1.1.2.3 Realstruktur	30
1.1.2.4 Gitterstruktur und technische Eigenschaften	34
1.2 Kristallisation	37
1.2.0 Übersicht	37
1.2.1 Phasenumwandlungen	38
1.2.2 Thermische Analyse	40
1.2.3 Übergang gasförmig–kristallin	41
1.2.4 Übergang flüssig–kristallin	42
1.3 Elastische und plastische Verformung	47
1.3.0 Übersicht	47
1.3.1 Mechanische Beanspruchung	47
1.3.2 Elastische Verformung	48
1.3.3 Plastische Verformung	49
1.3.4 Technische Formgebung (Kaltumformung)	52
1.4 Thermisch aktivierte Vorgänge	54
1.4.0 Übersicht	54
1.4.1 Gittervorgänge unter Temperatureinfluß	54
1.4.2 Diffusion	55
1.4.3 Erholung und Rekristallisation	58
Lernzielorientierter Test zu Kapitel 1	64
2 Legierungen	66
2.0 Überblick	66
2.1 Aufbau der Legierungen	66
2.1.0 Übersicht	66
2.1.1 Mischkristall	67
2.1.2 Überstruktur	68
2.1.3 Intermetallische Verbindungen	69
2.1.4 Gefügebau der Legierungen	70

2.2	Zustandsdiagramme	71
2.2.0	Übersicht	71
2.2.1	Begriffe, Einstoffsystem	72
2.2.2	Zweistoffsysteme (binäre Systeme)	73
2.2.2.0	Einführung	73
2.2.2.1	Völlige Löslichkeit im festen Zustand	75
2.2.2.2	Unlöslichkeit im festen Zustand	76
2.2.2.3	System mit Mischungslücke	76
2.2.2.4	System mit Peritektikum	78
2.2.3	Das Lesen der Zweistoffdiagramme	79
2.2.3.1	Regeln	79
2.2.3.2	Beispiele	79
2.3	Legierungseigenschaften	82
2.3.0	Übersicht	82
2.3.1	Tendenzen	83
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 2	86
3	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	87
3.0	Überblick	87
3.1	Reines Eisen	87
3.2	Komponente Kohlenstoff	89
3.3	Allgemeines zum System Eisen-Kohlenstoff	90
3.4	System Eisen-Eisencarbid ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$)	91
3.5	Die Gefügearten des Systems Eisen-Eisencarbid	95
3.6	Einteilung der Eisenwerkstoffe	98
3.7	Stabiles System Eisen-Kohlenstoff (Fe-C)	100
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 3	102
4	Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe	104
4.0	Überblick	104
4.1	Grundlagen der Wärmebehandlung	104
4.1.0	Übersicht	105
4.1.1	Erwärmung in das Austenitgebiet (Austenitisierung)	106
4.1.2	Abkühlung aus dem Austenitgebiet	109
4.2	Thermische Verfahren	119
4.2.0	Übersicht	119
4.2.1	Glühen	120
4.2.1.1	Diffusionsglühen	121
4.2.1.2	Grobkornglühen	122
4.2.1.3	Normalglühen	122
4.2.1.4	Weichglühen (sphäroidisierendes Glühen)	124
4.2.1.5	Spannungsarmglühen	125
4.2.1.6	Rekristallisationsglühen	126

4.2.2	Härten	128
4.2.3	Vergüten	131
4.2.4	Randschichthärten ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung	135
4.3	Thermochemische Verfahren	140
4.3.0	Übersicht	140
4.3.1	Einsatzhärten	142
4.3.1.1	Nitrieren	145
4.4	Thermomechanische Verfahren	148
4.4.0	Übersicht	149
4.4.1	Verfahrensgrundlagen	150
4.4.2	Verfahrensvarianten	151
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 4	152
5	Eisengußwerkstoffe	154
5.0	Überblick	154
5.1	Allgemeines zur Gefügeausbildung	156
5.1.0	Übersicht	156
5.1.1	Gefügebau und Eigenschaften	156
5.1.1.1	Grundgefüge	156
5.1.1.2	Graphiteinlagerung	157
5.1.1.3	Wanddickenabhängigkeit der Eigenschaften	159
5.2	Gußeisen mit Lamellengraphit	161
5.2.0	Übersicht	162
5.2.1	Erschmelzung	162
5.2.2	Wärmebehandlung	163
5.2.3	Eigenschaften und Anwendung	163
5.3	Gußeisen mit Kugelgraphit	165
5.3.0	Übersicht	165
5.3.1	Erschmelzung	165
5.3.2	Wärmebehandlung	167
5.3.3	Eigenschaften und Anwendung	167
5.4	Temperguß	168
5.4.0	Übersicht	169
5.4.1	Erschmelzung und Behandlung	169
5.4.2	Eigenschaften und Anwendung	170
5.5	Stahlguß	171
5.5.0	Übersicht	172
5.5.1	Erschmelzung und Behandlung	172
5.5.2	Eigenschaften und Anwendung	173
5.6	Sondergußarten	174
5.7	Erstarrung in der Form	174
5.7.0	Übersicht	174
5.7.1	Stengelkristalle (Säulenkristalle, Transkristallite)	175
5.7.2	Lunker	175
5.7.3	Gasblasen	177

5.7.4	Seigerungen	177
5.7.5	Einschlüsse	178
Lernzielorientierter Test zu Kapitel 5		179
6	Eisenknetwerkstoffe (unlegierte und legierte Stähle)	180
6.0	Überblick	180
6.1	Benennung und Eigenschaften	180
6.1.0	Übersicht	180
6.1.1	Bezeichnung der Stähle	181
6.1.1.1	Einteilung der Stähle nach DIN EN 10 020	181
6.1.1.2	Bildung von Kurznamen nach DIN EN 10 027-1	182
6.1.1.3	Europäisches Werkstoffnummern-System nach DIN EN 10027-2	184
6.1.2	Einfluß verschiedener Elemente im Stahl	185
6.2	Stahlgruppen	188
6.2.0	Übersicht	188
6.2.1	Baustähle	189
6.2.2	Baustähle für Wärmebehandlung	190
6.2.3	Chemisch beständige Stähle	192
6.2.4	Stähle für hohe Temperaturen	193
6.2.5	Stähle für niedrige Temperaturen	194
6.2.6	Arbeitsstähle	195
Lernzielorientierter Test zu Kapitel 6		197
7	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	199
7.0	Überblick	199
7.1	Allgemeines zur Werkstoffbezeichnung	200
7.1.0	Übersicht	200
7.1.1	Herstellung und Verwendung	200
7.1.2	Chemische Zusammensetzung, Komponenten	201
7.1.3	Mechanische Eigenschaften	201
7.1.4	Werkstoff- und Zustandsbezeichnungen nach EN	201
7.2	Aluminium, Aluminiumlegierungen	203
7.2.0	Übersicht	203
7.2.1	Reinaluminium	204
7.2.1.1	Eigenschaften	204
7.2.1.2	Anwendung	205
7.2.2	Aluminiumlegierungen	205
7.2.2.1	Einteilung, Eigenschaften	205
7.2.2.2	Wirkung der Legierungselemente	206
7.2.2.3	Aushärten	208
7.2.3	Legierungstyp, technische Anwendung	211
7.3	Kupfer, Kupferlegierungen	215
7.3.0	Übersicht	215
7.3.1	Reinkupfer	215

7.3.2	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	217
7.3.3	Kupfer-Zinn-Legierungen	220
7.4	Blei, Zinn, Antimon und deren Legierungen	221
7.4.0	Übersicht	221
7.4.1	Blei	222
7.4.2	Zinn	223
7.4.3	Antimon	223
7.4.4	Blei-Antimon-Zinn-Legierungen (Weißmetalle)	223
7.5	Titan, Titanlegierungen	225
7.5.0	Übersicht	226
7.5.1	Reintitan	226
7.5.2	Titanlegierungen	227
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 7	227
8	Sinterwerkstoffe	229
8.0	Überblick	229
8.1	Grundlagen der Sintertechnik	229
8.1.0	Übersicht	230
8.1.1	Pulverherstellung	230
8.1.2	Formgebung	230
8.1.3	Sintern	231
8.1.4	Nachbehandlung	233
8.2	Eigenschaften, Anwendungsgebiete	233
8.2.0	Übersicht	234
8.2.1	Sintermetalle	234
8.2.2	Gesinterte Carbidhartmetalle (Hartmetalle)	235
8.2.3	Oxid- und Mischkeramik	235
8.2.4	Nichtoxidkeramik	237
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 8	238
9	Korrosion und Korrosionsschutz	239
9.0	Überblick	239
9.1	Grundlagen	239
9.1.0	Übersicht	239
9.1.1	Ursachen und Wesen der Korrosion	240
9.2	Reaktionsarten	241
9.2.0	Übersicht	242
9.2.1	Chemische Korrosion	242
9.2.2	Elektrochemische Korrosion	243
9.3	Erscheinungsformen der Korrosion	246
9.3.0	Übersicht	246
9.3.1	Gleichmäßiger Abtrag (ebenmäßiger Angriff)	247
9.3.2	Ungleichmäßiger Abtrag	247
9.3.2.1	Spaltkorrosion	247
9.3.2.2	Kontaktkorrosion	247

9.3.2.3	Selektive Korrosion	248
9.3.2.4	Lochfraßkorrosion	248
9.3.2.5	Interkristalline Korrosion	248
9.3.3	Korrosion und mechanische Beanspruchung	248
9.3.3.1	Spannungsrißkorrosion	248
9.3.3.2	Schwingungsrißkorrosion	249
9.4	Korrosionsschutz	250
9.4.0	Übersicht	250
9.4.1	Aktiver Korrosionsschutz	250
9.4.1.1	Werkstoff und Konstruktion	250
9.4.1.2	Temperatur	252
9.4.1.3	Katodischer und anodischer Schutz	252
9.4.1.4	Beeinflussung des Korrosionsmediums	253
9.4.2	Passiver Korrosionsschutz	254
9.4.2.1	Vorbereitung der Oberfläche	254
9.4.2.2	Beschichtungsstoffe und -verfahren	254
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 9	260
10	Schmierstoffe	261
10.0	Überblick	261
10.1	Flüssige Schmierstoffe	261
10.1.0	Übersicht	261
10.1.1	Zusammensetzung und Eigenschaften	262
10.1.2	Schmierölarnten	265
10.1.3	Kühlschmierstoffe	267
10.2	Schmierfette	269
10.2.0	Übersicht	269
10.2.1	Zusammensetzung und Eigenschaften	269
10.2.2	Schmierfettarten	271
10.3	Festschmierstoffe	273
10.3.0	Übersicht	273
10.3.1	Festschmierstoffarten	274
10.3.2	Festschmierstoffe mit Schichtgitterstruktur	274
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 10	275
11	Kunststoffe	277
11.0	Überblick	277
11.1	Struktur und Eigenschaften	278
11.1.0	Übersicht	278
11.1.1	Allgemeine Eigenschaften	278
11.1.2	Entstehung der Makromoleküle	282
11.1.3	Bau der Makromoleküle	283
11.1.4	Vernetzte Strukturen	285
11.1.5	Orientierung und Kristallisation	286
11.1.6	Unterschiede im Verhalten der Kunststoffe	287

11.2	Kunststoffarten (Auswahl)	289
11.2.0	Übersicht	290
11.2.1	Thermoplaste	290
11.2.1.1	Polyethylen PE	290
11.2.1.2	Polyvinylchlorid PVC	291
11.2.1.3	Polystyren PS	291
11.2.1.4	Polypropylen PP	292
11.2.1.5	Polyamide PA	292
11.2.2	Duroplaste (Duromere)	293
11.2.2.1	Phenol-Formaldehyd PF (Phenolharze)	293
11.2.2.2	Epoxidharze EP	294
11.2.2.3	Harnstoff- und Melaminharze UF/MF	295
11.2.2.4	Ungesättigte Polyester UP	295
11.2.2.5	Polyurethan (vernetzt) PUR	296
11.3	Veredlung von Kunststoffen	297
11.3.0	Übersicht	297
11.3.1	Möglichkeiten	298
11.3.1.1	Veredlung im Syntheseprozess	298
11.3.1.2	Veredlung vor oder während des Verarbeitungsprozesses	298
11.3.1.3	Veredlung nach dem Verarbeitungsprozess	299
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 11	300
12	Werkstoffkennwerte, Werkstofffehler, Prüfverfahren, Werkstoff- auswahl	301
12.0	Überblick	301
12.1	Grundlagen der Werkstoffprüftechnik	301
12.1.0	Übersicht	301
12.1.1	Begriff Werkstoffprüfung, Aufgaben	302
12.1.2	Eigenschaften und ihre Ermittlung, Verfahren	304
12.1.3	Probenahme, Versuchsauswertung	306
12.2	Zugversuch	307
12.2.0	Übersicht	307
12.2.1	Prüfprinzip	308
12.2.2	Versuchsauswertung, Kenngrößen	310
12.2.3	Werkstoffbeurteilung	313
12.3	Härteprüfungen	316
12.3.0	Übersicht	316
12.3.1	Härteprüfung nach Brinell	317
12.3.2	Härteprüfung nach Vickers	318
12.3.3	Härteprüfung nach Rockwell	320
12.3.4	Dynamisches Härteprüfverfahren	321
12.4	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy	322
12.4.0	Übersicht	322
12.4.1	Prüfprinzip	322
12.4.2	Einfluß der Temperatur	324

12.5	Dauerschwingprüfung	325
12.5.0	Übersicht	325
12.5.1	Dynamische Beanspruchung und Werkstoffverhalten	326
12.5.2	Dauerschwingversuch	328
12.5.2.1	Prüfprinzip	328
12.5.2.2	Auswertung des Wöhlerversuches	331
12.5.2.3	Das Dauerfestigkeitsdiagramm nach Smith	332
12.6	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	335
12.6.0	Übersicht	335
12.6.1	Radiographische Verfahren (Durchstrahlungsprüfungen)	336
12.6.1.1	Grundlagen	336
12.6.1.2	Anwendung	338
12.6.2	Ultraschallverfahren	340
12.6.2.1	Grundlagen	340
12.6.2.2	Anwendung	342
12.6.3	Magnetpulververfahren	345
12.6.3.1	Grundlagen	345
12.6.3.2	Magnetisierungsmethoden	346
12.6.4	Magnetinduktive Verfahren	348
12.6.4.1	Grundlagen	348
12.6.4.2	Tastpulververfahren	349
12.6.4.3	Gabelspulverfahren	349
12.6.4.4	Durchlaufspulverfahren	350
12.6.4.5	Meßschaltungen	350
12.7	Materialographie	351
12.7.0	Übersicht	351
12.8	Elektronenmikroskopie	356
12.9	Werkstoffauswahl	357
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 12	357
	Lösungsteil	359
	Bildquellen	373
	Weiterführende Literatur	373
	Auskunfts- und Beratungsstellen	373
	Sachwortverzeichnis	374