

# Werkstofftechnik

## Werkstoffe - Eigenschaften Prüfung - Anwendung

von Wolfgang Seidel

6., neu bearbeitete Auflage

} mit 417 Bildern sowie zahlreichen Tabellen,  
/ Beispielen, Übungen und Testaufgaben

HANSER

# Inhaltsverzeichnis

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	16
<b>1 Struktur und Eigenschaften der Metalle</b>	<b>19</b>
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 gasförmig-kristallin	43
1.2.4 Übergang flüssig-kristallin	44
1.3 Elastische und plastische Verformung	49
1.3.0 Übersicht	49
1.3.1 Mechanische Beanspruchung	49
1.3.2 Elastische Verformung	50
1.3.3 Plastische Verformung	51
1.3.4 Technische Formgebung (Kaltumformung)	54
1.4 Thermisch aktivierte Vorgänge	56
1.4.0 Übersicht	56
1.4.1 Gittervorgänge unter Temperatureinfluss	56
1.4.2 Diffusion	57
1.4.3 Erholung und Rekristallisation	60
Lernzielorientierter Test zu Kapitel 1	66
<b>2 Legierungen</b>	<b>68</b>
2.0 Überblick	68
2.1 Aufbau der Legierungen	68
2.1.0 Übersicht	68
2.1.1 Mischkristall	69
2.1.2 Überstruktur	70
2.1.3 Intermetallische Verbindungen	71
2.1.4 Gefügebau der Legierungen	72
2.2 Zustandsdiagramme	73
2.2.0 Übersicht	73

2.2.1	Begriffe, Einstoffsystem	74
2.2.2	Zweistoffsysteme (binäre Systeme)	75
2.2.2.0	Einführung	75
2.2.2.1	Völlige Löslichkeit im festen Zustand	77
2.2.2.2	Unlöslichkeit im festen Zustand	78
2.2.2.3	System mit Mischungslücke	78
2.2.2.4	System mit Peritektikum	80
2.2.3	Das Lesen der Zweistoffdiagramme	81
2.2.3.1	Regeln	81
2.2.3.2	Beispiele	81
i 2.3	Legierungseigenschaften	84
2.3.0	Übersicht	84
2.3.1	Tendenzen	85
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 2	88
<b>3</b>	<b>Eisen-Kohlenstoff-Legierungen</b>	<b>89</b>
3.0	Überblick	89
3.1	Reines Eisen	89
3.2	Komponente Kohlenstoff	91
3.3	Allgemeines zum System Eisen-Kohlenstoff	92
3.4	System Eisen-Eisencarbid (Fe-Fe <sub>3</sub> C)	93
3.5	Die Gefügearten des Systems Eisen-Eisencarbid	97
3.6	Einteilung der Eisenwerkstoffe	100
3.7	Stabiles System Eisen-Kohlenstoff (Fe-C)	102
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 3	104
<b>4</b>	<b>Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe</b>	<b>106</b>
4.0	Überblick	106
4.1	Grundlagen der Wärmebehandlung	106
4.1.0	Übersicht	107
4.1.1	Erwärmung in das Austenitgebiet (Austenitisierung)	108
4.1.2	Abkühlung aus dem Austenitgebiet	111
4.2	Thermische Verfahren	121
4.2.0	Übersicht	121
4.2.1	Glühen	122
4.2.1.1	Diffusionsglühen	123
4.2.1.2	Grobkornglühen	124
4.2.1.3	Normalglühen	124
4.2.1.4	Weichglühen (sphäroidisierendes Glühen)	126
4.2.1.5	Spannungsarmglühen	127
4.2.1.6	Rekristallisationsglühen	128
4.2.2	Härten	130
4.2.3	Vergüten	133
4.2.4	Randschichthärten ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung	137

4.3	Thermochemische Verfahren . . . . .	142
4.3.0	Übersicht . . . . .	142
4.3.1	Einsatzhärten . . . . .	144
4.3.2	Nitrieren . . . . .	147
4.4	Thermomechanische Verfahren . . . . .	150
4.4.0	Übersicht . . . . .	151
4.4.1	Verfahrensgrundlagen . . . . .	152
4.4.2	Verfahrensvarianten . . . . .	153
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 4 . . . . .	154
<b>5</b>	<b>Eisengusswerkstoffe . . . . .</b>	<b>156</b>
5.0	Überblick . . . . .	156
5.1	Allgemeines zur Gefügeausbildung . . . . .	158
5.1.0	Übersicht . . . . .	158
5.1.1	Gefügebau und Eigenschaften . . . . .	158
5.1.1.1	Grundgefüge . . . . .	158
5.1.1.2	Graphiteinlagerung . . . . .	159
5.1.1.3	Wanddickenabhängigkeit der Eigenschaften . . . . .	161
5.2	Gusseisen mit Lamellengraphit . . . . .	163
5.2.0	Übersicht . . . . .	164
5.2.1	Erschmelzung . . . . .	164
5.2.2	Wärmebehandlung . . . . .	165
5.2.3	Eigenschaften und Anwendung . . . . .	165
5.3	Gusseisen mit Kugelgraphit . . . . .	167
5.3.0	Übersicht . . . . .	167
5.3.1	Erschmelzung . . . . .	167
5.3.2	Wärmebehandlung . . . . .	169
5.3.3	Eigenschaften und Anwendung . . . . .	169
5.4	Temperguss . . . . .	170
5.4.0	Übersicht . . . . .	171
5.4.1	Erschmelzung und Behandlung . . . . .	171
5.4.2	Eigenschaften und Anwendung . . . . .	172
5.5	Stahlguss . . . . .	173
5.5.0	Übersicht . . . . .	174
5.5.1	Erschmelzung und Behandlung . . . . .	174
5.5.2	Eigenschaften und Anwendung . . . . .	175
5.6	Sondergussarten . . . . .	
5.7	Erstarrung in der Form . . . . .	
5.7.0	Übersicht . . . . .	17*
5.7.1	Stängelkristalle (Säulenkristalle, Transkristallite) . . . . .	171
5.7.2	Lunker . . . . .	171
5.7.3	Gasblasen . . . . .	17«
5.7.4	Seigerungen . . . . .	175
5.7.5	Einschlüsse . . . . .	18(
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 5 . . . . .	181



<b>6</b>	<b>Eisenwerkstoffe (unlegierte und legierte Stähle)</b>	182
6.0	Überblick	182
6.1	Benennung und Eigenschaften	182
6.1.0	Übersicht	182
6.1.1	Bezeichnung der Stähle	183
6.1.1.1	Einteilung der Stähle nach DIN EN 10020	183
6.1.1.2	Bildung von Kurznamen nach DIN EN 10027-1	184
6.1.1.3	Europäisches Werkstoffnummern-System nach DIN EN 10027-2	186
6.1.2	Einfluss verschiedener Elemente im Stahl	187
6.2	Stahlgruppen	190
6.2.0	Übersicht	190
6.2.1	Baustähle	191
6.2.2	Baustähle für Wärmebehandlung	192
6.2.3	Chemisch beständige Stähle	194
6.2.4	Wannfeste Stähle	195
6.2.5	Stähle für niedrige Temperaturen	196
6.2.6	Arbeitsstähle	197
P	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 6	199
	<b>Nichteisenmetalle (NE-Metalle)</b>	201
p.O	Überblick	201
	Allgemeines zur Werkstoffbezeichnung	202
7.1.0	Übersicht	202
7.1.1	Herstellung und Verwendung	202
7.1.2	Chemische Zusammensetzung, Komponenten	203
7.1.3	Mechanische Eigenschaften	203
7.1.4	Werkstoff- und Zustandsbezeichnungen nach EN	203
.2	Aluminium, Aluminiumlegierungen	205
7.2.0	Übersicht	205
7.2.1	Reinaluminium	206
7.2.1.1	Eigenschaften	206
7.2.1.2	Anwendung	207
7.2.2	Aluminiumlegierungen	207
7.2.2.1	Einteilung, Eigenschaften	207
7.2.2.2	Wirkung der Legierungselemente	208
7.2.2.3	Aushärten	210
7.2.3	Legierungstyp, technische Anwendung	213
f,3	Kupfer, Kupferlegierungen	217
7.3.0	Übersicht	217
7.3.1	Reinkupfer	217
7.3.2	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	219
7.3.3	Kupfer-Zinn-Legierungen	222
f .4	Blei, Zinn, Antimon und deren Legierungen	223
7.4.0	Übersicht	223
7.4.1	Blei	224
7.4.2	Zinn	225

7.4.3	Antimon	225
7.4.4	Blei-Antimon-Zinn-Legierungen (Weißmetalle)	225
7.5	Titan, Titanlegierungen	227
7.5.0	Übersicht	228
7.5.1	Reintitan	228
7.5.2	Titanlegierungen	229
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 7	229
8	Sinterwerkstoffe	231
8.0	Überblick	231
8.1	Grundlagen der Sintertechnik	231
8.1.0	Übersicht	232
8.1.1	Pulverherstellung	232
8.1.2	Formgebung	232
8.1.3	Sintern	233
8.1.4	Nachbehandlung	235
8.2	Eigenschaften, Anwendungsgebiete	235
8.2.0	Übersicht	236
8.2.1	Sintermetalle	236
8.2.2	Gesinterte Carbidhartmetalle (Hartmetalle)	237
8.2.3	Oxid- und Mischkeramik	237
8.2.4	Nichtoxidkeramik	239
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 8	240
9	Korrosion und Korrosionsschutz	241
9.0	Überblick	241
9.1	Grundlagen	241
9.1.0	Übersicht	241
9.1.1	Ursachen der Korrosion	242
9.1.2	Chemische Korrosion	242
9.1.3	Elektrochemische Korrosion	243
9.1.4	Passivierung	245
9.2	Korrosionsarten	246
9.2.0	Übersicht	246
9.2.1	Korrosionsarten ohne mechanische Beanspruchung	246
9.2.1.1	Gleichmäßige und ungleichmäßige Flächenkorrosion	247
9.2.1.2	Lochkorrosion	241
9.2.1.3	Spaltkorrosion	24j
9.2.1.4	Bimetallkorrosion (Kontaktkorrosion)	24?
9.2.2	Korrosionsarten mit mechanischer Beanspruchung	249
9.2.2.1	Spannungskorrosion/Spannungsrisskorrosion	245
9.2.2.2	Schwingungsrisskorrosion	24?
9.2.2.3	Erosions- und Kavitationskorrosion	25(
9.3	Korrosionsschutz	251
9.3.0	Übersicht	25j

9.3.1	Aktiver Korrosionsschutz	252
9.3.1.1	Werkstoffauswahl	252
9.3.1.2	Korrosionsschutzgerechtes Konstruieren	253
9.3.1.3	Katodischer Korrosionsschutz	253
9.3.1.4	Beeinflussung des Korrosionsmediums	254
9.3.2	Passiver Korrosionsschutz	255
9.3.2.1	Vorbereitung der Oberfläche	255
9.3.2.2	Organische Beschichtungen	255
9.3.2.3	Metallische Überzüge	257
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 9	260
<b>10</b>	<b>Schmierstoffe</b>	<b>261</b>
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
	<b>Kunststoffe</b>	<b>277</b>
(X)	Überblick	277
t.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	Werkstoffprüfung . . . . .	301
12.0	Überblick . . . . .	301
12.1	Grundlagen der Werkstoffprüfung . . . . .	301
12.1.0	Übersicht . . . . .	301,
12.1.1	Werkstoffbeanspruchung . . . . .	302f
12.1.2	Werkstoffprüfung - Begriff, Aufgaben und Einteilung der Werkstoffprüf- verfahren. . . . .	304
12.2	Mechanische Werkstoffprüfung . . . . .	307
12.2.0	Übersicht . . . . .	307
12.2.1	Zugversuch. . . . .	307
12.2.1.0	Übersicht . . . . .	307
12.2.1.1	Prüfprinzip. . . . .	308,
12.2.1.2	Versuchsauswertung, Kenngrößen. . . . .	310
12.2.1.3	Werkstoffverhalten unter Zugbeanspruchung. . . . .	316
12.2.2	Härteprüfung . . . . .	321
12.2.2.0	Übersicht . . . . .	321
12.2.2.1	Härteprüfung nach Brinell. . . . .	323
12.2.2.2	Härteprüfung nach Vickers. . . . .	325
12.2.2.3	Härteprüfung nach Rockwell (HRC). . . . .	327
12.2.2.4	Instrumentierte Eindringprüfung - Martenshärte. . . . .	329
12.2.2.5	Umwerten von Härtewerten. . . . .	33t
12.2.3	Zähigkeitsprüfung. . . . .	33 l
12.2.3.0	Übersicht . . . . .	33 l
12.2.3.1	Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy. . . . .	334l
12.2.4	Bruchmechanische Werkstoffprüfung . . . . .	33 l
12.2.4.1	Linear elastische Bruchmechanik LEBM. . . . .	34<
12.2.4.2	Fließbruchmechanik FBM. . . . .	34:
12.2.5	Dauerschwingprüfung. . . . .	34S
12.2.5.0	Übersicht . . . . .	34l
12.2.5.1	Dynamische Beanspruchung und Werkstoffverhalten. . . . .	34!
12.2.5.2	Dauerschwingversuch. . . . .	35l
12.2.5.3	Das Dauerfestigkeitsdiagramm nach Smith. . . . .	35'



12.3	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung . . . . .	357
12.3.0	Übersicht . . . . .	357
12.3.1	Durchstrahlungsprüfung . . . . .	358
12.3.2	Ultraschallprüfung . . . . .	362
12.3.3	Magnetische Prüfverfahren . . . . .	367
12.3.3.1	Einführung . . . . .	367
12.3.3.2	Magnetpulverprüfung . . . . .	368
12.3.3.3	Wirbelstromprüfung . . . . .	371
12.4	Gefügeanalyse - Materialographie . . . . .	375
12.4.0	Überblick . . . . .	375
12.4.1	Makroskopische Untersuchungen . . . . .	375
12.4.2	Lichtmikroskopie . . . . .	376
12.4.3	Rasterelektronenmikroskopie . . . . .	381
12.4.4	Transmissionselektronenmikroskopie . . . . .	384
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 12 . . . . .	385
	Lösungsteil . . . . .	387
	Bildquellen . . . . .	401
	Weiterführende Literatur . . . . .	401
	Werkstoffauswahl . . . . .	402
	Auskunfts- und Beratungsstellen . . . . .	403
	Sachwortverzeichnis . . . . .	404