

# Werkstofftechnik

## Werkstoffe — Eigenschaften Prüfung — Anwendung

von Fachschuldozent Dipl.-Ing. Wolfgang Seidel

mit 378 Bildern sowie zahlreichen Tabellen,  
Beispielen, Übungen und Testaufgaben



Carl Hanser Verlag München Wien

# Inhalt

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	15
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	29
1.1.2.4 Gitterstruktur und technische Eigenschaften	33
1.2 Kristallisation	36
* > 1.2.0 Übersicht	36
1.2.1 Phasenumwandlungen	37
1.2.2 Thermische Analyse	39
1.2.3 Übergang gasförmig - kristallin	40
1.2.4 Übergang flüssig - kristallin	41
1.3 Elastische und plastische Deformation (Formänderung)	46
1.3.0 Übersicht	46
1.3.1 Mechanische Beanspruchung	46
1.3.2 Elastische Formänderung	47
1.3.3 Plastische Formänderung	48
1.3.4 Technische Formgebung (Kaltumformung)	51
1.4 Thermisch aktivierte Vorgänge	53
1.4.0 Übersicht	53
1.4.1 Gittervorgänge unter Temperatureinfluß	53
1.4.2 Diffusion	54
1.4.3 Erholung und Rekristallisation	57
Lernzielorientierter Test zu Kapitel 1	63
2 Legierungen	65
2.0 Überblick	65
2.1 Struktur der Legierungen	65
2.1.0 Übersicht	65
2.1.1 Mischkristall	66
2.1.2 Überstruktur	67
2.1.3 Intermetallische Verbindungen	68
2.1.4 Gefügebau der Legierungen	69
2.2 Zustandsdiagramme	70
2.2.0 Übersicht	70
2.2.1 Begriffe, Einstoffsystem	71
2.2.2 Zweistoffsysteme (binäre Systeme)	72
2.2.2.0 Einführung	72

2.2.2.1	Völlige Löslichkeit im festen Zustand	74
2.2.2.2	Unlöslichkeit im festen Zustand	75
2.2.2.3	System mit Mischungslücke	75
2.2.2.4	System mit Peritektikum	77
2.2.3	Das Lesen der Zweistoffdiagramme	78
2.2.3.1	Regeln	78
2.2.3.2	Beispiele	78
2.3	Legierungseigenschaften	81
2.3.0	Übersicht	81
2.3.1	Tendenzen	82
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 2	85
3	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	86
3.0	Überblick	86
3.1	Reines Eisen	86
3.2	Komponente Kohlenstoff	88
3.3	Allgemeines zum System Eisen-Kohlenstoff	89
3.4	System Eisen-Eisencarbid (Fe-Fe <sub>3</sub> C)	90
3.5	Die Gefügearten des Systems Eisen-Eisencarbid	94
3.6	Werkstoffe des metastabilen Systems	97
3.7	Stabiles System Eisen-Kohlenstoff (Fe-C)	99
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 3	101
4	Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe	102
4.0	Überblick	102
4.1	Grundlagen der Wärmebehandlung	102
4.1.0	Übersicht	103
4.1.1	Erwärmung in das Austenitgebiet (Austenitisierung)	104
4.1.2	Abkühlung aus dem Austenitgebiet (Austenitzerfall)	107
4.2	Thermische Verfahren	117
4.2.0	Übersicht	117
4.2.1	Glühen	118
4.2.1.1	Diffusionsglühen	119
4.2.1.2	Grobkornglühen	120
4.2.1.3	Normalglühen	120
4.2.1.4	Weichglühen (sphäroidisierendes Glühen)	122
4.2.1.5	Spannungsarmglühen (Spannungsfreiglühen)	123
4.2.1.6	Rekristallisationsglühen	124
4.2.2	Härten	126
4.2.3	Vergüten	129
4.2.4	Oberflächenhärten (direkt)	133
4.3	Thermochemische Verfahren	138
4.3.0	Übersicht	138
4.3.1	Einsatzhärten	140
4.3.2	Nitrieren	143
4.4	Thermomechanische Verfahren	146
4.4.0	Übersicht	147
4.4.1	Verfahrensgrundlagen	148
4.4.2	Verfahrensvarianten	149
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 4	150

5	Eisengußwerkstoffe	152
5.0	Überblick	152
5.1	Allgemeines zur Gefügeausbildung	154
5.1.0	Übersicht	154
5.1.1	Gefügestruktur und Eigenschaften	154
5.1.1.1	Grundgefüge	154
5.1.1.2	Graphiteinlagerung	155
5.1.1.3	Wanddickenabhängigkeit der Eigenschaften	157
5.2	Gußeisen mit Lamellengraphit	159
5.2.0	Übersicht	160
5.2.1	Erschmelzung	160
5.2.2	Wärmebehandlung	161
5.2.3	Eigenschaften und Anwendung	161
5.3	Gußeisen mit Kugelgraphit	163
5.3.0	Übersicht	163
5.3.1	Erschmelzung	163
5.3.2	Wärmebehandlung	165
f , 5.3.3	Eigenschaften und Anwendung	165
5.4	Temperguß	166
5.4.0	Übersicht	167
5.4.1	Erschmelzung und Behandlung	167
5.4.2	Eigenschaften und Anwendung	168
5.5	Stahlguß	169
5.5.0	Übersicht	170
5.5.1	Erschmelzung und Behandlung	170
5.5.2	Eigenschaften und Anwendung	171
5.6	Sondergußarten	172
5.7	Erstarrung in der Form	172
5.7.0	Übersicht	172
5.7.1	Stengelkristalle (Säulenkristalle, Transkristallite)	173
5.7.2	Lunker	173
5.7.3	Gasblasen	175
5.7.4	Seigerungen	175
5.7.5	Einschlüsse	176
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 5	177
6	Eisenknetwerkstoffe (unlegierte und legierte Stähle)	178
6.0	Überblick	178
6.1	Benennung und Eigenschaften	178
6.1.0	Übersicht	178
6.1.1	Bezeichnung der Stähle	179
6.1.1.1	Einteilung der Stähle	179
6.1.1.2	Aufbau der Werkstoff-Kurzbezeichnung	179
6.1.1.3	Aufbau der Werkstoffnummern	181
6.1.2	Einfluß verschiedener Elemente im Stahl	182
6.2	Stahlgruppen	185
6.2.0	Übersicht	185
6.2.1	Baustähle	186
6.2.2	Baustähle für Wärmebehandlung	187

6.2.3	Chemisch beständige Stähle	189
6.2.4	Stähle für hohe Temperaturen	190
6.2.5	Stähle für niedrige Temperaturen	191
6.2.6	Arbeitsstähle	192
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 6	194
7	Nichteisenmetalle (NE-Metalle)	196
7.0	Überblick	196
7.1	Allgemeines zur Werkstoffbezeichnung nach DIN 1700	197
7.1.0	Übersicht	197
7.1.1	Herstellung und Verwendung	197
7.1.2	Chemische Zusammensetzung, Komponenten	198
7.1.3	Mechanische Eigenschaften	198
7.1.4	Beispiele für Werkstoff-Kurzbezeichnungen	199
7.2	Aluminium, Aluminiumlegierungen	200
7.2.0	Übersicht	200
7.2.1	Reinaluminium DIN 1790	201
7.2.1.1	Eigenschaften	201
7.2.1.2	Anwendung	202
7.2.2	Aluminiumlegierungen	202
7.2.2.1	Einteilung, Eigenschaften	202
7.2.2.2	Wirkung der Legierungselemente	203
7.2.2.3	Aushärten	205
7.2.2.4	Legierungstyp, technische Anwendung	208
7.3	Kupfer, Kupferlegierungen	212
7.3.0	Übersicht	212
7.3.1	Reinkupfer DIN 40 500, DIN 1787	212
7.3.2	Kupfer-Zink-Legierungen (Messing)	214
7.3.3	Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronzen)	217
7.4	Blei, Zinn, Antimon und deren Legierungen	218
7.4.0	Übersicht	218
7.4.1	Blei	219
7.4.2	Zinn	220
7.4.3	Antimon	220
7.4.4	Blei-Antimon-Zinn-Legierungen (Weißmetalle)	220
7.5	Titan, Titanlegierungen	222
7.5.0	Übersicht	223
7.5.1	Reintitan	223
7.5.2	Titanlegierungen	224
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 7	224
8	Sinterwerkstoffe	226
8.0	Überblick	226
8.1	Grundlagen der Sintertechnik	226
8.1.0	Übersicht	227
8.1.1	Pulverherstellung	227
8.1.2	Formgebung	227
8.1.3	Sintern	228
8.1.4	Nachbehandlung	230

8.2	Eigenschaften, Anwendungsgebiete	230
8.2.0	Übersicht	231
8.2.1	Sintermetalle	231
8.2.2	Gesinterte Carbidhartmetalle (Hartmetalle)	232
8.2.3	Aluminiumoxid-Werkstoffe	233
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 8	234
9	Korrosion und Korrosionsschutz	235
9.0	Überblick	235
9.1	Grundlagen	235
9.1.0	Übersicht	235
9.1.1	Ursachen und Wesen der Korrosion	236
9.2	Reaktionsarten	237
9.2.0	Übersicht	238
9.2.1	Chemische Korrosion	238
9.2.2	Elektrochemische Korrosion	239
9.3	Erscheinungsformen der Korrosion	242
9.3.0	Übersicht	242
9.3.1	Gleichmäßiger Abtrag (ebenmäßiger Angriff)	243
9.3.2	Ungleichmäßiger Abtrag	243
9.3.2.1	Spaltkorrosion	243
9.3.2.2	Kontaktkorrosion	243
9.3.2.3	Selektive Korrosion	244
9.3.2.4	Lochfraßkorrosion	244
9.3.2.5	Interkristalline Korrosion	244
9.3.3	Korrosion und mechanische Beanspruchung	244
9.3.3.1	Spannungsrißkorrosion	244
9.3.3.2	Schwingungsrißkorrosion	245
9.4	Korrosionsschutz	246
9.4.0	Übersicht	246
9.4.1	Aktiver Korrosionsschutz	246
9.4.1.1	Werkstoff und Konstruktion	246
9.4.1.2	Temperatur	248
9.4.1.3	Katodischer und anodischer Schutz	248
9.4.1.4	Beeinflussung des Korrosionsmediums	249
9.4.2	Passiver Korrosionsschutz	250
9.4.2.1	Vorbereitung der Oberfläche	250
9.4.2.2	Beschichtungsstoffe und -verfahren	250
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 9	256
10	Schmierstoffe	257
10.0	Überblick	257
10.1	Flüssige Schmierstoffe	257
10.1.0	Übersicht	257
10.1.1	Zusammensetzung und Eigenschaften	258
10.1.2	Schmierölarnten	261
10.1.3	Kühlschmierstoffe	262
10.2	Schmierfette	264
10.2.0	Übersicht	264

10.2.1	Zusammensetzung und Eigenschaften	264
10.2.2	Schmierfettarten	266
10.3	Festschmierstoffe	268
10.3.0	Übersicht	268
10.3.1	Festschmierstoffarten	269
10.3.2	Festschmierstoffe mit Schichtgitterstruktur	269
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 10	270
11	Kunststoffe	271
11.0	Überblick	271
11.1	Struktur und Eigenschaften	272
11.1.0	Übersicht	272
11.1.1	Allgemeine Eigenschaften	272
11.1.2	Entstehung der Makromoleküle	276
11.1.3	Bau der Makromoleküle	277
11.1.4	Vernetzte Strukturen	279
11.1.5	Orientierung und Kristallisation	280
11.1.6	Unterschiede im Verhalten der Kunststoffe	281
11.2	Kunststoffarten (Auswahl)	283
11.2.0	Übersicht	284
11.2.1	Thermoplaste	284
11.2.1.1	Polyethylen PE	284
11.2.1.2	Polyvinylchlorid PVC	285
11.2.1.3	Polystyren PS	285
11.2.1.4	Polypropylen PP	286
11.2.1.5	Polyamide PA	286
11.2.2	Duroplaste (Duromere)	287
11.2.2.1	Phenol-Formaldehyd PF	287
11.2.2.2	Epoxidharze EP	288
11.2.2.3	Harnstoff- und Melaminharze UF/MF	288
11.2.2.4	Ungesättigte Polyester UP	289
11.2.2.5	Polyurethan (vernetzt) PUR	289
11.3	Veredlung von Kunststoffen	290
11.3.0	Übersicht	290
11.3.1	Möglichkeiten	291
11.3.1.1	Veredlung im Syntheseprozess	291
11.3.1.2	Veredlung vor oder während des Verarbeitungsprozesses	291
11.3.1.3	Veredlung nach dem Verarbeitungsprozess	292
	Lernzielorientierter Test zu Kapitel 11	293
12	Werkstoffkennwerte, Werkstofffehler, Prüfverfahren (Werkstoffprüftechnik)	294
12.0	Überblick	294
12.1	Grundlagen der Werkstoffprüftechnik	294
12.1.0	Übersicht	294
12.1.1	Begriff Werkstoffprüfung, Aufgaben	295
12.1.2	Eigenschaften und ihre Ermittlung, Verfahren	297
12.1.3	Probenahme, Versuchsauswertung	299
12.2	Zugversuch DIN 50145	300
12.2.0	Übersicht	300

