
Werkstofftechnik – Metalle

von

Jürgen Gobrecht

Mit einem Kapitel zur Produktentwicklung

von Erhard Rumpler

2., überarbeitete Auflage

Oldenbourg Verlag München Wien

Inhalt

Vorwort	V
1 Werkstoffe und Hilfsstoffe	1
2 Struktur und Eigenschaften der Metalle	3
2.1 Atomarer Aufbau, Kristallsysteme, Gitterfehler	3
2.1.1 Das Atom	3
2.1.2 Die atomaren Bindungsarten	4
2.1.3 Kristallsysteme	8
2.1.4 Polymorphie	16
2.1.5 Reale Kristalle und Gitterfehler	17
2.1.6 Korngrenzen und Korngefüge	20
2.2 Verformung, Festigkeit und Bruch	25
2.2.1 Die elastische Verformung	25
2.2.2 Die plastische Verformung	27
2.2.3 Festigkeit und Festigkeitslehre	31
2.2.4 Das Bruchverhalten	39
2.2.5 Das Werkstoffverhalten bei tieferen und höheren Temperaturen	43
2.3 Strukturänderungen im festen Zustand	45
2.3.1 Erholung und Rekristallisation	45
2.3.2 Die Diffusion	48
2.4 Physikalische Eigenschaften	54
2.4.1 Elastische Eigenschaften	54
2.4.2 Elektrische Eigenschaften	62
2.4.3 Thermische Eigenschaften	63
2.4.4 Magnetische Eigenschaften	66
3 Die Kristallisation der Schmelze	69
3.1 Die Schmelze	69
3.2 Die Erstarrung	70
3.3 Abkühlung auf Raumtemperatur; Phasenumwandlungen	73
4 Die Phasenzustände metallischer Legierungen (Zustandsdiagramme) ...	75
4.1 Reine Metalle und Legierungen	75
4.2 Abkühlungskurven	76
4.3 Die Zustandsdiagramme	78
4.3.1 System mit Unlöslichkeit im festen Zustand	80

4.3.2	System mit völliger Löslichkeit im festen Zustand	82
4.3.3	System mit teilweiser Löslichkeit im festen Zustand	83
4.3.4	System mit intermetallischen Phasen und Verbindungen	87
4.3.5	Zustandsdiagramme von Dreistofflegierungen	88
4.4	Eisen-Kohlenstoff-Legierungen	89
4.4.1	Das stabile Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	89
4.4.2	Das metastabile Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	91
4.4.3	Die Gefüge der Eisenwerkstoffe	93
4.4.4	Abkühlungs- und Aufheizbeispiele	97
4.4.5	Die Wirkung weiterer Legierungselemente	98
5	Stahl und Gußeisen	103
5.1	Die Gewinnung von Stahl und Eisen	103
5.1.1	Reduktion der Eisenerze	105
5.1.2	Die Stahlerzeugung	107
5.1.3	Die Sekundärmetallurgie	110
5.1.4	Die Gießtechnologie	114
5.1.5	Erstarrungsbedingte Gefügefehler	115
5.2	Einteilung der Stähle und Benennung	117
5.2.1	Die Einteilung der Stähle	117
5.2.2	Normgerechte Benennung von Stahl und Gußeisen	120
5.2.2.1	Stahlkurznamen	120
5.2.2.2	Gußeisenkurznamen	124
5.2.2.3	Werkstoffnummern	125
5.3	Unlegierte Stähle für allgemeine Verwendung	126
5.3.1	Allgemeine Baustähle	126
5.3.2	Schweißgeeignete Feinkornbaustähle	128
5.3.3	Automatenstähle	130
5.3.4	Wetterfeste Baustähle	131
5.3.5	Kaltgewalzte Flacherzeugnisse (Feinbleche)	132
5.3.6	Rohrstähle	133
5.3.7	Druckbehälterstähle	133
5.3.8	Weitere Stahlgruppen	134
5.4	Für Wärmebehandlungen vorgesehene Stähle	135
5.4.1	Nicht festigkeitserhöhende Wärmebehandlungen (Glühen)	137
5.4.1.1	Weichglühen	138
5.4.1.2	Normalglühen	139
5.4.1.3	Rekristallisationsglühen	140
5.4.1.4	Spannungsarmglühen	141
5.4.1.5	Diffusionsglühen	142
5.4.1.6	Grobkornglühen	142
5.4.2	Festigkeitserhöhende Wärmebehandlungen	142
5.4.2.1	Härten	142
5.4.2.2	Härtungsgefüge der Perlitstufe	144
5.4.2.3	Der Bainit	144
5.4.2.4	Der Martensit	145
5.4.2.5	Die kritische Abkühlgeschwindigkeit	148

5.4.2.6	Abschreck-Eigenspannungen und Verzug	150
5.4.3	Die Härbarkeit der Stähle	152
5.4.3.1	ZTU-Schaubilder	152
5.4.3.2	Der Stirnabschreckversuch	155
5.4.4	Anlassen und Vergüten	158
5.4.5	Begriffe aus der Praxis des Härtens	160
5.4.6	Vergütungsstähle	161
5.4.7	Randschicht- (Oberflächen-)härten	162
5.4.7.1	Flammhärten	162
5.4.7.2	Induktionshärten	163
5.4.7.3	Die Einhärtungstiefe	164
5.4.8	Einsatzhärten	165
5.4.8.1	Die Einsatzhärtungstiefe	168
5.4.8.2	Stähle für das Einsatzhärten: „Einsatzstähle“	169
5.4.9	Nitrieren	169
5.4.10	Borieren	172
5.5	Werkzeugstähle	174
5.5.1	Kaltarbeitsstähle	174
5.5.2	Warmarbeitsstähle	176
5.5.3	Schnellarbeitsstähle	179
5.5.4	Wälzlagerstähle	181
5.6	Nichtrostende Stähle	182
5.6.1	Ferritische nichtrostende Stähle	184
5.6.2	Martensitische nichtrostende Stähle	185
5.6.3	Austenitische nichtrostende Stähle	186
5.6.4	Das Schweißen nichtrostender Stähle	187
5.7	Hochfeste Stähle	190
5.8	Eisen-Gußwerkstoffe	191
5.8.1	Graues Gußeisen mit Lamellengraphit	192
5.8.2	Gußeisen mit Kugelgraphit	196
5.8.3	Tempergußeisen	198
5.8.4	Stahlguß	200
6	Nichteisenmetalle	203
6.1	Benennung der NE-Metalle	203
6.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	204
6.2.1	Herstellung, Verarbeitung, Recycling	205
6.2.2	Physikalische und chemische Eigenschaften	209
6.2.3	Reinaluminium und naturharte Legierungen	210
6.2.4	Aushärtbare Aluminiumlegierungen	212
6.2.5	Aluminium-Gußlegierungen	217
6.3	Magnesium, Titan, Beryllium	220
6.3.1	Magnesium und Magnesiumlegierungen	220
6.3.2	Titan und Titanlegierungen	222
6.3.3	Beryllium	224
6.4	Kupfer und Kupferlegierungen	225

6.4.1	Herstellung, Verarbeitung, Recycling	.226
6.4.2	Reinkupfer	.227
6.4.3	Kupferlegierungen	.228
6.5	Weitere Metalle	.231
6.5.1	Edelmetalle	.232
6.5.2	Hochschmelzende Metalle	.232
6.5.3	Niedrig schmelzende Metalle	.233
6.5.4	Sonstige Metalle	.234
6.6	Lotwerkstoffe	.235
7	Sinter- und Lagerwerkstoffe	.237
7.1	Sinterwerkstoffe	.237
7.2	Lagerwerkstoffe	.241
8	Schneidstoffe	.243
9	Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde	.249
9.1	Verbundwerkstoffe	.250
9.2	Werkstoffverbunde	.252
10	Keramische Werkstoffe	.255
10.1	Herstellung	.256
10.2	Oxidkeramik	.257
10.3	Nichtoxidische Keramik	.258
10.4	Glas und Glaskeramik; Kohlenstoff	.260
11	Oberflächentechnik	.263
11.1	Die metallische Oberfläche	.264
11.2	Metallische Oberflächenbeschichtungen	.265
11.3	Konversionsschichten	.266
11.4	Hartstoffbeschichtungen	.266
12	Korrosion und Korrosionsschutz	.271
12.1	Chemische Korrosion	.272
12.2	Elektrochemische Korrosion	.272
12.3	Korrosionsarten und Korrosionsprüfung	.276
12.4	Korrosionsschutz	.281
13	Werkstoffprüfung	.287
13.1	Zerstörende Prüfverfahren	.290
13.1.1	Härteprüfung	.290
13.1.2	Festigkeitsprüfung mit zügiger Belastung	.297
13.1.3	Festigkeitsprüfung mit schlagartiger Belastung	.308
13.1.4	Festigkeitsprüfung mit sehr langsamer Dehnung (Zeitstandversuch)	.311
13.1.5	Festigkeitsprüfung mit schwingender Belastung	.312

13.1.6	Technologische Prüfverfahren	318
13.1.7	Die Gefügeprüfung (Metallographie)	319
13.1.8	Die Materialanalyse	322
13.2	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	324
13.2.1	Die Prüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen	324
13.2.2	Die Prüfung mit Ultraschall	327
13.2.3	Die Reißprüfung	330
13.2.4	Physikalische Prüfverfahren	332
14	Werkstoffwahl in der Prozeßkette „Produktentwicklung“	335
14.1	Entwicklungsmethodik	335
14.2	Der zeitliche Ablauf der Produktentwicklung	336
14.3	Werkstoffwahl und Werkstoffgruppen	350
	Antworten zu den Aufgaben	355
	Vertiefende Literatur	363
	Sachverzeichnis	365