

# Grundlagen der Werkstofftechnik

Von Manfred Riehle  
und Elke Simmchen

2., aktualisierte Auflage

Mit 239 Abbildungen und 32 Tabellen



Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1	Historische Entwicklung der Werkstoffe. . . . .	1
1.2	Werkstoffbegriff. . . . .	2
1.3	Herausbildung von Werkstoffwissenschaft und -technik. . . . .	2
1.4	Werkstoffverbrauch und Werkstoffvorräte. . . . .	3
1.5	Werkstoffe und Energie. . . . .	6
1.6	Einteilung der Werkstoffe. . . . .	7
<b>2</b>	<b>Anforderungen an die Werkstoffe</b> . . . . .	<b>11</b>
2.1	Aufgaben. . . . .	11
2.2	Eigenschaften . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Bezeichnung der Werkstoffe</b> . . . . .	<b>14</b>
3.1	Allgemeines zur Normung der Werkstoffe. . . . .	14
3.2	Metallische Werkstoffe. . . . .	15
3.2.1	Bezeichnungssysteme für Stähle. . . . .	15
3.2.1.1	Kurznamen . . . . .	15
3.2.1.2	Werkstoffnummern. . . . .	20
3.2.2	Bezeichnungssysteme für Gußeisen. . . . .	21
3.2.2.1	Kurzzeichen. . . . .	21
3.2.2.2	Werkstoffnummern. . . . .	23
3.2.3	Nichteisenmetalle. . . . .	24
3.2.3.1	Kurzzeichen. . . . .	24
3.2.3.2	Werkstoffnummern. . . . .	25
3.3	Nichtmetallische Werkstoffe. . . . .	26
3.3.1	Organisch-hochpolymere Werkstoffe. . . . .	26
3.3.2	Silicattechnische Werkstoffe. . . . .	27
<b>4</b>	<b>Grundlagen der Werkstoffverarbeitung und -anwendung</b> . .	<b>29</b>
4.1	Aufbau der Werkstoffe. . . . .	29
4.1.1	Aufbau des freien Atoms. . . . .	30
4.1.2	Bindungen in Festkörpern. . . . .	32
4.1.2.1	Ionen- oder heteropolare Bindung. . . . .	32
4.1.2.2	Atom-oder kovalente Bindung (homöopolare Bindung). . . . .	33
4.1.2.3	Metallische Bindung. . . . .	33
4.1.2.4	Nebervalenzbindungen. . . . .	34
4.1.3	Entstehung der festen Körper. . . . .	34
4.1.4	Strukturen kristalliner Metalle und Legierungen. . . . .	37
4.1.5	Strukturen hochpolymerer Werkstoffe. . . . .	44
4.1.6	Realstruktur kristalliner Festkörper. . . . .	47
4.1.7	Gefüge. . . . .	53

## VI Inhalt

<b>4.2</b>	<b>Zustandsdiagramme</b> . . . . .	<b>56</b>
4.2.1	Zustandsdiagramm eines Zweistoff Systems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und festen Zustand . . . . .	62
4.2.2	Zustandsdiagramm eines Zweistoffsystems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und Nichtmischbarkeit im festen Zustand . . . . .	64
4.2.3	Zustandsdiagramm eines Zweistoff Systems mit vollständiger Mischbarkeit der Komponenten im flüssigen und beschränkter Mischbarkeit im festen Zustand . . . . .	66
4.2.4	Weitere Zustandsdiagramme von Zweistoffsystemen mit Dreiphasenreaktionen . . . . .	67
4.2.5	Realdiagramme . . . . .	68
4.2.6	Zustandsdiagramme von Dreistoff Systemen . . . . .	69
<b>4.3</b>	<b>Diffusion</b> . . . . .	<b>73</b>
<b>5</b>	<b>Eigenschaften der Werkstoffe und ihre Prüfung</b> . . . . .	<b>80</b>
<b>5.1</b>	<b>Festigkeit und Zähigkeit bei statischer Beanspruchung</b> . . . . .	<b>80</b>
5.1.1	Zugversuch bei Raumtemperatur . . . . .	80
5.1.2	Festigkeit und Plastizität . . . . .	86
5.1.2.1	Elastische (reversible) Verformungen . . . . .	89
5.1.2.2	Plastische (bleibende) Verformungen . . . . .	91
5.1.2.3	Bruchvorgänge . . . . .	98
5.1.2.4	Grundzüge der Zähigkeitsprüfung und der Bruchmechanik . . . . .	109
5.1.2.4.1	Versuche mit Kleinproben . . . . .	110
5.1.2.4.2	Versuche mit bauteilähnlichen Proben . . . . .	114
5.1.2.4.3	Versuche an Bauteilen oder Bauwerken . . . . .	115
5.1.2.4.4	Bruchmechanik . . . . .	115
5.1.3	Beeinflussung der Festigkeit durch Strukturfehler . . . . .	125
5.1.3.1	Festigkeitssteigerung durch gelöste Fremdatome . . . . .	126
5.1.3.2	Festigkeitssteigerung durch Versetzungen . . . . .	131
5.1.3.3	Festigkeitssteigerung durch Korngrenzen und Phasengrenzen . . . . .	133
5.1.3.4	Festigkeitssteigerung durch Teilchen . . . . .	135
5.1.3.5	Kombination der Mechanismen zur Festigkeitssteigerung . . . . .	137
5.1.3.6	Einfluß der Strukturfehler auf die Zähigkeit . . . . .	138
5.1.4	Weitere Verfahren zur Prüfung von Festigkeit und Zähigkeit . . . . .	140
5.1.4.1	Druckversuch . . . . .	140
5.1.4.2	Biegeversuch . . . . .	141
5.1.4.3	Härteprüfungen . . . . .	143
5.1.4.3.1	Statische Härteprüfverfahren . . . . .	144
5.1.4.3.2	Dynamische Härteprüfverfahren . . . . .	150
<b>5.2</b>	<b>Werkstoffverhalten bei erhöhten Temperaturen</b> . . . . .	<b>151</b>
5.2.1	Kristallerholung und Rekristallisation . . . . .	151
5.2.2	Kriechen . . . . .	154
<b>5.3</b>	<b>Werkstoffverhalten bei zyklischer Beanspruchung</b> . . . . .	<b>161</b>
5.3.1	Untersuchung des Ermüdungsverhaltens . . . . .	162
5.3.2	Dauerfestigkeitsschaubilder . . . . .	166
5.3.3	Eigenspannungen . . . . .	170
5.3.4	Vorgänge im Werkstoff bei zyklischer Beanspruchung . . . . .	176
5.3.4.1	Herausbildung der Ermüdungsstruktur (anrißfreie Phase) . . . . .	177

5.3.4.2	Bildung von Anrissen (Rißentstehung) . . . . .	182
5.3.4.3	Ausbreitung von Rissen . . . . .	184
5.3.4.4	Schwingbruch . . . . .	187
5.3.5	Einflüsse auf das Werkstoffverhalten bei zyklischer Beanspruchung . . . . .	188
5.3.5.1	Einfluß von Kerben . . . . .	188
5.3.5.2	Einfluß von Eigenspannungen . . . . .	191
5.3.5.3	Einfluß von Form und Größe . . . . .	192
5.3.5.4	Einfluß der Umgebung . . . . .	193
5.3.5.5	Einfluß korrosiver Medien . . . . .	193
5.3.5.6	Weitere Einflüsse auf das Werkstoffverhalten bei zyklischer Beanspruchung . . . . .	200
5.3.6	Änderung von mechanischen Eigenschaften infolge zyklischer Beanspruchung . . . . .	200
5.3.7	Nachweis von Ermüdungsschäden und Schadensakkumulation . . . . .	201
5.3.8	Betriebsfestigkeit . . . . .	204
5.3.9	Thermische Ermüdung . . . . .	208
5.3.10	Verhalten von hochpolymeren Werkstoffen bei zyklischer Beanspruchung .. . . .	209
<b>5.4</b>	<b>Werkstoff verhalten bei Verschleißbeanspruchung . . . . .</b>	<b>209</b>
5.4.1	Verschleißbegriff . . . . .	209
5.4.2	Verschleißmechanismen und Verschleißerscheinungsformen . . . . .	212
5.4.2.1	Adhäsion . . . . .	213
5.4.2.2	Abrasion . . . . .	214
5.4.2.3	Oberflächenzerrüttung . . . . .	217
5.4.2.4	Tribochemische Reaktionen . . . . .	217
5.4.3	Verschleißarten . . . . .	218
5.4.4	Verschleißprüfung . . . . .	220
5.4.5	Verschleiß-Meßgrößen . . . . .	221
<b>6</b>	<b>Einfluß der Werkstofferzeugung auf die Eigenschaften von Bauteilen . . . . .</b>	<b>227</b>
<b>6.1</b>	<b>Werkstofferzeugung . . . . .</b>	<b>227</b>
<b>6.2</b>	<b>Auswirkungen von Gasen auf die Stahleigenschaften . . . . .</b>	<b>231</b>
6.2.1	Sauerstoff . . . . .	232
6.2.2	Stickstoff . . . . .	233
6.2.3	Wasserstoff . . . . .	237
<b>6.3</b>	<b>Auswirkungen von nichtmetallischen Verunreinigungen auf die Stahleigenschaften . . . . .</b>	<b>241</b>
<b>7</b>	<b>Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe . . . . .</b>	<b>249</b>
<b>7.1</b>	<b>Aufgaben der Wärmebehandlung . . . . .</b>	<b>249</b>
<b>7.2</b>	<b>Aushärten . . . . .</b>	<b>250</b>
<b>7.3</b>	<b>Umwandlungsvorgänge beim Erwärmen und Abkühlen von Eisenwerkstoffen . . . . .</b>	<b>253</b>
7.3.1	Eisen-Kohlenstoff-Diagramm . . . . .	253
7.3.2	Vorgänge beim Erwärmen - Zeit-Temperatur-Austenitisierungs-Schaubilder . . . . .	260
7.3.3	Vorgänge beim Abkühlen - Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubilder . . . . .	264
7.3.4	Vorgänge beim Anlassen . . . . .	276

	Einfluß der Gefügeausbildung auf die mechanischen Eigenschaften von Stahl	277
<b>7.4</b>	<b>Wärmebehandlungsverfahren</b>	282
7.4.1	Allgemeiner Verfahrensablauf	282
7.4.2	Einfluß der Ofenatmosphäre bei der Wärmebehandlung	284
7.4.3	Wärmebehandlungsverfahren für Stahl und Gußeisen	285
7.4.3.1	Glühverfahren	285
7.4.3.1.1	Glühen auf kugelige Carbide und Weichglühen	285
7.4.3.1.2	Normalglühen	288
7.4.3.1.3	Spannungsarmglühen	290
7.4.3.1.4	Grobkornglühen	291
7.4.3.1.5	Diffusionsglühen	291
7.4.3.2	Härten	291
7.4.3.2.1	Härtbarkeit	291
7.4.3.2.2	Austenitisieren	294
7.4.3.2.3	Abschrecken	295
7.4.3.2.4	Spannungen und Reißempfindlichkeit beim Härten	297
7.4.3.2.5	Härteverfahren	298
7.4.3.3	Vergüten	302
7.4.3.4	Bainitisieren	305
7.4.4	Wärmebehandlungsverfahren für NE-Werkstoffe	305
7.4.4.1	Weichglühen	306
7.4.4.2	Spannungsarmglühen	306
7.4.4.3	Homogenisierungsglühen	306
7.4.4.4	Sonderwärmebehandlung von Gußstücken	307
7.4.4.5	Aushärten	307
<b>7.5</b>	<b>Thermomechanische Behandlung</b>	309
<b>8</b>	<b>Thermochemische Oberflächenbehandlung</b>	<b>312</b>
<b>8.1</b>	<b>Bedeutung und Aufgaben der Oberflächenbehandlung</b>	312
<b>8.2</b>	<b>Vorgänge bei der Bildung von Diffusionsschichten</b>	313
<b>8.3</b>	<b>Einsatzhärten</b>	315
8.3.1	Aufkohlen	315
8.3.2	Härten	318
8.3.3	Eigenschaften einsatzgehärteter Werkstoffe	320
<b>8.4</b>	<b>Nitrieren und Nitrocarburieren</b>	322
8.4.1	Nitrier- und Nitrocarburierv Verfahren	322
8.4.2	Vorgänge bei der Bildung von Nitrierschichten	323
8.4.3	Vorgänge bei der Bildung von Nitrocarburierschichten	325
8.4.4	Eigenschaften nitrierter und nitrocarburiertes Werkstoffe	326
<b>8.5</b>	<b>Borieren</b>	328
8.5.1	Borierverfahren	328
8.5.2	Aufbau der Borierschichten auf Eisenwerkstoffen	328
8.5.3	Eigenschaften borierter Werkstoffe	329
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>332</b>