

Michael F. Ashby/ David R. H. Jones

Werkstoffe Band 2: Metalle, Keramiken und Gläser, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe

**Deutsche Ausgabe herausgegeben
von Michael Heinzelmann**

Aus dem Englischen übersetzt von
Carsten Heinisch, Burkhard Schäfer und Michael Zillgitt



ELSEVIER
SPEKTRUM
AKADEMISCHER
VERLAG

Spektrum
AKADEMISCHER VERLAG

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur deutschen Ausgabe	IV	5 Triebkräfte für Strukturänderungen	37
Allgemeine Einführung	XI	5.1 Einführung	37
Begleitmaterialien	XIII	5.2 Triebkräfte	37
A Metalle	1	5.3 Reversibilität	39
1 Metalle	3	5.4 Stabilität, Instabilität und Metastabilität	40
1.1 Einführung	3	5.5 Die Triebkraft für die Erstarrung	40
1.2 Metalle für ein Dampfmaschinen- modell	3	5.6 Phasenänderungen im festen Zustand	42
1.3 Metalle für Getränkedosen	7	5.7 Ausscheidungsvergrößerung	43
1.4 Metalle für künstliche Hüftgelenke	8	5.8 Kornwachstum	43
1.5 Daten von Metallen	9	5.9 Rekristallisation	44
2 Metallstrukturen	13	5.10 Größen von Triebkräften	44
2.1 Einführung	13	6 Kinetik von Strukturänderungen (1): Diffusive Umwandlungen	47
2.2 Strukturen von Kristallen und Gläsern	13	6.1 Einführung	47
2.3 Strukturen von Mischkristallen und Verbindungen	14	6.2 Erstarrung	47
2.4 Phasen	16	6.3 Auswirkungen des Wärmeflusses	51
2.5 Korngrenzen und Phasengrenzen	16	6.4 Phasenumwandlungen im festen Zustand	52
2.6 Formen von Körnern und Phasen	18	6.5 Diffusionsbestimmte Kinetik	52
2.7 Zusammenfassung: Aufbau und Struktur	19	6.6 Geometrie von Körnern und Phasen	52
3 Gleichgewichtsaufbau und Phasendiagramme	21	7 Kinetik von Strukturänderungen (2): Keimbildung	57
3.1 Einführung	21	7.1 Einführung	57
3.2 Definitionen	21	7.2 Keimbildung in Flüssigkeiten	57
3.3 Das Phasendiagramm des Blei- Zinn-Systems	22	7.3 Heterogene Keimbildung	58
3.4 Unvollständig definierter Aufbau	24	7.4 Keimbildung in Festkörpern	61
3.5 Andere Phasendiagramme	25	7.5 Zusammenfassung	61
4 Fallstudien zu Phasendiagrammen	27	7.6 Nachbemerkung	61
4.1 Einführung	27	8 Kinetik von Strukturänderungen (3): Martensitische Umwandlungen	63
4.2 Die Auswahl von Weichlot	27	8.1 Einführung	63
4.3 Reines Silicium für Mikrochips	30	8.2 Die diffusive $k_{fz} \rightarrow k_{rz}$ - Umwandlung in reinem Eisen	63
4.4 Blasenfreies Eis herstellen	33	8.3 Das ZTU-Schaubild	66

8.4	Die martensitische kfz—»-krz-Umwandlung	66	14.3	Umformen	120
8.5	Einzelheiten der Martensitbildung	68	14.4	Erholung und Rekristallisation . . .	124
8.6	Die martensitische Umwandlung in Stählen	68	14.5	Spanende Bearbeitung	125
8.7	Anmerkungen zu martensiti- schen Umwandlungen	70	14.6	Fügen	126
9	Fallstudien zu Phasenumwandlungen	73	14.7	Oberflächentechnik	126
9.1	Einführung	73	14.8	Energiesparende Formgebung . . .	127
9.2	Regen machen	73	B	Keramik und Glas	131
9.3	Feinkörniger Guss.	75	15	Keramik und Glas	133
9.4	Einkristalle für Halbleiter.	77	15.1	Einführung	133
9.5	Amorphe Metalle.	79	15.2	Grundlegende Klassen der Keramik- und Glaswerkstoffe . . .	134
10	Leichtmetalllegierungen	83	16	Strukturen keramischer Werkstoffe	141
10.1	Einführung	83	16.1	Einführung	141
10.2	Mischkristallverfestigung	84	16.2	Ionisch und kovalent gebundene Keramikwerkstoffe.	141
10.3	Ausscheidungshärtung	85	16.3	Einfache ionisch gebundene Keramikwerkstoffe.	142
10.4	Kaltverfestigung	90	16.4	Einfache kovalent gebundene Keramikwerkstoffe	143
10.5	Wärmebeständigkeit	91	16.5	Siliciumdioxid und Silicate	144
11	Stähle (1): Kohlenstoff stähle	93	16.6	Silicatgläser	145
11.1	Einführung	93	16.7	Keramische Legierungen	146
11.2	Durch Normalglühen entstehende MikroStrukturen	93	16.8	Die MikroStruktur von kerami- schen Werkstoffen.	146
11.3	Mechanische Eigenschaften nor- malgeglühter Kohlenstoffstähle . . .	97	16.9	Glaskeramik.	147
11.4	Vergütete Kohlenstoffstähle	97	16.10	Stein oder Fels. • • • •	148
11.5	Gusseisen	98	16.11	Keramische Verbundwerkstoffe ..	148
11.6	Einige Anmerkungen zu ZTU- Schaubildern	100	17	Die mechanischen Eigenschaften kera- mischer Werkstoffe	149
12	Stähle (2): Legierte Stähle	103	17.1	Einführung	149
12.1	Einführung	103	17.2	Der Elastizitätsmodul	149
12.2	Härtbarkeit	103	17.3	Festigkeit, Härte und Gitterwi- derstand	149
12.3	Mischkristallverfestigung	105	17.4	Bruchfestigkeit keramischer Werkstoffe	151
12.4	Ausscheidungshärtung	105	17.5	Thermoschockbeständigkeit	153
12.5	Korrosionsbeständigkeit.	106	17.6	Kriechverhalten keramischer Werkstoffe.	153
12.6	Rostfreie Stähle /	106	18	Die statistische Erfassung des Spröd- bruchs, mit Fallstudie - . / ;-	157
13	Fallstudien zu Stählen	109	18.1	Einführung . . . • ;	157
13.1	Metallurgische Detektivarbeit nach einer Kesselexplosion	109	18.2	Statistische Behandlung der Festigkeit und Weibull-Verteilung	157
13.2	Sicheres Verschweißen von Stählen	111			
13.3	Der zerbrochene Hammer	113			
14	Herstellen, Umformen und Fügen metallischer Bauteile	117			
14.1	Einführung v. •	117			
14.2	Gießen	118			

18.3	Die Zeitabhängigkeit der Festigkeit von Keramiken	160	23.3	Festigkeit: Mikrorissbildung und : Kaltverstrecken	208
18.4	Fallstudie: Die Konstruktion von Druckfenstern	161			
19	Herstellung, Formgebung und Fügen keramischer Werkstoffe	165	24	Produktion, Formgebung und Verbindung von Kunststoffen	213
19.1	Einführung	165	24.1	Einführung	213
19.2	Herstellung von technischen Keramikwerkstoffen	165	24.2	Synthese von Kunststoffen	213
19.3	Formgebung von technischen Keramikwerkstoffen	166	24.3	Polymerlegierungen	214
19.4	Herstellung und Formgebung von Glas	168	24.4	Formgebung von Kunststoffen	215
19.5	Herstellung und Formgebung von Tonware, Porzellan und Ziegel	170	24.5	Verbindung von Polymeren	218
19.6	Leistungsverbesserung von keramischen Werkstoffen	171			
19.7	Keramische Werkstoffe fügen	173	25	Faser-, Teilchen- und Schaum- Verbundwerkstoffe	221
20	Sonderthema: Zemente und Betone	175	25.1	Einführung:	221
20.1	Einführung	175	25.2	Faserverbundwerkstoffe	221
20.2	Chemie der Zemente	175	25.3	Elastizitätsmodul	222
20.3	Die Struktur von Portlandzement	177	25.4	Aus Zellen bestehende Materialien (Schaumstoffe)	227
20.4	Beton	178	25.5	Maßgeschneiderte Werkstoffe	230
20.5	Die Festigkeit von Zement und Beton	179	26	Sonderthema: Holz	233
20.6	Hochfeste Zemente	180	26.1	Einführung	233
C	Kunststoffe und Verbundwerkstoffe	183	26.2	Die Struktur von Holz	233
21	Kunststoffe	185	26.3	Die mechanischen Eigenschaften von Holz	236
21.1	Einführung	185	26.4	Zusammenfassung: Holz im Vergleich zu anderen Werkstoffen	239
21.2	Die typischen Kunststoffe	186			
22	Der Aufbau von Polymeren	193	D	Konstruieren mit Metallen, Keramiken, Kunststoffen und Verbundwerkstoffen	241
22.1	Einführung	193	27	Werkstoffgerechtes Konstruieren	243
22.2	Moleküllänge und Polymerisationsgrad	193	27.1	Einführung	243
22.3	Die Molekulararchitektur	195	27.2	Konstruktionsmethodik	245
22.4	Die Anordnung von Polymermolekülen und der Glasübergang	196	28	Fallstudien zur Konstruktion	249
23	Mechanisches Verhalten von Kunststoffen	201	28.1	Konstruieren mit Metallen: Fließbandrollen für ein Eisenerzterminal	249
23.1	Einführung	201	28.2	Konstruieren mit Keramik: Eiskräfte an Offshore-Bauwerken	254
23.2	Steifigkeit: Zeit- und temperaturabhängiger E-Modul	201	28.3	Konstruieren mit Kunststoffen: Ein Plastikrad	258
			28.4	konstruieren mit Verbundwerkstoffen: Werkstoffe für Violinenkörper	261

29 Technische Versagen und Katastrophen - der endgültige Test der Konstruktion	267
29.1 Einführung	267
29.2 Fallstudie 1: Das Eisenbahnunglück auf der Tay-Brücke, 28. Dezember 1879	268
29.3 Fallstudie 2: Die Comet-Abstürze am 10. Januar und 8. April 1954	274
29.4 Fallstudie 3: Die Eisenbahnkatastrophe in Eschede am 5. Juni 1998	278
29.5 Fallstudie 4: Ein tödlicher Unfall beim Bungee-Springen	281

Anhang I: Phasendiagramme im Selbststudium	287
Phasendiagramme im Selbststudium, Teil 1: Komponenten, Phasen und Strukturen	287
Phasendiagramme im Selbststudium, Teil 2: Ein- und Zweistoffsysteme	294
Phasendiagramme im Selbststudium, Teil 3: Eutektika, Eutektoide und Peritektika	304
Phasendiagramme im Selbststudium, Teil 4: Abschließende Fragestellungen	315
Anhang II: Symbole und Formeln	321
Anhang III: Ergebnisse der Aufgaben	327
Literatur	329
Index	331