

Inhaltsverzeichnis

E Werkstoffherstellung

1	Herstellung von Metallen	17
1.1	Metallurgische Verfahren	17
1.1.1	Erzaufbereitung	18
1.1.2	Herstellung des Rohmetalls	19
1.1.2.1	Pyrometallurgie	19
1.1.2.2	Hydrometallurgie	22
1.1.2.3	Schmelzflusselektrolyse	23
1.1.3	Herstellung des Gebrauchsmetalls	23
1.1.3.1	Raffination des Rohmetalls	23
1.1.3.2	Legieren	24
1.1.4	Gießen und Verformen	25
1.2	Eisen und Stahl	27
1.2.1	Herstellung von Eisen	27
1.2.1.1	Hochofenverfahren	27
1.2.1.2	Direktreduktions- und Schmelzreduktions-Verfahren	30
1.2.2	Herstellung von Stahl	31
1.2.2.1	Unerwünschte Begleitelemente	31
1.2.2.2	Konverterverfahren	38
1.2.2.3	Elektrostahlverfahren	40
1.2.2.4	Nachbehandlungsverfahren	42
1.3	Aluminium	46
1.4	Kupfer	48
1.5	Nickel	51
1.6	Titan	54
2	Herstellung von Kunststoffen	56
2.1	Technische Durchführung von Polyreaktionen	56
2.2	Chemischer Ablauf von Polyreaktionen	58
2.2.1	Polymerisation	58
2.2.1.1	Radikalische Polymerisation	59
2.2.1.2	Ionische Polymerisation	60
2.2.1.3	Katalytisch-koordinative Polymerisation	61
2.2.2	Polykondensation	62
2.2.3	Polyaddition	63
2.3	Aufbereitung des polymeren Rohstoffs zum polymeren Werkstoff	65
3	Herstellung nichtmetallisch-anorganischer Werkstoffe	66
3.1	Keramik	66
3.1.1	Standardverfahren	66

3.1.1.1	Silicatkeramik	66
3.1.1.2	Oxidkeramik	68
3.1.1.3	Nichtoxidkeramik	68
3.1.2	Spezielle Herstellverfahren	69
3.1.3	Kohlenstoffprodukte	70
3.1.3.1	Diamant	70
3.1.3.2	Kohlenstoff- und Graphit-Werkstoffe	71
3.2	Glas	73
3.2.1	Rohstoffe und Gemengeansatz	74
3.2.2	Schmelzen	74
3.2.3	Homogenisieren und Läutern	75
3.2.4	Herstellungsbedingte Glasfehler	76

F Werkstoffverarbeitung

1	Verarbeitung metallischer Werkstoffe	78
1.1	Gießen	80
1.1.1	Gießverfahren	80
1.1.1.1	Sandguss	81
1.1.1.2	Formmaskenguss	84
1.1.1.3	Ausschmelzverfahren	85
1.1.1.4	Kokillenguss	86
1.1.1.5	Druckguss	86
1.1.1.6	Schleuderguss	87
1.1.2	Vorgänge bei der Erstarrung reiner Metalle	88
1.1.2.1	Lunkerbildung	88
1.1.2.2	Porenbildung	90
1.1.3	Vorgänge bei der Erstarrung von Legierungen	92
1.1.3.1	Seigerung	92
1.1.3.2	Konstitutionelle Unterkühlung	95
1.1.3.3	Warmrisse	97
1.1.4	Erstarrungsmorphologie	98
1.1.5	Gießbarkeit	99
1.1.6	Möglichkeiten zur Beeinflussung des Erstarrungsgefüges	100
1.1.7	Vergleich Gussgefüge – Verformungsgefüge	102
1.2	Galvanoformen	103
1.3	Pulvermetallurgie	104
1.3.1	Technische Durchführung pulvermetallurgischer Prozesse	105
1.3.1.1	Pulverherstellung und -aufbereitung	105
1.3.1.2	Herstellung neuer Werkstoffe in Pulverform	108
1.3.1.3	Formgebung	110
1.3.1.4	Sintern	112
1.3.1.5	Nachbehandlungen	113

1.3.2	Mechanische Eigenschaften gesinterter Bauteile	114
1.4	Umformen	115
1.4.1	Eigenschafts- und Gefügeänderungen	115
1.4.2	Verfahrensparameter	116
1.4.3	Reibung und Schmierung	117
1.4.4	Umformverfahren	118
1.4.4.1	Walzen	118
1.4.4.2	Schmieden	120
1.4.4.3	Strangpressen	122
1.4.4.4	Fließpressen	123
1.4.4.5	Tiefziehen	124
1.4.5	Umformbarkeit	125
1.4.5.1	Kenngrößen	125
1.4.5.2	Umformverhalten metallischer Werkstoffe	127
1.5	Zerspanen	130
1.5.1	Verfahren	130
1.5.2	Versagen des Schneidwerkzeuges	132
1.5.2.1	Versagen durch Überbeanspruchung	132
1.5.2.2	Versagen durch Verschleiß	133
1.5.3	Zerspanbarkeit	134
1.5.3.1	Beurteilungskriterien und Einflussgrößen	134
1.5.3.2	Zerspanungsverhalten einphasiger Metalle	135
1.5.3.3	Zerspanungsverhalten zwei- bzw. mehrphasiger Metalle	136
1.5.3.4	Automatenlegierungen	137
1.5.3.5	Trocken-, Hart- und Hochgeschwindigkeitszerspanung	138
1.6	Erodieren	140
1.7	Thermisches Trennen	141
1.8	Schweißen	144
1.8.1	Grundvorgang des Fügens	144
1.8.2	Schmelzschweißen	147
1.8.2.1	Lichtbogenhandschweißen	147
1.8.2.2	Unterpulver- und Elektroschlackeschweißen	151
1.8.2.3	Schutzgasschweißen	153
1.8.2.4	Schmelzschweißen mit Strahlen hoher Energiedichte	157
1.8.2.5	Sonstige Schmelzschweißverfahren	164
1.8.3	Pressschweißen	166
1.8.3.1	Widerstandspressschweißen	166
1.8.3.2	Diffusionsschweißen	167
1.8.3.3	Reib-, Reibrühr- und Ultraschallschweißen	168
1.8.3.4	Kaltpressschweißen	170
1.8.4	Schweißbarkeit technisch wichtiger Werkstoffe	170
1.8.4.1	Gefügeausbildung im Schweißnahtbereich	171
1.8.4.2	Gefügeausbildung in der Wärmeeinflusszone (WEZ)	171

1.8.4.3	Schweißfehler	173
1.8.4.4	Schweißspannungen	177
1.8.4.5	Probleme beim Schmelzschweißen von Eisenwerkstoffen	178
1.8.4.6	Probleme beim Schmelzschweißen von Nichteisenmetallen	187
1.8.4.7	Probleme beim Schmelzschweißen verschiedenartiger Metalle	190
1.8.4.8	Schweißbarkeit	191
1.9	Löten	192
1.9.1	Prinzipieller Vorgang und technische Durchführung	192
1.9.2	Weichlöten	194
1.9.3	Hartlöten	194
1.9.4	Lötbarkeit	195
1.10	Kleben	196
1.10.1	Klebvorgang sowie Vor- und Nachteile des Klebens	196
1.10.2	Ursachen der Adhäsion	198
1.10.3	Festigkeitsverhalten von Klebverbindungen	199
1.10.4	Klebstoffe für konstruktive Anwendungen	202
1.10.4.1	Phenolharz-Klebstoffe	203
1.10.4.2	Epoxidharz-Klebstoffe	203
1.10.4.3	Polyurethan-Klebstoffe	203
1.10.4.4	Acrylharz-Klebstoffe	203
1.10.4.5	Klebstoffe für erhöhte Temperaturen	204
1.10.5	Technische Durchführung von Klebungen	205
1.11	Beschichten	206
1.11.1	Reinigende Vorbehandlungen	207
1.11.2	Beschichten mit metallischen Überzügen	209
1.11.2.1	Schmelztauchen	209
1.11.2.2	Galvanisieren	210
1.11.2.3	Thermisches Spritzen	216
1.11.2.4	Plattieren	217
1.11.2.5	Diffusions- und Umschmelzlegieren	219
1.11.2.6	Abscheiden aus der Gas-(Dampf-)phase (PVD, CVD)	220
1.11.3	Beschichten mit organischen Überzügen	225
1.11.3.1	Anstriche	225
1.11.3.2	Pulverbeschichtungen	228
1.11.4	Beschichten mit anorganischen Überzügen	229
1.11.4.1	Konversionsschichten	229
1.11.4.2	Oxidschichten	231
1.11.4.3	Emaillieren	232
1.12	Wärmebehandlung	233
1.12.1	Technische Durchführung von Wärmebehandlungen	234
1.12.2	Allgemeine Verfahren zur Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe	239
1.12.2.1	Spannungsarmglühen	239
1.12.2.2	Homogenglühen	240

1.12.2.3	Weichglühen	241
1.12.2.4	Aushärten	242
1.12.2.5	Dispersionshärten	245
1.12.3	Spezielle Verfahren zur durchgreifenden Wärmebehandlung von Stahl	247
1.12.3.1	Normalglühen	247
1.12.3.2	Härten	249
1.12.3.3	Vergüten	259
1.12.3.4	Isothermes Umwandeln in der Bainitstufe	261
1.12.3.5	Weichglühen von Stahl	262
1.12.3.6	Glühen auf verbesserte Zerspanbarkeit	264
1.12.3.7	Thermomechanische Behandlungen	265
1.12.4	Verfahren zur Verfestigung der Randschicht von Stahlteilen	267
1.12.4.1	Wirkung einer Randschichtverfestigung auf das mechanische Verhalten von Bauteilen	268
1.12.4.2	Flamm- und Induktionshärten	269
1.12.4.3	Einsatzhärten	272
1.12.4.4	Nitrieren	280
1.12.4.5	Borieren	287
1.13	Spezielle Verfahren zur endformnahen Herstellung von Bauteilen	288
1.13.1	NNS-Urformverfahren	289
1.13.1.1	Spritzgießen	289
1.13.1.2	Thixoformen	290
1.13.1.3	Sprühkompaktieren	291
1.13.1.4	Rapid Prototyping	292
1.13.2	NNS-Umformverfahrenen	293
1.13.2.1	Pulverschmieden	293
1.13.2.2	Innenhochdruck-Umformen	294
1.13.2.3	Superplastische Formgebung	295
2	Verarbeitung von Kunststoffen	297
2.1	Verarbeitungseigenschaften	297
2.1.1	Unvernetzte Polymere (Thermoplaste)	297
2.1.2	Vernetzte Polymere	300
2.2	Spanlose Formgebung thermoplastischer Kunststoffe	301
2.2.1	Urformen	301
2.2.1.1	Gießen	301
2.2.1.2	Extrudieren	302
2.2.1.3	Spritzgießen	305
2.2.1.4	Kalandrieren	308
2.2.1.5	Sintern	309
2.2.1.6	Schäumen	310
2.2.2	Umformen	312
2.2.2.1	Blasen	312

2.2.2.2	Warmformen	313
2.2.2.3	Verstrecken	314
2.3	Spanlose Formgebung vernetzender Kunststoffe	314
2.3.1	Duroplaste	314
2.3.1.1	Gießen	315
2.3.1.2	Pressen	316
2.3.1.3	Verarbeitung faserverstärkter Duroplaste	318
2.3.2	Elastomere	322
2.4	Zerspanen	323
2.5	Fügen	324
2.5.1	Schweißen	324
2.5.2	Kleben	327
2.6	Beschichten	328
2.7	Thermische Nachbehandlungen	329
3	Verarbeitung nichtmetallisch-anorganischer Werkstoffe	331
3.1	Keramik	331
3.1.1	Silicatkeramik	331
3.1.1.1	Formgebung	332
3.1.1.2	Trocknen	333
3.1.1.3	Brennen	334
3.1.1.4	Glasieren	335
3.1.2	Oxid- und Nichtoxidkeramik	336
3.1.2.1	Formgebung	336
3.1.2.2	Brennen	338
3.1.2.3	Metallisieren und Löten	339
3.2	Glas	340
3.2.1	Formgebung	340
3.2.2	Nachbehandlungen	344
4	Verarbeitungsbedingte Eigenschaftsänderungen	345
G	Werkstoffanwendung	
1	Korrosions-, Verzunderungs-, Verschleißschutz	348
1.1	Korrosionsschutz	348
1.1.1	Grundsätzliche Möglichkeiten	348
1.1.2	Aktiver Korrosionsschutz	349
1.1.2.1	Werkstoffwahl	349
1.1.2.2	Kathodischer Korrosionsschutz	349
1.1.2.3	Inhibitoren	351
1.1.2.4	Konstruktive Maßnahmen	353
1.1.3	Passiver Korrosionsschutz	354
1.1.3.1	Metallische Überzüge	354
1.1.3.2	Anstriche	357

1.2	Schutz gegen Hochtemperaturkorrosion	362
1.2.1	Verzundern	362
1.2.2	Heißgaskorrosion	365
1.2.3	Schutzmaßnahmen	366
1.2.4	Niedertemperatur-Korrosion (Taupunkt-)	367
1.3	Verschleißschutz	368
1.3.1	Verschleißsystem	368
1.3.2	Verschleißmechanismen	370
1.3.2.1	Adhäsionsverschleiß	370
1.3.2.2	Abrasionsverschleiß	371
1.3.2.3	Ermüdungverschleiß	371
1.3.2.4	Tribochemischer Verschleiß	372
1.3.3	Verschleißverhalten	373
1.3.3.1	Metalle	373
1.3.3.2	Nichtmetalle	374
1.3.4	Verschleißschutz	374
1.3.4.1	Wahl geeigneter Werkstoffe	375
1.3.4.2	Beschichtungen	376
1.3.4.3	Schmiermittel	376
2	Leichtbau	379
2.1	Gewichtsminderung und Betriebssicherheit	379
2.2	Betriebsfestigkeit	382
2.3	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	389
2.3.1	Fehler an der Werkstückoberfläche	390
2.3.1.1	Eindringverfahren	390
2.3.1.2	Magnetpulverprüfung	390
2.3.2	Fehler im Werkstückinnern	391
2.3.2.1	Durchstrahlungsprüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen (Radiographie)	391
2.3.2.2	Ultraschallprüfung	394
2.3.2.3	Magnetinduktive Prüfverfahren	398
2.4	Leichtbauweisen	399
2.4.1	Stoffleichtbau	399
2.4.2	Formleichtbau	400
3	Leichtbauwerkstoffe	403
3.1	Verbundwerkstoffe	403
3.1.1	Prinzip der Faserverstärkung	404
3.1.2	Verbundwerkstoffe mit Polymermatrix (PMC)	406
3.1.3	Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix (MMC)	411
3.1.4	Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix (CMC)	414
3.2	Leichtmetalle	415
3.2.1	Aluminium-, Titan-Legierungen	415

3.2.2	Magnesium-Legierungen	415
3.2.3	Beryllium-Werkstoffe	416
4	Werkstoffe im Maschinenbau	418
4.1	Bauteile	418
4.1.1	Allgemeine Baustähle	418
4.1.2	Vergütungsstähle	419
4.1.3	Einsatzstähle	421
4.1.4	Gusseisen	422
4.1.4.1	Grauguss mit Lamellengraphit (EN-GJL)	422
4.1.4.2	Grauguss mit Kugelgraphit (EN-GJS)	423
4.1.4.3	Temperguss (EN-GJM)	424
4.1.4.4	Hartguss (EN-GJN)	426
4.1.4.5	Sondergusseisen	426
4.1.5	Stahlguss	427
4.2	Federn	428
4.3	Verschraubungen	429
4.4	Lager	429
4.4.1	Wälzlager	429
4.4.2	Gleitlager	430
4.4.2.1	Anforderungen	430
4.4.2.2	Metallische Gleitlagerwerkstoffe	431
4.4.2.3	Nichtmetallische Gleitlagerwerkstoffe	435
4.5	Gehäuse	437
4.6	Dichtungen	438
5	Werkstoffe in der Fertigungstechnik	440
5.1	Werkzeugstähle	440
5.2	Schneidstoffe	443
5.2.1	Schnellarbeitsstähle	444
5.2.2	Hartmetalle	444
5.2.3	Oxidische Schneidkeramik	447
5.2.4	Nichtoxidische Schneidkeramik	448
5.2.5	Schleifmittel	450
6	Werkstoffe im Verkehrswesen	452
6.1	Werkstoffe in der Luft- und Raumfahrt	452
6.1.1	Flugzeugzelle	452
6.1.1.1	Al-Legierungen	452
6.1.1.2	Verbundwerkstoffe	457
6.1.1.3	Sonstige	460
6.1.2	Fahrwerk	461
6.1.3	Triebwerk	464
6.1.3.1	Funktionsweise	464
6.1.3.2	Hochtemperaturbeanspruchungen	466

6.1.3.3	Werkstoffe	467
6.1.4	Weltraumfahrzeuge	473
6.2	Werkstoffe im Automobilbau	478
6.2.1	Karosserie	479
6.2.2	Motor	480
6.2.3	Fahrwerk	486
6.3	Werkstoffe im Schienenfahrzeugbau	488
6.4	Werkstoffe im Stahl- und Schiffbau	491
6.4.1	Stahlbau	491
6.4.1.1	Normalfeste, schweißbare Baustähle	492
6.4.1.2	Hochfeste, schweißbare Feinkornbaustähle	492
6.4.2	Schiffbau	495
7	Werkstoffe in der Energie- und Verfahrenstechnik	499
7.1	Warmfeste Stähle	499
7.2	Kaltzähe Stähle	501
7.3	Korrosionsbeständige Werkstoffe	502
7.3.1	Eisen und Eisenlegierungen	502
7.3.1.1	Unlegierte, niedriglegierte Stähle und Gusseisen	502
7.3.1.2	Korrosionsbeständige Stähle	504
7.3.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	509
7.3.3	Kupfer und Kupferlegierungen	512
7.3.4	Nickel und Nickellegierungen	514
7.3.5	Titan und Titanlegierungen	515
7.3.6	Sondermetalle	516
8	Werkstoffe der Elektrotechnik und Elektronik	517
8.1	Werkstoffe mit Leitfunktion	517
8.1.1	Elektrische Leitung	517
8.1.1.1	Ionen-, Elektronenleitung	517
8.1.1.2	Bändermodell	517
8.1.1.3	Leiter, Halbleiter, Nichtleiter	518
8.1.1.4	Temperaturverhalten	520
8.1.1.5	Thermoelektrizität	521
8.1.2	Leiterwerkstoffe	522
8.1.3	Kontaktwerkstoffe	524
8.1.4	Widerstandswerkstoffe	526
8.1.5	Supraleiter	528
8.1.6	Halbleiter	533
8.1.6.1	Eigen-, Störstellen-, Verbindungshalbleiter	533
8.1.6.2	Halbleiter-Werkstoffe	536
8.1.6.3	Herstellen von Halbleitereinkristallen	538
8.1.6.4	Planartechnik	543
8.1.6.5	Anwendungen	548

8.2	Werkstoffe mit Isolierfunktion	558
8.2.1	Dielektrizität	558
8.2.1.1	Polarisationserscheinungen	558
8.2.1.2	Permittivitätszahl	559
8.2.1.3	Dielektrische Verluste	560
8.2.2	Elektrischer Widerstand	562
8.2.2.1	Durchgangswiderstand, Durchschlagfestigkeit	562
8.2.2.2	Oberflächenwiderstand, Kriechstromfestigkeit	564
8.2.3	Isolierstoffe	564
8.2.3.1	Anorganische Isolierstoffe	565
8.2.3.2	Organische Isolierstoffe	567
8.2.3.3	Gasförmige und flüssige Isolierstoffe	569
8.3	Werkstoffe mit magnetischer Funktion	570
8.3.1	Elektrische und magnetische Feldwirkung	570
8.3.2	Arten des Stoffmagnetismus	571
8.3.2.1	Dia-, Paramagnetismus	571
8.3.2.2	Ferro-, Antiferro-, Ferrimagnetismus	572
8.3.3	Magnetisierungsvorgänge	575
8.3.4	Magnetische Anisotropie	577
8.3.5	Weichmagnetische Werkstoffe	578
8.3.6	Hartmagnetische Werkstoffe	582
8.4	Werkstoffe mit dielektrischer Funktion	585
8.4.1	Kondensatorwerkstoffe	585
8.4.2	Ferroelektrika	587
8.4.3	Piezoelektrizität, Pyroelektrizität	589
H	Tabellenanhang	
1	Metallische Werkstoffe	591
2	Polymerwerkstoffe	605
3	Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe	609
4	Werkstoffe der Elektrotechnik	612
	Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur	618
	Sachwortverzeichnis	626