

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	26
1.2.1	Herstellung von Eisen	27
1.2.1.1	Hochofenverfahren	27
1.2.1.2	Direktreduktions- und Schmelzreduktions-Verfahren	29
1.2.2	Herstellung von Stahl	30
1.2.2.1	Unerwünschte Begleitelemente	31
1.2.2.2	Konverterverfahren	37
1.2.2.3	Elektrostahlverfahren	39
1.2.2.4	Nachbehandlungsverfahren	41
1.3	Aluminium	46
1.4	Kupfer	47
1.5	Nickel	50
1.6	Titan	53
1.7	Magnesium	54
2	Herstellung von Kunststoffen	55
2.1	Technische Durchführung von Polyreaktionen	55
2.2	Chemischer Ablauf von Polyreaktionen	57
2.2.1	Polymerisation	57
2.2.2	Polykondensation	60
2.2.3	Polyaddition	61
2.3	Aufbereitung des polymeren Rohstoffs zum polymeren Werkstoff	63
3	Herstellung nichtmetallisch-anorganischer Werkstoffe	64
3.1	Keramik	64
3.1.1	Standardverfahren	64
3.1.1.1	Silicatkeramik	64

3.1.1.2	Oxidkeramik	66
3.1.1.3	Nichtoxidkeramik	66
3.1.2	Spezielle Herstellverfahren	66
3.1.3	Kohlenstoffprodukte	67
3.1.3.1	Diamant	67
3.1.3.2	Kohlenstoff- und Graphit-Werkstoffe	69
3.2	Glas	72
3.2.1	Rohstoffe und Gemengeansatz	72
3.2.2	Schmelzen	73
3.2.3	Homogenisieren und Läutern	74
3.2.4	Herstellungsbedingte Glasfehler	75
F	Werkstoffverarbeitung	
1	Verarbeitung metallischer Werkstoffe	76
1.1	Gießen	78
1.1.1	Gießverfahren	78
1.1.1.1	Sandguss	79
1.1.1.2	Formmaskenguss	82
1.1.1.3	Ausschmelzverfahren	82
1.1.1.4	Kokillenguss	83
1.1.1.5	Druckguss	84
1.1.1.6	Schleuderguss	85
1.1.2	Vorgänge bei der Erstarrung reiner Metalle	85
1.1.2.1	Lunkerbildung	85
1.1.2.2	Porenbildung	88
1.1.3	Vorgänge bei der Erstarrung von Legierungen	89
1.1.3.1	Seigerung	89
1.1.3.2	Konstitutionelle Unterkühlung	92
1.1.3.3	Warmrisse	94
1.1.4	Erstarrungsmorphologie	95
1.1.5	Gießbarkeit	96
1.1.6	Möglichkeiten zur Beeinflussung des Erstarrungsgefüges	97
1.1.7	Vergleich Gussgefüge – Verformungsgefüge	99
1.2	Galvanoformen	100
1.3	Pulvermetallurgie	101
1.3.1	Technische Durchführung pulvermetallurgischer Prozesse	102
1.3.1.1	Pulverherstellung und -aufbereitung	102
1.3.1.2	Herstellung neuer Werkstoffe in Pulverform	104
1.3.1.3	Formgebung	106
1.3.1.4	Sintern	109
1.3.1.5	Nachbehandlungen	110
1.3.2	Mechanische Eigenschaften gesinterter Bauteile	110

1.4	Umformen	111
1.4.1	Eigenschafts- und Gefügeänderungen	111
1.4.2	Verfahrensparameter	112
1.4.3	Reibung und Schmierung	113
1.4.4	Umformverfahren	114
1.4.4.1	Walzen	114
1.4.4.2	Schmieden	116
1.4.4.3	Strangpressen	117
1.4.4.4	Fließpressen	118
1.4.4.5	Tiefziehen	119
1.4.5	Umformbarkeit	120
1.4.5.1	Kenngrößen	120
1.4.5.2	Umformverhalten metallischer Werkstoffe	122
1.5	Zerspanen	125
1.5.1	Verfahren	125
1.5.2	Versagen des Schneidwerkzeuges	127
1.5.2.1	Versagen durch Überbeanspruchung	127
1.5.2.2	Versagen durch Verschleiß	127
1.5.3	Zerspanbarkeit	129
1.5.3.1	Beurteilungskriterien und Einflussgrößen	129
1.5.3.2	Zerspanungsverhalten einphasiger Metalle	130
1.5.3.3	Zerspanungsverhalten zwei- bzw. mehrphasiger Metalle	131
1.5.3.4	Automatenlegierungen	131
1.5.3.5	Trocken-, Hart- und Hochgeschwindigkeitszerspanung	133
1.6	Erodieren	135
1.7	Thermisches Trennen	136
1.8	Schweißen	138
1.8.1	Grundvorgang des Fügens	138
1.8.2	Schmelzschweißen	141
1.8.2.1	Lichtbogenhandschweißen	141
1.8.2.2	Unterpulver- und Elektroschlackeschweißen	144
1.8.2.3	Schutzgasschweißen	147
1.8.2.4	Schmelzschweißen mit Strahlen hoher Energiedichte	151
1.8.2.5	Sonstige Schmelzschweißverfahren	157
1.8.3	Pressschweißen	159
1.8.3.1	Widerstandspressschweißen	159
1.8.3.2	Diffusionsschweißen	160
1.8.3.3	Reib-, Reibrühr- und Ultraschallschweißen	161
1.8.3.4	Kaltpressschweißen	163
1.8.4	Schweißbarkeit technisch wichtiger Werkstoffe	163
1.8.4.1	Gefügeausbildung im Schweißnahtbereich	163
1.8.4.2	Gefügeausbildung in der Wärmeeinflusszone (WEZ)	164
1.8.4.3	Schweißfehler	166

1.8.4.4	Schweißspannungen	169
1.8.4.5	Probleme beim Schmelzschiessen von Eisenwerkstoffen	171
1.8.4.6	Probleme beim Schmelzschiessen von Nichteisenmetallen	179
1.8.4.7	Probleme beim Schmelzschiessen verschiedenartiger Metalle	183
1.8.4.8	Schweißbarkeit	183
1.9	Löten	184
1.9.1	Prinzipieller Vorgang und technische Durchführung	184
1.9.2	Weichlöten	186
1.9.3	Hartlöten	187
1.9.4	Lötbarkeit	188
1.10	Kleben	189
1.10.1	Klebvorgang sowie Vor- und Nachteile des Klebens	189
1.10.2	Ursachen der Adhäsion	190
1.10.3	Festigkeitsverhalten von Klebverbindungen	191
1.10.4	Klebstoffe für konstruktive Anwendungen	194
1.10.4.1	Phenolharz-Klebstoffe	195
1.10.4.2	Epoxidharz-Klebstoffe	195
1.10.4.3	Polyurethan-Klebstoffe	196
1.10.4.4	Acrylharz-Klebstoffe	196
1.10.4.5	Klebstoffe für erhöhte Temperaturen	197
1.10.5	Technische Durchführung von Klebungen	197
1.11	Beschichten	199
1.11.1	Reinigende Vorbehandlungen	200
1.11.2	Beschichten mit metallischen Überzügen	201
1.11.2.1	Schmelztauchen	201
1.11.2.2	Galvanisieren	202
1.11.2.3	Thermisches Spritzen	208
1.11.2.4	Plattieren	209
1.11.2.5	Diffusions- und Umschmelzlegieren	210
1.11.2.6	Abscheiden aus der Gas-(Dampf-)phase (PVD, CVD)	211
1.11.3	Beschichten mit organischen Überzügen	217
1.11.3.1	Anstriche	217
1.11.3.2	Pulverbeschichtungen	220
1.11.4	Beschichten mit anorganischen Überzügen	221
1.11.4.1	Konversionsschichten	221
1.11.4.2	Oxidschichten	222
1.11.4.3	Emaillieren	223
1.12	Wärmebehandlung	224
1.12.1	Technische Durchführung von Wärmebehandlungen	225
1.12.2	Allgemeine Verfahren zur Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe	229
1.12.2.1	Spannungsarmglühen	229
1.12.2.2	Homogenglühen	231

1.12.2.3	Weichglühen	231
1.12.2.4	Aushärten	232
1.12.2.5	Dispersionshärten	236
1.12.3	Spezielle Verfahren zur durchgreifenden Wärmebehandlung von Stahl	237
1.12.3.1	Normalglühen	237
1.12.3.2	Härten	239
1.12.3.3	Vergüten	249
1.12.3.4	Isothermes Umwandeln in der Bainitstufe	251
1.12.3.5	Weichglühen von Stahl	252
1.12.3.6	Glühen auf verbesserte Zerspanbarkeit	254
1.12.3.7	Thermomechanische Behandlungen	254
1.12.4	Verfahren zur Verfestigung der Randschicht von Stahlteilen	256
1.12.4.1	Wirkung einer Randschichtverfestigung auf das mechanische Verhalten von Bauteilen	257
1.12.4.2	Flamm- und Induktionshärten	259
1.12.4.3	Einsatzhärten	261
1.12.4.4	Nitrieren	268
1.12.4.5	Borieren	274
1.13	Spezielle Verfahren zur endformnahen Herstellung von Bauteilen	276
1.13.1	NNS-Urformverfahren	277
1.13.1.1	Spritzgießen	277
1.13.1.2	Thixoformen	277
1.13.1.3	Sprühkompaktieren	279
1.13.1.4	Additive Fertigung	280
1.13.2	NNS-Umformverfahren	282
1.13.2.1	Pulverschmieden	282
1.13.2.2	Innenhochdruck-Umformen	283
1.13.2.3	Superplastische Formgebung	284
2	Verarbeitung von Kunststoffen	286
2.1	Verarbeitungseigenschaften	286
2.1.1	Unvernetzte Polymere (Thermoplaste)	286
2.1.2	Vernetzte Polymere	289
2.2	Spanlose Formgebung thermoplastischer Kunststoffe	290
2.2.1	Urformen	290
2.2.1.1	Gießen	290
2.2.1.2	Extrudieren	291
2.2.1.3	Spritzgießen	293
2.2.1.4	Kalandrieren	297
2.2.1.5	Sintern	298
2.2.1.6	Schäumen	298

2.2.2	Umformen	300
2.2.2.1	Blasen	300
2.2.2.2	Warmformen	301
2.2.2.3	Verstrecken	302
2.3	Spanlose Formgebung vernetzender Kunststoffe	303
2.3.1	Duroplaste	303
2.3.1.1	Gießen	303
2.3.1.2	Pressen	304
2.3.1.3	Verarbeitung faserverstärkter Duroplaste	306
2.3.2	Elastomere	310
2.4	Zerspanen	311
2.5	Fügen	312
2.5.1	Schweißen	312
2.5.2	Kleben	314
2.6	Beschichten	315
2.7	Thermische Nachbehandlungen	316
3	Verarbeitung nichtmetallisch-anorganischer Werkstoffe	318
3.1	Keramik	318
3.1.1	Silicatkeramik	318
3.1.1.1	Formgebung	319
3.1.1.2	Trocknen	320
3.1.1.3	Brennen	321
3.1.1.4	Glasierern	322
3.1.2	Oxid- und Nichtoxidkeramik	323
3.1.2.1	Formgebung	323
3.1.2.2	Brennen	325
3.1.2.3	Metallisieren und Löten	326
3.2	Glas	327
3.2.1	Formgebung	327
3.2.2	Nachbehandlungen	331
4	Verarbeitungsbedingte Eigenschaftsänderungen	332
G	Werkstoffanwendung	
1	Korrosions-, Verzunderungs-, Verschleißschutz	335
1.1	Korrosionsschutz	335
1.1.1	Grundsätzliche Möglichkeiten	335
1.1.2	Aktiver Korrosionsschutz	336
1.1.2.1	Werkstoffwahl	336
1.1.2.2	Kathodischer Korrosionsschutz	336
1.1.2.3	Inhibitoren	338
1.1.2.4	Konstruktive Maßnahmen	339

1.1.3	Passiver Korrosionsschutz	341
1.1.3.1	Metallische Überzüge	341
1.1.3.2	Anstriche	344
1.2	Schutz gegen Hochtemperaturkorrosion	348
1.2.1	Verzundern	348
1.2.2	Heißgaskorrosion	351
1.2.3	Schutzmaßnahmen	352
1.2.4	Niedertemperatur-Korrosion (Taupunkt-)	354
1.3	Verschleißschutz	355
1.3.1	Verschleißsystem	355
1.3.2	Verschleißmechanismen	356
1.3.2.1	Adhäsionsverschleiß	356
1.3.2.2	Abrasionsverschleiß	357
1.3.2.3	Ermüdungverschleiß	358
1.3.2.4	Tribochemischer Verschleiß	358
1.3.3	Verschleißverhalten	359
1.3.3.1	Metalle	359
1.3.3.2	Nichtmetalle	360
1.3.4	Verschleißschutz	361
1.3.4.1	Wahl geeigneter Werkstoffe	361
1.3.4.2	Beschichtungen	362
1.3.4.3	Schmiermittel	363
2	Leichtbau	365
2.1	Gewichtsminderung und Betriebssicherheit	365
2.2	Betriebsfestigkeit	368
2.3	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	375
2.3.1	Fehler an der Werkstückoberfläche	375
2.3.1.1	Eindringverfahren	375
2.3.1.2	Magnetpulverprüfung	376
2.3.2	Fehler im Werkstückinnern	377
2.3.2.1	Durchstrahlungsprüfung mit Röntgen- und Gammastrahlen (Radiographie)	377
2.3.2.2	Ultraschallprüfung	379
2.3.2.3	Magnetinduktive Prüfverfahren	383
2.4	Leichtbauweisen	384
2.4.1	Stoffleichtbau	384
2.4.2	Formleichtbau	385
3	Leichtbauwerkstoffe	388
3.1	Verbundwerkstoffe	388
3.1.1	Prinzip der Faserverstärkung	389
3.1.2	Verbundwerkstoffe mit Polymermatrix (PMC)	391

3.1.3	Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix (MMC)	395
3.1.4	Verbundwerkstoffe mit keramischer Matrix (CMC)	398
3.2	Leichtmetalle	400
3.2.1	Aluminium-, Titan-Legierungen	400
3.2.2	Magnesium-Legierungen	400
3.2.3	Beryllium-Werkstoffe	401
4	Werkstoffe im Maschinenbau	403
4.1	Bauteile	403
4.1.1	Allgemeine Baustähle	403
4.1.2	Vergütungsstähle	404
4.1.3	Einsatzstähle	406
4.1.4	Gusseisen	407
4.1.4.1	Grauguss mit Lamellengraphit (EN-GJL)	407
4.1.4.2	Grauguss mit Kugelgraphit (EN-GJS)	408
4.1.4.3	Temperguss (EN-GJM)	409
4.1.4.4	Hartguss (EN-GJN)	410
4.1.4.5	Sondergusseisen	411
4.1.5	Stahlguss	411
4.2	Federn	413
4.3	Verschraubungen	414
4.4	Lager	414
4.4.1	Wälzlager	414
4.4.2	Gleitlager	415
4.4.2.1	Anforderungen	415
4.4.2.2	Metallische Gleitlagerwerkstoffe	416
4.4.2.3	Nichtmetallische Gleitlagerwerkstoffe	419
4.5	Gehäuse	422
4.6	Dichtungen	422
5	Werkstoffe in der Fertigungstechnik	424
5.1	Werkzeugstähle	424
5.2	Schneidstoffe	427
5.2.1	Schnellarbeitsstähle	428
5.2.2	Hartmetalle	428
5.2.3	Oxidische Schneidkeramik	431
5.2.4	Nichtoxidische Schneidkeramik	432
5.2.5	Schleifmittel	434
6	Werkstoffe im Verkehrswesen	436
6.1	Werkstoffe in der Luft- und Raumfahrt	436
6.1.1	Flugzeugzelle	436
6.1.1.1	Al-Legierungen	436
6.1.1.2	Verbundwerkstoffe	441
6.1.1.3	Sonstige	443

6.1.2	Fahrwerk	446
6.1.3	Triebwerk	449
6.1.3.1	Funktionsweise	449
6.1.3.2	Hochtemperaturbeanspruchungen	451
6.1.3.3	Werkstoffe	452
6.1.4	Weltraumfahrzeuge	458
6.2	Werkstoffe im Automobilbau	463
6.2.1	Karosserie	463
6.2.2	Motor	465
6.2.3	Fahrwerk	470
6.3	Werkstoffe im Schienenfahrzeugbau	472
6.4	Werkstoffe im Stahl- und Schiffbau	476
6.4.1	Stahlbau	476
6.4.1.1	Normalfeste, schweißbare Baustähle	476
6.4.1.2	Hochfeste, schweißbare Feinkornbaustähle	476
6.4.2	Schiffbau	480
7	Werkstoffe in der Energie- und Verfahrenstechnik	483
7.1	Warmfeste Stähle	486
7.2	Kaltzähe Stähle	489
7.3	Korrosionsbeständige Werkstoffe	490
7.3.1	Eisen und Eisenlegierungen	490
7.3.1.1	Unlegierte, niedriglegierte Stähle und Gusseisen	490
7.3.1.2	Korrosionsbeständige Stähle	492
7.3.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	497
7.3.3	Kupfer und Kupferlegierungen	500
7.3.4	Nickel und Nickellegierungen	502
7.3.5	Titan und Titanlegierungen	503
7.3.6	Sondermetalle	503
7.3.7	Nichtmetalle	504
8	Werkstoffe der Elektrotechnik und Elektronik	505
8.1	Werkstoffe mit Leitfunktion	505
8.1.1	Elektrische Leitung	505
8.1.1.1	Ionen-, Elektronenleitung	505
8.1.1.2	Bändermodell	506
8.1.1.3	Leiter, Halbleiter, Nichtleiter	507
8.1.1.4	Temperaturverhalten	508
8.1.1.5	Thermoelektrizität	510
8.1.2	Leiterwerkstoffe	511
8.1.3	Kontaktwerkstoffe	512
8.1.4	Widerstandswerkstoffe	515
8.1.5	Supraleiter	517

8.1.6	Halbleiter	522
8.1.6.1	Eigen-, Störstellen-, Verbindungshalbleiter	522
8.1.6.2	Halbleiter-Werkstoffe	525
8.1.6.3	Herstellen von Halbleitereinkristallen	527
8.1.6.4	Planartechnik	532
8.1.6.5	Anwendungen	539
8.2	Werkstoffe mit Isolierfunktion	552
8.2.1	Dielektrizität	552
8.2.1.1	Polarisationserscheinungen	552
8.2.1.2	Permittivitätszahl	553
8.2.1.3	Dielektrische Verluste	554
8.2.2	Elektrischer Widerstand	555
8.2.2.1	Durchgangswiderstand, Durchschlagfestigkeit	555
8.2.2.2	Oberflächenwiderstand, Kriechstromfestigkeit	557
8.2.3	Isolierstoffe	558
8.2.3.1	Anorganische Isolierstoffe	558
8.2.3.2	Organische Isolierstoffe	561
8.2.3.3	Gasförmige und flüssige Isolierstoffe	563
8.3	Werkstoffe mit magnetischer Funktion	564
8.3.1	Elektrische und magnetische Feldwirkung	564
8.3.2	Arten des Stoffmagnetismus	564
8.3.2.1	Dia-, Paramagnetismus	565
8.3.2.2	Ferro-, Antiferro-, Ferrimagnetismus	565
8.3.3	Magnetisierungsvorgänge	568
8.3.4	Magnetische Anisotropie	571
8.3.5	Weichmagnetische Werkstoffe	572
8.3.6	Hartmagnetische Werkstoffe	576
8.4	Werkstoffe mit dielektrischer Funktion	579
8.4.1	Kondensatorwerkstoffe	579
8.4.2	Ferroelektrika	581
8.4.3	Piezoelektrizität, Pyroelektrizität	583
H	Tabellenanhang	
1	Metallische Werkstoffe	585
2	Polymerwerkstoffe	599
3	Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe	603
4	Werkstoffe der Elektrotechnik	606
	Quellenverzeichnis und weiterführende Literatur	612
	Sachwortverzeichnis	632