

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur deutschen Auflage	30
Aus dem Vorwort zur fünften amerikanischen Auflage	36
Über die Autoren	37
Kapitel 1 Einführung	39
1.1 Werkstofftechnik und Fertigung	40
1.2 Produktentwurf und simultane Entwicklung	48
1.3 Konstruktion für Fertigung, Montage, Demontage und Wartung	52
1.4 Umweltbewusste Konstruktion, nachhaltige Fertigung und Produktlebenszyklus	53
1.5 Werkstoffwahl	55
1.6 Wahl der Fertigungsprozesse	58
1.7 Computergestützte Fertigung	62
1.8 Schlanke Produktion und agile Fertigung	65
1.9 Qualitätssicherung und umfassendes Qualitätsmanagement	66
1.10 Fertigungskosten und globale Wettbewerbsfähigkeit	67
1.11 Allgemeine Trends in der Fertigung	69
Zusammenfassung	70
Kapitel 2 Das mechanische Verhalten von Werkstoffen	73
2.1 Einführung	74
2.2 Zug	75
2.2.1 Duktilität	79
2.2.2 Wahre Spannung und logarithmische Dehnung	81
2.2.3 Wahre-Spannung-logarithmische-Dehnung-Kurven	82
2.2.4 Instabilität im Zugversuch	84

2.2.5	Arten von Spannung-Dehnung-Kurven	87
2.2.6	Temperatureinfluss	88
2.2.7	Einfluss der Dehngeschwindigkeit	89
2.2.8	Einfluss des hydrostatischen Drucks	94
2.2.9	Einfluss von hochenergetischer Strahlung	95
2.3	Druck	95
2.3.1	Stauchversuch bei ebener Dehnung	96
2.3.2	Bauschinger-Effekt	97
2.3.3	Scheibentest	98
2.4	Torsion	99
2.5	Biegung	101
2.6	Härte	103
2.6.1	Brinellverfahren	104
2.6.2	Rockwellverfahren	105
2.6.3	Vickersverfahren	105
2.6.4	Knoopverfahren	106
2.6.5	Skleroskop	106
2.6.6	Härteprüfung nach Mohs	106
2.6.7	Durometer	106
2.6.8	Zusammenhang zwischen Härte und Festigkeit	107
2.7	Ermüdung	109
2.8	Kriechen	111
2.9	Dynamische Beanspruchung	112
2.10	Eigenspannungen	113
2.10.1	Auswirkungen von Eigenspannungen	115
2.10.2	Verringerung von Eigenspannungen	115

2.11	Dreiachsiger Spannungszustand und Fließbedingungen	117
2.11.1	Die Schubspannungshypothese.....	119
2.11.2	Die Gestaltänderungsenergiehypothese	119
2.11.3	Ebene Spannung und ebene Dehnung	122
2.11.4	Experimentelle Überprüfung der Fließbedingungen	125
2.11.5	Volumendehnung	125
2.11.6	Vergleichsspannung und Vergleichsdehnung	126
2.11.7	Vergleich von Hauptspannung-Hauptdehnung und Schubspannung-Scherdehnung	126
2.12	Verformungsarbeit	128
2.12.1	Arbeit, Wärme und Temperaturanstieg	131
	Zusammenfassung	133
	Wichtige Gleichungen.....	135
	Verständnisfragen	136
	Rechenaufgaben.....	139
Kapitel 3	Struktur und Verarbeitungseigenschaften der Metalle	145
3.1	Einleitung.....	146
3.2	Die Kristallstruktur der Metalle	147
3.3	Verformung und Festigkeit von Einkristallen.....	149
3.3.1	Gleitsysteme.....	151
3.3.2	Ideale Zugfestigkeit eines Kristalls	153
3.3.3	Baufehler in Kristallen	154
3.3.4	Versetzungshärtung (Verformungsverfestigung).....	156
3.4	Körner und Korngrenzen.....	156
3.4.1	Korngröße	158
3.4.2	Korngrenzen.....	159
3.5	Plastische Verformung polykristalliner Metalle	160

3.6	Erholung, Rekristallisation und Kornwachstum	162
3.7	Kalt- und Warmumformung	164
3.8	Versagen und Bruch	165
3.8.1	Duktiler Bruch	166
3.8.2	Spröder Bruch	169
3.8.3	Größeneinfluss	174
3.9	Physikalische Eigenschaften	175
3.9.1	Dichte	175
3.9.2	Schmelzpunkt	175
3.9.3	Spezifische Wärme	177
3.9.4	Wärmeleitfähigkeit	177
3.9.5	Thermische Ausdehnung	177
3.9.6	Elektrische und magnetische Eigenschaften	178
3.9.7	Korrosionsbeständigkeit	180
3.10	Eigenschaften und Anwendungen von Eisenlegierungen	181
3.10.1	Herstellung von Eisen und Stahl	182
3.10.2	Unlegierte und legierte Stähle	187
3.10.3	Hochlegierte rostfreie Stähle	197
3.10.4	Stähle für Werkzeuge, Gesenke und Formen	200
3.11	Eigenschaften und Anwendungen von Nichteisenmetallen und -legierungen	202
3.11.1	Aluminium und Aluminiumlegierungen	203
3.11.2	Magnesium und Magnesiumlegierungen	207
3.11.3	Kupfer und Kupferlegierungen	209
3.11.4	Nickel und Nickellegierungen	209
3.11.5	Superlegierungen	211
3.11.6	Titan und Titanlegierungen	212
3.11.7	Refraktärmetalle	214

3.11.8	Weitere Nichteisenmetalle	215
3.11.9	Besondere metallische Werkstoffe	217
3.12	Wärmebehandlung	219
3.12.1	Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen	219
3.12.2	Wärmebehandlung von Nichteisenmetallen und hochlegierten Stählen	222
3.12.3	Oberflächenhärten	224
3.12.4	Glühen	226
3.12.5	Anlassen	227
3.12.6	Tieftemperaturbehandlung	228
3.12.7	Wärmebehandlungsgerechter Entwurf	229
Fallstudie	.....	229
Zusammenfassung	.....	232
Wichtige Gleichungen	.....	233
Verständnisfragen	.....	233
Rechenaufgaben	.....	235
Kapitel 4	Oberflächen, Tribologie, Maßtoleranzen, Inspektion und Qualitätssicherung	237
4.1	Einführung	238
4.2	Oberflächenstruktur und Eigenschaften	239
4.3	Oberflächentextur (Feingestalt) und Rauigkeit	241
4.4	Tribologie: Reibung, Verschleiß und Schmierung	246
4.4.1	Reibung	246
4.4.2	Verschleiß	253
4.4.3	Schmierung	260
4.4.4	Flüssigkeiten in der Metallbearbeitung	262
4.5	Oberflächenbehandlung, Beschichtung und Reinigung	266
4.5.1	Oberflächenbehandlungen	267

4.5.2	Reinigung von Oberflächen	277
4.6	Technische Messtechnik und Messinstrumente	279
4.6.1	Messinstrumente	279
4.6.2	Automatisiertes Messen	285
4.7	Maßtoleranzen	286
4.8	Prüfung und Inspektion	287
4.8.1	Zerstörungsfreie Prüfverfahren	287
4.8.2	Zerstörende Prüfverfahren.....	290
4.8.3	Automatisierte Prüfung.....	290
4.9	Qualitätssicherung	291
4.9.1	Statistische Methoden der Qualitätskontrolle.....	292
4.9.2	Statistische Prozesskontrolle	295
	Zusammenfassung	300
	Wichtige Gleichungen.....	302
	Verständnisfragen	302
	Rechenaufgaben.....	305
Kapitel 5	Gießen: Verfahren und Werkstoffe	307
5.1	Einleitung.....	308
5.2	Erstarrung von Metallen und Legierungen	309
5.2.1	Mischkristalle	310
5.2.2	Intermetallische Verbindungen	310
5.2.3	Zweiphasenlegierungen	310
5.2.4	Zustandsdiagramme	311
5.2.5	Das Zustandsdiagramm Eisen-Kohlenstoff.....	313
5.2.6	Das Zustandsdiagramm Eisen-Eisenkarbid	315

5.3	Gussgefüge	316
5.3.1	Reine Metalle	317
5.3.2	Legierungen	318
5.3.3	Mikrostruktur-Eigenschaften-Beziehungen	320
5.4	Fließen von Schmelzen und Wärmeübertragung	322
5.4.1	Strömung von Flüssigkeiten	322
5.4.2	Fließeigenschaften von flüssigen Metallen	326
5.4.3	Wärmeübertragung	327
5.4.4	Erstarrungszeit	328
5.4.5	Schwindung	330
5.5	Schmelzen und Schmelzeinrichtungen	330
5.6	Gusslegierungen	332
5.6.1	Eisengusswerkstoffe	335
5.6.2	Nichteisengusswerkstoffe	339
5.7	Blockguss und Strangguss	339
5.7.1	Blockguss von Eisenlegierungen	340
5.7.2	Strangguss	340
5.7.3	Bandgießen	342
5.8	Gießen mit verlorenen Formen und Dauermodellen	342
5.8.1	Sandguss	343
5.8.2	Schalenguss	346
5.8.3	Gießen mit Gipsformen	348
5.8.4	Gießen mit keramischen Formen	349
5.8.5	Vakuulguss	349
5.9	Gießen mit verlorenen Formen und verlorenen Modellen	350
5.9.1	Vollformguss	350
5.9.2	Feinguss (Wachsausschmelzverfahren)	352

5.10	Gießen mit Dauerformen	354
5.10.1	Kippguss	355
5.10.2	Niederdruckguss	356
5.10.3	(Hoch-)Druckguss	356
5.10.4	Schleuderguss	359
5.10.5	Pressgießen	361
5.10.6	Thixo- und Rheogießen.....	362
5.10.7	Gießen von Einkristallen	362
5.10.8	Schnellerstarrung	365
5.10.9	Putzen, Endbearbeiten und Begutachten von Gussstücken	366
5.11	Entwurfsüberlegungen	366
5.11.1	Fehler in Gussstücken	366
5.11.2	Allgemeine Entwurfsüberlegungen	370
5.11.3	Entwurfsprinzipien beim Gießen mit verlorenen Formen.....	374
5.11.4	Entwurfsprinzipien beim Gießen mit Dauerformen.....	375
5.11.5	Computersimulation von Gießprozessen	376
5.12	Wirtschaftliche Überlegungen beim Gießen	376
	Fallstudie	378
	Zusammenfassung	381
	Wichtige Gleichungen.....	383
	Verständnisfragen	383
	Rechenaufgaben.....	386
	Fragen zum Entwurf	389
Kapitel 6	Massivumformverfahren	393
6.1	Einführung.....	394
6.2	Schmieden	394

6.2.1	Freiformschmieden.....	395
6.2.2	Analyse des Freiformschmiedens.....	399
6.2.3	Schmiedeverfahren.....	408
6.2.4	Besondere Schmiedeverfahren	412
6.2.5	Schmiedefehler.....	416
6.2.6	Schmiedbarkeit.....	417
6.2.7	Schmiedegesenke	418
6.2.8	Schmiedemaschinen	421
6.3	Walzen.....	422
6.3.1	Mechanik des Flachwalzens.....	424
6.3.2	Fehler in gewalzten Produkten	436
6.3.3	Vibrationen und Rattern beim Walzen	436
6.3.4	Flachwalzbetrieb	438
6.3.5	Spezielle Walzverfahren.....	441
6.4	Strangpressen und Fließpressen	445
6.4.1	Werkstofffluss beim Fließpressen (Strangpressen)	447
6.4.2	Mechanik des Fließpressens (Strangpressen)	448
6.4.3	Spezielle Fließpressverfahren	454
6.4.4	Fehler beim Fließpressen.....	457
6.4.5	Praxis des Fließpressens.....	459
6.5	Stangen-, Draht- und Rohrziehen	461
6.5.1	Mechanik des Ziehens.....	462
6.5.2	Fehler beim Ziehen.....	469
6.5.3	Praxis des Ziehens	470
6.6	Hämmern	472
6.7	Verfahren für die Gesenkfertigung	474
6.8	Schäden an Gesenken.....	475

6.9	Wirtschaftlichkeit der Massivumformung	476
	Fallstudie	478
	Zusammenfassung	480
	Wichtige Gleichungen	481
	Verständnisfragen	483
	Rechenaufgaben	486
	Fragen zum Entwurf	492
Kapitel 7	Verarbeitung von Blechen	495
7.1	Einführung	496
7.2	Eigenschaften von Blechen	497
	7.2.1 Dehnverhalten von Blechen	498
7.3	Scherschneiden	502
	7.3.1 Scherverfahren	506
	7.3.2 Werkzeuge für das Scherschneiden	509
	7.3.3 Weitere Verfahren zum Schneiden von Blechen	510
	7.3.4 Maßgeschneiderte Platinen	510
7.4	Biegen von Blechen und Platten	513
	7.4.1 Minimaler Biegeradius	513
	7.4.2 Rückfederung	516
	7.4.3 Kräfte beim Biegen	520
	7.4.4 Gebräuchliche Biegeverfahren	521
	7.4.5 Rohrbiegen	525
7.5	Weitere Umformverfahren	526
	7.5.1 Streckziehen	526
	7.5.2 Ausbauchen	529
	7.5.3 Umformung mit Wirkmedien	530

7.5.4	Drücken	532
7.5.5	Hochenergieumformung	537
7.5.6	Sonderverfahren	540
7.6	Tiefziehen	545
7.6.1	Tiefziehbarkeit (Grenzziehverhältnis)	549
7.6.2	Praxis des Tiefziehens	555
7.7	Umformbarkeit von Blechen und Modellierung	558
7.7.1	Tests zur Beurteilung der Umformbarkeit	558
7.7.2	Beulsteifigkeit von Blechen	564
7.7.3	Modellierung von Blechumformverfahren	564
7.8	Anlagen für die Blechverarbeitung	565
7.9	Entwurfsüberlegungen	565
7.10	Wirtschaftlichkeit der Blechumformung	568
	Fallstudie	569
	Zusammenfassung	572
	Wichtige Gleichungen	573
	Verständnisfragen	573
	Rechenaufgaben	577
	Fragen zum Entwurf	579
Kapitel 8	Materialabtragverfahren: Spanen	581
8.1	Einführung	582
8.2	Mechanik der Spanbildung	584
8.2.1	Spanmorphologie	588
8.2.2	Mechanik des schrägen Schneidens	594
8.2.3	Kräfte beim orthogonalen Schneiden	596
8.2.4	Schnittwinkelbeziehungen	601

8.2.5	Spezifische Arbeit	603
8.2.6	Temperatur	605
8.3	Verschleiß und Versagen von Werkzeugen	608
8.3.1	Freiflächenverschleiß.....	610
8.3.2	Kolkverschleiß	614
8.3.3	Ausbruch.....	615
8.3.4	Allgemeine Bemerkungen zum Werkzeugverschleiß.....	616
8.3.5	Überwachung des Werkzeugzustands.....	616
8.4	Oberflächengüte und -beschaffenheit	618
8.5	Bearbeitbarkeit.....	621
8.5.1	Bearbeitbarkeit von Stählen	621
8.5.2	Bearbeitbarkeit von anderen metallischen Werkstoffen	623
8.5.3	Bearbeitbarkeit von nichtmetallischen und Verbundwerkstoffen	623
8.5.4	Thermisch unterstützte Bearbeitung	624
8.6	Schneidstoffe	624
8.6.1	Kohlenstoff- und niedriglegierte Stähle.....	627
8.6.2	Schnellarbeitsstähle	627
8.6.3	Gegossene Kobaltlegierungen.....	628
8.6.4	Karbide	628
8.6.5	Beschichtete Werkzeuge	631
8.6.6	Aluminiumoxidkeramik.....	635
8.6.7	Kubisches Bornitrid	636
8.6.8	Siliziumnitridkeramik.....	636
8.6.9	Diamant	636
8.6.10	Whiskerverstärkte und nanometerskalige Schneidstoffe	637
8.6.11	Tieftemperaturbehandlung von Schneidwerkzeugen	638
8.7	Schneidflüssigkeiten	638

8.7.1	Arten und Anwendungsmethoden von Schneidflüssigkeiten	639
8.7.2	Minimalmengenschmierung und Trockenbearbeitung	640
8.7.3	Tieftemperaturbearbeitung	641
8.8	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung	641
8.9	Bearbeitungsvorgänge und Werkzeugmaschinen für die Fertigung von runden Formen	642
8.9.1	Parameter beim Drehen	645
8.9.2	Drehmaschinen	650
8.9.3	Ausdrehen	655
8.9.4	Bohren, Räumen und Gewindebohren	656
8.10	Bearbeitungsvorgänge und Werkzeugmaschinen zur Herstellung verschiedener Formen	660
8.10.1	Fräsen	660
8.10.2	Hobeln und Hobelmaschinen	669
8.10.3	Stoßen und Stoßmaschinen	670
8.10.4	Räumen und Räummaschinen	670
8.10.5	Sägen	672
8.10.6	Feilen	674
8.10.7	Zahnradherstellung durch spanende Bearbeitung	674
8.11	Bearbeitungs- und Drehzentren	676
8.11.1	Arten von Bearbeitungs- und Drehzentren	678
8.11.2	Charakteristika von Bearbeitungszentren	679
8.11.3	Rekonfigurierbare Maschinen und Systeme	680
8.11.4	Hexapod-Maschinen	682
8.12	Schwingungen und Rattern	684
8.13	Maschinen-Werkzeug-Strukturen	687
8.14	Überlegungen zum Entwurf	688

8.15	Wirtschaftlichkeit der spanenden Bearbeitung	691
	Fallstudie	695
	Zusammenfassung	697
	Wichtige Gleichungen.....	699
	Verständnisfragen	700
	Rechenaufgaben.....	706
	Fragen zum Entwurf	711
Kapitel 9	Materialabtragverfahren: Abrasiv, chemisch, elektrisch und mit Strahlen	715
9.1	Einführung.....	716
9.2	Schleifstoffe.....	717
9.3	Gebundene Schleifstoffe	719
9.3.1	Bindemittel	722
9.3.2	Schleifscheibengüte und -struktur	723
9.4	Mechanik des Schleifens.....	724
9.4.1	Kräfte beim Schleifen	728
9.4.2	Temperatur beim Schleifen	730
9.4.3	Auswirkungen der Temperatur beim Schleifen	731
9.5	Verschleiß von Schleifkörpern	732
9.5.1	Abrichten und Profilieren von Schleifscheiben	734
9.5.2	(Volumen-)Schleifverhältnis.....	736
9.5.3	Schleifscheibenwahl und Schleifbarkeit.....	737
9.6	Schleifverfahren und Schleifmaschinen	738
9.6.1	Planschleifen	738
9.6.2	Umfangsrundschleifen	739
9.6.3	Innenrundschleifen	740

9.6.4	Spitzenlosschleifen	741
9.6.5	Spezielle Arten von Schleifmaschinen	742
9.6.6	Schleichgangschleifen	743
9.6.7	Hochleistungsschleifen	743
9.6.8	Rattern beim Schleifen	744
9.6.9	Schleifflüssigkeiten	744
9.7	Verfahren der Endbearbeitung	746
9.8	Entgraten	751
9.9	Ultraschallbearbeitung	752
9.10	Chemische Bearbeitung	755
9.10.1	Chemisches Abtragen	755
9.10.2	Chemisches Ausschneiden	756
9.10.3	Fotochemisches Ausschneiden	756
9.11	Elektrochemische Bearbeitung	758
9.12	Elektrochemisches Schleifen	761
9.13	Funkenerosive Bearbeitung	763
9.13.1	Funkenerosives Schleifen	766
9.13.2	Funkenerosives Schneiden	767
9.14	Bearbeitung mit hochenergetischer Strahlung	768
9.14.1	Laserstrahlbearbeitung	768
9.14.2	Elektronenstrahlbearbeitung und Plasma(lichtbogen)schneiden	770
9.15	Bearbeitung mit Wasserstrahlen und anderen Fluiden	771
9.16	Entwurfsüberlegungen	774
9.17	Wirtschaftliche Betrachtungen	776
	Fallstudie	778
	Zusammenfassung	781

Wichtige Gleichungen.....	782
Verständnisfragen	783
Rechenaufgaben.....	786
Fragen zum Entwurf	789
Kapitel 10 Polymere und verstärkte Kunststoffe; Rapid Prototyping und Rapid Tooling	791
10.1 Einführung.....	792
10.2 Aufbau der Polymere	795
10.2.1 Polymerisation	795
10.2.2 Kristallinität	799
10.2.3 Glasübergangstemperatur.....	801
10.2.4 Polymermischungen.....	802
10.2.5 Additive in Polymeren	802
10.3 Thermoplaste: Eigenschaften.....	803
10.4 Duromere: Eigenschaften.....	812
10.5 Thermoplaste: Allgemeine Eigenschaften und Anwendungen	812
10.6 Duromere: Allgemeine Eigenschaften und Anwendungen	815
10.7 Hochtemperaturpolymere, elektrisch leitende Polymere, biologisch abbaubare Kunststoffe	816
10.7.1 Hochtemperaturpolymere	816
10.7.2 Elektrisch leitende Polymere	817
10.7.3 Biologisch abbaubare Polymere	817
10.8 Elastomere: Eigenschaften und Anwendungen.....	819
10.9 Verstärkte Kunststoffe.....	820
10.9.1 Aufbau verstärkter Kunststoffe	821
10.9.2 Verstärkungsfasern: Eigenschaften und Herstellung	822
10.9.3 Fasergröße und -länge	827

10.9.4	Matrixwerkstoffe	828
10.9.5	Eigenschaften verstärkter Kunststoffe.....	828
10.9.6	Anwendungen von verstärkten Kunststoffen	832
10.10	Verarbeitung von Kunststoffen	833
10.10.1	Extrudieren	834
10.10.2	Spritzgießen	841
10.10.3	Blasformen	847
10.10.4	Rotationsgießen	847
10.10.5	Thermoformung	849
10.10.6	Formpressen	850
10.10.7	Fließformen	852
10.10.8	Gießen.....	853
10.10.9	Kaltformen und Formen in der festen Phase	854
10.10.10	Verarbeitung von Elastomeren	854
10.11	Verarbeitung von verstärkten Kunststoffen.....	855
10.11.1	Formen	858
10.11.2	Wickeln, Pultrusion	860
10.11.3	Produktqualität	862
10.12	Rapid Prototyping und Rapid Tooling.....	862
10.12.1	Stereolithographie	866
10.12.2	PolyJet-Verfahren	868
10.12.3	Schmelzschtichtung.....	868
10.12.4	Selektives Lasersintern	870
10.12.5	3D-Drucken	871
10.12.6	Direkte (schnelle) Fertigung und Rapid Tooling	873
10.13	Überlegungen zum Entwurf.....	878
10.14	Wirtschaftlichkeit der Kunststoffverarbeitung.....	880

Fallstudie	882
Zusammenfassung	884
Wichtige Gleichungen.....	885
Verständnisfragen	886
Rechenaufgaben.....	890
Fragen zum Entwurf	893
Kapitel 11 Eigenschaften und Verarbeitung von Metallpulvern, Keramik, Glas und Supraleitern	895
11.1 Einführung.....	896
11.2 Pulvermetallurgie	897
11.2.1 Herstellung von Metallpulvern	898
11.2.2 Partikelgröße, -verteilung und -form	901
11.2.3 Mischen von Metallpulvern	903
11.3 Verdichten von Metallpulvern	904
11.3.1 Druckverteilung beim Verdichten von Metallpulvern.....	908
11.3.2 Anlagen	910
11.3.3 Isostatisches Pressen	910
11.3.4 Besondere Verfahren	912
11.3.5 Werkzeugwerkstoffe	915
11.4 Sintern	915
11.5 Sekundäre und Endbearbeitung	922
11.6 Überlegungen zum Entwurf in der Pulvermetallurgie	924
11.7 Wirtschaftlichkeit der Pulvermetallurgie	928
11.8 Keramik: Struktur, Eigenschaften und Anwendungen	929
11.8.1 Struktur von Keramiken und Keramikarten.....	931
11.8.2 Eigenschaften und Anwendungen von Keramiken.....	934

11.9	Formen von Keramik.....	941
11.9.1	Gießen.....	942
11.9.2	Plastisches Formen.....	943
11.9.3	Pressen.....	943
11.9.4	Trocknen und Brennen.....	946
11.9.5	Endbearbeitung.....	948
11.10	Glas: Struktur, Eigenschaften und Anwendungen.....	949
11.10.1	Glasarten.....	950
11.10.2	Mechanische Eigenschaften.....	950
11.10.3	Physikalische Eigenschaften.....	951
11.10.4	Glaskeramik.....	951
11.11	Formen von Glas.....	951
11.11.1	Herstellung von diskreten Glasprodukten.....	953
11.11.2	Behandlung von Glas.....	955
11.12	Überlegungen zum Entwurf von Keramik und Glas.....	956
11.13	Graphit und Diamant.....	957
11.13.1	Graphit.....	957
11.13.2	Diamant.....	958
11.14	Verarbeitung von Metallmatrix- und Keramikmatrix-Verbundwerkstoffen.....	959
11.14.1	Metallmatrix-Verbundwerkstoffe.....	959
11.14.2	Keramikmatrix-Verbundwerkstoffe.....	961
11.14.3	Besondere Verbundwerkstoffe.....	962
11.15	Verarbeitung von Supraleitern.....	963
	Fallstudie.....	964
	Zusammenfassung.....	965
	Wichtige Gleichungen.....	966
	Verständnisfragen.....	966

Rechenaufgaben.....	969
Fragen zum Entwurf	971
Kapitel 12 Fügeverfahren	973
12.1 Einführung.....	974
12.2 Gasschmelzschweißen	977
12.3 Lichtbogenschweißen mit abschmelzender Elektrode	979
12.3.1 Wärmeeintrag beim Lichtbogenschweißen.....	979
12.3.2 Lichtbogenhandschweißen	980
12.3.3 Unterpulver-Lichtbogenschweißen	982
12.3.4 Metall-Schutzgasschweißen	983
12.3.5 Schweißen mit gefüllter Drahtelektrode	985
12.3.6 Elektrogasschweißen	986
12.3.7 Elektroschlackeschweißen.....	987
12.3.8 Elektroden für das Lichtbogenschweißen.....	988
12.4 Lichtbogenschweißen mit nicht abschmelzender Elektrode	989
12.4.1 Wolfram-Schutzgasschweißen	989
12.4.2 Schweißen mit atomarem Wasserstoff	990
12.4.3 Wolfram-Plasmaschweißen	990
12.5 Hochenergiestrahlschweißen.....	991
12.5.1 Elektronenstrahlschweißen	992
12.5.2 Laserstrahlschweißen.....	993
12.6 Schmelzschweiß-Fügezone	994
12.6.1 Güte der Schweißung.....	997
12.6.2 Schweißbeignung.....	1004
12.6.3 Prüfen von Schweißverbindungen.....	1005
12.6.4 Auswahl des Schweißverfahrens	1008

12.7	Kaltpressschweißen	1008
12.8	Ultraschallschweißen	1010
12.9	Reibschweißen	1011
12.10	Widerstandsschweißen	1013
	12.10.1 Widerstandspunktschweißen	1015
	12.10.2 Widerstandsschweißen von Säumen	1017
	12.10.3 Widerstands-Buckelschweißen	1018
	12.10.4 Stumpfschweißen	1019
	12.10.5 Bolzen(lichtbogen)schweißen	1019
	12.10.6 Perkussionsschweißen	1020
12.11	Explosionsschweißen	1021
12.12	Diffusionsschweißen	1022
12.13	Lötverfahren	1023
	12.13.1 Hartlöten	1024
	12.13.2 Hartlötverfahren	1026
	12.13.3 Weichlöten	1028
12.14	Kleben	1033
	12.14.1 Klebstoffarten	1034
	12.14.2 Vorbereiten der Oberflächen	1037
	12.14.3 Prozessfähigkeit	1037
	12.14.4 Elektrisch leitfähige Klebstoffe	1038
12.15	Mechanisches Verbinden	1039
	12.15.1 Vorbereiten der Bohrung	1039
	12.15.2 Verbinder mit Gewinden	1040
	12.15.3 Niete	1040
	12.15.4 Weitere Verbindungstechniken	1041

12.16	Fügen von nichtmetallischen Werkstoffen	1043
12.16.1	Fügen von Thermoplasten	1043
12.16.2	Fügen von Duromeren	1045
12.16.3	Fügen von Keramiken und Gläsern	1045
12.17	Entwurfsüberlegungen beim Fügen	1046
12.17.1	Schweißen	1046
12.17.2	Hart- und Weichlöten	1048
12.17.3	Kleben	1049
12.17.4	Mechanisches Verbinden	1049
12.18	Wirtschaftlichkeit des Fügens	1051
	Fallstudie	1052
	Zusammenfassung	1057
	Wichtige Gleichungen	1058
	Verständnisfragen	1058
	Rechenaufgaben	1063
	Fragen zum Entwurf	1065
Kapitel 13	Fertigung von mikroelektronischen, mikromechanischen und mikroelektromechanischen Bauteilen	1067
13.1	Einführung	1068
13.2	Reinraumtechnik	1072
13.3	Halbleiter und Silizium	1073
13.4	Kristallzüchtung und Waferherstellung	1075
13.5	Schichten und Schichtabscheidung	1078
13.6	Oxidation	1080
13.7	Lithographie	1081
13.8	Ätzen	1090

13.8.1	Nassätzen	1090
13.8.2	Trockenätzen	1097
13.9	Diffusion und Ionenimplantation	1101
13.10	Metallisierung und Funktionstests	1102
13.11	Verdrahten und Gehäusemontage	1105
13.12	Ausbeute und Zuverlässigkeit von Chips	1110
13.13	Leiterplatten	1111
13.14	Mikrobearbeitung von MEMS-Bauteilen	1113
13.14.1	Massiv-Mikrobearbeitung (Volumenmikromechanik)	1115
13.14.2	Mikrobearbeitung von Oberflächen (Oberflächenmikromechanik)	1116
13.15	LIGA und verwandte Mikrofertigungsverfahren	1125
13.16	Formenlose Fertigung von Bauteilen	1132
13.17	Mesoskalige Fertigung	1133
13.18	Nanoskalige Fertigung	1134
	Fallstudie	1136
	Zusammenfassung	1139
	Verständnisfragen	1140
	Rechenaufgaben	1143
	Fragen zum Entwurf	1144
Kapitel 14	Produktgestaltung und Fertigung im globalen Wettbewerb	1147
14.1	Einführung	1148
14.2	Produktentwurf und robuster Entwurf	1149
14.2.1	Überlegungen zum Produktentwurf	1151
14.2.2	Produktentwurf und Werkstoffmengen	1152
14.2.3	Robustheit und robuster Entwurf	1153
14.3	Produktqualität und Qualitätsmanagement	1155

14.3.1	Qualität als Fertigungsziel	1155
14.3.2	Umfassendes Qualitätsmanagement	1157
14.3.3	Deming-Methoden	1157
14.3.4	Taguchi-Methoden	1158
14.3.5	Taguchi-Verlustfunktion	1159
14.3.6	Die ISO- und QS-Normen	1161
14.4	Lebenszyklusentwicklung und nachhaltige Fertigung	1163
14.5	Werkstoffwahl für Produkte	1165
14.5.1	Allgemeine Werkstoffeigenschaften	1165
14.5.2	Lieferformate handelsüblicher Werkstoffe	1166
14.5.3	Verarbeitungseigenschaften von Werkstoffen	1167
14.5.4	Versorgungssicherheit bei Werkstoffen	1168
14.5.5	Werkstoff- und Verarbeitungskosten	1168
14.6	Substitution von Werkstoffen in Produkten	1170
14.7	Fähigkeiten von Fertigungsprozessen	1172
14.7.1	Robustheit von Fertigungsprozessen und -maschinen	1176
14.8	Auswahl der Fertigungsverfahren	1176
14.9	Fertigungskosten und Kosteneinsparung	1179
14.9.1	Kosteneinsparung	1181
	Zusammenfassung	1183
	Wichtige Gleichungen	1184
	Verständnisfragen	1184
	Rechenaufgaben	1186
	Fragen zum Entwurf	1186
	Bildnachweis	1191
	Literaturverzeichnis	1195
	Index	1217