

Inhalt

1	Einführung	1
2	Urformen	5
2.1	Urformen durch Gießen	5
2.1.1	Grundbegriffe der Gießereitechnologie	5
2.1.1.1	Formen und Formverfahren	6
2.1.1.2	Formverfahren mit verlorenen Formen	8
2.1.1.3	Dauerformverfahren	9
2.1.1.4	Schmelzen	10
2.1.1.5	Gießen	10
2.1.1.6	Putzen	12
2.1.1.7	Wärmebehandlung	13
2.1.1.8	Qualitätsmanagement	13
2.1.1.9	Konstruieren mit Gusswerkstoffen	15
2.2	Metallkundliche Grundlagen des Gießens	15
2.2.1	Entstehung der Gussgefüge	15
2.2.2	Stoffzustände	15
2.2.3	Keimbildung und Impfen	17
2.2.3.1	Homogene Keimbildung	17
2.2.3.2	Impfen der Schmelze	18
2.2.4	Kristallformen	19
2.2.4.1	Globulare Kristallformen	21
2.2.4.2	Säulenförmige Kristalle	21
2.2.4.3	Dendritische Kristallformen	22
2.2.5	Erstarrungstypen	22
2.2.6	Isotropes, anisotropes und quasi-isotropes Verhalten von Gusswerkstoffen	23
2.3	Gusswerkstoffe	24
2.3.1	Eisengusswerkstoffe	24
2.3.1.1	Gusseisen	25
	Gusseisen mit Lamellengrafit	25
	Gusseisen mit Kugelgrafit	28
	Gusseisen mit Vermiculargrafit	30
2.3.1.2	Temperguss	31
	Weißer Temperguss	32
2.3.1.3	Stahlguss	33
2.3.2	Nichteisen-Gusswerkstoffe	35
2.3.2.1	Leichtmetall-Gusswerkstoffe	36
	Druckgusslegierungen	36
	Kokillengusslegierungen	38
	Sandgusslegierungen	38
2.3.2.2	Schwermetall-Gusswerkstoffe	39
	Zinkdruckguss-Legierungen	39
	Kupfergusswerkstoffe	40

2.4	Gießbarkeit	40
2.4.1	Fließ- und Formfüllungsvermögen	41
2.4.2	Schwindung (Schrumpfung)	42
2.4.3	Warmrissneigung	45
2.4.4	Gasaufnahme	47
2.4.5	Penetrationen	48
2.4.6	Seigerungen	49
2.4.7	Fehlerzusammenstellung bei Sandguss	50
2.5	Form- und Gießverfahren	50
2.5.1	Formverfahren mit verlorenen Formen	50
2.5.1.1	Tongebundene Formstoffe	51
	Handformen	54
	Maschinenformen mit Kästen	56
	Kastenloses Formen	59
2.5.1.2	Kohlensäure-Erstarrungsverfahren (CO ₂ -Verfahren)	60
2.5.1.3	Maskenformverfahren	61
2.5.2	Formverfahren mit verlorenen Formen nach verlorenen Modellen	65
2.5.2.1	Feingießverfahren	65
2.5.2.2	Vollformgießverfahren	67
2.5.3	Formverfahren mit Dauerformen	68
2.5.3.1	Druckgießverfahren	68
2.5.3.2	Kokillengießverfahren	73
2.5.3.3	Schleudergießverfahren	75
2.6	Gestaltung von Gussteilen	77
2.6.1	Allgemeines	77
2.6.2	Gestaltungsregeln	77
2.6.3	Gießgerechte Gestaltung	78
2.6.4	Beanspruchungsgerechte Gestaltung	85
2.6.5	Fertigungsgerechte Gestaltung	87
2.6.6	Normung von Erzeugnissen aus Gusseisen	90
2.6.7	Normung von Erzeugnissen aus Stahlguss	90
2.7	Urformen durch Sintern (Pulvermetallurgie)	91
2.7.1	Pulvermetallurgische Grundbegriffe	91
2.7.2	Pulvererzeugung	92
2.7.3	Presstechnik	93
2.7.4	Sintern	95
2.7.5	Arbeitsverfahren zum Verbessern der Werkstoffeigenschaften	96
2.7.6	Anwendungen	99
2.8	Gestaltung von Sinterteilen	99
2.8.1	Allgemeines	99
2.8.2	Gestaltungsregeln	99
2.8.3	Werkstoff- und werkzeuggerechte Gestaltung	100
2.8.4	Fertigungs- und fügegerechte Gestaltung	102
2.9	Urformen mit Hilfe generativer Verfahren (Rapid Prototyping)	105
2.9.1	Stereolithografie	106
2.9.1.1	Funktionsschema	107
2.9.1.2	Fertigungsablauf	108

2.9.1.3	Polymerisation	109
2.9.2	Selektives Lasersintern	110
2.9.3	Laminierverfahren	111
2.9.4	Extrusionsverfahren	112
2.9.5	3D-Drucken	113
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	114
3	Fügen	115
3.1	Das Fügeverfahren Schweißen	115
3.1.1	Bedeutung der Schweißtechnik	115
3.1.2	Das Fertigungsverfahren Schweißen; Abgrenzung und Definitionen	115
3.1.3	Einteilung der Schweißverfahren	116
3.1.4	Hinweise zur Wahl des Schweißverfahrens	119
3.2	Werkstoffliche Grundlagen für das Schweißen	121
3.2.1	Wirkung der Wärmequelle auf die Werkstoffeigenschaften	121
3.2.2	Physikalische Eigenschaften der Werkstoffe	122
3.2.3	Einfluss des Temperaturfeldes	123
3.2.4	Werkstoffbedingte Besonderheiten und Schwierigkeiten beim Schweißen	125
3.2.4.1	Probleme während des Erwärmens	125
3.2.4.2	Probleme während des Erstarrens	126
3.2.4.3	Verbindungs- und Auftragschweißen unterschiedlicher Werkstoffe	128
3.2.4.4	Schweißbarkeit metallischer Werkstoffe	130
3.3	Gasschweißen (Kennzahl: 311)	131
3.3.1	Verfahrensprinzip	131
3.3.2	Die Acetylen-Sauerstoff-Flamme	131
3.3.3	Betriebsstoffe: Acetylen, Sauerstoff	132
3.3.4	Der Schweißbrenner	133
3.3.5	Arbeitsweisen beim Gasschweißen	133
3.3.6	Zusatzwerkstoffe; Schweißstäbe	134
3.3.7	Anwendung und Anwendungsgrenzen	134
3.4	Lichtbogenhandschweißen (Kennzahl: 111) – Metall-Lichtbogenschweißen	135
3.4.1	Verfahrensprinzip und Schweißanlage	135
3.4.2	Vorgänge im Lichtbogen	136
3.4.3	Schweißstromquellen	138
3.4.4	Zusatzwerkstoffe; Stabelektroden	144
3.4.4.1	Aufgaben der Elektrodenumhüllung	145
3.4.4.2	Metallurgische Grundlagen	146
3.4.4.3	Die wichtigsten Stabelektrodentypen	147
3.4.4.4	Bedeutung des Wasserstoffs	150
3.4.4.5	Normung der umhüllten Stabelektroden	151
3.4.5	Ausführung und Arbeitstechnik	155
3.4.5.1	Stoßart; Nahtart; Fugenform	155
3.4.5.2	Einfluss der Schweißposition	156
3.4.5.3	Magnetische Blaswirkung	156
3.4.6	Anwendung und Anwendungsgrenzen	157
3.5	Schutzgasschweißen (SG)	158
3.5.1	Verfahrensprinzip	158

3.5.2	Wirkung und Eigenschaften der Schutzgase	158
3.5.3	Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) (Kennzahl: 141)	160
3.5.3.1	Verfahrensprinzip	160
3.5.3.2	Schweißanlage und Zubehör	161
	Schweißstromquellen	161
	Schweißbrenner	161
	Wolframelektrode	161
	Zündhilfen	162
	Sieb-(Filter-)kondensator	162
	Kraterfülleinrichtung	163
3.5.3.3	Hinweise zur praktischen Ausführung	163
3.5.3.4	WIG-Impulslichtbogenschweißen	164
3.5.3.5	Anwendung und Grenzen	164
3.5.4	Metall-Schutzgasschweißen (MSG) (Kennzahl: 13)	165
3.5.4.1	Verfahrensprinzip	165
3.5.4.2	Schweißanlage; Zubehör	166
3.5.4.3	Die innere Regelung	167
3.5.4.4	Lichtbogenformen und Werkstoffübergang	168
3.5.4.5	Auswahl der Schutzgase und Drahtelektroden	169
	Fülldrahtelektroden	173
3.5.4.6	MSG-Verfahrensvarianten	173
3.5.4.6.1	MIG-Schweißen (Kennzahl: 131)	173
	Impulslichtbogenschweißen	174
3.5.4.6.2	MAG-Verfahrensvarianten	175
	Kurzlichtbogentechnik	176
	Schweißen mit rotierendem Lichtbogen	177
3.5.4.7	Praktische Hinweise; Anwendung und Möglichkeiten	177
3.6	Plasmaschweißen (WP) (Kennzahl: 15)	178
3.6.1	Physikalische Grundlagen	178
3.6.2	Verfahrensgrundlagen	178
3.6.3	Verfahrensvarianten	180
3.7	Unterpulverschweißen (UP) (Kennzahl: 12)	181
3.7.1	Verfahrensprinzip; Schweißanlage	181
3.7.2	Verfahrensvarianten	182
	Doppeldrahtverfahren	183
	Mehrdrahtverfahren	183
	Auftragschweißen mit Bandedelektroden	184
3.7.3	Aufbau und Eigenschaften der Schweißnaht	184
3.7.4	Zusatzstoffe	185
3.7.4.1	Zusatzwerkstoffe	185
3.7.4.2	Schweißpulver	186
	Schmelzpulver	187
	Agglomerierte Pulver	187
	Schweißpulver-Kennwerte	188
	Metallurgisches Verhalten der Draht-Pulver- Kombination	188
3.7.5	Hinweise zur praktischen Ausführung	189
3.7.6	Anwendungen und Anwendungsgrenzen	190
3.8	Widerstandsschweißen (Kennzahl: 2)	190
3.8.1	Widerstandspressschweißen	191

3.8.1.1	Punktschweißen (Kennzahl: 21)	191
3.8.1.1.1	Wärmeerzeugung an der Schweißstelle	191
3.8.1.1.2	Verfahrenstechnische Grundlagen	192
3.8.1.1.3	Verfahrensvarianten	194
3.8.1.1.4	Punktschweißelektroden	194
3.8.1.1.5	Technologische Besonderheiten	195
	Elektrodeneindrücke	195
	Stromnebenschluss	195
	Thermisches Gleichgewicht	195
	Sekundärfensteröffnung	196
	Strom- und Kraftprogramme	196
3.8.1.1.6	Anwendung und Anwendungsgrenzen	197
3.8.1.2	Rollennahtschweißen (Kennzahl: 221)	197
3.8.1.3	Buckelschweißen (Kennzahl: 23)	199
3.8.1.4	Pressstumpfschweißen (Kennzahl: 25)	200
3.8.1.5	Abbrennstumpfschweißen (Kennzahl: 24)	201
3.8.2	Widerstandsschmelzschweißen	202
3.8.2.1	Elektroschlackeschweißen (Kennzahl: 72)	202
3.9	Gestaltung von Schweißverbindungen	203
3.9.1	Allgemeines	203
3.9.2	Gestaltungsregeln	203
3.9.3	Gestaltung von Schmelzschweißverbindungen	204
3.9.4	Gestaltung von Punktschweißverbindungen	209
3.10	Löten	211
3.10.1	Grundlagen des Lötens	211
3.10.2	Einteilung der Lötverfahren	214
	Fester Körper	214
	Flüssigkeit	214
	Reflowlöten (Wiederaufschmelzlöten)	215
	Gas	215
	Elektrischer Strom	216
3.10.3	Flussmittel; Vakuum; Schutzgas	217
3.10.4	Lote	219
	Weichlote (DIN 1707-100, DIN EN ISO 9453, DIN EN 61190-1-3)	221
	Hartlote (DIN EN 1044, DIN EN ISO 3677)	221
3.10.5	Konstruktive Gestaltung von Lötverbindungen	222
	Wahl und Form der Spaltbreite	222
	Oberflächenfeingestalt der Lötstellen	223
3.11	Gestaltung von Lötverbindungen	223
3.11.1	Allgemeines	223
3.11.2	Gestaltungsregeln	223
3.11.3	Gestaltung von Blechverbindungen	224
3.11.4	Gestaltung von Rundverbindungen	224
3.11.5	Gestaltung von Rohrverbindungen	226
3.11.6	Gestaltung von Bodenverbindungen	228
3.12	Kleben	229
3.12.1	Wirkprinzip des Klebens	229
3.12.2	Vorbehandlung zur Steigerung der Klebfestigkeit	230

3.12.3	Vorbereitung der Klebung	232
3.12.4	Eigenschaften polymerer Werkstoffe	233
3.12.5	Klebstoffarten	234
3.12.5.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	234
3.12.5.2	Reaktionsklebstoffe	235
3.12.6	Herstellung der Klebung	236
	Mischen der Mehrkomponenten-Klebstoffe	236
	Auftragen des Klebstoffs	236
	Fügen und Fixieren	236
	Abbinden unter Druckenwendung	237
	Abbindetemperatur und Abbindezeit	237
3.12.7	Anwendungsbeispiele	237
3.13	Gestaltung von Klebverbindungen	240
3.13.1	Allgemeines	240
3.13.2	Gestaltung von Blechverbindungen	240
3.13.3	Gestaltung von Rohrverbindungen	242
3.13.4	Gestaltung von Rundverbindungen	242
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	243
4	Trennen (Zerteilen; Spanen; Abtragen; thermisches Schneiden)	245
4.1	Allgemeines und Verfahrensübersicht	245
4.2	Scherschneiden	245
4.2.1	Beschreibung des Schneidvorgangs	247
4.2.2	Schneidkraft	249
4.2.3	Gestaltung von Schneidwerkzeugen	250
4.2.4	Vorschubbegrenzungen	251
4.3	Spanen	253
4.3.1	Einteilung nach DIN 8589	253
4.3.2	Technische und wirtschaftliche Bedeutung	254
4.4	Grundbegriffe der Zerspantechnik	254
4.4.1	Bewegungen und Geometrie von Zerspanvorgängen	254
4.4.2	Eingriffe von Werkzeugen	255
4.4.3	Spanungsgrößen	256
4.4.4	Geometrie am Schneidteil	256
4.4.5	Kräfte und Leistungen	258
4.4.6	Standzeit- und Verschleißbegriffe	258
4.5	Grundlagen zum Spanen	259
4.5.1	Spanbildung	259
4.5.2	Spanstauchung	260
4.5.3	Scherwinkelgleichungen	261
4.5.4	Spanarten	261
4.5.5	Spanformen	263
4.5.6	Energieumwandlung beim Spanen	264
4.5.7	Schneidstoffe	264
4.5.7.1	Werkzeugstähle	265
4.5.7.2	Schnellarbeitsstähle	265

4.5.7.3	Hartmetalle	266
4.5.7.4	Schneidkeramik	268
4.5.7.5	Diamant und Bornitrid	270
4.5.8	Werkzeugverschleiß	271
4.5.9	Kühlschmierstoffe	272
4.5.10	Hart-, Hochgeschwindigkeits- und Trockenbearbeitung	273
4.5.10.1	Hartbearbeitung	273
4.5.10.2	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC)	273
4.5.10.3	Trockenbearbeitung	273
4.5.11	Mikrozerspanung	274
4.5.12	Standzeitberechnung und Standzeitoptimierung	274
4.5.13	Schnittkraftberechnung	277
4.6	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	278
4.6.1	Drehen	279
4.6.1.1	Drehverfahren	279
4.6.1.2	Drehwerkzeuge	283
4.6.1.3	Zeitberechnung	284
4.6.2	Bohren, Senken, Reiben	284
4.6.2.1	Bohrverfahren	286
4.6.2.2	Bohrwerkzeuge	287
4.6.2.3	Zeitberechnung	289
4.6.3	Fräsen	290
4.6.3.1	Fräsverfahren	290
4.6.3.2	Fräswerkzeuge	293
4.6.3.3	Zeitberechnung	293
4.6.4	Hobeln und Stoßen	294
4.6.4.1	Hobel- und Stoßverfahren	294
4.6.4.2	Hobelwerkzeuge	296
4.6.4.3	Zeitberechnung	296
4.6.5	Räumen	296
4.6.5.1	Räumverfahren	297
4.6.5.2	Räumwerkzeuge	298
4.6.5.3	Zeitberechnung	301
4.7	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	301
4.7.1	Schleifen	301
4.7.1.1	Grundlagen	301
4.7.1.1.1	Kinematische Grundlagen	301
4.7.1.1.2	Schneideneingriff und Schneidenraum	303
4.7.1.1.3	Schleifkraft und Verschleiß	304
4.7.1.2	Schleifwerkzeug	304
4.7.1.2.1	Schleifmittel und Bindung	304
	Anorganische Bindungen	305
	Organische Bindungen:	305
4.7.1.2.2	Schleifwerkzeuge mit Korund und Siliciumcarbid-Kornwerkstoffen	305
4.7.1.2.3	Schleifwerkzeuge mit Diamant- und Bornitrid-Kornwerkstoff (CBN)	308
4.7.1.2.4	Werkzeugaufspannung	309
4.7.1.2.5	Abrichten des Schleifwerkzeugs	310
4.7.1.3	Der Schleifprozess	313
4.7.1.3.1	Änderung des Schneidenraums im Schleifprozess	313
4.7.1.3.2	Rauheit	314

4.7.1.3.3	Schleifkraft und Schleifleistung	316
4.7.1.3.4	Schleiftemperatur und Kühlung	317
4.7.1.3.5	Schleifscheibenverschleiß	318
4.7.1.3.6	Einflüsse verschiedener Einstellgrößen auf das Schleifergebnis	318
4.7.1.3.7	Mehrstufiger Schleifprozess	319
4.7.1.3.8	Kostenberechnung	319
4.7.1.4	Schleifverfahren	320
4.7.1.4.1	Planschleifen	322
4.7.1.4.2	Rundschleifen	322
4.7.1.4.3	Schraubschleifen	327
4.7.1.4.4	Wälzschleifen	328
4.7.1.4.5	Profilschleifen	330
4.7.2	Honen	330
4.7.2.1	Kinematische Grundlagen	331
4.7.2.2	Einfluss der Einstellgrößen auf den Honvorgang und das Honergebnis	332
4.7.2.3	Einfluss des Werkzeugs	334
4.7.2.4	Einfluss des Werkstücks	335
4.7.2.5	Einfluss des Kühlschmierstoffs	335
4.7.2.6	Plateauhonen	336
4.7.2.7	Messsteuerung des Honprozesses	337
4.7.3	Läppen	337
4.7.3.1	Grundlagen	337
4.7.3.2	Einfluss von Prozessgrößen auf das Läppergebnis	339
4.7.3.3	Läppverfahren	341
4.7.3.3.1	Planläppen	341
4.7.3.3.2	Außen- und Innenrundläppen	342
4.7.3.3.3	Kugelläppen	342
4.7.3.3.4	Polierläppen	342
4.7.4	Gleitschleifen	344
4.7.5	Strahlspanen	345
4.7.6	Ansätze zur Miniaturisierung spanender Verfahren	347
4.8	Abtragende Verfahren	349
4.8.1	Thermisches Abtragen	350
	Funkenerosives Abtragen (Erodieren)	350
4.8.2	Chemisches Abtragen	353
4.8.2.1	Abtragen durch Ätzen	353
4.8.2.2	Thermisch-chemisches Entgraten (TEM)	354
4.8.3	Elektrochemisches Abtragen	355
4.9	Thermisches Schneiden	356
4.9.1	Autogenes Brennschneiden	356
4.9.1.1	Verfahrensgrundlagen	356
4.9.1.2	Thermische Beeinflussung der Werkstoffe	357
4.9.1.3	Geräte und Einrichtungen	358
4.9.1.4	Technik des Brennschneidens	362
4.9.1.5	Qualität brenngeschnittener Erzeugnisse	363
	Form- und Lagetoleranzen	363
	Schnittflächenqualität	363
4.9.1.6	Anwendung des Brennschneidens	366
4.9.2	Plasmaschneiden	367
4.9.2.1	Verfahrensvarianten	368

	Plasma-Pressluftschneiden	368
	Plasma-Wasserinjektionsschneiden	368
4.9.3	Laserschneiden	369
4.9.3.1	Verfahrensprinzip	369
4.9.3.2	Verfahrensmöglichkeiten und Grenzen	370
4.10	Wasserstrahlschneiden	372
4.10.1	Einleitung	372
4.10.2	Verfahrensgrundlagen	373
4.10.2.1	Physikalische Grundlagen	373
4.10.2.2	Technologische Grundlagen	373
4.10.3	Einsatz und Anwendung	375
4.11	Gestaltung spanend herzustellender Werkstücke	378
4.11.1	Allgemeines	378
4.11.2	Gestaltung für das Drehen	379
4.11.2.1	Form- und Lageabweichungen	379
4.11.2.2	Gestaltungsbeispiele	380
4.11.3	Gestaltung für das Bohren, Senken, Reiben	381
4.11.3.1	Gestaltung von Gewinden	383
4.11.4	Gestaltung für das Fräsen	384
4.11.5	Gestaltung für das Hobeln und Stoßen	385
4.11.6	Gestaltung für das Räumen	386
4.11.7	Gestaltung für das Schleifen	387
4.11.8	Gestaltung von Schnittteilen	389
4.11.8.1	Werkstoffausnutzung	389
4.11.8.2	Fertigung	391
4.11.8.3	Genauigkeit	392
4.11.8.4	Beanspruchung	393
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	394
5	Umformen	397
5.1	Einteilung und Vorteile der Umformverfahren	397
5.2	Umformtechnische Grundlagen	399
5.3	Druckumformen	405
5.3.1	Walzen	406
5.3.1.1	Definition und Einteilung nach DIN 8583	406
5.3.1.2	Verhältnisse im Walzspalt	410
5.3.1.3	Kraft- und Arbeitsbedarf beim Walzen	412
5.3.2	Schmieden	413
5.3.2.1	Freiformschmieden	413
5.3.2.2	Gesenkschmieden	417
5.3.2.3	Kraft- und Arbeitsbedarf beim Schmieden	419
5.3.3	Eindrücken	421
5.3.4	Durchdrücken	423
5.3.4.1	Strangpressen	423
5.3.4.2	Fließpressen	426

5.4	Zug-Druck-Umformen	431
5.4.1	Draht- und Stabziehen	432
5.4.2	Gleitziehen von Rohren	435
5.4.3	Abstreckziehen von Hohlkörpern	435
5.4.4	Tiefziehen	437
5.4.4.1	Zuschnittermittlung beim Tiefziehen	440
5.4.5	Drücken	443
5.4.6	Kragenziehen (Bördeln von Öffnungen)	444
5.5	Zugumformen	444
5.5.1	Längen	445
5.5.2	Weiten	445
5.5.3	Tiefen (Streckziehen)	446
5.5.4	Blechprüfung zur Kennwertermittlung	446
5.5.4.1	Tiefungsversuch nach <i>Ericksen</i>	447
5.5.4.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach <i>Swift</i>	448
5.5.4.3	Beurteilung von Blechen mittels Messrastertechnik	448
5.6	Biegen	449
5.6.1	Einteilung der Biegeverfahren	450
5.6.2	Biegespannungen, Verformungen und Kräfte	451
5.7	Innenhochdruckumformen (IHU)	455
5.7.1	Allgemeines	455
5.7.2	Anwendungsgebiete	455
5.7.3	Bauteil- und Prozessauslegung	457
	Simulation der Formgebung	459
5.7.4	Anlagen- und Werkzeugtechnik	461
5.7.5	Fertigteilqualität	462
	Vorausplanung mit dem Kunden	462
	Werkzeugeinfluss	465
	Beispiele für Messungen und Toleranzen	466
5.7.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	466
5.7.7	Fertigungsbeispiele	467
5.8	Gestaltung für das Umformen	468
5.8.1	Allgemeines	468
5.8.2	Gestaltung von Gesenkschmiedestücken	469
5.8.3	Gestaltung von Tiefziehteilen	474
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	477
6	Sachwortverzeichnis	479