

A. Herbert Fritz • G. Schulze (Hrsg.)

# Fertigungstechnik

Vierte, neubearbeitete Auflage

Mit 780 Abbildungen



Springer

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>.1</b>
<b>2</b>	<b>Urformen</b>	<b>5</b>
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	9
2.1.1.5	Gießen	10
2.1.1.6	Putzen	12
2.1.1.7	Wärmebehandlung	12
2.1.1.8	Qualitätssicherung	12
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	16
2.2.3.1	Homogene Keimbildung	16
2.2.3.2	Impfen der Schmelze	18
2.2.4	Kristallformen	19
2.2.4.1	Globulare Kristallformen	20
2.2.4.2	Säulenförmige Kristalle	21
2.2.4.3	Dendritische Kristallformen	21
2.2.5	Erstarrungstypen	21
2.2.6	Isotropes, anisotropes und quasiisotropes Verhalten von Gußwerkstoffen	23
2.3	Gußwerkstoffe	24
2.3.1	Eisengußwerkstoffe	24
2.3.1.1	Gußeisen	24
2.3.1.2	Temperguß	30
2.3.1.3	Stahlguß	32
2.3.2	Nichteisen-Gußwerkstoffe	34
2.3.2.1	Leichtmetall-Gußwerkstoffe	35
2.3.2.2	Schwermetall-Gußwerkstoffe	37
2.4	Gießbarkeit	39
2.4.1	Fließ- und Formfüllungsvermögen	40
2.4.2	Schwindung (Schrumpfung)	41
2.4.3	Warmrißneigung	44
2.4.4	Gasaufnahme	46
2.4.5	Penetrationen	47
2.4.6	Seigerungen	47
2.4.7	Fehlerzusammenstellung bei Sandguß	48
2.5	Form- und Gießverfahren	48
2.5.1	Formverfahren mit verlorenen Formen	49

2.5.1.1	Tongebundene Formstoffe	50
2.5.1.2	Kohlensäure-Erstarrungsverfahren (CO <sub>2</sub> -Verfahren)	59
2.5.1.3	Maskenformverfahren	60
2.5.2	Formverfahren mit verlorenen Formen nach verlorenen Modellen	62
2.5.2.1	Feingießverfahren	62
2.5.2.2	Vollformgießverfahren	65
2.5.3	Formverfahren mit Dauerformen	67
2.5.3.1	Druckgießverfahren	67
2.5.3.2	Kokillengießverfahren	72
2.5.3.3	Schleudergießverfahren	74
2.6	Gestaltung von Gußteilen	76
2.6.1	Allgemeines	76
2.6.2	Gestaltungsregeln	76
2.6.3	Gießgerechte Gestaltung	77
2.6.4	Beanspruchungsgerechte Gestaltung	84
2.6.5	Fertigungsgerechte Gestaltung	86
2.6.6	Normung von Erzeugnissen aus Gußeisen	89
2.6.7	Normung von Erzeugnissen aus Stahlguß	89
2.7	Urformen durch Sintern (Pulvermetallurgie)	90
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 zur Verbesserung der Werkstoffeigenschaften	96
2.7.6	Anwendungen	97
2.8	Gestaltung von Sinterteilen	98
2.8.1	Allgemeines	98
2.8.2	Gestaltungsregeln	98
2.8.3	Werkstoff- und werkzeuggerechte Gestaltung	99
2.8.4	Fertigungs- und fügegerechte Gestaltung	101
2.9	Urformen durch Stereolithographie (Rapid Prototyping)	104
2.9.1	System-Komponenten	104
2.9.2	Prozeß-Schritte	106
2.9.3	Funktionsschema	107
2.9.4	Fertigungsablauf	108
2.9.5	Polymerisation	109
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	110
3	Fügen	111
3.1	Schweißen	111
3.1.1	Bedeutung der Schweißtechnik heute und morgen	111
3.1.2	Das Fertigungsverfahren Schweißen; Abgrenzung und Definitionen	111
3.1.3	Einteilung der Schweißverfahren	112
3.1.4	Hinweise zur Wahl des Schweißverfahrens	115
3.2	Werkstoffliche Grundlagen für das Schweißen	117
3.2.1	Wirkung der Wärmequelle auf die Werkstoffeigenschaften	117
3.2.2	Physikalische Eigenschaften der Werkstoffe	118

3.2.3	Einfluß des Temperaturfelds	118
3.2.4	Werkstoffbedingte Besonderheiten und Schwierigkeiten beim Schweißen	121
3.2.4.1	Probleme während des Erwärms	121
3.2.4.2	Probleme während des Erstarrns	122
3.2.4.3	Verbindungs- und Auftragschweißen unterschiedlicher Werkstoffe	124
3.2.4.4	Schweißbarkeit metallischer Werkstoffe	126
3.3	Gasschweißen	127
3.3.1	Verfahrensprinzip	127
3.3.2	Die Acetylen-Sauerstoff-Flamme	127
3.3.3	Betriebsstoffe: Acetylen, Sauerstoff	128
3.3.4	Der Schweißbrenner	129
3.3.5	Arbeitsweisen beim Gasschweißen	129
3.3.6	Zusatzstoffe; Schweißstäbe	130
3.3.7	Anwendung und Anwendungsgrenzen	130
3.4	Metall-Lichtbogenschweißen (Lichtbogenhandschweißen)	131
3.4.1	Verfahrensprinzip und Schweißanlage	131
3.4.2	Vorgänge im Lichtbogen	132
3.4.3	Schweißstromquellen	134
3.4.4	Zusatzwerkstoffe; Stabelektroden	140
3.4.4.1	Aufgaben der Elektrodenumhüllung	140
3.4.4.2	Metallurgische Grundlagen	141
3.4.4.3	Die wichtigsten Stabelektrodentypen	142
3.4.4.4	Bedeutung des Wasserstoffs	145
3.4.4.5	Normung der umhüllten Stabelektroden	146
3.4.5	Ausführung und Arbeitstechnik	147
3.4.5.1	Stoßart; Nahtart; Fugenform	148
3.4.5.2	Einfluß der Schweißposition	151
3.4.5.3	Magnetische Blaswirkung	151
3.4.6	Anwendung und Anwendungsgrenzen	152
3.5	Schutzgasschweißen (SG)	153
3.5.1	Verfahrensprinzip	153
3.5.2	Wirkung und Eigenschaften der Schutzgase	153
3.5.3	Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)	155
3.5.3.1	Verfahrensprinzip	155
3.5.3.2	Schweißanlage und Zubehör	156
3.5.3.3	Hinweise zur praktischen Ausführung	158
3.5.3.4	WIG-Impulslichtbogenschweißen	159
3.5.3.5	Anwendung und Grenzen	159
3.5.4	Metall-Schutzgas-Schweißen (MSG)	160
3.5.4.1	Verfahrensprinzip	160
3.5.4.2	Schweißanlage, Zubehör	161
3.5.4.3	Die innere Regelung	161
3.5.4.4	Lichtbogenformen und Werkstoffübergang	162
3.5.4.5	Auswahl der Schutzgase und Drahtelektroden	165
3.5.4.6	MSG-Verfahrensvarianten	167
3.5.4.6.1	MIG-Schweißen	167
3.5.4.6.2	MAG-Verfahrensvarianten	169
3.5.4.7	Praktische Hinweise; Anwendung und Möglichkeiten	170
3.6	Plasmaschweißen (WP)	171
3.6.1	Physikalische Grundlagen	171

3.6.2	Verfahrensgrundlagen	171
3.6.3	Verfahrensvarianten	173
3.7	Unterpulverschweißen (UP)	174
3.7.1	Verfahrensprinzip; Schweißanlage	174
3.7.2	Verfahrensvarianten	176
3.7.3	Aufbau und Eigenschaften der Schweißnaht	177
3.7.4	Zusatzstoffe	178
3.7.4.1	Zusatzwerkstoffe	179
3.7.4.2	Schweißpulver	180
3.7.5	Hinweise zur praktischen Ausführung	182
3.7.6	Anwendung und Anwendungsgrenzen	183
3.8	Widerstandsschweißen	183
3.8.1	Prinzip und verfahrenstechnische Grundlagen	183
3.8.1.1	Wärmeerzeugung an der Schweißstelle	184
3.8.2	Widerstandspreßschweißen	186
3.8.2.1	Widerstandspunktschweißen	186
3.8.2.1.1	Verfahrensvarianten	186
3.8.2.1.2	Punktschweiß-Elektroden	187
3.8.2.1.3	Technologische Besonderheiten	188
3.8.2.1.4	Anwendung und Anwendungsgrenzen	189
3.8.2.2	Rollennahtschweißen	190
3.8.2.3	Buckelschweißen	192
3.8.2.4	Preßstumpfschweißen	193
3.8.2.5	Abbrennstumpfschweißen	194
3.8.3	Widerstandsschmelzschweißen	195
3.9	Gestaltung von Schweißverbindungen	195
3.9.1	Allgemeines	195
3.9.2	Gestaltungsregeln	196
3.9.3	Gestaltung von Schmelzschweißverbindungen	196
3.9.4	Gestaltung von Punktschweißverbindungen	201
3.10	Löten	203
3.10.1	Grundlagen des Lötens	203
3.10.2	Einteilung der Lötverfahren	206
3.10.3	Flußmittel; Vakuum; Schutzgas	208
3.10.4	Lote	210
3.10.5	Konstruktive Hinweise zur Gestaltung von Lötverbindungen	212
3.11	Gestaltung von Lötverbindungen	213
3.11.1	Allgemeines	213
3.11.2	Gestaltungsregeln	213
3.11.3	Gestaltung von Blechverbindungen	214
3.11.4	Gestaltung von Rundverbindungen	215
3.11.5	Gestaltung von Rohrverbindungen	217
3.11.6	Gestaltung von Bodenverbindungen	219
3.12	Metallkleben	220
3.12.1	Klebstoffe	220
3.12.1.1	Physikalisch abbindende Klebstoffe	220
3.12.1.2	Reaktionsklebstoffe	220

3.12.2	Vorbereiten zum Kleben	221
3.12.3	Behandeln zur Steigerung der Haftfähigkeit	223
3.12.4	Nachbehandlung	223
3.12.5	Herstellen der Klebung	223
3.13	Gestaltung von Klebverbindungen	225
3.13.1	Allgemeines	225
3.13.2	Gestaltung von Blechverbindungen	225
3.13.3	Gestaltung von Rohrverbindungen	227
3.13.4	Gestaltung von Rundverbindungen	227
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	228
<b>4</b>	<b>Trennen</b> (Zerteilen, Spanen; thermisches Abtragen)	231
4.1	Allgemeines und Verfahrensübersicht	231
4.2	Scherschneiden	231
4.2.1	Beschreibung des Schneidvorgangs	233
4.2.2	Schneidkraft	235
4.2.3	Gestaltung von Schneidwerkzeugen	236
4.2.4	Vorschubbegrenzungen	237
4.3	Spanen	239
4.3.1	Einteilung nach DIN 8589	239
4.3.2	Technische und wirtschaftliche Bedeutung	240
4.4	Grundbegriffe der Zerspantechnik	240
4.4.1	Bewegungen und Geometrie von Zerspanvorgängen	240
4.4.2	Eingriffe von Werkzeugen	241
4.4.3	Spanungsgrößen	242
4.4.4	Geometrie am Schneidteil	242
4.4.5	Kräfte und Leistungen	244
4.4.6	Stand- und Verschleißbegriffe	244
4.5	Grundlagen zum Spanen	245
4.5.1	Spanbildung	245
4.5.2	Spanstauchung	246
4.5.3	Scherwinkelgleichungen	247
4.5.4	Spanarten	247
4.5.5	Spanformen	249
4.5.6	Energieumwandlung beim Spanen	250
4.5.7	Schneidstoffe	250
4.5.7.1	Werkzeugstähle	251
4.5.7.2	Schnellarbeitsstähle	251
4.5.7.3	Hartmetalle	252
4.5.7.4	Schneidkeramik	254
4.5.7.5	Diamant und Bornitrid	256
4.5.8	Werkzeugverschleiß	257
4.5.9	Kühlschmierstoffe	258
4.5.10	Hart-, Hochgeschwindigkeits- und Trockenbearbeitung	259
4.5.10.1	Hartbearbeitung	259
4.5.10.2	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC)	259

4.5.10.3	Trockenbearbeitung	259
4.5.11	Mikrozerspanung	260
4.5.12	Standzeitberechnung und -Optimierung	260
4.5.13	Schnittkraftberechnung	263
4.6	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	264
4.6.1	Drehen	265
4.6.1.1	Drehverfahren	265
4.6.1.2	Drehwerkzeuge	268
4.6.1.3	Zeitberechnung	269
4.6.2	Bohren, Senken, Reiben	270
4.6.2.1	Bohrverfahren	270
4.6.2.2	Bohrwerkzeuge	273
4.6.2.3	Zeitberechnung	275
4.6.3	Fräsen	275
4.6.3.1	Fräsverfahren	276
4.6.3.2	Fräswerkzeuge	279
4.6.3.3	Zeitberechnung	279
4.6.4	Hobeln und Stoßen	280
4.6.4.1	Hobel- und Stoßverfahren	280
4.6.4.2	Hobelwerkzeuge	280
4.6.4.3	Zeitberechnung	282
4.6.5	Räumen	282
4.6.5.1	Räumverfahren	283
4.6.5.2	Räumwerkzeuge	284
4.6.5.3	Zeitberechnung	287
4.7	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	287
4.7.1	Schleifen	287
4.7.1.1	Grundlagen	288
4.7.1.1.1	Kinematische Grundlagen	288
4.7.1.1.2	Schneideneingriff und Schneidenraum	289
4.7.1.1.3	Schleifkraft und Verschleiß	290
4.7.1.2	Schleifwerkzeug	290
4.7.1.2.1	Schleifmittel und Bindung	290
4.7.1.2.2	Schleifwerkzeuge mit Korund- und Siliziumcarbid-Kornwerkstoffen	292
4.7.1.2.3	Schleifwerkzeuge mit Diamant- und Bornitrid-Kornwerkstoff (CBN)	294
4.7.1.2.4	Werkzeugaufspannung	295
4.7.1.2.5	Abrichten des Schleifwerkzeugs	297
4.7.1.3	Der Schleifprozeß	299
4.7.1.3.1	Änderung des Schneidenraums im Schleifprozeß	300
4.7.1.3.2	Rauheit	301
4.7.1.3.3	Schleifkraft und Schleifleistung	302
4.7.1.3.4	Schleiftemperatur und Kühlung	303
4.7.1.3.5	Schleifscheibenverschleiß	304
4.7.1.3.6	Besondere Einflüsse verschiedener Einstellgrößen auf das Schleifergebnis	305
4.7.1.3.7	Mehrstufiger Schleifprozeß	305
4.7.1.3.8	Kosten	306
4.7.1.4	Schleifverfahren	307
4.7.1.4.1	Planschleifen	307
4.7.1.4.2	Rundschleifen	310
4.7.1.4.3	Schraubenschleifen	314
4.7.1.4.4	Wälzschleifen	315

4.7.1.4.5	Profilschleifen	315
4.7.2	Honen	317
4.7.2.1	Kinematische Grundlagen	317
4.7.2.2	Einfluß der Einstellgrößen auf den Honvorgang und das Honergebnis	319
4.7.2.3	Einfluß des Werkzeugs	320
4.7.2.4	Einfluß des Werkstücks	321
4.7.2.5	Einfluß des Kühlschmierstoffs	322
4.7.2.6	Plateauhonen	323
4.7.2.7	Meßsteuerung des Honprozesses	323
4.7.3	Läppen	324
4.7.3.1	Grundlagen	324
4.7.3.2	Einfluß von Prozeßgrößen auf das Läppergebnis	325
4.7.3.3	Läppverfahren	328
4.7.3.3.1	Planläppen	328
4.7.3.3.2	Außen- und Innenrundläppen	329
4.7.3.3.3	Kugelläppen	329
4.7.3.3.4	Polierläppen	330
4.7.4	Gleitschleifen	331
4.7.5	Strahlspanen	334
4.7.6	Thermisch Entgraten (TEM)	334
4.8	Gestaltung spanend herzustellender Werkstücke	335
4.8.1	Allgemeines	335
4.8.2	Gestaltung für das Drehen	336
4.8.2.1	Form- und Lageabweichungen	336
4.8.2.2	Gestaltungsbeispiele	336
4.8.3	Gestaltung für das Bohren, Senken, Reiben	338
4.8.3.1	Gestaltung von Gewinden	339
4.8.4	Gestaltung für das Fräsen	340
4.8.5	Gestaltung für das Hobeln und Stoßen	342
4.8.6	Gestaltung für das Räumen	342
4.8.7	Gestaltung für das Schleifen	344
4.8.8	Gestaltung von Schnittteilen	346
4.8.8.1	Werkstoffausnutzung	346
4.8.8.2	Fertigung	348
4.8.8.3	Genauigkeit	349
4.8.8.4	Beanspruchung	350
4.9	Thermisches Schneiden	351
4.9.1	Autogenes Brennschneiden	351
4.9.1.1	Verfahrensgrundlagen	351
4.9.1.2	Thermische Beeinflussung der Werkstoffe	352
4.9.1.3	Geräte und Einrichtungen	353
4.9.1.4	Technik des Brennschneidens	357
4.9.1.5	Qualität brenngeschnittener Erzeugnisse	358
4.9.1.6	Anwendung des Brennschneidens	361
4.9.2	Plasmaschneiden	362
4.9.2.1	Verfahrensvarianten	363
4.9.3	Laserschneiden	364
4.9.3.1	Verfahrensprinzip	365
4.9.3.2	Verfahrensmöglichkeiten und Grenzen	367
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	367



<b>5</b>	<b>Umformen</b>	371
5.1	Einteilung und technisch-wirtschaftliche Bedeutung der Umformverfahren	371
5.2	Grundlagen der Umformtechnik	373
5.3	Druckumformen	379
5.3.1	Walzen	379
5.3.1.1	Definition und Einteilung nach DIN 8583	379
5.3.1.2	Verhältnisse im Walzspalt	383
5.3.1.3	Kraft- und Arbeitsbedarf beim Walzen	386
5.3.2	Schmieden	388
5.3.2.1	Frei formschmieden	388
5.3.2.2	Gesenkschmieden	391
5.3.2.3	Kraft- und Arbeitsbedarf beim Schmieden	395
5.3.3	Eindrücken	395
5.3.4	Durchdrücken	397
5.3.4.1	Strangpressen	397
5.3.4.2	Fließpressen	401
5.4	Zug-Druck-Umformen	406
5.4.1	Draht- und Stabziehen	406
5.4.2	Gleitziehen von Rohren	409
5.4.3	Abstreckziehen von Hohlkörpern	410
5.4.4	Tiefziehen	411
5.4.4.1	Zuschnittermittlung beim Tiefziehen	415
5.4.5	Drücken	417
5.4.6	Kragenziehen (Bördeln von Öffnungen)	418
5.5	Zugumformen	419
5.5.1	Längen	419
5.5.2	Weiten (Innenhochdruckumformen)	419
5.5.3	Tiefen (Streckziehen)	420
5.5.4	Blechprüfung zur Kennwertermittlung	421
5.5.4.1	Tiefungsversuch nach <i>Ericksen</i>	422
5.5.4.2	Näpfchen-Tiefziehprüfung nach <i>Swift</i>	422
5.5.4.3	Beurteilung von Blechen mittels Meßrastertechnik	422
5.6	Biegen	424
5.6.1	Einteilung der Biegeverfahren	424
5.6.2	Biegespannungen, Verformungen und Kräfte	426
5.7	Gestaltung für das Umformen	429
5.7.1	Allgemeines	429
5.7.2	Gestaltung von Gesenkschmiedestücken	430
5.7.3	Gestaltung von Tiefziehteilen	436
	Ergänzendes und weiterführendes Schrifttum	438
<b>6</b>	<b>Sachwortverzeichnis</b>	439