

HANSER

Inhaltsverzeichnis

Handbuch Umformen

Herausgegeben von Günter Spur
Mitherausgeber Reimund Neugebauer, Hartmut Hoffmann

ISBN (Buch): 978-3-446-42778-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-43004-4

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42778-5>

sowie im Buchhandel.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Gesamtherausgebers	V
Vorwort der Bandherausgeber	VII
Die Herausgeber	XXV
Autorenverzeichnis	XXVII
1 Einführung in die Umformtechnik	1
1.1 Geschichtliche Bedeutung	3
1.2 Einteilung und Benennungen.....	11
2 Grundlagen der Umformtechnik	27
2.1 Metallkundliche Grundlagen.....	29
2.1.1 Aufbau der Metalle.....	29
2.1.2 Formänderungsverhalten von Einkristallen	31
2.1.2.1 Mechanismus der Formänderung am Idealkristall.....	32
2.1.2.2 Theoretische und tatsächliche kritische Schubspannung	34
2.1.2.3 Gitterfehler.....	34
2.1.3 Formänderungs- und Festigkeitsverhalten von Vielkristallen	36
2.2 Plastomechanische Grundlagen.....	39
2.2.1 Geometrische und kinematische Größen	39
2.2.1.1 Formänderungen.....	39
2.2.1.2 Volumenkonstanz.....	41
2.2.1.3 Formänderungsgeschwindigkeit	42
2.2.2 Mechanische Größen	43
2.2.2.1 Spannungen	43
2.2.2.2 Ideelle Umformkraft, Umformarbeit, Umformleistung.....	44
2.2.2.3 Gleichgewichtsbedingung.....	44
2.2.2.4 Fließbedingung.....	45
2.2.2.5 Fließgesetz (Fließregel).....	47
2.2.2.6 Vergleichsformänderung und -geschwindigkeit	47
2.2.3 Ermittlung umformspezifischer Prozessgrößen.....	48
2.2.3.1 Einleitung.....	48
2.2.3.2 Theoretische Methoden	49
2.2.3.2.1 Methode der Umformarbeit	49
2.2.3.2.2 Elementare Theorie (Streifenmethode).....	50
2.2.3.2.3 Gleitlinienmethode	52
2.2.3.2.4 Schrankenmethode	53
2.2.3.2.5 Finite Elemente Methode	54
2.2.3.2.5.1 Besonderheiten bei der Abbildung umformtechnischer Prozesse	54

2.2.3.2.5.2	Vorgehensweise.....	55
2.2.3.2.5.2	Kalibrierung.....	59
2.2.3.2.5.3	FE-Simulation von Massivumformprozessen.....	60
2.2.3.3	Experimentelle Methoden.....	60
2.2.3.3.1	Spannungsmessstift.....	61
2.2.3.3.2	Profilblechmethode.....	61
2.2.3.3.3	Druckmessfolie.....	62
2.2.3.3.4	Methode der Visioplastizität.....	62
2.3	Fließkurven.....	66
2.3.1	Definition der Fließkurve.....	66
2.3.2	Einflussgrößen auf die Fließkurve.....	67
2.3.2.1	Einfluss des Werkstoffs.....	67
2.3.2.2	Einfluss der Umformgeschwindigkeit.....	68
2.3.2.3	Einfluss der Temperatur.....	69
2.3.3	Fließkurvenermittlung.....	69
2.3.3.1	Zugversuch.....	70
2.3.3.1.1	Zugversuch an Rundproben.....	70
2.3.3.1.2	Zugversuch an Flachproben.....	71
2.3.3.2	Stauchversuch.....	72
2.3.3.2.1	Zylinderstauchversuch.....	72
2.3.3.2.2	Schichtstauchversuch.....	73
2.3.3.3	Hydraulischer Tiefungsversuch.....	74
2.3.3.4	Torsionsversuch.....	75
2.3.4	Vergleichende Bewertung der Verfahren zur Aufnahme von Fließkurven.....	75
2.4	Tribologie.....	77
2.4.1	Grundlagen.....	77
2.4.1.1	Tribologischer Kontakt.....	77
2.4.1.2	Reibung.....	78
2.4.1.2.1	Mathematische Beschreibung der Reibung.....	78
2.4.1.2.2	Makroskopische und mikroskopische Reibmechanismen.....	79
2.4.1.3	Verschleiß.....	80
2.4.1.4	Schmierung.....	81
2.4.1.4.1	Schmiermechanismen.....	81
2.4.1.4.2	Schmierstoffeinteilung.....	81
2.4.1.4.3	Schmierstoffträgerschichten.....	83
2.4.1.5	Verschleißmindernde Hartstoffschichten.....	83
2.4.2	Etablierte tribologische Systeme.....	84
2.4.2.1	Tief- und Streckziehen.....	84
2.4.2.2	Presshärten.....	85
2.4.2.3	Kaltmassivumformung.....	86
2.4.2.4	Halbwarm- und Warmmassivumformung.....	87
2.4.3	Tribologische Prüfverfahren.....	87
2.4.3.1	Prüfverfahren für die Blechumformung.....	88
2.4.3.2	Prüfverfahren für die Massivumformung.....	89

2.5	Numerische Simulation in der Blechumformung	92
2.5.1	Simulation und Kompensation der Rückfederung	94
2.5.2	Simulation der Bauteileigenschaften nach dem Umformen	95
2.6	Systematischer Planungsprozess zur anforderungsgerechten Auswahl des Fertigungsverfahrens	98
3	Druckumformen	107
3.1	Walzen	109
3.1.1	Übersicht über die Walzverfahren	109
3.1.2	Längswalzen von Flachprodukten	111
3.1.2.1	Grundlagen und Berechnungsverfahren	111
3.1.2.1.1	Geometrie des Walzspalts	111
3.1.2.1.2	Kinematik im Walzspalt	112
3.1.2.1.3	Spannungsverteilung im Walzspalt	113
3.1.2.1.4	Walzkraft	114
3.1.2.1.5	Drehmoment	115
3.1.2.1.6	Breitung	116
3.1.2.1.7	Greif- und Durchziehbedingung	117
3.1.2.2	Wechselwirkung zwischen Maschine und Walzgut	118
3.1.2.2.1	Walzenabplattung und Walzendurchbiegung	118
3.1.2.2.2	Profil und Planheit	119
3.1.2.2.3	Walzkraft/ Banddicken-Schaubild	121
3.1.2.3	Grundtypen der Walzgerüste	123
3.1.2.3.1	Gerüstbauarten	124
3.1.2.3.2	Gerüstaufbau	124
3.1.2.3.3	Realisieren von Walzkraft und Abnahme	124
3.1.2.3.4	Generieren von Walzmomenten und -geschwindigkeiten	125
3.1.2.3.5	Energiebilanz und Tribologie des Walzspaltes	126
3.1.2.3.6	Technologiepakete	126
3.1.2.3.6.1	Technologiepakete zur Banddickenregelung	127
3.1.2.3.6.2	Technologiepaket zur Profil- und Planheitsregelung	127
3.1.2.4	Herstellung von Grobblech	129
3.1.2.4.1	Allgemeines und Produkte	129
3.1.2.4.2	Herstellung des Vormaterials	130
3.1.2.4.3	Auslegung von Grobblechwalzwerken	131
3.1.2.4.4	Grobblechwalzgerüste	131
3.1.2.4.5	Prozessauslegung	132
3.1.2.4.6	Adjustage und Qualitätskontrolle	134
3.1.2.5	Herstellung von Warmband	135
3.1.2.5.1	Allgemeines und Produkte	135
3.1.2.5.1.1	Warmband (Warmbreitband)	135
3.1.2.5.1.2	Warmbänder aus NE-Metallen	135
3.1.2.5.3	Aufbau von Warmbandstraßen	136
3.1.2.5.3.1	Ofenanlage und Vorstraße	136

3.1.2.5.3.2	Fertigstraße.....	138
3.1.2.5.2.3	Auslaufrollgang und Haspelanlage	139
3.1.2.5.2.4	Automation und Messsysteme	140
3.1.2.5.3	Anlagenkonzepte.....	142
3.1.2.5.4	Konventionelle Warmbandstraßen	142
3.1.2.5.5	Dünnbrammen-Gießwalzanlagen (CSP-Anlagen).....	146
3.1.2.5.5.1	Aufbau und Funktion.....	146
3.1.2.5.5.2	Grundlegende Merkmale	147
3.1.2.5.5.3	Erzeugen dünner Warmbänder und Semi-Endloswalzen	148
3.1.2.5.5.4	Ausführungsformen von Dünnbrammen-Gießwalzanlagen.....	149
3.1.2.5.6	Steckelwalzwerke	149
3.1.2.5.6.1	Anlagentechnik	149
3.1.2.5.6.2	Technologische Hintergründe	150
3.1.2.5.6.3	Ausführungsformen von Steckelwalzwerken.....	150
3.1.2.5.7	Warmbandstraßen für Aluminiumwerkstoffe.....	150
3.1.2.5.8	Weiterverarbeitung von Warmband	152
3.1.2.6	Herstellung von Kaltband	153
3.1.2.6.1	Allgemeines und Produkte	153
3.1.2.6.2	Herstellung des Vormaterials.....	153
3.1.2.6.3	Kaltwalzen.....	154
3.1.2.6.4	Dressieren/Nachwalzen.....	155
3.1.2.6.5	Profil und Planheit	156
3.1.2.6.5.1	Allgemeines	156
3.1.2.6.5.2	Planheitsstellglieder.....	156
3.1.2.6.6	Weitere Zielgrößen.....	158
3.1.2.6.6.1	Qualitätsmerkmale und wesentliche Prozessparameter	158
3.1.2.6.6.2	Bandbreite	158
3.1.2.6.6.3	Enddicke.....	159
3.1.2.6.6.4	Oberflächenbeschaffenheit.....	159
3.1.2.6.6.5	Mechanische Eigenschaften	159
3.1.2.6.6.6	Auswahl des geeigneten Arbeitswalzendurchmessers/Gerüsttyps für die Kaltbandherstellung.....	159
3.1.2.6.7	Adjustage und Weiterverarbeitung	161
3.1.2.6.7.1	Glühen.....	161
3.1.2.6.7.2	Veredeln.....	161
3.1.2.6.7.3	Konfektionieren.....	162
3.1.2.7	Walzen von Blechen und Profilen mit belastungsangepasster Dickenverteilung	163
3.1.2.7.1	Motivation und Einordnung	163
3.1.2.7.2	Flexibles Walzen von Blechen mit in Längsrichtung variierender Blechdicke.	163
3.1.2.7.2.1	Einführung	163
3.1.2.7.2.2	Technologische Aspekte des Flexiblen Walzens.....	163
3.1.2.7.2.3	Prozesskette und Anwendungen	164
3.1.2.7.3	Walzen von Bändern mit Dickenverteilung in Breitenrichtung.....	164
3.1.2.7.3.1	Einführung	164
3.1.2.7.3.2	Technologische Aspekte des Bandprofilwalzens.....	164
3.1.2.7.3.3	Prozessketten und Anwendungen.....	165

3.1.3	Längswalzen von Vollprofilen	166
3.1.3.1	Grundlagen und Berechnungsverfahren	166
3.1.3.1.1	Grundlegendes zum Profilwalzen.....	166
3.1.3.1.2	Klassifizierung und Beispiele für Kaliberarten	167
3.1.3.1.2.1	Neutrale Linie und arbeitender Walzendurchmesser.....	168
3.1.3.1.2.2	Äquivalenter Flachstich	170
3.1.3.1.2.2	Stofffluss.....	171
3.1.3.1.2.3	Berechnung des Kraft- und Arbeitsbedarfs.....	173
3.1.3.2	Herstellung von großen Profilen.....	176
3.1.3.2.1	Allgemeines und Produkte	176
3.1.3.2.2	Herstellung des Vormaterials.....	176
3.1.3.2.3	Walzen von großen Profilen.....	176
3.1.3.2.4	Adjustage und Weiterverarbeitung	179
3.1.3.3	Herstellung von Stäben und Drähten.....	179
3.1.3.3.1	Allgemeines und Produkte	179
3.1.3.3.2	Herstellung des Vormaterials.....	179
3.1.3.3.3	Walzen von Stäben und Drähten.....	180
3.1.3.3.4	Adjustage und Weiterverarbeitung	181
3.1.4	Schräg- und Längswalzen von Rohren.....	182
3.1.4.1	Allgemeines/Nahtlose Rohre	182
3.1.4.2	Herstellung des Vormaterials.....	182
3.1.4.3	Lochen durch Schrägwalzen.....	183
3.1.4.4	Walzverfahren und Fertigungslinien.....	184
3.1.4.4.1	Pilgerstraße	184
3.1.4.4.2	Stopfenstraße	185
3.1.4.4.3	Rohrkontistraße.....	185
3.1.4.4.4	Stoßbankverfahren (CPE, TPE).....	186
3.1.4.4.5	Asseln	186
3.1.4.4.6	Schmieden.....	186
3.1.5	Ringwalzen.....	187
3.1.5.1	Berechnungen und Grundlagen.....	187
3.1.5.1.1	Mittlere radiale und axiale Auslaufgeschwindigkeit.....	187
3.1.5.1.2	Kontinuitätsbedingung.....	188
3.1.5.1.3	Symmetriebedingung	188
3.1.5.1.4	Kopplung der Kinematik und Formänderung im Radial- und Axialwalzspalt.....	188
3.1.5.1.5	Umformzonengeometrie	188
3.1.5.1.6	Radialwalzspalt	188
3.1.5.1.7	Axialwalzspalt	189
3.1.5.2	Herstellung von gewalzten Ringen	189
3.1.5.2.1	Herstellung des Vormaterials.....	189
3.1.5.2.2	Verfahrensprinzipien	190
3.1.5.2.3	Walzstrategien und Prozessführung	190
3.1.5.2.4	Radial-Axial-Ringwalzmaschine	192
3.1.5.2.5	Radial-Ringwalzmaschinen (RICA).....	193
3.1.5.2.6	Mehrdorn-Ringwalzmaschine (MERW).....	194
3.1.5.2.7	Adjustage und Weiterverarbeitung	194
3.1.6	Einstellung der Gefügeeigenschaften beim Warm- und Kaltwalzen.....	196
3.1.6.1	Werkstofftechnische Zielstellung der Umformung	196

3.1.6.2	Gefügeausbildung bei der Umformung	196
3.1.6.2.1	Umformbedingte Struktur- und Gefügeänderungen	197
3.1.6.2.2	Thermisch aktivierte Gefügebildungsvorgänge	198
3.1.6.3	Gefüge- und Eigenschaftsbeeinflussung beim Umformen	199
3.1.6.3.1	Warmwalzengegossener Vormaterialien	199
3.1.6.3.2	Thermomechanische Behandlung zur kontrollierten Gefügeentwicklung	200
3.1.6.3.3	Eigenschaftsänderung durch Kaltumformen	205
3.2	Freiformschmieden	208
3.2.1	Einführung	208
3.2.2	Stauchen	210
3.2.2.1	Verfahrensprinzip	210
3.2.2.2	Theoretische Grundlagen	211
3.2.2.2.1	Globale Formänderungen	211
3.2.2.2.2	Lokale Formänderungen	212
3.2.2.2.3	Umformkraft und Umformarbeit	212
3.2.3	Recken	215
3.2.3.1	Verfahrensprinzip	215
3.2.3.2	Theoretische Grundlagen	217
3.2.3.2.1	Globale Formänderungen	217
3.2.3.2.2	Lokale Formänderungen	218
3.2.3.2.3	Stofffluss	218
3.2.3.2.4	Umformkraft und Umformarbeit	219
3.2.3.2.5	Schmiedestrategien	221
3.2.4	Weitere Prozessschritte	223
3.2.4.1	Verschieben	224
3.2.4.2	Verdrehen	225
3.2.4.3	Trennen	226
3.2.4.3.1	Abtrennen	226
3.2.4.3.2	Lochen	228
3.2.5	Prozessketten	229
3.2.5.1	Allgemeines	229
3.2.5.2	Fertigung von Hohlzylindern, Ringen und Scheiben	230
3.2.5.3	Fertigung von Kurbelwellen und abgesetzten Wellen	233
3.2.5.3.1	Fertigung von Kurbelwellen	233
3.2.5.3.2	Fertigung von abgesetzten Wellen	236
3.2.6	Maschinen und Anlagen	238
3.2.6.1	Übersicht	238
3.2.6.2	Hämmer	238
3.2.6.3	Hydraulische Pressen	239
3.2.6.4	Mechanische Pressen	242
3.3	Gesenkschmieden	244
3.3.1	Geschichtliche Entwicklung	244
3.3.2	Bedeutung des Gesenkschmiedens	244
3.3.3	Übersicht der Verfahren	245
3.3.3.1	Allgemeines	245
3.3.3.2	Gesenkformen mit teilweise umschlossenem Werkstück	245
3.3.3.3	Gesenkformen mit ganz umschlossenem Werkstück	245

3.3.4	Berechnungsverfahren.....	246
3.3.4.1	Allgemeines	246
3.3.4.2	Formänderungszustand	247
3.3.4.3	Spannungszustand.....	247
3.3.4.4	Umformkraft	249
3.3.4.5	Umformarbeit	251
3.3.4.6	Werkstücktemperatur.....	252
3.3.5	Werkstoffe für das Gesenkschmieden.....	253
3.3.5.1	Werkstoffarten	253
3.3.5.2	Umformverhalten.....	253
3.3.6	Gesenkschmieden mit Grat	255
3.3.6.1	Trennen	255
3.3.6.1.1	Scheren	256
3.3.6.1.2	Sägen.....	256
3.3.6.2	Wärmen.....	257
3.3.6.2.1	Öfen	257
3.3.6.2.2	Erwärmungsanlagen.....	257
3.3.6.2.3	Verzunderung	258
3.3.6.2.4	Randentkohlung.....	259
3.3.6.3	Entzundern.....	260
3.3.6.4	Umformen	261
3.3.6.4.1	Massenverteilung.....	261
3.3.6.4.2	Biegen	263
3.3.6.4.3	Querschnittsvorbildung und Endformung.....	264
3.3.6.5	Abgraten und Lochen	265
3.3.6.6	Nachformen.....	267
3.3.6.7	Wärmebehandeln	268
3.3.6.8	Oberflächennachbehandeln	269
3.3.6.8.1	Strahlen	269
3.3.6.8.2	Rollen	271
3.3.7	Sonstige Verfahren.....	271
3.3.7.1	Gesenkschmieden ohne Grat.....	271
3.3.7.2	Genau- und Präzisionsschmieden	272
3.3.7.3	Halbwarmschmieden.....	273
3.3.7.4	Pulverschmieden.....	274
3.3.7.5	Thixoschmieden	276
3.3.8	Werkzeuge zum Gesenkformen	277
3.3.8.1	Werkzeugarten	277
3.3.8.2	Gestaltung der Werkzeuge.....	278
3.3.8.3	Werkzeugwerkstoffe	281
3.3.8.4	Fertigung der Werkzeuge.....	282
3.3.8.5	Beanspruchungen der Werkzeuge.....	283
3.3.8.6	Werkzeugschäden	284
3.3.8.7	Maßnahmen zur Verminderung von Werkzeugschäden.....	285
3.3.8.7.1	Allgemeines	285
3.3.8.7.2	Werkzeugtemperaturen	287
3.3.8.7.3	Kühlung und Schmierung der Werkzeuge	288
3.3.8.7.4	Kühlmittel	289

3.3.8.7.5	Schmierstoffe.....	290
3.3.8.7.6	Treibmittel.....	292
3.3.8.8	Standmengen der Werkzeuge.....	292
3.3.9	Maschinen zum Gesenkschmieden.....	295
3.3.9.1	Weggebundene Maschinen.....	295
3.3.9.1.1	Exzenter- und Kurbelpressen.....	295
3.3.9.1.2	Waagrecht-Schmiedemaschinen.....	296
3.3.9.1.3	Walzmaschinen.....	296
3.3.9.2	Kraftgebundene Maschinen.....	298
3.3.9.3	Energiegebundene Maschinen.....	298
3.3.9.3.1	Hämmer.....	299
3.3.9.3.2	Spindelpressen.....	300
3.3.9.4	Kenngrößen von Gesenkschmiedemaschinen.....	301
3.4	Eindrücken.....	310
3.4.1	Eindrücken mit geradliniger Bewegung.....	310
3.4.1.1	Eindrücken mit geradliniger Bewegung ohne Gleiten.....	310
3.4.1.2	Eindrücken mit geradliniger Bewegung mit Gleiten.....	312
3.4.2	Eindrücken mit umlaufender Bewegung.....	313
3.4.2.1	Eindrücken mit umlaufender Bewegung ohne Gleiten.....	313
3.4.2.2	Eindrücken mit umlaufender Bewegung mit Gleiten.....	313
3.4.3	Beispiele.....	314
3.4.3.1	Münzherstellung.....	314
3.4.3.2	Kalteinsenken.....	315
3.5	Durchdrücken.....	318
3.5.1	Fließpressen.....	318
3.5.1.1	Geschichtliche Entwicklung und Übersicht.....	318
3.5.1.2	Fließpressen mit quasistationärem Werkstofffluss.....	320
3.5.1.2.1	Werkstofffluss.....	320
3.5.1.2.2	Formänderungen.....	321
3.5.1.2.3	Spannungen.....	321
3.5.1.2.4	Kräfte.....	322
3.5.1.2.5	Optimaler Matrizenöffnungswinkel.....	325
3.5.1.3	Fließpressen mit instationärem Werkstofffluss.....	325
3.5.1.3.1	Werkstofffluss.....	326
3.5.1.3.2	Formänderungen.....	327
3.5.1.3.3	Spannungen.....	328
3.5.1.3.4	Kräfte.....	328
3.5.1.3.5	Querfließpressen.....	330
3.5.1.4	Sonderverfahren.....	332
3.5.1.4.1	Halbwarmfließpressen.....	332
3.5.1.4.2	Kaltgesenkschmieden.....	334
3.5.1.4.3	Fließpressen mit Wirkmedien, hydrostatisches Fließpressen.....	334
3.5.1.4.4	Inkrementelle Verfahren.....	335
3.5.1.5	Verfahrensfolgen und Verfahrenskombinationen.....	335
3.5.1.6	Präzisionsfließpressen (Near Net Shape und Net Shape Forging).....	337
3.5.1.7	Werkstoffe.....	339

3.5.1.7.1	Stahlwerkstoffe.....	339
3.5.1.7.2	Nichteisenmetalle	341
3.5.1.8	Werkstückformen.....	341
3.5.1.8.1	Allgemeine Gestaltungsmerkmale	341
3.5.1.8.2	Verfahrensbedingte Gestaltungsmerkmale	343
3.5.1.9	Rohteilfertigung	344
3.5.1.9.1	Halbzeug.....	344
3.5.1.9.2	Herstellung von Zuschnitten	344
3.5.1.10	Glühen.....	346
3.5.1.10.1	Glühen von Stahlwerkstoffen.....	346
3.5.1.10.2	Glühen von Nichteisenmetallen.....	347
3.5.1.11	Oberflächenbehandlung und Schmierung	347
3.5.1.11.1	Oberflächenbehandlung von Rohteilen aus Stahlwerkstoffen	347
3.5.1.11.2	Oberflächenbehandlung von Rohteilen aus Nichteisenmetallen.....	350
3.5.1.11.3	Oberflächenrauheit und Werkzeugverschleiß.....	350
3.5.1.12	Arbeitsgenauigkeit und Qualitätssicherung	350
3.5.1.12.1	Arbeitsgenauigkeit	350
3.5.1.12.2	Qualitätssicherung.....	352
3.5.1.13	Festlegen der Fertigungsfolge	353
3.5.1.14	Werkzeuge	355
3.5.1.14.1	Werkzeuggestaltung	357
3.5.1.14.2	Auslegung von Fließpresswerkzeugen	364
3.5.1.14.3	Werkzeugwerkstoffe	368
3.5.1.14.4	Schließvorrichtungen	371
3.5.1.15	Maschinen zum Fließpressen.....	372
3.5.1.15.1	Hydraulische Pressen.....	373
3.5.1.15.2	Mechanische Pressen	374
3.5.1.15.3	Ein- und Mehrstufenpressen	376
3.5.1.16	Wirtschaftlichkeit	379
3.5.2	Verjüngen	388
3.5.2.1	Allgemeines	388
3.5.2.2	Verfahren des Verjüngens.....	388
3.5.2.3	Grundlagen des Verjüngens	389
3.5.2.4	Werkzeuge und Maschinen zum Verjüngen	391
3.5.3	Strangpressen.....	393
3.5.3.1	Einleitung.....	393
3.5.3.2	Strangpressverfahren.....	394
3.5.3.2.1	Allgemeines	394
3.5.3.2.2	Direktes Strangpressen.....	395
3.5.3.2.3	Indirektes Strangpressen.....	396
3.5.3.2.4	Hydrostatisches Strangpressen	397
3.5.3.3	Kraftverlauf und Leistungsbilanz.....	398
3.5.3.4	Werkstofffluss beim Strangpressen	402
3.5.3.4.1	Fließtypen beim Strangpressen	402
3.5.3.4.2	Analyse des Werkstoffflusses beim Strangpressen	403
3.5.3.5	Werkstoffe	405
3.5.3.5.1	Aluminium	405

3.5.3.5.2	Magnesium.....	415
3.5.3.5.3	Kupfer	416
3.5.3.5.4	Stahl	417
3.5.3.6	Werkzeuge und Anlagen.....	419
4	Zugdruckumformen	433
4.1	Durchziehen.....	435
4.1.1	Gleitziehen	435
4.1.1.1	Verfahrensvarianten	435
4.1.1.2	Berechnungsgrundlagen.....	436
4.1.1.3	Anwendungsaspekte	438
4.1.2	Walzziehen	442
4.1.3	Werkzeugloses Ziehen.....	442
4.2	Tiefziehen.....	444
4.2.1	Verfahrensübersicht	444
4.2.2	Tiefziehen im Erstzug.....	445
4.2.2.1	Verfahrensbeschreibung.....	445
4.2.2.2	Spannungen	445
4.2.2.3	Ziehverhältnis, Grenzziehverhältnis.....	446
4.2.2.4	Ziehspalt, Bauteilwanddicke	448
4.2.2.5	Kräfte, Arbeitsbedarf für das Tiefziehen	448
4.2.2.6	Anisotropiekennwerte von Blechwerkstoffen	451
4.2.2.7	Versagensarten, Versagensgrenzen	453
4.2.2.8	Tiefziehen ohne Blechhalter	456
4.2.2.9	Grenzformänderungsdiagramm	456
4.2.3	Tiefziehen im Weiterzug	459
4.2.3.1	Verfahrensbeschreibung Weiterzug.....	459
4.2.3.2	Auslegung, Stadienpläne für mehrstufige Tiefziehprozesse.....	460
4.2.3.3	Zuschnittsermittlung/ Form und Größe der Platine	462
4.2.4	Stülpziehen	463
4.2.5	Das Tiefziehen von nicht-rotationssymmetrischen Werkstücken.....	464
4.2.5.1	Spannungsverhältnisse im Werkstück	464
4.2.5.2	Platinenform	465
4.2.5.3	Reibung zwischen Platine und Ziehrahmen	466
4.2.5.4	Schmierstoffe für das Tiefziehen	466
4.2.5.5	Ziehsicken und Ziehwalste.....	468
4.2.5.6	Tuschieren	470
4.2.5.7	Konstruktive Gestaltung der Blechhalter.....	472
4.2.5.8	Qualität von Blechformteilen.....	474
4.2.6	Hydroumformung.....	479
4.2.6.1	Verfahrensübersicht	479
4.2.6.2	Hydraulisches Tiefen	480
4.2.6.3	Hydromechanisches Tiefziehen	482
4.2.6.4	Hochdruckblechumformung (HBU)	486
4.2.6.5	Umformen mit Membran	488
4.2.6.6	Doppelblechumformung	489

4.2.6.7	Pressen für die Hydroumformung.....	492
4.2.7	Warmumformung borlegierter Blechwerkstoffe (Presshärten)	496
4.2.7.1	Einsatzgebiete.....	496
4.2.7.2	Verfahrensbeschreibung.....	496
4.2.7.3	Blechwerkstoffe für das Presshärten	498
4.2.7.4	Temperaturführung.....	499
4.2.7.5	Die konstruktive Gestaltung von Umformwerkzeugen für das Presshärten	500
4.2.7.6	Vor- und Nachteile der Warmumformung	501
4.2.8	Werkzeuge für die Blechumformung	501
4.2.8.1	Werkzeugarten	501
4.2.8.2	Entwicklung und Konstruktion von Folgeverbundwerkzeugen	504
4.2.8.3	Entwicklung und Konstruktion von Einzelwerkzeugen für den Karosseriebau ...	504
4.2.8.4	Rückfederung.....	510
4.2.8.5	Prototypwerkzeuge	512
4.2.8.6	Werkzeugwerkstoffe für Serienwerkzeuge.....	513
4.2.8.7	Oberflächenbehandlung.....	516
4.2.8.8	Beschichtung von Werkzeugen bzw. Einsätzen.....	516
4.2.9	Werkzeugmaschinen zum Tiefziehen	518
4.3	Kragenziehen.....	528
4.3.1	Einführung	528
4.3.2	Verfahrensprinzip	529
4.3.3	Theoretische Grundlagen.....	530
4.3.4	Verfahrensprinzip des Kragenziehens bei Rohren	534
4.4	Drücken	536
4.4.1	Einführung	536
4.4.2	Verfahrensprinzip	536
4.4.3	Anwendungsbeispiele	538
4.5	Knickbauchen	540
4.5.1	Einführung	540
4.5.2	Verfahrensprinzip	540
4.5.3	Anwendungsbeispiele	541
4.6	Innenhochdruck - Umformen (IHU).....	541
4.6.1	Innenhochdruck-Verfahren.....	541
4.6.2	Innenhochdruck-Umformen	542
4.6.2.1	Verfahrensablauf beim Innenhochdruck-Umformen.....	542
4.6.2.2	Phasen beim Innenhochdruck-Umformprozess	543
4.6.2.3	Arbeitsdiagramm	543
4.6.2.4	Versagen durch Bersten	544
4.6.2.5	Auslegung von IHU-Prozessen	545
4.6.2.6	IHU-Werkzeuge	548
4.6.2.7	IHU-Anlagen	548
4.6.2.8	Bauteile	549
4.6.3	Innenhochdruck-Trennen.....	550
4.6.4	Innenhochdruck-Fügen	550
4.6.5	Verfahrenserweiterungen	551

5	Zugumformen	553
5.1	Längen	555
5.1.1	Strecken	555
5.1.2	Streckrichten	555
5.2	Weiten	557
5.2.1	Weiten mit Werkzeugen	557
5.2.2	Weiten mit Wirkmedien	559
5.2.2.1	Weiten bei kraftgebundener Wirkung	559
5.2.2.2	Weiten bei energiegebundener Wirkung	560
5.2.3	Weiten mit Wirkenergie	561
5.3	Tiefen	562
5.3.1	Streckziehen	562
5.3.2	Hohlprägen mit starren Werkzeugen	566
5.3.3	Hohlprägen mit nachgiebigen Werkzeugen	566
5.3.4	Tiefen mit Wirkmedien	568
5.3.4.1	Tiefen bei kraftgebundener Wirkung	568
5.3.4.2	Tiefen mittels Wirkmedien bei energiegebundener Wirkung	568
5.3.5	Tiefen mit Wirkenergie	569
6	Biegeumformen	571
6.1	Einleitung	573
6.2	Grundlagen des Biegens anhand der elementaren Biegetheorie	576
6.2.1	Annahmen der elementaren Biegetheorie	576
6.2.2	Berechnung der Dehnungen, Spannungen und Biegemomente	578
6.2.3	Berechnung der Rückfederung	579
6.2.4	Einfluss- und Störgrößen	582
6.3	Blechbiegen	583
6.3.1	Frei- und Gesenkbiegen	584
6.3.2	Schwenkbiegen	589
6.3.3	Walzrunden	591
6.3.4	Walzprofilieren	594
6.4	Rohr- und Profilbiegen	595
6.4.1	Anwendungsgebiete von gebogenen Profilen	595
6.4.2	Einflussparameter beim Rohr- und Profilbiegen	595
6.4.3	Fertigungsfehler und Versagensfälle beim Profilbiegen	597
6.4.4	Klassifizierung der Rohr- und Profilbiegeverfahren	598
6.4.5	Formgebundene Profilbiegeverfahren	600
6.4.6	Profilbiegeverfahren mit kinematischer Definition der Biegekontur	602
7	Schubumformen	607
7.1	Einleitung	609
7.2	Verschieben	609

7.3	Verdrehen	612
8	Mikroumformen	615
8.1	Einordnung und Grundlagen	617
8.1.1	Definitionen und Abgrenzung	617
8.1.2	Kategorien von Größeneffekten	619
8.1.3	Größeneffekte bei der Festigkeit	622
8.1.4	Größeneffekt bei der Tribologie	624
8.1.5	Größeneffekt beim Formänderungsverhalten	626
8.2	Mikro-Massivumformung	628
8.2.1	Stoffanhäufen	628
8.2.2	Fließpressen	629
8.2.3	Stoffverdrängen	630
8.3	Mikro-Blechumformung	631
8.3.1	Biegen	631
8.3.2	Streckziehen	632
8.3.3	Tiefziehen	632
9	Sonderverfahren	637
	Überblick zu Kapitel 9	639
9.1	Umformen mit speziellen physikalischen Effekten	639
9.1.1	Hochgeschwindigkeits-umformung	639
9.1.1.1	Verfahrensbeschreibung	639
9.1.1.2	Vor- und Nachteile	640
9.1.1.3	Anwendungsbeispiele	641
9.1.1.4	Anlagentechnik	643
9.1.2	Umformung mit lokalem Wärmeeintrag	646
9.1.2.1	Wärmeeintrag mit Laser	646
9.1.2.2	Wärmeeintrag durch Reibung (Reib-Drücken)	648
9.1.3	Umformen mit Schwingungsüberlagerung	649
9.2	Hochflexible Umformverfahren	652
9.2.1	Grundlagen	652
9.2.2	Blechumformung	653
9.2.2.1	Inkrementelle Blechumformung	653
9.2.2.2	Flexibles Biegen	656
9.2.2.2.1	Verfahrensprinzip	656
9.2.2.2.2	Verfahrensbeschreibung	656
9.2.2.2.3	Anlagentechnik	657
9.2.3	Massivumformung	659
9.2.3.1	Taumelpressen, Axialgesenkwalzen	659
9.2.3.2	Rundkneten	662
9.2.3.3	Bohrungsdrücken	665
9.2.3.4	Profilwalzen	670
9.2.3.4.1	Verfahrensübersicht	670

9.2.3.4.2	Verfahrensbeschreibung.....	671
9.2.3.4.3	Theoretische Grundlagen.....	673
9.2.3.4.4	Anwendung.....	675
9.2.3.4.5	Anlagentechnik.....	675
10	Zerteilen.....	677
10.1	Allgemeines und Verfahrensübersicht.....	679
10.2	Normalschneiden (Einfaches Scherschneiden).....	681
10.2.1	Verfahrensablauf.....	681
10.2.2	Schnittflächenkenngrößen.....	683
10.2.3	Schneidkraft und Schneidarbeit.....	685
10.2.3.1	Schneidkraftberechnung.....	685
10.2.3.2	Einflussgrößen auf die Schneidkraft.....	686
10.2.3.3	Schneidkraft-Weg-Verlauf.....	687
10.2.4	Verschleiß.....	689
10.2.5	Werkzeuge zum Normalschneiden.....	692
10.2.6	Sonderverfahren.....	695
10.2.6.1	Knabberschneiden (Nibbeln).....	695
10.2.6.2	Rotationsschneiden.....	695
10.2.7.3	Mechanisches Hochgeschwindigkeitsscherschneiden (HGSS).....	697
10.2.6.4	Impulsmagnetschneiden.....	697
10.3	Präzisionsschneid-verfahren.....	699
10.3.1	Feinschneiden.....	699
10.3.1.1	Grundlagen des Feinschneidens.....	700
10.3.1.2	Verfahrensablauf.....	700
10.3.1.3	Schnittflächenqualitäten.....	701
10.3.1.4	Verfahrensmerkmale.....	702
10.3.1.5	Berechnung der Kräfte.....	704
10.3.1.6	Schnittteilgestaltung und Bauteilwerkstoffe.....	705
10.3.1.7	Werkzeuge zum Feinschneiden.....	707
10.3.1.8	Angepasste/Adaptierte Verfahren.....	710
10.3.2.	Nachschneiden.....	712
10.3.2.1	Verfahrensablauf.....	713
10.3.2.2	Verfahrensmerkmale und Schnittflächenqualitäten.....	714
10.3.2.3	Bauteilwerkstoffe.....	717
10.3.2.4	Berechnung der Kräfte und Pressentechnik.....	717
10.3.3	Fließblochen/Fließausschneiden.....	718
10.3.3.1	Verfahrensablauf und -merkmale.....	718
10.3.3.2	Pressentechnik.....	720
10.3.4	Konterschneiden.....	720
10.3.4.1	Verfahrensablauf und -merkmale.....	720
10.3.4.2	Schnittflächenqualität.....	722
10.3.5	Stauchschneiden.....	723

10.3.5.1	Verfahrensablauf.....	723
10.3.5.2	Werkstoffe und Schnittflächenqualität	724
10.3.6	Schneiden mit negativem Schneidspalt.....	725
10.4	Maschinen zum Zerteilen.....	726
11	Werkzeuge der Umformtechnik.....	731
11.1	Die Branche Werkzeugbau.....	733
11.2	Werkzeugarten	733
11.2.1	Einteilung nach Verfahren.....	734
11.2.1.1	Ziehen	734
11.2.1.2	Beschneiden.....	734
11.2.1.3	Nachformen/ Weiterformen.....	735
11.2.2	Einteilung nach Einsatzart	736
11.2.2.1	Prototypenwerkzeuge.....	736
11.2.2.2	Versuchswerkzeuge.....	737
11.2.2.3	Großserienwerkzeuge.....	737
11.2.2.4	Kleinserienwerkzeuge.....	738
11.3	Werkzeuganfertigung.....	738
11.3.1	Designanalyse.....	738
11.3.2	Machbarkeit	739
11.3.3	Methodenplanung.....	740
11.3.3.1	Fertigungsfolgen	740
11.3.3.2	Umformsimulation.....	741
11.3.3.3	Fräsfertige 3D-Methode und Wirkflächenerstellung.....	742
11.3.4	Konstruktion	743
11.3.4.1	Konstruktionsphasen	743
11.3.4.2	Standards.....	744
11.3.4.3	Arbeitsvorbereitung	745
11.3.5	Gießmodell/Guss.....	745
11.3.6	Mechanische Bearbeitung.....	746
11.3.6.1	Programmerstellung.....	747
11.3.6.2	Grundbearbeitung.....	747
11.3.6.3	Formbearbeitung.....	747
11.3.6.4	Bearbeitungsstrategien	748
11.3.7	Werkzeugaufbau/-montage	749
11.3.7.1	Inbetriebnahme, Einarbeitsprozess	749
11.3.7.2	Qualitätsprozess	750
11.3.8	Serienbetrieb	752
11.4	Spezialwerkzeuge	752
11.4.1	Werkzeuge zum Umformen von Aluminium	752
11.4.2	Werkzeuge zum Presshärten.....	753