

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	Warmwalzen gegossener 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	Hochgeschwindigkeitsumformung.....	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.....	654
9.2.2.2	Flexibles Biegen.....	656
9.2.2.2.1	Verfahrensübersicht.....	656
9.2.2.2.2	Verfahrensbeschreibung.....	656
9.2.2.2.3	Anlagentechnik.....	656
9.2.3	Massivumformung.....	658
9.2.3.1	Taumelpressen, Axialgesenkwalzen.....	658
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	Präzisionsschneidverfahren	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