

# **Handbuch der Fertigungstechnik**

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Spur

und Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle t

Band 1 Urformen

Band 2 Umformen und Zerteilen (in drei Teilbänden)

Band 3 Spanen (in zwei Teilbänden)

Band 4 Abtragen, Beschichten und Wärmebehandeln

Band 5 Fügen, Handhaben und Montieren

Band 6 Fabrikbetrieb

**Carl Hanser Verlag München Wien**

# Handbuch der Fertigungstechnik

Band 2/1

## Umformen

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Spur

unter Mitwirkung

von Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmoeckel

Mit 613 Bildern und 52 Tabellen

**Carl Hanser Verlag München Wien**

# Inhalt

Einführung in die Umformtechnik . . . . .	1
1.1 Geschichtliche Entwicklung und Bedeutung . . . . .	1
1.2 Einteilung und Benennung der umformenden Fertigungsverfahren . . . . .	15
Literatur zu Kapitel 1 . . . . .	31
Grundlagen der Umformtechnik . . . . .	33
2.1 Grundlagen der Metallkunde . . . . .	33
2.1.1 Merkmale und Aufbau der Metalle . . . . .	33
2.1.2 Elastisches und plastisches Verhalten von Idealkristallen . . . . .	35
2.1.3 Fehler im Gitteraufbau der Metalle . . . . .	37
2.1.4 Plastische Formänderung von Vielkristallen . . . . .	39
2.1.4.1 Versetzungsbewegungen . . . . .	39
2.1.4.2 Versetzungsquellen . . . . .	40
2.1.4.3 Behinderung der Versetzungsbewegung . . . . .	41
2.1.4.4 Verfestigung . . . . .	43
2.1.5 Thermisch aktivierte Vorgänge . . . . .	43
2.1.6 Anisotropes Werkstoffverhalten . . . . .	45
2.2 Plastizitätstheorie . . . . .	46
2.2.1 Grundbegriffe der Plastomechanik . . . . .	46
2.2.1.1 Spannung . . . . .	46
2.2.1.2 Mohrscher Spannungskreis . . . . .	48
2.2.1.3 Spannungstensor, Kugeltensor und Spannungsdeviator . . . . .	49
2.2.1.4 Formänderung . . . . .	49
2.2.1.5 Formänderungsgeschwindigkeit . . . . .	52
2.2.1.6 Umformarbeit und Umformleistung . . . . .	53
2.2.1.7 Umformvermögen . . . . .	55
2.2.2 Grundgleichungen der Plastomechanik . . . . .	55
2.2.2.1 Gleichgewichtsbedingungen . . . . .	55
2.2.2.2 Fließbedingungen . . . . .	56
2.2.2.3 Anwendung der Fließbedingungen . . . . .	57
2.2.2.4 Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen . . . . .	58
2.2.3 Methoden der Plastomechanik . . . . .	59
2.2.3.1 Allgemeines . . . . .	59
2.2.3.2 Elementare Plastizitätstheorie . . . . .	59
2.2.3.2.1 Allgemeines . . . . .	59
2.2.3.2.2 Streifentheorie . . . . .	60
2.2.3.2.3 Scheiben- und Röhrentheorie . . . . .	62
2.2.3.3 Theorie der Gleitlinienfelder . . . . .	63
2.2.3.4 Visioplastische Methode . . . . .	63
2.2.3.5 Schrankenverfahren . . . . .	64
2.2.3.6 Fehlerabgleichmethode . . . . .	64
2.2.3.7 Numerische Behandlung von Umformvorgängen mit Variations- methoden . . . . .	65
2.3 Fließkurven metallischer Werkstoffe . . . . .	65
2.3.1 Allgemeines . . . . .	65
2.3.2 Definition der Fließkurve . . . . .	65
2.3.3 Einflußgrößen auf die Fließkurven . . . . .	66
2.3.3.1 Einfluß des Werkstoffs . . . . .	66

2.3.3.2	Einfluß der Formänderung <sup>^</sup> . . . . .	66
2.3.3.3	Einfluß der Temperatur . . . . .	67
2.3.3.4	Einfluß der Umformgeschwindigkeit . . . . .	68
2.3.4	Verfahren zur Aufnahme von Fließkurven . . . . .	69
2.3.4.1	Allgemeines . . . . .	69
2.3.4.2	Ermittlung der Fließkurve im Zugversuch . . . . .	69
2.3.4.2.1	Zugversuch nach Siebel . . . . .	69
2.3.4.2.2	Zugversuch nach Reihle . . . . .	70
2.3.4.2.3	Zugversuch mit vorverfestigten Proben . . . . .	71
2.3.4.3	Ermittlung der Fließkurve im Stauchversuch . . . . .	71
2.3.4.3.1	Zylinderstauchversuch . . . . .	71
2.3.4.3.2	Kegelstauchversuch . . . . .	72
2.3.4.3.3	Flachstauchversuch . . . . .	72
2.3.4.4	Ermittlung der Fließkurve nach sonstigen Verfahren . . . . .	73
2.3.4.4.1	Verdrehversuch . . . . .	73
2.3.4.4.2	Hydraulischer Tiefungsversuch . . . . .	73
2.3.4.4.3	Biegeversuch . . . . .	73
2.3.5	Vergleich der Verfahren zur Fließkurvenaufnahme . . . . .	74
2.4	Wärmebehandlung . . . . .	75
2.4.1	Allgemeines . . . . .	75
2.4.2	Glühverfahren bei Stahl . . . . .	75
2.4.2.1	Normalglühen . . . . .	75
2.4.2.2	Rekristallisationsglühen . . . . .	76
2.4.2.3	Spannungsarmglühen . . . . .	78
2.4.2.4	Weichglühen . . . . .	78
2.4.2.5	Sonstige Glühverfahren . . . . .	79
2.4.2.6	Glühfehler . . . . .	79
2.4.3	Glühverfahren bei Nichteisenmetallen . . . . .	80
2.4.4	Festigkeitssteigernde Verfahren . . . . .	80
2.4.4.1	Härten . . . . .	80
2.4.4.2	Oberflächenhärten . . . . .	82
2.4.4.3	Einsatzhärten . . . . .	82
2.4.4.4	Vergüten . . . . .	83
2.4.4.5	Zwischenstufenvergüten . . . . .	84
2.4.4.6	Ausscheidungshärtung . . . . .	84
2.5	Reibung und Schmierung . . . . .	85
2.5.1	Allgemeines . . . . .	85
2.5.2	Schmierstoffarten . . . . .	86
2.5.2.1	Nichtwassermischbare Schmierstoffe . . . . .	86
2.5.2.2	Wassermischbare Schmierstoffe . . . . .	87
2.5.2.3	Zusätze . . . . .	87
2.5.2.4	Festschmierstoffe . . . . .	87
2.5.2.5	Folien und Lacke . . . . .	88
2.5.2.6	Salze und Gläser . . . . .	88
2.5.3	Anwendung und Auswahl . . . . .	88
2.5.3.1	Allgemeines . . . . .	88
2.5.3.2	Warmmassivumformung . . . . .	88
2.5.3.3	Kaltmassivumformung . . . . .	89
2.5.3.4	Blechumformung . . . . .	92
2.5.3.5	Scherschneiden . . . . .	93
2.5.4	Schmierstoffprüfverfahren . . . . .	94
2.5.4.1	Chemisch-physikalische Verfahren . . . . .	94

2.5.4.2	Mechanisch-dynamische Verfahren	96
2.5.4.3	Tribologische Verfahren	96
2.5.5	Vorbereitende Maßnahmen zur Schmierstoffanwendung	97
2.5.5.1	Nichtwassermischbare Schmierstoffe	97
2.5.5.2	Wassermischbare Schmierstoffe	97
2.5.6	Aufbringen und Entfernen des Schmierstoffs	98
2.5.7	Nebenwirkungen	98
2.6	Maschinen der Umformtechnik	99
2.6.1	Allgemeines	99
2.6.2	Bauformen	101
2.6.2.1	Maschinengestelle	101
2.6.2.2	Führungen	104
2.6.3	Kraftgebundene Umformmaschinen	105
2.6.3.1	Allgemeines	105
2.6.3.2	Maschinen mit geradliniger Relativbewegung der Werkzeuge	106
2.6.3.2.1	Elektro-hydraulischer Antrieb	106
2.6.3.2.2	Elektro-mechanischer Antrieb	110
2.6.3.3	Maschinen mit nicht geradliniger Relativbewegung	111
2.6.4	Weggebundene Umformmaschinen	114
2.6.4.1	Allgemeines	114
2.6.4.2	Mechanisch-weggebundene Umformmaschinen	115
2.6.4.2.1	Einteilung	115
2.6.4.2.2	Einfache Schubkurbelgetriebe	115
2.6.4.2.3	Erweiterte Schubkurbelgetriebe	118
2.6.4.2.4	Mehrkurbelgetriebe	119
2.6.4.2.5	Kurvengetriebe	120
2.6.4.3	Hydraulisch-weggebundene Umformmaschinen	121
2.6.5	Energiegebundene Umformmaschinen	121
2.6.5.1	Allgemeines	121
2.6.5.2	Hämmer	122
2.6.5.3	Schwungradspindelpressen	125
2.6.5.4	Einrichtungen zur Hochgeschwindigkeitsumformung	127
2.6.6	Sicherheit an Umformmaschinen	128
2.6.6.1	Arbeitssicherheit	128
2.6.6.2	Überlastsicherheit	130
	Literatur zu Kapitel 2	131
3	Druckumformen	138
3.1	Warmwalzen von Halbzeug und Fertigerzeugnissen	138
3.1.1	Übersicht der Warmwalzverfahren	138
3.1.2	Berechnungsverfahren	141
3.1.2.1	Berechnungsverfahren für das Flachwalzen	141
3.1.2.1.1	Allgemeines	141
3.1.2.1.2	Geometrie des Walzspalts	141
3.1.2.1.3	Formänderungen	144
3.1.2.1.4	Kinematik des Walzspalts	148
3.1.2.1.5	Statik im Walzspalt	150
3.1.2.1.6	Temperatur im Walzspalt	164
3.1.2.2	Berechnungsverfahren für das Profilwalzen von Vollkörpern	166
3.1.2.2.1	Allgemeines	166
3.1.2.2.2	Geometrische Größen zur Beschreibung der Kaliber	168

3.1.2.2.3	Neutrale Linie und arbeitender Walzendurchmesser . . . . .	176
3.1.2.2.4	Äquivalenter Flachstich . . . . .	177
3.1.2.2.5	Warmmaß und Kaltmaß . . . . .	182
3.1.2.2.6	Stofffluß . . . . .	182
3.1.2.2.7	Kinematik . . . . .	191
3.1.2.2.8	Kraft- und Arbeitsbedarf . . . . .	193
3.1.2.2.9	Temperatur . . . . .	195
3.1.2.3	Berechnungsverfahren für das Profilwalzen von Hohlkörpern . . . . .	196
3.1.3	Verfahren für das Walzen von Halbzeug . . . . .	199
3.1.3.1	Allgemeines . . . . .	199
3.1.3.2	Walzen von Vorblöcken, Vorbrammen und Flachbrammen . . . . .	200
3.1.3.3	Walzen von Knüppeln und Platinen . . . . .	201
3.1.4	Verfahren für das Walzen von Fertigerzeugnissen . . . . .	205
3.1.4.1	Walzen von Profilerzeugnissen . . . . .	205
3.1.4.1.1	Allgemeines . . . . .	205
3.1.4.1.2	Walzen von schweren Profilen . . . . .	205
3.1.4.1.3	Walzen von Stäben . . . . .	208
3.1.4.1.4	Walzen von Draht . . . . .	210
3.1.4.2	Walzen von Rohren . . . . .	213
3.1.4.2.1	Allgemeines . . . . .	213
3.1.4.2.2	Stopfenstraße . . . . .	214
3.1.4.2.3	Pilgerstraße . . . . .	217
3.1.4.2.4	Rohrkontiststraße . . . . .	220
3.1.4.2.5	Stoßbankanlage . . . . .	223
3.1.4.3	Walzen von Flachfertigerzeugnissen . . . . .	224
3.1.4.3.1	Warmband . . . . .	224
3.1.4.3.2	Straßenanordnungen zur Warmbandherstellung . . . . .	227
3.1.4.3.3	Aufbau der Breitbandstraße . . . . .	229
3.1.4.3.4	Entwicklung der Breitbandstraße . . . . .	232
3.1.4.3.5	Walzwerke der dritten Generation . . . . .	234
3.1.4.3.6	Grobblech und Breitflachstahl . . . . .	240
3.1.4.3.7	Straßenanordnungen zur Grobblechherstellung . . . . .	242
3.1.4.3.8	Aufbau der Grobblechstraße . . . . .	243
3.1.4.3.9	Walztechnologie für Grobblech . . . . .	244
3.1.5	Werkzeuge . . . . .	245
3.1.5.1	Allgemeines . . . . .	245
3.1.5.2	Walzen . . . . .	245
3.1.6	Übersicht der Maschinen und Anlagen . . . . .	252
3.1.6.1	Allgemeines . . . . .	252
3.1.6.2	Maschinen und Anlagen zum Walzen von Halbzeug . . . . .	252
3.1.6.2.1	Walzstraßen zum Walzen von Vorbrammen und Vorblöcken . . . . .	252
3.1.6.2.2	Halbzeugstraßen zum Walzen von Knüppeln und Platinen . . . . .	267
3.1.6.3	Maschinen und Anlagen zum Walzen von Fertigerzeugnissen . . . . .	278
3.1.6.3.1	Allgemeines . . . . .	278
3.1.6.3.2	Maschinen und Anlagen für Profilerzeugnisse . . . . .	278
3.1.6.3.3	Maschinen und Anlagen für Flacherzeugnisse . . . . .	329
	Literatur zu Abschnitt 3.1 . . . . .	363
3.2	Kaltwalzen von Flacherzeugnissen . . . . .	373
3.2.1	Einführung . . . . .	373
3.2.2	Berechnungsverfahren . . . . .	373
3.2.2.1	Allgemeines . . . . .	373
3.2.2.2	Geometrie, Formänderungen und Kinematik im Walzspalt . . . . .	373

3.2.2.3	Statik im Walzspalt	375
3.2.2.3.1	Reibung	375
3.2.2.3.2	Verfestigung	376
3.2.2.3.3	Spannungen im Walzspalt, Walzkraft, Drehmoment und Walzleistung	377
3.2.2.4	Temperatur	387
3.2.3	Verfahrensbeschreibung	388
3.2.3.1	Allgemeines	388
3.2.3.2	Vorbereiten der Oberfläche	389
3.2.3.3	Kaltwalzen von Warmbreitband	394
3.2.3.3.1	Allgemeines	394
3.2.3.3.2	Aluminium	394
3.2.3.3.3	Titan	396
3.2.3.3.4	Kupfer	396
3.2.3.3.5	Zink	397
3.2.3.3.6	Stahl	397
3.2.3.4	Glühen des Kaltbandes	407
3.2.3.5	Nachwalzen	411
3.2.3.6	Zurichten	418
3.2.3.7	Beschichten	420
3.2.3.7.1	Allgemeines	420
3.2.3.7.2	Feuerverzinktes Feiblech	421
3.2.3.7.3	Galvannealed	429
3.2.3.7.4	Galvalume	429
3.2.3.7.5	Feueraluminiertes Feiblech	429
3.2.3.7.6	Feuerverbleites Feiblech	429
3.2.3.7.7	Elektrolytisch verzinnertes Feiblech	430
3.2.3.7.8	Elektrolytisch verzinktes Feiblech	434
3.2.3.7.9	Elektrolytisch verbleites Feiblech	437
3.2.3.7.10	Bandbeschichtetes Feiblech	437
3.2.4	Übersicht der Maschinen, Anlagen und Werkzeuge	440
3.2.4.1	Allgemeines	440
3.2.4.2	Bandvorbereitungsanlagen	440
3.2.4.2.1	Anlagen für NE-Metalle	440
3.2.4.2.2	Anlagen für Stahl	440
3.2.4.3	Walzgerüste	451
3.2.4.4	Walzanlagen	464
3.2.4.4.1	Allgemeines	464
3.2.4.4.2	Eingerüstige Anlagen	465
3.2.4.4.3	Tandemstraßen	472
3.2.4.5	Glühanlagen	481
3.2.4.5.1	Allgemeines	481
3.2.4.5.2	Haubenglühanlagen	481
3.2.4.5.3	Durchlaufglühanlagen	482
3.2.4.5.4	Durchlauf-Glüh- und Behandlungsanlagen	484
3.2.4.6	Nachwalzanlagen	488
3.2.4.7	Adjustageanlagen	492
3.2.4.7.1	Scheren	492
3.2.4.7.2	Zerteilanlagen	495
	Literatur zu Abschnitt 3.2	498
3.3	Oberflächenfeinwalzen	506
3.3.1	Allgemeines	506

3.3.2	Außenglattwalzen	510
3.3.2.1	Allgemeines	510
3.3.2.2	Bearbeitung auf Außenglattwalzmaschinen	511
3.3.3	Innenglattwalzen	514
3.3.3.1	Allgemeines	514
3.3.3.2	Bearbeitung mit Innenglattwalzwerkzeugen	514
3.3.3.3	Bearbeitung mit kombinierten Schäl- und Glattwalzwerkzeugen	515
3.3.4	Festwalzen	517
3.3.4.1	Allgemeines	517
3.3.4.2	Bearbeitung auf Festwalzmaschinen	520
3.3.5	Maßwalzen	522
	Literatur zu Abschnitt 3.3	523
3.4	Profilwalzen von Fertigteilen	524
3.4.1	Allgemeines	524
3.4.2	Übersicht der Walzverfahren	524
3.4.3	Bearbeitung auf Quer- und Schrägwalzmaschinen	525
3.4.4	Bearbeitung auf Längswalzmaschinen	530
3.4.5	Verfahrensbeschreibung	531
3.4.6	Werkstückqualität	533
	Literatur zu Abschnitt 3.4	534
3.5	Drückwalzen	535
3.5.1	Allgemeines	535
3.5.2	Drückwalzen von zylindrischen Hohlformen	536
3.5.2.1	Gleichlaufdrückwalzen	536
3.5.2.2	Gegenlaufdrückwalzen	538
3.5.2.3	Fertigungsgenauigkeiten	539
3.5.2.4	Drückwalzmaschinen	540
3.5.2.5	Werkzeuge für das Drückwalzen	541
3.5.3	Drückwalzen von kegeligen und anderen Hohlformen	541
3.5.3.1	Projizierdrückwalzen auf eine Matrize	541
3.5.3.2	Projizierdrückwalzen in eine Matrize	544
3.5.3.3	Fertigungsgenauigkeit	545
3.5.3.4	Projizierdrückwalzmaschinen	546
3.5.3.5	Werkzeuge für das Projizierdrückwalzen	547
	Literatur zu Abschnitt 3.5	547
3.6	Ringwalzen	548
3.6.1	Allgemeines	548
3.6.2	Grundlagen des Ringwalzens	548
3.6.2.1	Analyse des Walzablaufs	548
3.6.2.2	Kritische Walzkraft	549
3.6.2.3	Einfluß der Kaliber	549
3.6.2.4	Einfluß der Ringzentrierung	550
3.6.3	Steuerung und Regelung	550
3.6.4	Werkstoffe, Preßling und Fertigring	551
3.6.4.1	Werkstoffe	551
3.6.4.2	Rechteckringe	552
3.6.4.3	Profilringe	552
3.6.5	Wirtschaftlichkeit	553
3.6.6	Bearbeitung auf Ringwalzmaschinen	554
3.6.6.1	Maschinen für große Ringe	554
3.6.6.2	Maschinen für kleine Ringe	555
3.6.6.3	Antriebe	556



3.6.7 Anlagen zur Herstellung von Ringen .....	556
3.6.7.1 Aufbau .....	556
3.6.7.2 Bearbeitungsbeispiele .....	557
3.6.8 Fertigungsgenauigkeit .....	557
3.6.8.1 Bearbeitungszugaben .....	557
3.6.8.2 Maßgenauigkeit .....	558
3.6.9 Anwendungsgrenzen .....	559
Literatur zu Abschnitt 3.6 .....	561
 Bildnachweis .....	 XVII
Sachwortregister .....	XVIII

### Inhaltsübersicht zu Band 2/2

- 3.7 Freiformschmieden
- 3.8 Gesenkschmieden
- 3.9 Eindrücken
- 3.10 Durchdrücken
- 4. Zugdruckurnformen
- 4.1 Gleitziehen
- 4.2 Walzziehen

### Inhaltsübersicht zu Band 2/3

- 4.3 Tiefziehen
- 4.4 Drücken
- 4.5 Kragenziehen
- 4.6 Knickbauchen
- 5. Zugumformen
- 6. Biegeumformen
- 7. Schubumformen
- 8. Sonderverfahren
- 8.1 Magnetumformen
- 8.2 Kugelstrahlen
- 9. Zerteilen
- 9.1 Allgemeines und Verfahrensübersicht
- 9.2 Scherschneiden
- 10. Blechbearbeitungsmaschinen
- 11. Numerische Steuerungen in der Umformtechnik

# **Handbuch der Fertigungstechnik**

Band 2/3

## **Umformen und Zerteilen**

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Spur

unter Mitwirkung

von Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmoeckel

Mit 734 Bildern und 32 Tabellen

**Carl Hanser Verlag München Wien**

# Inhalt

4.3	Tiefziehen	1101
4.3.1	Allgemeines	1101
4.3.2	Verfahrensübersicht	1102
4.3.3	Technologische Grundlagen des Tiefziehens	1103
4.3.3.1	Erstzug zylindrischer Teile mit Niederhalter	1103
4.3.3.1.1	Ziehvorgang	1103
4.3.3.1.2	Grenzziehverhältnis	1104
4.3.3.1.3	Wanddicke und Ziehspalt	1108
4.3.3.1.4	Kraft- und Arbeitsbedarf	1109
4.3.3.2	Erstzug zylindrischer Teile ohne Niederhalter	1110
4.3.3.3	Tiefziehen konischer und halbkugelförmiger Teile	1113
4.3.3.4	Tiefziehen quadratischer, rechteckiger und elliptischer Teile	1114
4.3.3.5	Tiefziehen unregelmäßig geformter Teile	1116
4.3.3.6	Weiterziehen	1118
4.3.3.6.1	Allgemeines	1118
4.3.3.6.2	Gleichlaufweiterzug ohne Niederhalter	1118
4.3.3.6.3	Gleichlaufweiterzug mit Niederhalter	1121
4.3.3.6.4	Stülpziehen	1121
4.3.3.7	Ziehstadien beim Weiterzug	1122
4.3.3.8	Tiefziehen im Streifen	1123
4.3.3.9	Zuschnittermittlung	1124
4.3.3.10	Fehler beim Tiefziehen	1127
4.3.4	Werkstofftechnische Grundlagen des Tiefziehens	1129
4.3.5	Auslegung der Werkzeuge	1138
4.3.5.1	Werkstückzeichnung	1138
4.3.5.2	Stadien- und Methodenplan	1138
4.3.5.3	Werkzeuge	1142
4.3.5.4	Güteklassen	1142
4.3.5.5	Werkzeugwerkstoffe	1144
4.3.5.6	Oberflächenbehandlung	1145
4.3.6	Anwendungsbeispiele	1146
4.3.6.1	Fahrzeugteile	1146
4.3.6.1.1	Mittelgroße Teile aus Stahl-Feinblech	1146
4.3.6.1.2	Türen aus Stahl-Feinblech	1158
4.3.6.1.3	Türinnenform aus Aluminiumblech	1165
4.3.6.1.4	Fertigung eines PKW-Dachs	1170
4.3.6.1.5	Getriebeteile, Achsteil	1174
4.3.6.1.6	Höherfestes und beschichtetes Kaltfeinblech und dessen Einsatz im Automobilbau	1182
4.3.6.2	Geräteteile	1195
4.3.6.2.1	Fertigung von Kochgeschirren	1195
4.3.6.2.2	Fertigung einer Spüle	1200
4.3.6.2.3	Herstellung flacher, großer Ziehteile	1206
4.3.6.2.4	Fertigung von Badewannen	1213
4.3.6.3	Sonstige Teile	1220
4.3.6.3.1	Fertigung von Kapseln für Gasfüllung	1220
4.3.6.3.2	Herstellung von Konserven- und Getränkedosen	1225
4.3.7	Tiefziehen mit Wirkmedien	1235

4.3.7.1	Allgemeines	1235
4.3.7.2	Darstellung der Tiefziehverfahren	1236
4.3.7.2.1	Tiefziehverfahren mit Membranen	1236 k
4.3.7.2.2	Hydromechanisches Tiefziehen	1239 "
4.3.7.3	Verbesserung der Form- und Maßgenauigkeit durch Tiefziehen mit Wirkmedien	1240
4.3.7.4	Werkzeugmaschinen für das Tiefziehen mit Wirkmedien	1242
	Literatur zu Abschnitt 4.3	1244
4.4	Drücken	1250
4.4.1	Allgemeines	1250
4.4.2	Verfahrensbeschreibung	1251
4.4.3	Werkstückformen und Werkstückwerkstoffe	1254
4.4.4	Werkzeuge und Zusatzeinrichtungen	1257
4.4.5	Drückmaschinen	1258
	Literatur zu Abschnitt 4.4	1262
4.5	Kragenziehen	1264
4.5.1	Allgemeines	1264
4.5.2	Übersicht der Verfahren	1264
4.5.2.1	Kragenziehen an ebenen Blechen	1264
4.5.2.2	Kragenziehen an Rohren	1267
	Literatur zu Abschnitt 4.5	1269
4.6	Knickbauchen	1270
	Literatur zu Abschnitt 4.6	1271
	Zugumformen	1272
5.1	Allgemeines	1272
5.2	Längen	1272
5.2.1	Allgemeines	1272
5.2.2	Strecken	1272
5.2.3	Streckrichten	1272
5.3	Weiten	1274
5.3.1	Allgemeines	1274
5.3.2	Weiten mit Werkzeugen	1274
5.3.2.1	Weiten mit Dorn	1274
5.3.2.2	Weiten mit Spreizwerkzeug	1274
5.3.2.3	Weiten mit nachgiebigem Werkzeug	1275
5.3.3	Weiten mit Wirkmedien	1276
5.3.3.1	Weiten mittels fester Stoffe bei kraftgebundener Wirkung	1276
5.3.3.2	Weiten mittels Flüssigkeiten bei kraftgebundener Wirkung	1276
5.3.3.3	Weiten mittels Gasen bei kraftgebundener Wirkung	1277
5.3.3.4	Weiten mittels fester formloser Stoffe bei energiegebundener Wirkung	1277
5.3.3.5	Weiten mittels Flüssigkeiten bei energiegebundener Wirkung	1277
5.3.3.6	Weiten mittels Gasen bei energiegebundener Wirkung	1278
5.3.4	Weiten mit Wirkenergie	1278
5.4	Tiefen	1279
5.4.1	Allgemeines	1279
5.4.2	Streckziehen	1280
5.4.3	Hohlprägen mit starren Werkzeugen	1284
5.4.4	Hohlprägen mit nachgiebigen Werkzeugen	1285
	Literatur zu Kapitel 5	1286

6	Biegeumformen	1287
6.1	Einteilung der Verfahren	1287
6.2	Grundlagen zum freien Biegen	1290
6.2.1	Allgemeines	1290
6.2.2	Elementare Theorien	1292
6.2.2.1	Berechnung der Dehnungen und Stauchungen	1292
6.2.2.2	Berechnung der Biegemomente	1294
6.2.2.3	Berechnung der Biegeformänderungen	1297
6.2.2.4	Rückfederungen und Restspannungen	1299
6.2.2.5	Berechnung der Formänderungsarbeit	1302
6.3	Grundlagen zum Biegen im Gesenk	1303
6.3.1	Biegen im V-Gesenk	1303
6.3.2	Biegen im U-Gesenk	1309
6.4	Biegeverfahren und Biegemaschinen	1312
6.4.1	Biegen mit Walzenrundbiegemaschinen	1312
6.4.1.1	Grundlagen zum Walzrunden	1312
6.4.1.2	Walzenrundbiegemaschinen	1315
6.4.2	Biegen mit Walzprofilbiegemaschinen	1318
6A3L	Biegen mit Abkantpressen	1321
6.4.3.1	Verfahren und Werkzeuge	1321
6.4.3.2	Abkantpressen	1323
6A4	Biegen mit Schwenkbiegemaschinen	1325
6.4.4.1	Verfahren und Werkzeuge	1325
6.4.4.2	Schwenkbiegemaschinen	1326
6.4.5	Biegen mit Kurbelpressen und Sonderwerkzeugen	1328
6.4.6	Biegen mit Sondermaschinen	1332
	Literatur zu Kapitel 6	1337
7	Schubumformen	1338
	Literatur zu Kapitel 7	1341
8	Sonderverfahren	1342
8.1	Magnetumformen	1342
8.1.1	Allgemeines	1342
8.1.2	Grundlagen des Magnetumformens	1342
8.1.3	Aufbau der Maschinen	1346
8.1.4	Funktion der Arbeitsspulen	1347
8.1.5	Werkzeuge	1349
8.1.5.1	Arbeitsspule als Werkzeug	1349
8.1.5.2	Arbeitsspule und auswechselbarer Feldkonzentrator	1349
8.1.5.3	Arbeitsspule, Feldkonzentrator und Vorrichtung	1351
8.1.6	Anwendungsbeispiele	1351
	Literatur zu Abschnitt 8.1	1356
8.2	Kugelstrahlen	1357
8.2.1	Allgemeines	1357
8.2.2	Übersicht der Strahlverfahren	1357
8.2.3	Grundlagen des Kugelstrahlens	1358
8.2.4	Kugelstrahlanlagen	1363
8.2.5	Strahlmittel	1367
8.2.6	Prüfverfahren	1368
8.2.7	Änderungen der Randzone	1369
8.2.8	Anwendungsgebiete	1371
	Literatur zu Abschnitt 8.2	1376

9	Zerteilen	1379
9.1	Allgemeines und Verfahrensübersicht	1379
9.2	Scherschneiden	1384
9.2.1	Einfaches Scherschneiden	1384
9.2.1.1	Allgemeines	1384
9.2.1.2	Arbeitsprinzip und Kräfte	1384
9.2.1.3	Tafelscheren	1397
9.2.2	Feinschneiden	1403
9.2.2.1	Grundlagen	1403
9.2.2.1.1	Allgemeines	1403
9.2.2.1.2	Arbeitsprinzip und Berechnung der Kräfte	1403
9.2.2.1.3	Arbeitsablauf	1409
9.2.2.2	Werkzeuge zum Feinschneiden	1411
9.2.2.2.1	Werkzeugarten und Werkzeugsysteme	1411
9.2.2.2.2	Werkzeugkonstruktion	1413
9.2.2.2.3	Werkzeugwerkstoff	1418
9.2.2.3	Feinschnitteil	1418
9.2.2.3.1	Schnitteilgestaltung	1418
9.2.2.3.2	Werkstückwerkstoff	1423
9.2.2.3.3	Schnittflächenbeschaffenheit und Fertigungs- genauigkeit	1428
9.2.2.4	Maschinen zum Feinschneiden	1430
9.2.2.4.1	Allgemeines	1430
9.2.2.4.2	Bewegungsablauf und Hubzahl	1434
9.2.2.4.3	Maschinenaufbau und Antriebssystem	1434
9.2.2.4.4	Verhalten der Presse bei vertikaler und horizontaler Belastung	1438
9.2.2.4.5	Maschinenintegrierte Werkzeugsicherung	1442
9.2.2.4.6	Zusatzaggregate	1444
9.2.2.5	Anwendungsbeispiele	1446
9.2.3	Nibbeln	1448
9.2.3.1	Allgemeines	1448
9.2.3.2	Übersicht der Nibbelverfahren	1450
9.2.3.3	Übersicht der Nibbelmaschinen	1450
9.2.3.4	Berechnungsverfahren	1454
9.2.3.4.1	Schneidkraft	1454
9.2.3.4.2	Vorschubgeschwindigkeit	1454
9.2.3.5	Werkstückaufnahme	1456
9.2.3.6	Werkzeuge und Werkzeugwechseinrichtungen	1457
9.2.3.7	Bearbeitung mit Nibbelmaschinen	1459
9.2.3.7.1	Bearbeitung mit Handnibbelmaschinen	1459
9.2.3.7.2	Bearbeitung mit Nachformnibbelmaschinen	1461
9.2.3.7.3	Bearbeitung mit numerisch gesteuerten Stanz- und Nibbelmaschinen	1462
	Literatur zu Kapitel 9	1464
10	Blechbearbeitungsmaschinen	1466
10.1	Grundlagen	1466
10.1.1	Allgemeines	1466
10.1.2	Kraftkenngrößen	1466
10.1.3	Energie- und Leistungskenngrößen	1466
10.1.4	Geometrische Abmessungen	1469

10.1.5	Genauigkeitskenngrößen . . . . .	.1480
10.1.6	Pressenaufbau. . . . .	.1484
10.1.6.1	Gestell. . . . .	.1484
10.1.6.2	Hauptantrieb. . . . .	.1486
10.1.6.3	Verstellrichtungen. . . . .	.1495
10.1.6.4	Zuführ- und Transporteinrichtungen. . . . .	.1498
10.1.6.5	Arbeitssicherheit. . . . .	.1502
10.2	Weggebundene Maschinen. . . . .	.1505
10.2.1	Maschinen für die Herstellung von Stanzteilen. . . . .	.1505
10.2.1.1	Allgemeines. . . . .	.1505
10.2.1.2	Einständerpressen. . . . .	.1505
10.2.1.3	Zweiständerpressen. . . . .	.1506
10.2.1.4	Stufenpressen. . . . .	.1509
10.2.2	Maschinen zur Herstellung von Elektrolechen. . . . .	.1515
10.2.2.1	Allgemeines. . . . .	.1515
10.2.2.2	Nuten-Stanzmaschinen. . . . .	.1516
10.2.2.3	Nutautomaten. . . . .	.1518
10.2.2.4	Nutzentrum. . . . .	.1522
10.2.2.5	Segmentnuten-Stanzmaschinen. . . . .	.1525
10.2.2.6	Zweiständer-Schneidpressen. . . . .	.1531
10.2.2.7	Schneiläuferpressen. . . . .	.1535
10.2.3	Maschinen zur Herstellung von Lochblechen. . . . .	.1545
10.2.3.1	Allgemeines. . . . .	.1545
10.2.3.2	Perforier-Breitpressen. . . . .	.1546
10.2.3.3	Perforier-Streifenpressen. . . . .	.1549
10.2.4	Maschinen zur Herstellung großflächiger Blechteile. . . . .	.1550
10.2.4.1	Allgemeines. . . . .	.1550
10.2.4.2	Schneiden von Platinen aus Blechband. . . . .	.1550
10.2.4.3	Umformen der Zuschnitte auf Karosseriepressen. . . . .	.1558
10.2.4.4	Automatisierung von Pressen. . . . .	.1561
10.2.4.5	Automatische Pressenlinie. . . . .	.1572
10.2.4.6	Großteilstufenpressen. . . . .	.1574
10.3	Kraftgebundene Maschinen. . . . .	.1581
10.3.1	Grundlagen. . . . .	.1581
10.3.2	Arbeitsweise des hydraulischen Antriebs. . . . .	.1582
10.3.2.1	Allgemeines. . . . .	.1582
10.3.2.2	Hydraulische Ziehpressen. . . . .	.1587
10.3.2.3	Hydraulische Pressen zum Schneiden. . . . .	.1589
10.3.3	Steuerung von hydraulischen Pressen. . . . .	.1592
10.3.3.1	Allgemeines. . . . .	.1592
10.3.3.2	Konventionelle Steuerungstechnik. . . . .	.1593
10.3.3.3	Neue Steuerungstechnik. . . . .	.1595
10.3.3.4	Numerische Steuerungen. . . . .	.1597
10.3.3.5	Arbeitssicherheit hydraulischer Pressen. . . . .	.1600
10.3.4	Automatisierung und Verkettung hydraulischer Pressen. . . . .	.1601
10.3.5	Vergleich hydraulischer und mechanischer Pressen. . . . .	.1602
10.4	Lärminderung an Blechbearbeitungsmaschinen. . . . .	.1604
10.4.1	Allgemeines. . . . .	.1604
10.4.2	Primärer Schallschutz. . . . .	.1604
10.4.2.1	Maßnahmen an der Presse. . . . .	.1604
10.4.2.2	Maßnahmen am Werkzeug. . . . .	.1608
10.4.2.3	Maßnahmen am Werkstückwerkstoff. . . . .	.1608

10.4.2.4	Maßnahmen an Transporteinrichtungen	1609
10.4.3	Sekundärer Schallschutz	1610
10.4.4	Kosten der Lärminderung und Entwicklungstrend	1611
10.5	Umrüsten von Pressen	1613
10.5.1	Allgemeines	1613
10.5.2	Einrichtungen und Hilfsmittel zum Umrüsten	1615
10.5.3	Werkzeugwechsel	1615
	Literatur zu Kapitel 10	1620
11	Numerische Steuerung beim Umformen und Zerteilen	1624
11.1	Anforderungen an die numerische Steuerung	1624
11.1.1	Allgemeines	1624
11.1.2	Vergleich spanender und umformender Fertigungsverfahren	1625
11.1.3	Vorteile der CNC-Steuerungen für die Umformtechnik	1629
11.1.4	Problemfelder für numerische Steuerungen in der Umformtechnik	1630
11.2	Numerische Steuerungen für das Bearbeiten von Blechen und Profilen	1632
11.2.1	Numerisch gesteuerte Walzenrundbiegemaschinen	1632
11.2.2	Numerisch gesteuerte Gesenkbiegepressen	1636
11.2.3	Numerisch gesteuerte Schwenkbiegemaschinen	1639
11.2.4	Numerisch gesteuerte Rohrbiegemaschinen	1639
11.2.5	Numerisch gesteuerte Richtmaschinen für Rundstäbe und Rohre	1642
11.2.6	Numerisch gesteuerte Stanz- und Nibbelmaschinen	1645
11.2.7	Numerisch gesteuerte Perforierpressen	1649
11.2.8	Numerisch gesteuerte Trennmaschinen	1651
11.2.9	Numerisch gesteuerte Drückmaschinen	1655
11.3	Numerische Steuerungen für das Massivumformen	1659
11.3.1	Numerisch gesteuerte Freiformschmiedeanlagen	1659
11.3.1.1	Numerisch gesteuerte Hubregelung von Freiformschmiedepressen	1659
11.3.1.2	Verknüpfung der Werkstückhandhabung mit dem Pressenhub	1663
11.3.1.3	Prozeßrechnersteuerung von Schmiedeanlagen	1665
11.3.1.4	Sonstige numerisch gesteuerte Schmiedemaschinen	1669
11.3.2	Numerisch gesteuerte Ringwalzmaschinen	1671
	Literatur zu Kapitel 11	1682
	Bildnachweis	1685
	Sachwortregister	1687



# **Handbuch der Fertigungstechnik**

Band 2/2

## **Umformen**

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Günter Spur

unter Mitwirkung

von Prof. Dr.-Ing. Dieter Schmoeckel

Mit 582 Bildern und 58 Tabellen

**Carl Hanser Verlag München Wien**

# Inhalt

3.7	Freiformschmieden	562
3.7.1	Allgemeines	562
3.7.2	Recken	565
3.7.2.1	Verfahrensbeschreibung	565
3.7.2.2	Berechnungsverfahren	567
3.7.2.2.1	Formänderungen	567
3.7.2.2.2	Formänderungsverteilung	570
3.7.2.2.3	Stofffluß	571
3.7.2.2.4	Umformkraft und Umformarbeit	573
3.7.2.2.5	Betrachtung örtlicher Vorgänge im Schmiedestück	576
3.7.3	Stauchen	579
3.7.3.1	Verfahrensbeschreibung	579
3.7.3.2	Berechnungsverfahren	579
3.7.3.2.1	Formänderungen	579
3.7.3.2.2	Umformkraft und Umformarbeit	581
3.7.3.2.3	Betrachtung örtlicher Vorgänge im Schmiedestück	585
3.7.4	Verschieben	586
3.7.4.1	Verfahrensbeschreibung	586
3.7.4.2	Berechnungsverfahren	586
3.7.5	Verdrehen	588
3.7.5.1	Verfahrensbeschreibung	588
3.7.5.2	Berechnungsverfahren	588
3.7.6	Trennen	590
3.7.6.1	Allgemeines	590
3.7.6.2	Verfahrensbeschreibung	591
3.7.6.3	Berechnungsverfahren	595
3.7.7	Verfahrenskombinationen	596
3.7.7.1	Allgemeines	596
3.7.7.2	Fertigung von Hohlzylindern, Ringen und Scheiben	597
3.7.7.3	Fertigung von Kurbelwellen	601
3.7.7.4	Fertigung von abgesetzten Wellen	606
3.7.8	Maschinen und Anlagen	608
3.7.8.1	Allgemeines	608
3.7.8.2	Hämmer	609
3.7.8.2.1	Allgemeines	609
3.7.8.2.2	Einständer-Lufthammer	610
3.7.8.2.3	Einständer-Oberdruckhammer	610
3.7.8.2.4	Zweiständer-Oberdruckhammer	612
3.7.8.2.5	Brückenhammer	613
3.7.8.3	Hydraulische Pressen	614
3.7.8.3.1	Allgemeines	614
3.7.8.3.2	Laufholmpresse	616
3.7.8.3.3	Laufrahmenpresse	617
3.7.8.3.4	Laufzylinderpresse	618
3.7.8.3.5	Hydraulische Langschmiedepresse	619
3.7.8.4	Mechanische Pressen	620
3.7.8.4.1	Allgemeines	620
3.7.8.4.2	Mechanische Langschmiedemaschine	620

## Inhalt

	3.7.8.4.3	Durchlaufschmiedemaschine	621
	3.7.8.5	Manipuliereinrichtungen	622
	3.7.8.6	Schmiedeanlagen	624
	Literatur zu Abschnitt 3.7		628
3.8	Gesensschmieden		631
	3.8.1	Geschichtliche Entwicklung	631
	3.8.2	Bedeutung des Gesensschmiedens	631
	3.8.3	Übersicht der Verfahren	632
	3.8.3.1	Allgemeines	632
	3.8.3.2	Gesenkformen mit teilweise umschlossenem Werkstück	633
	3.8.3.3	Gesenkformen mit ganz umschlossenem Werkstück	633
	3.8.4	Maschinen zum Gesensschmieden	634
	3.8.4.1	Allgemeines	634
	3.8.4.2	Weggebundene Maschinen	634
	3.8.4.2.1	Exzenter- und Kurbelpressen	634
	3.8.4.2.2	Waagrecht-Schmiedemaschinen	637
	3.8.4.2.3	Walzmaschinen	638
	3.8.4.3	Kraftgebundene Maschinen	639
	3.8.4.4	Energiegebundene Maschinen	639
	3.8.4.4.1	Allgemeines	639
	3.8.4.4.2	Hämmer	640
	3.8.4.4.3	Spindelpressen	642
	3.8.4.5	Kenngrößen von Gesensschmiedemaschinen	645
	3.8.5	Berechnungsverfahren	648
	3.8.5.1	Allgemeines	648
	3.8.5.2	Formänderungszustand	649
	3.8.5.3	Spannungszustand	651
	3.8.5.4	Umformkraft	653
	3.8.5.5	Umformarbeit	656
	3.8.5.6	Werkstücktemperatur	657
	3.8.6	Werkzeuge zum Gesenkformen	659
	3.8.6.1	Werkzeugarten	659
	3.8.6.2	Gestaltung der Werkzeuge	660
	3.8.6.3	Werkzeugwerkstoffe	664
	3.8.6.4	Fertigung der Werkzeuge	665
	3.8.6.5	Beanspruchungen der Werkzeuge	667
	3.8.6.6	Werkzeugschäden	668
	3.8.6.7	Maßnahmen zur Verminderung von Werkzeugschäden	670
	3.8.6.7.1	Allgemeines	670
	3.8.6.7.2	Werkzeugtemperaturen	673
	3.8.6.7.3	Kühlung und Schmierung der Werkzeuge	675
	3.8.6.7.4	Umformtemperatur und Zunder	680
	3.8.6.8	Standmengen der Werkzeuge	680
	3.8.7	Werkstoffe für das Gesensschmieden	684
	3.8.7.1	Werkstoffarten	684
	3.8.7.2	Umformverhalten	685
	3.8.8	Gesensschmieden mit Grat	686
	3.8.8.1	Allgemeines	686
	3.8.8.2	Trennen	687
	3.8.8.3	Wärmen	689
	3.8.8.4	Entzundern	696
	3.8.8.5	Umformen	697

3.8.8.6	Abgraten und Lochen	705
3.8.8.7	Nachformen	708
3.8.8.8	Wärmebehandeln	709
3.8.8.9	Oberflächennachbehandeln	712
3.8.9	Sonstige Verfahren	715
3.8.9.1	Gesensschmieden ohne Grat	715
3.8.9.2	Halbwarmschmieden	717
3.8.9.3	Pulverschmieden	718
3.8.9.4	Genauschmieden und Präzisionsschmieden	719
3.8.9.5	Isothermes Schmieden und superplastisches Umformen	721
	Literatur zu Abschnitt 3.8	722
3.9	Eindrücken	728
3.9.1	Übersicht und Begriffe	728
3.9.2	Kalteinsenken	731
3.9.2.1	Allgemeines	731
3.9.2.2	Verfahrensablauf	732
3.9.2.3	Werkstofffluß und Kaltverfestigung	734
3.9.2.4	Eisenwerkstoffe und Schmierung	735
3.9.2.5	Berechnung der Einsenkraft	737
3.9.2.6	Einflüsse auf die Einsenkraft	738
3.9.2.7	Wärmebehandlung nach dem Kalteinsenken	741
3.9.2.8	Belastbarkeit der Einsenkstempel	742
3.9.2.9	Eisenkvorrichtung	745
3.9.2.10	Kalteinsenkpressen	745
3.9.3	Lochen	746
3.9.4	Freies Näpfen	747
	Literatur zu Abschnitt 3.9	749
3.10	Durchdrücken	750
3.10.1	Verjüngen	750
3.10.1.1	Allgemeines	750
3.10.1.2	Übersicht der Verfahren des Verjüngens	750
3.10.1.3	Übersicht der Maschinen zum Verjüngen	752
3.10.1.4	Berechnungsverfahren	753
3.10.1.5	Werkzeuge	759
3.10.2	Strangpressen	762
3.10.2.1	Allgemeines	762
3.10.2.2	Strangpreßverfahren	763
3.10.2.2.1	Allgemeines	763
3.10.2.2.2	Strangpressen mit starren Werkzeugen	764
3.10.2.2.3	Strangpressen mit Wirkmedien	770
3.10.2.2.4	Sonderverfahren	773
3.10.2.3	Preßbedingungen und Werkstofffluß	775
3.10.2.3.1	Allgemeines	775
3.10.2.3.2	Aluminium und Aluminiumlegierungen	780
3.10.2.3.3	Blei- und Zinnlegierungen	787
3.10.2.3.4	Eisenlegierungen	790
3.10.2.3.5	Kupfer und Kupferlegierungen	799
3.10.2.3.6	Nickel und Nickellegierungen	809
3.10.2.3.7	Titan und Titanlegierungen	809
3.10.2.4	Beispiele zum Fertigungsablauf	809
3.10.2.4.1	Allgemeines	809
3.10.2.4.2	Rohre, Stangen und Profile	809

	3.10.2.4.3	Nahtlose Installationsrohre aus Kupfer. . . . .	814
	3.10.2.4.4	Röhrenlot . . . . .	815
3.10.2.5		Plastomechanik des Strangpressens. . . . .	816
	3.10.2.5.1	Kraftverlauf und Arbeitsbedarf. . . . .	816
	3.10.2.5.2	Plastomechanik. . . . .	818
3.10.2.6		Werkzeuge zum Strangpressen. . . . .	837
	3.10.2.6.1	Allgemeines. . . . .	837
	3.10.2.6.2	Aufbau der Preßwerkzeuge. . . . .	839
	3.10.2.6.3	Abmessungen der Preßwerkzeuge. . . . .	841
	3.10.2.6.4	Strangpreßkräfte, Preßblock- und Werkzeugabmessungen. . . . .	842
	3.10.2.6.5	Werkstoffe der Preßwerkzeuge. . . . .	849
	3.10.2.6.6	Preßwerkzeuge zur unmittelbaren äußeren Formgebung und deren HilfsWerkzeuge. . . . .	867
	3.10.2.6.7	Konstruktion von Preßmatrizen und Spezialwerkzeugen. . . . .	872
	3.10.2.6.8	Materialfluß in Preßmatrize und Spezialwerkzeug. . . . .	875
	3.10.2.6.9	Preßmatrizen mit Matrizeneinsätzen. . . . .	878
	3.10.2.6.10	Preßmatrizen und Spezialwerkzeuge für Aluminiumwerkstoffe. . . . .	881
	3.10.2.6.11	Preßmatrizen und Spezialwerkzeuge für Blei- und Zinnwerkstoffe. . . . .	895
	3.10.2.6.12	Preßmatrizen für Eisenwerkstoffe. . . . .	896
	3.10.2.6.13	Preßmatrizen und Spezialwerkzeuge für Kupferwerkstoffe. . . . .	898
	3.10.2.6.14	Hilfswerkzeuge zur Abstützung. . . . .	903
	3.10.2.6.15	Preßwerkzeuge zur unmittelbaren inneren Formgebung. . . . .	905
	3.10.2.6.16	Sonstige Hilfswerkzeuge. . . . .	909
3.10.2.7		Maschinen und Anlagen. . . . .	913
	3.10.2.7.1	Allgemeines. . . . .	913
	3.10.2.7.2	Aufbau der Strangpressen. . . . .	915
	3.10.2.7.3	Strangpressen für Aluminiumwerkstoffe. . . . .	919
	3.10.2.7.4	Strangpressen für Blei- und Zinnwerkstoffe. . . . .	921
	3.10.2.7.5	Strangpressen für Eisenwerkstoffe. . . . .	921
	3.10.2.7.6	Strangpressen für Kupferwerkstoffe. . . . .	922
	3.10.2.7.7	Nebenanlagen und Folgeeinrichtungen. . . . .	926
3.10.3		Fließpressen. . . . .	928
	3.10.3.1	Allgemeines. . . . .	928
	3.10.3.2	Fließpressen mit quasi-stationärem Werkstofffluß. . . . .	933
	3.10.3.2.1	Allgemeines. . . . .	933
	3.10.3.2.2	Werkstofffluß, Formänderungen und Umformgrad. . . . .	934
	3.10.3.2.3	Spannungszustand und Umformvermögen. . . . .	935
	3.10.3.2.4	Umformarbeit und Umformkräfte. . . . .	937
	3.10.3.2.5	Optimaler Matrizenöffnungswinkel. . . . .	946
3.10.3.3		Fließpressen mit instationärem Werkstofffluß. . . . .	947
	3.10.3.3.1	Allgemeines. . . . .	947
	3.10.3.3.2	Werkstofffluß, Formänderungen und Umformgrad. . . . .	947
	3.10.3.3.3	Spannungen. . . . .	950

3.10.3.3.4	Umform- und Ausstoßkräfte	952
3.10.3.4	Sonderverfahren	957
3.10.3.4.1	Allgemeines	957
3.10.3.4.2	Quer-Fließpressen	957
3.10.3.4.3	Kaltgesenkschmieden	958
3.10.3.4.4	Taumelpressen	959
3.10.3.4.5	Halbwarmfließpressen	960
3.10.3.4.6	Fließpressen mit Wirkmedien	963
3.10.3.4.7	Kaltpreßschweißen durch Fließpressen	964
3.10.3.5	Verfahrensfolgen und Verfahrenskombinationen	964
3.10.3.6	Werkstoffe	968
3.10.3.6.1	Allgemeines	968
3.10.3.6.2	Stahlwerkstoffe	968
3.10.3.6.3	NE-Metalle	970
3.10.3.7	Werkstückformen	972
3.10.3.7.1	Allgemeines	972
3.10.3.7.2	Allgemeine Gestaltungsmerkmale	972
3.10.3.7.3	Verfahrensbedingte Gestaltungsmerkmale	974
3.10.3.8	Rohteilfertigung	976
3.10.3.8.1	Allgemeines	976
3.10.3.8.2	Halbzeug	976
3.10.3.8.3	Herstellung von Zuschnitten	976
3.10.3.9	Wärmebehandlung	980
3.10.3.9.1	Allgemeines	980
3.10.3.9.2	Glühen von Stahlwerkstoffen	981
3.10.3.9.3	Glühen von Ne-Metallen	982
3.10.3.10	Oberflächenbehandlung und Schmierung	983
3.10.3.10.1	Allgemeines	983
3.10.3.10.2	Oberflächenbehandlung von Fließpreßrohteilen aus Stahlwerkstoffen	983
3.10.3.10.3	Oberflächenbehandlung von Fließpreßrohteilen aus NE-Metallen	986
3.10.3.10.4	Oberflächenrauheit und Werkzeugverschleiß	986
3.10.3.11	Arbeitsgenauigkeit	987
3.10.3.12	Festlegung des Fertigungsplans	992
3.10.3.13	Werkzeuge	995
3.10.3.13.1	Allgemeines	995
3.10.3.13.2	Werkzeuggestaltung	998
3.10.3.13.3	Auslegung von Fließpreßwerkzeugen	1007
3.10.3.13.4	Werkzeugwerkstoffe	1016
3.10.3.14	Bearbeitung auf Fließpreßmaschinen	1022
3.10.3.14.1	Allgemeines	1022
3.10.3.14.2	Hydraulische Pressen	1024
3.10.3.14.3	Mechanische Pressen	1026
3.10.3.14.4	Ein- und Mehrstufenpressen	1028
3.10.3.14.5	Entwicklungsrichtungen	1031
3.10.3.15	Wirtschaftlichkeit	1033
	Literatur zu Abschnitt 3.10	1037

4	Zugdruckumformen	.1050
4.1	Gleitziehen	.1050
4.1.1	Allgemeines	.1050
4.1.2	Übersicht der Gleitziehverfahren	.1050
4.1.3	Grundlagen des Gleitziehens	.1052
4.1.3.1	Allgemeines	.1052
4.1.3.2	Gleitziehen von Vollkörpern	.1053
4.1.3.3	Gleitziehen von Hohlkörpern	.1055
4.1.3.4	Gleitziehen mit Gegenzug	.1060
4.1.3.5	Abstreck-Gleitziehen	.1061
4.1.4	Anwendungsbeispiele	.1062
4.1.4.1	Allgemeines	.1062
4.1.4.2	Gleitziehen von Draht	.1062
4.1.4.3	Werkzeuge	.1064
4.1.4.4	Drahtziehmaschinen	.1066
4.1.4.5	Gleitziehen von Stäben	.1068
4.1.4.6	Gleitziehen von Rohren	.1069
4.1.5	Verfahrensgrenzen	.1070
	Literatur zu Abschnitt 4.1	.1070
4.2	Walzziehen	.1071
4.2.1	Allgemeines	.1071
4.2.2	Übersicht der Walzziehverfahren	.1071
4.2.3	Grundlagen des Walzziehens	.1072
4.2.4	Anwendungsbeispiele	.1073
	Literatur zu Abschnitt 4.2	.1074
	Bildnachweis	.1075
	Sachwortregister	.1077

## **Inhaltsübersicht zu Band 2/3**

- 4.3 Tiefziehen
- 4.4 Drücken
- 4.5 Kragenziehen
- 4.6 Knickbauchen
- 5. Zugumformen
- 6. Biegeumformen
- 7. Schubumformen
- 8. Sonderverfahren
- 8.1 Magnetumformen
- 8.2 Kugelstrahlen
- 9. Zerteilen
- 9.1 Allgemeines und Verfahrensübersicht
- 9.2 Scherschneiden
- 10. Blechbearbeitungsmaschinen
- 11. Numerische Steuerung beim Umformen und Zerteilen