

# Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einführung (K. LANGE) . . . . .</u>	1
<u>2. Verfahren zum Prüfen der Umformeignung von Blechen (H. SCHELOSKY) . . . . .</u>	5
2.0. Allgemeines . . . . .	5
2.1. Allgemeine Werkstoffkenngrößen zum Beurteilen der Umformeignung von Blechen . . . . .	5
2.1.1. Verfestigungsexponent n . . . . .	6
2.1.2. Anisotropiewert R . . . . .	7
2.1.3. Kennwert X . . . . .	9
2.2. Ermitteln von Kennwerten mit Hilfe einzelner verfahrensbezogener Prüfverfahren . . . . .	10
2.2.1. Streckzieh-Prüfverfahren . . . . .	11
2.2.1.1. Tiefungsversuch nach Erichsen . . . . .	11
2.2.1.2. Hydraulischer Tiefungsversuch . . . . .	12
2.2.1.3. Tiefzieh-Aufweit-Prüfverfahren . . . . .	12
2.2.1.4. Streckzieh-Prüfverfahren nach Güth . . . . .	13
2.2.2. Tiefzieh-Prüfverfahren . . . . .	14
2.2.2.1. Keilzug-Prüfverfahren nach Sachs . . . . .	14
2.2.2.2. Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Swift (IDDRG) . . . . .	15
2.2.2.3. Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Beisswanger . . . . .	16
2.2.2.4. Näpfchen-Tiefziehprüfung nach Fukui . . . . .	17
2.2.2.5. Ermittlung des Grenzziehverhältnisses beim Tiefziehen nach Schmidt-Kapfenberg . . . . .	18
2.2.3. Biege-Prüfverfahren . . . . .	19
2.3. Ermitteln von Kennwerten mit Hilfe kombinierter verfahrensbezogener Prüfverfahren . . . . .	21
2.4. Beurteilung der Umformeignung von Blechen mit Hilfe von Liniennetzen . . . . .	22
Schrifttum zu Kapitel 2 . . . . .	25

<u>3. Schneiden (W. KRÄMER)</u>	28
3.0. Einleitung	28
3.1. Schneidvorgang und Auswirkungen	31
3.1.1. Einleitung der Kräfte	31
3.1.2. Ablauf des Schneidvorgangs	32
3.1.3. Auswirkung der Werkzeuggeometrie auf den Schneidvorgang	35
3.2. Kräfte und Arbeit	39
3.2.1. Schneidkraft	39
3.2.2. Seitenkräfte	49
3.2.3. Schneidarbeit	49
3.3. Auswirkungen des Schneidens auf die Werkstückeigenschaften	53
3.3.1. Genauigkeit geschnittener Teile	53
3.3.2. Härteänderungen in der Nähe der Schnittflächen	59
3.4. Werkzeuge	60
3.4.1. Bauarten von Schneidwerkzeugen	60
3.4.2. Ausführung von Schneid- und Lochwerkzeugen	64
3.4.3. Festlegung der Lage von Werkzeugen	65
3.4.4. Wahl des Schneidspalts	66
3.4.5. Ausführung von schneidendem Werkzeugelementen	67
3.4.6. Auswahl von Werkstoffen für schneidende Werkzeugelemente	69
3.4.7. Vorschubbegrenzung	72
3.5. Schneidverfahren zum Erzielen glatter Schnittflächen	74
3.5.1. Anforderungen an Schnittflächen	74
3.5.2. Nachschneiden	74
3.5.3. Genauschneidverfahren	76
3.5.4. Lochverfahren	82
3.6. Zusammenwirken zwischen Maschine, Werkzeug und Verfahren	82
3.7. Wirtschaftlichkeitsfragen, Werkstoffausnutzung	86
Schrifttum zu Kapitel 3	88
<u>4. Biegen (H. HÖNESS)</u>	92
4.0. Einleitung	93
4.1. Theorie des querkraftfreien Biegens von Blech	94
4.1.1. Elementare Biegetheorie	94

4.1.1.1. Der einfache Biegevorgang . . . . .	96
4.1.1.2. Rückfederung nach einfachem Biegen . . . . .	101
4.1.1.3. Einheitsmomentenkurven . . . . .	104
4.1.1.4. Einfluß ungleicher Spannungs-Dehnungs-Linien für Zug und Druck . . . . .	105
4.1.1.5. Berücksichtigung der Schichtenverschiebung . . . . .	106
4.1.2. Anwendung der Plastizitätstheorie auf das Biegen von Blech . . . . .	111
4.1.3. Vergleich der Theorie mit Versuchen . . . . .	116
4.2. Die wichtigsten Verfahren des Blechbiegens . . . . .	118
4.2.1. Freies Biegen . . . . .	118
4.2.1.1. Biegemoment und Werkstückform beim Freien Biegen . . . . .	119
4.2.1.2. Biegekraft beim Freien Biegen . . . . .	121
4.2.2. Gesenkbiegen . . . . .	123
4.2.2.1. Biegen im V-Gesenk . . . . .	123
4.2.2.2. Biegen im U-Gesenk . . . . .	127
4.2.3. Schwenkbiegen . . . . .	129
4.2.4. Walzrunden . . . . .	131
4.2.5. Walzprofilieren . . . . .	132
4.2.6. Biegen mit elastischen Werkzeugen . . . . .	134
4.2.7. Gestreckte Länge von Biegeteilen (Zuschnittsermittlung) . . . . .	135
4.3. Eigenschaften gebogener Bleche . . . . .	136
4.3.1. Rückfederung, Abbildegrenauigkeit, Randverformungen . . . . .	136
4.3.2. Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	139
4.3.3. Mechanische Eigenschaften . . . . .	140
4.4. Werkzeuge und Maschinen für das Blechbiegen . . . . .	143
4.4.1. Werkzeuge und Maschinen zum Biegen mit geradliniger Werkzeugbewegung . . . . .	143
4.4.1.1. Werkzeuge für C- und O-Gestellpressen . . . . .	143
4.4.1.2. Biegen auf Gesenkbiegepressen . . . . .	145
4.4.2. Biegen auf Maschinen mit drehender Werkzeugbewegung . . . . .	146
4.4.2.1. Schwenkbiegemaschinen . . . . .	146
4.4.2.2. Walzprofiliermaschinen . . . . .	148

4.4.2.3. Walzrundmaschinen . . . . .	149
4.5. Biegen von Rechteck- und Rundstäben . . . . .	150
4.6. Biegen von Rohren und Profilen . . . . .	152
4.7. Richten durch Biegen . . . . .	156
4.7.1. Richten einzelner Werkstücke durch Freies Biegen . . . . .	157
4.7.2. Walzrichten von Blech . . . . .	158
4.7.3. Walzrichten von runden Stäben und Rohren . . .	160
Schrifttum zu Kapitel 4 . . . . .	162
 <u>5. Zugdruckumformen von Blechen (H. WILHELM)</u> . . . . .	166
5.0. Verfahren des Zugdruck-Umformens . . . . .	166
5.1. Tiefziehen . . . . .	167
5.1.0. Begriffe, Allgemeines . . . . .	167
5.1.1. Grundlagen des Tiefziehens im Erstzug . . . . .	169
5.1.1.0. Bezeichnungen, Allgemeines . . . . .	169
5.1.1.1. Spannungen . . . . .	170
5.1.1.2. Umformgrade . . . . .	176
5.1.1.3. Kräfte, Arbeiten, Umformwirkungs- grad . . . . .	178
5.1.1.4. Bodenreißer, Grenzumformgrad, Grenzziehverhältnis . . . . .	186
5.1.1.5. Anisotropie . . . . .	194
5.1.1.6. Faltenbildung beim Tiefziehen . . . . .	199
5.1.2. Grundlagen des Tiefziehens im Weiterzug . . . . .	200
5.1.2.1. Allgemeines, Spannungen . . . . .	200
5.1.2.2. Kräfte beim Weiterzug . . . . .	201
5.1.2.3. Ziehverhältnis, Zugabstufung . . . . .	203
5.1.2.4. Weiterziehen mit Wanddickenvermin- derung . . . . .	206
5.1.3. Ziehen von nicht kreiszylindrischen Teilen, Son- derziehverfahren . . . . .	206
5.1.3.1. Ziehen von konischen, parabolischen und kugeligen Teilen . . . . .	206
5.1.3.2. Stulpziehen . . . . .	211
5.1.3.3. Tiefziehen von quadratischen, recht- eckigen und ovalen Ziehteilen . . . . .	213
5.1.3.4. Karosserieziehen und Ziehen unregel- mäßiger Blechteile . . . . .	214
5.1.3.5. Tiefziehen mit nachgiebigen Werkzeu- gen . . . . .	218

5.1.3.6. Tiefziehen mit Wirkmedien bzw. Wirkenergie . . . . .	220
5.1.3.7. Warmtiefziehen . . . . .	220
5.1.3.8. Verfahren zur Herstellung kleiner Ziehteile . . . . .	221
5.1.4. Werkzeuggestaltung . . . . .	222
5.1.4.1. Ziehpalt . . . . .	222
5.1.4.2. Ziehringrundung und Stempelkanten- rundung . . . . .	223
5.1.4.3. Werkzeuggestaltung beim niederhal- terlosen Erstzug . . . . .	224
5.1.4.4. Niederhalterausbildung . . . . .	226
5.1.4.5. Werkzeugbaustoffe . . . . .	228
5.1.5. Werkstoffe und Schmiermittel zum Tiefziehen	229
5.1.6. Zuschnittsermittlung . . . . .	231
5.1.7. Arbeitsgenauigkeit, Werkstückeigenschaften nach dem Umformen . . . . .	236
5.1.8. Fehler beim Tiefziehen . . . . .	240
5.1.9. Maschinen zum Tiefziehen . . . . .	240
5.1.9.0. Allgemeines . . . . .	240
5.1.9.1. Mechanische weggebundene Pressen zum Tiefziehen und Karosserieziehen	243
5.1.9.2. Hydraulische Pressen zum Tiefziehen und Karosserieziehen . . . . .	256
5.2. Drücken . . . . .	258
5.2.0. Allgemeines . . . . .	258
5.2.1. Umformvorgang . . . . .	258
5.2.2. Herstellbare Formen, Anwendungsbereich des Verfahrens . . . . .	262
5.2.3. Werkstoffe . . . . .	263
5.2.4. Arbeitsgenauigkeit . . . . .	264
5.2.5. Werkzeuge zum Drücken . . . . .	264
5.2.6. Maschinen zum Drücken . . . . .	266
5.3. Kragenziehen . . . . .	267
5.3.1. Verfahrensprinzip, geometrische Beziehungen	267
5.3.2. Erreichbares Aufweitverhältnis . . . . .	269
5.3.3. Stempelkraft . . . . .	270
Schrifttum zu Kapitel 5 . . . . .	272

<u>6. Zugumformen (D. SCHLOSSER) . . . . .</u>	276
6.0. Vorstellung der Verfahren . . . . .	276
6.1. Streckziehen . . . . .	280
6.1.0. Allgemeines . . . . .	280
6.1.1. Einfaches Streckziehen. . . . .	281
6.1.1.1. Vorgang des einfachen Streckziehens	281
6.1.1.2. Formänderungen, Spannungen, Kräfte	282
6.1.2. Tangentialstreckziehen . . . . .	285
6.1.3. Für das Streckziehen geeignete Werkstoffe . .	286
6.1.4. Eigenschaften streckgezogener Werkstücke . .	288
6.1.5. Reib- und Schmierverhältnisse . . . . .	289
6.1.6. Versagensfälle . . . . .	290
6.1.7. Streckziehwerkzeuge . . . . .	292
6.1.8. Einrichtungen zum Streckziehen. . . . .	293
6.1.8.1. Maschinen zum einfachen Streckziehen	293
6.1.8.2. Maschinen zum Tangentialstreckziehen	295
6.1.8.3. Spanneinrichtungen . . . . .	302
6.2. Weitere Verfahren zum Tiefen . . . . .	304
6.2.1. Verfahren . . . . .	304
6.2.1.1. Hohlprägen . . . . .	304
6.2.1.2. Tiefen mit nachgiebigem Werkzeug ..	306
6.2.2. Maschinen . . . . .	306
6.3. Verfahren zum Weiten . . . . .	307
6.3.1. Allgemeines . . . . .	307
6.3.2. Weiten mit starrem Werkzeug . . . . .	307
6.3.2.1. Weiten mit Dorn . . . . .	307
6.3.2.2. Weiten mit Spreizwerkzeug . . . . .	307
6.3.3. Weiten mit nachgiebigem Werkzeug . . . . .	309
6.3.4. Weiten mit Wirkmedien mit kraftgebundener Wirkung . . . . .	310
6.3.4.1. Formlos feste Stoffe als Wirkmedien	310
6.3.4.2. Flüssigkeiten als Wirkmedien. . . . .	311
6.3.5. Maschinen und Einrichtungen . . . . .	313
6.3.6. Vergleich der verschiedenen Verfahren. . . . .	315
6.4. Längen . . . . .	315
6.4.1. Verfahren . . . . .	315
6.4.1.1. Strecken . . . . .	315

6.4.1.2. Streckrichten . . . . .	316
6.4.2. Maschinen . . . . .	317
Schrifttum zu Kapitel 6 . . . . .	319
<u>7. Umformen unter besonderen Bedingungen (R. GEIGER, H. KAISER, K. LANGE, H. MÜLLER, H. SCHELOSKY, R. ZELIER) . . . . .</u>	320
7.0. Einführung, Übersicht . . . . .	321
7.1. Hochleistungs-, Hochenergie-, Hochgeschwindigkeits- umformung, Übersicht, Begriffe, Abgrenzung zu "kon- ventionellen" Verfahren, Geschichtliche Entwicklung . . . . .	322
7.1.1. Verfahren mit auf hohe Geschwindigkeiten be- schleunigten starren Massen . . . . .	325
7.1.1.1. Maschinen (Prinzip), Kenngrößen, Kennwerte . . . . .	325
7.1.1.2. Warmmassivumformung (Schmie- den) . . . . .	330
7.1.1.3. Kaltmassivumformung (Fließ- pressen) . . . . .	335
7.1.1.4. Scheren . . . . .	337
7.1.2. Verfahren mit Wirkmedien mit kraftgebunde- ner Wirkung . . . . .	339
7.1.3. Verfahren mit Wirkmedien mit energiegebun- dener Wirkung . . . . .	340
7.1.3.1. Umformen mit Schockwellen, theore- tische Grundlagen . . . . .	340
7.1.3.2. Explosionsumformung (Einrichtun- gen, Anwendung) . . . . .	347
7.1.3.3. Elektrohydraulische Umformung (Ein- richtungen, Anwendung) . . . . .	350
7.1.4. Verfahren mit Wirkenergie . . . . .	362
7.1.4.1. Elektromagnetisches Umformen (Prinzip, Einrichtungen, Anwendung) . . . . .	362
7.2. Umformen unter Anwendung eines hydrostatischen Druckes . . . . .	370
7.2.0. Vorbemerkungen . . . . .	370
7.2.1. Hydrostatisches Strang- und Fließpressen . . . . .	371
7.2.1.0. Übersicht über die Verfahren des hy- drostatischen Strang- und Fließ- pressens . . . . .	372
7.2.1.1. Beschreibung des hydrostatischen Strangpreßvorgangs . . . . .	374

7.2.1.2. Stofffluß, Strangpreßdruck . . . . .	377
7.2.1.3. Anwendungsmöglichkeiten . . . . .	384
7.2.1.4. Entwicklungen bei Werkzeugen und Maschinen. . . . .	389
7.2.1.5. Verfahrenskombination - kontrollier- tes hydrostatisches Strangpressen. . .	393
7.2.2. Umformen unter bewußt geändertem Spannungs- zustand . . . . .	396
7.2.2.1. Einfluß des Spannungszustandes auf das Formänderungsvermögen . . . . .	397
7.2.2.2. Die Anwendung eines hydrostatischen Druckes beim Umformen . . . . .	402
7.3. Umformen unter Anwendung überlagerter mechanischer Schwingungen . . . . .	416
7.3.1. Allgemeines . . . . .	416
7.3.2. Theoretische Grundlagen. . . . .	417
7.3.3. Anwendungen . . . . .	420
7.3.3.1. Draht- und Rohr-Gleitziehen . . . . .	421
7.3.3.2. Stauchen und Schmieden . . . . .	426
7.3.3.3. Andere Verfahren der Massivum- formung . . . . .	427
7.3.3.4. Blechumformung . . . . .	427
7.3.4. Wirtschaftlicher Ausblick . . . . .	429
7.4. Umformen bei besonderen Werkstoffzuständen . . . . .	430
7.4.1. Superplastisches Umformen . . . . .	430
7.4.1.1. Einführung . . . . .	430
7.4.1.2. Voraussetzungen für das Auftreten von Superplastizität . . . . .	431
7.4.1.3. Beschreibung des superplastischen Werkstoffverhaltens . . . . .	432
7.4.1.4. Einflußgrößen auf das superplastische Werkstoffverhalten . . . . .	436
7.4.1.5. Metallkundliche Vorgänge bei der Superplastizität . . . . .	439
7.4.1.6. Legierungen mit superplastischen Ei- genschaften . . . . .	440
7.4.1.7. Herstellung von Halbzeug mit super- plastischen Eigenschaften . . . . .	442
7.4.1.8. Untersuchungen über technische An- wendungsmöglichkeiten der Super- plastizität . . . . .	442

7.4.2. Austenitformhärten . . . . .	448
Schrifttum zu Kapitel 7 . . . . .	456
<u>8. Hohlformwerkzeuge für Umform-, Trenn- und Fügeverfahren (K. LANGE, H. D. SCHACHER)</u> . . . . .	468
8.0. Einleitung . . . . .	468
8.0.1. Definition von Hohlformwerkzeugen . . . . .	468
8.0.2. Hohlform-Geometrie . . . . .	469
8.1. Verfahrensmerkmale im Hinblick auf die benötigten Hohlformwerkzeuge . . . . .	473
8.1.1. Warmmassivumformung (Gesenkschmieden) . . . . .	473
8.1.2. Kaltmassivumformung (Fließpressen) . . . . .	476
8.1.3. Blechumformung (Tiefziehen, Karosserieziehen) . . . . .	477
8.1.4. Trennen (Schneiden) . . . . .	479
8.2. Herstellung der Hohlformwerkzeuge . . . . .	479
8.2.1. Abzuarbeitende Volumina bei Innen- und Außenformen . . . . .	480
8.2.2. Bearbeitungsverfahren zum Erzeugen der Grund- und Nebenformen der Arbeitsflächen . . . . .	481
8.2.2.1. Gießen . . . . .	481
8.2.2.2. Umformverfahren (Kalt- und Warmeinsenken) . . . . .	486
8.2.2.3. Spanende Verfahren . . . . .	486
8.2.2.4. Abtragende Verfahren . . . . .	495
8.2.3. Verfahrenskombination und Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Hohlformwerkzeugen . . . . .	512
8.2.3.1. Herstellung von Werkzeugen für die Warmmassivumformung . . . . .	514
8.2.3.2. Herstellung von Werkzeugen für die Kaltmassivumformung . . . . .	517
8.2.3.3. Herstellung von Werkzeugen für die Blechumformung . . . . .	518
8.2.3.4. Herstellung von Werkzeugen zum Trennen . . . . .	521
8.2.4. Entwicklungstendenzen . . . . .	524
Schrifttum zu Kapitel 8 . . . . .	525
<u>Sachverzeichnis</u> . . . . .	530