
Inhalt

Formelzeichen und Abkürzungen	XIV
1 Einleitung	1
2 Grundlagen der Blechumformung	3
2.1 Kenngrößen zur Beschreibung der Blecheigenschaften	4
2.1.1 Fließkurve	4
2.1.1.1 Aufnahme von Fließkurven	5
2.1.1.1.1 Zugversuch	5
2.1.1.1.2 Flachstauchversuch	7
2.1.1.1.3 Hydraulischer Tiefungsversuch	8
2.1.2 Verfestigungsexponent n	9
2.1.3 Anisotropiewert r	11
2.1.3.1 Auswirkung der Anisotropie beim Tiefziehen	12
2.2 Verfahren zur Blechprüfung	15
2.2.1 Tiefziehprüfung	15
2.2.2 Streckziehprüfung	16
2.2.3 Biegeprüfung	17
2.3 Formänderungsanalyse an Ziehtteilen	18
2.3.1 Meßrasterverfahren	19
2.3.2 Grenzformänderungsschaubild	21
2.4 Modellversuche zur Ermittlung des Reibwertes	23
2.4.1 Streifenziehen	23
2.4.2 Abstreckziehen	24
2.4.3 Keilzugversuch	25
2.4.4 Streifenziehversuch mit Umlenkung	26
3 Verfahren der Blechumformung	28
3.1 Tiefziehen	28
3.1.1 Grundlagen des Tiefziehens	28
3.1.1.1 Verfahrensprinzip	28
3.1.1.2 Zulässige Formänderungen	30

3.1.1.3 Kräfte	36
3.1.1.3.1 Ziehkraft	36
3.1.1.3.2 Niederhalterkraft	38
3.1.1.4 Reibung, Schmierung	38
3.1.2 Verfahrensvarianten und Fertigungsbeispiele	41
3.1.2.1 Tiefziehen mit starren Werkzeugen	41
3.1.2.1.1 Niederhalterloses Tiefziehen	41
3.1.2.1.2 Tiefziehen in Stufen	42
3.1.2.1.3 Tiefziehen über Wulste	43
3.1.2.1.4 Stülptziehen	46
3.1.2.1.5 Abstreckziehen	47
3.1.2.2 Tiefziehen mit elastischen Werkzeugen und mit Wirkmedien	49
3.1.2.3 Tiefziehen mit Wirkenergie	54
3.1.3 Werkzeuge	55
3.1.3.1 Werkzeuggestaltung	55
3.1.3.2 Werkzeugbaustoffe	58
3.1.3.3 Oberflächenbehandlung	58
3.1.4 Werkstückstoffe	59
3.1.4.1 Blechqualitäten	59
3.1.4.2 Wärmebehandlung	61
3.1.5 Fertigungsgenauigkeiten	63
3.1.5.1 Tiefziehfehler	63
3.1.5.2 Maß- und Formabweichung, Oberflächenausbildung	65
3.2 Kragenziehen	67
3.2.1 Grundlagen des Kragenziehens	67
3.2.1.1 Verfahrensprinzip	67
3.2.1.2 Zulässige Formänderungen	69
3.2.1.3 Kräfte	71
3.2.1.4 Reibung, Schmierung	72
3.2.2 Verfahrensvarianten und Fertigungsbeispiele	73
3.2.3 Werkzeuge	76
3.2.4 Werkstoffe	77
3.2.5 Fertigungsgenauigkeiten	77
3.3 Streckziehen	78
3.3.1 Verfahrensprinzip	79
3.3.2. Verfahrensvarianten	79
3.3.2.1 Einfaches Streckziehen	79
3.3.2.2 Tangentialstreckziehen	81
3.3.2.3 Streckziehen mit Gegenwerkzeug	84
3.3.2.4 Streckziehen von Profilen	89

3.3.2.5	Warmstreckziehen	90
3.3.3	Formänderungen, Werkstückstoffe und Kräfte	90
3.3.4	Werkzeuge	92
3.4	Drücken	94
3.4.1	Verfahrensprinzip	94
3.4.1.1	Konventionelles Drücken	94
3.4.1.2	Projizierstreckdrücken	95
3.4.1.3	Abstreckdrücken (Streckdrücken)	97
3.4.2	Zulässige Formänderungen	98
3.4.3	Kräfte	101
3.4.4	Fertigungsbeispiele	103
3.4.5	Werkzeuge	105
3.4.6	Werkstoffe	109
3.4.7	Fertigungsqualitäten	110
3.4.8	Vor- und Nachteile des Drückens, Einsatzkriterien	111
3.5	Biegen	112
3.5.1	Grundlagen des Biegens	113
3.5.1.1	Verfahrensprinzip	113
3.5.1.2	Rückfederung	114
3.5.1.3	Kleinstmögliche Biegeradien	115
3.5.1.4	Randverformung	117
3.5.2	Verfahrensvarianten	120
3.5.2.1	Freies Biegen	120
3.5.2.2	Biegen im Gesenk	122
3.5.2.3	Schwenkbiegen	125
3.5.2.4	Walzbiegen	126
3.5.2.4.1	Walzprofilieren	128
3.5.2.4.2	Walzrunden	129
3.5.3	Werkzeuge und Fertigungsbeispiele	131
3.5.3.1	Biegen mit geradliniger Werkzeugbewegung	133
3.5.3.2	Biegen mit drehender Werkzeugbewegung	137
3.5.3.2.1	Schwenkbiegen	138
3.5.3.2.2	Walzprofilieren	142
3.6	Sonderverfahren der Blechumformung	145
3.6.1	Innenhochdruckumformung	145
3.6.1.1	Verfahrensprinzip	145
3.6.1.2	Herstellbare Formen und Verfahrensgrenzen	147
3.6.1.3	Genauigkeit und Werkstückeigenschaften	150
3.6.1.4	Werkzeuge	152
3.6.1.5	Sonderanwendungen	153
3.6.2	Superplastisches Umformen	153

3.6.2.1	Verfahrensprinzip und Voraussetzungen für die Superplastizität	154
3.6.2.2	Anwendung der Superplastizität	156
3.6.3	Formgebung mit Laserstrahlung	159
3.6.3.1	Verfahrensprinzip	160
3.6.3.2	Technologische Grundlagen	161
3.6.3.3	Anwendungsfelder	163
3.6.4	Schnelle magnetische Umformung	165
3.6.4.1	Verfahrensprinzip und Voraussetzungen für das magnetische Umformen	165
3.6.4.2	Anwendung der magnetischen Umformung	166
4	Verfahren der Blechtrennung	169
4.1	Schneiden	169
4.1.1	Grundlagen des Schneidens	170
4.1.1.1	Verfahrensprinzip	170
4.1.1.2	Schneidspalt	172
4.1.1.3	Schneidkraft und Schneidarbeit	173
4.1.1.4	Zulässige Schnittteilgeometrie	177
4.1.1.5	Werkzeugverschleiß	178
4.1.1.6	Werkzeugbaustoffe	179
4.1.2	Verfahrensmerkmale und -varianten	181
4.1.2.1	Schnittliniengeometrie	181
4.1.2.2	Werkzeugführung	183
4.1.2.3	Verfahrensablauf	187
4.1.3	Fertigungsgenauigkeiten	193
4.2	Feinschneiden	196
4.2.1	Grundlagen des Feinschneidens	196
4.2.1.1	Verfahrensprinzip	196
4.2.1.2	Verfahrenskenngrößen und -parameter	201
4.2.1.3	Zulässige Schnittteilgestaltung	202
4.2.1.4	Schneidspalt	204
4.2.1.5	Schneidkantengeometrie	205
4.2.1.6	Ringzacken	206
4.2.1.7	Ringzackenkraft	207
4.2.1.8	Gegenkraft	208
4.2.1.9	Schneidkraftbedarf	208
4.2.1.10	Reibung und Schmierung	210
4.2.2	Werkzeuge	211
4.2.2.1	Werkzeugarten	211

4.2.2.2	Werkzeugsysteme	213
4.2.2.3	Werkzeugbaustoffe	215
4.2.3	Werkstoffe	217
4.2.3.1	Stähle	217
4.2.3.2	NE-Metalle	221
4.2.4	Verfahrensvarianten und Fertigungsbeispiele	222
4.2.5	Fertigungsgenauigkeiten	224
4.3	Verfahren mit energiereichen Strahlen	227
4.3.1	Laserstrahlschneiden	227
4.3.1.1	Verfahrensprinzip	229
4.3.1.2	Schneidverfahren und Anwendungsfelder	230
4.3.1.3	Vergleich mit konkurrierenden Trennverfahren	234
4.3.2	Wasser-Abrasivstrahlschneiden	237
4.3.2.1	Eigenschaften des Prozesses und des Schnittergebnisses	237
4.3.2.2	Qualitätsbestimmende Merkmale	239
4.3.2.3	Leistungsmerkmale und Anwendungsgrenzen	243
Schrifttum	246
Sachwörterverzeichnis	267