

Studium und Praxis

Fertigungsverfahren

Band 5

Blechbearbeitung

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Wilfried König VDI

Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke VDI

Dritte, überarbeitete und erweiterte Auflage

VERLAG

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	Stülpziehen	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**