

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Isotrope Plastifizierung</b>	<b>21</b>
1.1	Umformtechnologie	22
1.1.1	Geometrieorientiertes Umformen	22
1.1.2	Spannungsorientiertes Umformen	22
1.2	Spannungen und Spannungszustand	23
1.2.1	Spannungsvektor	23
1.2.2	Spannungstensor	25
1.2.3	Fundamentalbeziehung und Hauptspannungen	26
1.2.4	Gleichgewichtsbedingung	28
1.3	Mises'sche Fließbedingung	31
1.3.1	Werkstoffmechanischer Ansatz	31
1.3.2	Geometrische Darstellung im Hauptspannungsraum	33
1.4	Formänderungen und Fließregel	35
1.4.1	Verzerrungen – Formänderungen – Verformung	35
1.4.2	Fließregel	36
1.5	Verfahrensorientierte Anwendung	38
1.5.1	Flachwalzen	38
1.5.2	Kaliberwalzen	41
1.5.3	Strangpressen	41
1.5.4	Freiformschmieden	41
1.5.5	Ziehen	41
1.5.6	Gesenkschmieden	43
1.5.7	Tiefziehen	43
1.5.8	Fließpressen	43
1.6	Wissensanwendung	43
1.6.1	Hauptspannungen und maximale Schubspannung	44
1.6.2	Elastische oder plastische Spannungszustände	44
1.6.3	Formänderungstensor und Hauptformänderungen	44
1.6.4	Vergleichsformänderung	45
1.6.5	Vergleichsspannung	45
1.6.6	Vergleichsspannung und Vergleichsformänderung	46
1.6.7	Vergleichsspannung und Fließregel	47
1.6.8	Vergleichsformänderung und Fließregel	47
1.6.9	Normalenregel und Umformverfahren	48

<b>2</b>	<b>Anisotrope Plastifizierung</b> . . . . .	<b>51</b>
2.1	Umformtechnische Berechnungen . . . . .	52
2.2	Anisotrope Werkstoffbeispiele . . . . .	53
2.3	Elastische Anisotropie . . . . .	54
2.3.1	Elastisches Potenzial . . . . .	54
2.3.2	Elastizitätstensor . . . . .	54
2.4	Plastische Anisotropie . . . . .	59
2.5	Gefüge- und Kristallanisotropie . . . . .	63
2.6	Ermittlung der Anisotropie-Koeffizienten . . . . .	69
2.6.1	Definierte ebene Spannungszustände . . . . .	69
2.6.2	Ebene Formänderungsversuche . . . . .	69
2.7	Verfahrensorientierte Anwendung . . . . .	72
2.7.1	Flachwalzen . . . . .	72
2.7.2	Kaliberwalzen . . . . .	73
2.7.3	Strangpressen . . . . .	74
2.7.4	Freiformschmieden . . . . .	74
2.7.5	Ziehen . . . . .	74
2.7.6	Gesenkschmieden . . . . .	75
2.7.7	Tiefziehen . . . . .	75
2.7.8	Fließpressen . . . . .	78
2.8	Wissensanwendung . . . . .	78
2.8.1	Hill'sche Fließbedingung . . . . .	78
2.8.2	Hill'sche Fließbedingung mit R-Wert . . . . .	78
2.8.3	Schmid'sches Schubspannungsgesetz . . . . .	79
2.8.4	Fließortkurve und Umformverfahren . . . . .	80
2.8.5	R-Wert und Walzrichtung . . . . .	81
2.8.6	R-Wert und Fließortkurve . . . . .	82
2.8.7	R-Wert und Formänderungen im Zugversuch . . . . .	83
2.8.8	R-Wert und Textur . . . . .	83
<b>3</b>	<b>Verfestigung und Entfestigung</b> . . . . .	<b>85</b>
3.1	Fließkurven . . . . .	86
3.1.1	Massives Probenmaterial . . . . .	87
3.1.2	Blechwerkstoffe . . . . .	90
3.2	Umform-Werkstoffstrukturen . . . . .	90
3.2.1	Kaltumformgefüge . . . . .	90
3.2.2	Bergström-Modell . . . . .	93

3.2.3	Warmumformgefüge .....	93
3.3	Mathematisierung der Fließkurven .....	95
3.4	Bauschinger-Effekt und Eigenspannungen .....	97
3.4.1	Bauschinger-Effekt .....	97
3.4.2	Umformeigenspannungen .....	99
3.5	Verfahrensorientierte Anwendung .....	102
3.5.1	Flachwalzen .....	102
3.5.2	Kaliberwalzen .....	104
3.5.3	Strangpressen .....	104
3.5.4	Freiformschmieden .....	105
3.5.5	Ziehen .....	105
3.5.6	Gesenkschmieden .....	108
3.5.7	Tiefziehen .....	109
3.5.8	Fließpressen .....	111
3.6	Wissensanwendung .....	111
3.6.1	Fließkurve .....	111
3.6.2	Fließkurve für einen Ludwik-Werkstoff .....	112
3.6.3	Anfangsfließspannungen .....	112
3.6.4	Bauschinger-Effekt-Ermittlung .....	112
3.6.5	Bauschinger-Effekt und Fließbortkurve .....	113
3.6.6	Bauschinger-Effekt und Fließbeginn .....	113
3.6.7	Warmfließkurve .....	114
3.6.8	Eigenspannungen und Recken .....	115
3.6.9	Eigenspannungsfreies Richten .....	116
3.6.10	Bergström-Modell – hochfeste Stäbe und Drähte .....	117
3.6.11	Verformungsinduzierter Martensit – rostfreie Cr-Ni-Stähle .....	118
<b>4</b>	<b>Umformtribologie</b> .....	<b>119</b>
4.1	Umformtechnisches Tribosystem .....	120
4.2	Reibgesetze .....	123
4.3	Reibzustände .....	126
4.4	Bestimmung der Reibungszahlen .....	128
4.4.1	Ringstauchversuch .....	129
4.4.2	Streifenziehversuch .....	129
4.5	Schmierstoffe .....	130
4.5.1	Flüssige Schmierstoffe .....	130
4.5.2	Festschmierstoffe .....	134

4.6	<b>Verfahrensorientierte Anwendung</b> .....	137
4.6.1	Flachwalzen – Folienwalzen .....	137
4.6.2	Kaliberwalzen .....	137
4.6.3	Strangpressen .....	138
4.6.4	Freiformschmieden .....	139
4.6.5	Ziehen .....	139
4.6.6	Gesenkschmieden .....	140
4.6.7	Tiefziehen .....	140
4.6.8	Fließpressen .....	141
4.7	<b>Wissensanwendung</b> .....	142
4.7.1	Kontaktnormalkraft und Reibkraft .....	142
4.7.2	Reibzustände und Stribeck-Kurve .....	143
4.7.3	Umformverfahren und Schmierstoffe .....	144
4.7.4	Viskosität – Druck- und Temperaturabhängigkeit .....	145
4.7.5	Reibzustände und Rauigkeit .....	146
4.7.6	Ringstauchversuch zur Ermittlung der Reibungszahlen .....	147
4.7.7	Stick-Slip-Verhalten und Rattern .....	147
<b>5</b>	<b>Werkstückversagen durch Reißen und Risse</b> .....	149
5.1	<b>Blech- und Massivversagen</b> .....	150
5.2	<b>Blechumformbarkeit und Rissversagen</b> .....	150
5.2.1	Grenzformänderungskurve .....	153
5.2.2	Konsistente Stoffdaten .....	155
5.2.3	Spannungsinduziertes Rissversagen .....	158
5.3	<b>Reißen in der Massivumformung</b> .....	162
5.4	<b>Bruchkriterien in der Umformtechnik</b> .....	163
5.4.1	Dehnungsunabhängige makromechanische Bruchkriterien .....	164
5.4.2	Dehnungsabhängige makromechanische Bruchkriterien .....	164
5.4.3	Mikromechanische Bruchkriterien .....	164
5.4.4	Konzept der effektiven Spannungen .....	165
5.5	<b>Verfahrensorientierte Anwendung</b> .....	168
5.5.1	Flachwalzen .....	168
5.5.2	Schrägwalzen – Kaliberwalzen .....	168
5.5.3	Strangpressen .....	168
5.5.4	Freiformschneiden .....	169
5.5.5	Ziehen .....	169
5.5.6	Gesenkschmieden .....	170
5.5.7	Tiefziehen .....	170
5.5.8	Fließpressen .....	170

5.6	<b>Wissensanwendung</b> . . . . .	171
5.6.1	Grenzformänderungsdiagramm und Verzerrungstensor . . . . .	171
5.6.2	Grenzformänderungsdiagramm und logarithmische Formänderungen . . . . .	173
5.6.3	Grenzformänderungsdiagramm und Plane Strain . . . . .	174
5.6.4	Grenzformänderungskurve und Formänderungsweg . . . . .	175
5.6.5	Grenzspannungsdiagramm . . . . .	175
5.6.6	Blechumformbarkeit und R-Wert . . . . .	176
5.6.7	Massivumformen und Grenzzugdiagramm . . . . .	176
5.6.8	Kragendruckprobe . . . . .	177
5.6.9	Grenzzugdiagramm und Verlauf der maximalen Zugspannungen . . . . .	177
<b>6</b>	<b>Werkstückversagen durch Falten und umformbare Werkstoffe</b> . . . . .	179
6.1	Falten in der Blechumformung . . . . .	180
6.2	Knickung beim Massivumformen . . . . .	183
6.2.1	Mathematische Beschreibung der Falten- und Knickbildung . . . . .	184
6.2.2	Knickkraft . . . . .	186
6.3	Umformbare Blechwerkstoffe . . . . .	189
6.4	Multifrequenz-Wirbelstrom-Messung . . . . .	191
6.5	Verfahrensorientierte Anwendung . . . . .	195
6.5.1	Flachwalzen, Warm- und Kaltband . . . . .	195
6.5.2	Kaliberwalzen – Draht . . . . .	196
6.5.3	Strangpressen . . . . .	197
6.5.4	Freiformschmieden . . . . .	197
6.5.5	Ziehen – Draht und Stäbe . . . . .	198
6.5.6	Gesenkschmieden . . . . .	199
6.5.7	Tiefziehen . . . . .	200
6.5.8	Fließpressen . . . . .	200
6.6	<b>Wissensanwendung</b> . . . . .	201
6.6.1	Faltenbildung und R-Wert . . . . .	201
6.6.2	Einfluss auf die Faltenbildung . . . . .	201
6.6.3	Stauchen, Verjüngen, elastisches und plastisches Knicken . . . . .	202
6.6.4	Schneidstempelbeanspruchung, Stauch- und Knickversagen . . . . .	202
6.6.5	Umformbare Werkstoffe – Zwei- und Mehrphasenstähle . . . . .	203
6.6.6	Drahtstraße mit Kühleinrichtung – Gefüge . . . . .	204
6.6.7	Dieless Drawing – Spannungszustand . . . . .	204

6.6.8	Wirbelstromdaten – Fehlervermeidung .....	204
6.6.9	Wirbelstromdaten – Online-Korrektur .....	205
6.6.10	Wirbelstromdaten – virtuelle Fertigung .....	205
<b>7</b>	<b>Werkzeugversagen .....</b>	<b>207</b>
7.1	Werkzeugbruch und Werkzeugverschleiß .....	208
7.2	Gewaltbruch – bruchmechanische Konzepte .....	209
7.2.1	G-Konzept .....	209
7.2.2	K-Konzept .....	210
7.2.3	J-Integral .....	210
7.3	Lebensdauer – Ermüdungsbruch .....	217
7.4	Werkzeugversagen durch Hertz'sche Pressung .....	218
7.5	Verschleiß .....	219
7.5.1	Adhäsionsverschleiß .....	219
7.5.2	Der Abrasionsverschleiß .....	220
7.5.3	Der Ermüdungsverschleiß (Oberflächenzerrüttung) .....	221
7.5.4	Die Reiboxidation .....	222
7.6	Werkzeugwerkstoffe .....	222
7.6.1	Werkzeugstähle .....	222
7.6.2	Hartmetalle .....	225
7.7	Beschichtungsverfahren .....	225
7.8	Verfahrensorientierte Anwendung .....	229
7.8.1	Flachwalzen .....	229
7.8.2	Kaliberwalzen .....	230
7.8.3	Strangpressen .....	230
7.8.4	Freiformschmieden .....	231
7.8.5	Ziehen .....	231
7.8.6	Gesenkschmieden .....	232
7.8.7	Tiefziehen .....	233
7.8.8	Fließpressen .....	233
7.9	Wissensanwendung .....	234
7.9.1	Bruchmechanik und Gewaltbruch .....	234
7.9.2	Bruchmechanik und Ermüdungsbruch .....	234
7.9.3	Plastoermüdung und Strangpressen .....	234
7.9.4	Weibull-Statistik und Weibull-Modul .....	236
7.9.5	m- und n-Parameter .....	236
7.9.6	Abrasionsverschleiß und 3-Rollen-Walzwerk .....	237
7.9.7	Coating Guide .....	237

<b>8</b>	<b>Werkzeugsysteme</b>	<b>239</b>
8.1	Wirkprinzip der Werkzeuge	240
8.2	Folgeschneidwerkzeug mit Plattenführung	241
8.2.1	Werkzeugkomponenten – Werkzeugaktivteile	241
8.2.2	Werkstoffbeispiele für die Bauteile eines Schneidwerkzeuges	248
8.2.3	Einflüsse auf die Gestaltung von Schneidwerkzeugen	249
8.2.4	Lage des Einspannzapfens	250
8.2.5	Werkstoffausnutzung	250
8.3	Transferwerkzeuge	251
8.3.1	Werkzeugkomponenten und Werkzeugaktivteile	255
8.3.2	Variantenkonstruktion	256
8.3.3	Komplettbearbeitungsgerechte Variantenfertigung	258
8.4	Verfahrensorientierte Anwendung	259
8.4.1	Flachwalzen	259
8.4.2	Kaliberwalzen	260
8.4.3	Strangpressen	262
8.4.4	Freiformschneiden	263
8.4.5	Ziehen	263
8.4.6	Gesenkschmieden	264
8.4.7	Tiefziehen	265
8.4.8	Fließpressen	266
8.5	Wissensanwendung	267
8.5.1	Walzkraft und Breitung	267
8.5.2	Walzgeschwindigkeit und Banddicke	268
8.5.3	Drahtwalzen und Kaliberwalzen	269
8.5.4	Strangpressen und Einlaufgeometrie	270
8.5.5	Strangpressen und Reiblänge	271
8.5.6	Freiformschmieden und Kernverdichtung	273
8.5.7	Drahtziehen und optimaler Ziehwinkel	274
8.5.8	Gesenkschmieden und Gratbahn	275
8.5.9	Gesenkschmieden und Gesenkteilung	276
8.5.10	Folgeschneidwerkzeug und Schnittbild	277
8.5.11	Tiefziehwerkzeug mit und ohne Niederhalter	277
8.5.12	Tiefziehen und Bremswulste	279
8.5.13	Tiefziehen eines rechteckigen Ziehteils	280
8.5.14	Fließpressen und Pressbüchsenausführungen	281
8.5.15	Fließpressen und vorgespannte Werkzeuge	282

<b>9</b>	<b>Handlingsysteme</b> .....	283
9.1	Handhaben .....	284
9.2	Maschinen mit integrierter Handlingtechnologie .....	285
9.3	Werkzeugwechselsysteme .....	292
9.4	Verfahrensorientierte Anwendung .....	294
9.4.1	Flachwalzen .....	294
9.4.2	Kaliberwalzen .....	295
9.4.3	Strangpressen .....	295
9.4.4	Freiformschmieden .....	296
9.4.5	Ziehen .....	297
9.4.6	Gesenkschmieden .....	297
9.4.7	Tiefziehen .....	297
9.4.8	Fließpressen .....	299
9.5	Wissensanwendung .....	301
9.5.1	Exzenterpresse und s-t-Diagramm .....	301
9.5.2	Werkstücktransport in Mehrstufenpressen-Ereignisketten .....	302
9.5.3	Werkstücktransport in Mehrstufenpressen-Führungs- und Kollisionsbedingungen .....	304
9.5.4	Werkstücktransport in Mehrstufenpressen-Netzplan .....	304
<b>10</b>	<b>Umformmaschinen (Anlagen)</b> .....	305
10.1	Hydraulische und mechanische Pressen .....	306
10.1.1	Wirkprinzip .....	307
10.1.2	Antriebschema .....	307
10.1.3	Weg-Zeit-Gesetz .....	308
10.1.4	Erzeugung der Presskraft .....	310
10.1.5	Kraft-Weg-Diagramm .....	312
10.1.6	Hub- und Stößelverstellung .....	313
10.1.7	Stößelgeschwindigkeit .....	315
10.1.8	Ziehkissenkraft .....	317
10.2	Verfahrensorientierte Anwendung .....	317
10.2.1	Flachwalzen .....	317
10.2.2	Kaliberwalzen .....	318
10.2.3	Strangpressen .....	319
10.2.4	Freiformschmieden .....	320
10.2.5	Ziehen .....	321
10.2.6	Gesenkschmieden .....	322
10.2.7	Tiefziehen .....	323



10.2.8	Fließpressen . . . . .	326
10.3	<b>Wissensanwendung</b> . . . . .	328
10.3.1	Umformverfahren – Kraft-Wegverlauf . . . . .	328
10.3.2	Einfachwirkende Presse – Werkzeug . . . . .	328
10.3.3	Doppeltwirkende Presse – Werkzeug . . . . .	329
10.3.4	Einsatz der Kurbel- und Exzenterpressen . . . . .	330
10.3.5	Einsatz Exzenterpresse zum Tiefziehen – einfache Abschätzung . . .	331
10.3.6	Einsatz der hydraulischen Presse – Presskraft . . . . .	332
	<b>Literaturangaben</b> . . . . .	333
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	337