

# Inhaltsverzeichnis

1.	<b>Einführung zur Darstellung</b>	13
2.	<b>Umformtechnische Grundlagen</b>	16
2.1.	Vorstellungen, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten	16
2.1.1.	Werkstoffmodell	16
2.1.2.	Umformgrad und Abnahme	17
2.1.3.	Umformgeschwindigkeit, Umformarbeit und Fließwiderstand	19
2.1.4.	Volumenkonstanz	21
2.1.5.	Spannungszustände	22
2.1.6.	Fließbedingung	26
2.1.7.	Fließgesetz und Umformzustände	28
2.1.8.	Vergleichsumformgrad und –geschwindigkeit	30
2.2.	Fließspannung	34
2.2.1.	Allgemeine Betrachtungen und Formänderungsvermögen	34
2.2.2.	Kaltfließkurven	37
2.2.3.	Warmfließkurven	38
2.2.4.	Experimentelle Ermittlung der Fließkurven (kalt und warm)	39
2.2.5.	Mathematische Interpretation der Fließkurven	49
2.2.5.1.	Darstellung	49
2.2.5.2.	Grundsätze zur Mathematisierung	49
2.2.5.3.	Kaltumformung	52
2.2.5.4.	Warmumformung	73
2.3.	Reibung beim Massivumformen	89
2.3.1.	Grundsätze	89
2.3.2.	Reibungszahlen für die Warmformgebung	91
2.3.3.	Reibungszahlen für die Kaltformgebung	92
2.4.	Elementare Plastizitätstheorie	95
2.4.1.	Modellvorstellungen	95
2.4.2.	Einfache Grundgleichungen	99
2.4.3.	Erweiterte Grundgleichungen bei Streckung	106
	Ansatz – Tangential- und Scherspannung - Fließbedingung - Druckverlauf	
2.4.4.	Ergänzungen zur elementaren Theorie	112
2.4.4.1.	Grenze Gleiten-Haften	112
2.4.4.2.	Beschleunigungs- bzw. Trägheitskräfte	112
	Entwicklung – Erfassung - Einbindung - Gleichungen	
2.4.4.3.	Eckenkorrekturen	119
2.4.4.4.	Äußere Energieeinflüsse	121
	Äußere Längskräfte – Kinetische Energie des Umformgutes - Reibkräfte ohne Umformung	
2.5.	Anwendungsproblematiken	125
2.5.1.	Mittelwertbildung	125
2.5.1.1.	Problemstellung	125
2.5.1.2.	Mittlere Fließspannung $k_{fm}$	126
2.5.1.3.	Mittlere Dicke	129
2.5.1.4.	Mittlerer Längszug und mittlere Umformgeschwindigkeit	130
2.5.2.	Lösungsproblematik	131

<b>3.</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten des Walzprozesses (Ebene Umformung)</b>	<b>136</b>
3.1.	Erfahrungen und Beobachtungen	136
3.2.	Geometrische und kinematische Beziehungen	137
3.2.1.	Gedrückte Länge	137
3.2.2.	Voreilung – Rückstau - Fließscheide	138
3.2.3.	Spezielle Umformgeschwindigkeiten	139
3.2.3.1.	Ebene und axialsymmetrische Umformungen	139
3.2.3.2.	Umformgeschwindigkeit beim Flachwalzen	140
3.2.3.3.	Umformgeschwindigkeit beim Walzen axialsymmetrischer Querschnitte	142
3.2.4.	Grenzen des Walzprozesses	144
3.2.4.1.	Greifbedingung	144
3.2.4.2.	Durchziehbedingung	145
3.2.4.3.	Maximale Höhenabnahme	146
3.3.	Grundgleichungen für das Flachwalzen	147
3.3.1.	Vorbemerkungen	147
3.3.2.	Ansatz für Walzkraft und Fließscheide	149
3.3.3.	Momentenansatz beim Walzen	151
3.3.4.	Berücksichtigung der elastischen Verformung der Walze (Walzenabplattung)	152
3.3.4.1.	Einfluss auf Walzkraft	152
3.3.4.2.	Einfluss auf Walzmoment	154
3.4.	Die geschlossenen Lösungen für das Flachwalzen	155
3.4.1.	Situation	155
3.4.2.	Lösung für Haftreibung	160
3.4.2.1.	Druckverlauf	160
3.4.2.2.	Fließscheidenlage	162
3.4.2.3.	Walzkraft	163
3.4.2.4.	Walzmoment	165
3.4.2.5.	Resümee	170
3.4.3.	Lösung für Gleitreibung	171
3.4.3.1.	Grundüberlegung	171
3.4.3.2.	Druckverlauf	172
3.4.3.3.	Fließscheidenlage	173
3.4.3.4.	Walzkraft und Walzmoment	174
3.4.3.5.	Resümee	182
3.4.4.	Geschwindigkeitseinfluss	182
3.4.5.	Randspannungen und Walzgutgeschwindigkeiten	184
3.5.	Die numerische Lösung für das Flachwalzen	186
3.5.1.	Vorbetrachtungen	186
3.5.2.	Ausführung	187
3.5.2.1.	Vorbereitende Berechnungen	187
3.5.2.2.	Tabellarische Berechnung als Vorstufe zur Programmierung	188
3.5.3.	Das Druckmaximum im Walzspalt	199
3.6.	Übersicht über die Berechnungsmethoden von Walzkraft und Walzmoment beim Flachwalzen	200
3.6.1.	Genaue Berechnung	200

3.6.2.	Überschlägige Berechnung	200
3.7.	Weitere Gesetzmäßigkeiten beim Walzen	200
3.7.1.	Materialfluss im Walzspalt	200
3.7.1.1.	Empirisches Berechnungsverfahren (Breitungsgleichung)	200
3.7.1.2.	Berechnung mittels Fließgesetz	201
3.7.1.3.	Das Fließdiagramm	203
	Fließdiagramm für Rechteckquerschnitte – Fließdiagramm für Rohre	
3.7.2.	Das Walzen von Rohren	208
3.7.3.	Das Walzen von Profilen	212
3.7.3.1.	Vergleichbarkeit von Walzvorgängen	212
3.7.3.2.	Kräfte und Momente	216
3.7.3.3.	Temperaturverlauf beim Walzen	217
<b>4.</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten der Umformverfahren mit axialer Streckung</b>	<b>224</b>
4.1.	Grundlegende Betrachtungen und Beobachtungen	224
4.2.	Umformgeschwindigkeit beim axialen Strecken	227
4.2.1.	Umformgeschwindigkeit bei konstantem Bahnwinkel	227
4.2.1.1.	Axialsymmetrische Querschnitte	227
4.2.1.2.	Flache Querschnitte (Ebener Umformzustand)	228
4.2.2.	Umformgeschwindigkeit bei veränderlichem Bahnwinkel	228
4.2.2.1.	Bahnverlauf	228
4.2.2.2.	Geschwindigkeiten bei verschiedenen Querschnittsformen	233
4.3.	Gleichungen für das Strecken von axialsymmetrischen Querschnitten	235
4.3.1.	Die Ausgangsgleichungen	235
4.3.2.	Die Detailgleichungen	236
4.3.2.1.	Konstanter Bahnwinkel	236
4.3.2.2.	Veränderlicher Bahnwinkel	239
4.3.3.	Das Strangpressen    Gleitreibung – Pressen mit Schale – Flachmatrizen – Vollstempelverfahren mit Dorn – Hohlstempelverfahren – Hydrostatisches Strangpressen – Literatur – Strangpressen von komplizierten Profilformen – Mehrfachstrangpressen – Erwärmung des Pressgutes – Rechenschema	240
4.3.4.	Das Ziehen	247
4.3.4.1.	Situation	247
4.3.4.2.	Die numerische Lösung für das Ziehen Lösungsweg – nur Gleiten – Ziehgeschwindigkeit – Vereinfachungen	248
4.3.4.3.	Die geschlossene Lösung für das Ziehen	255
4.3.4.4.	Optimaler Ziehwinkel	256
4.3.4.5.	Einzelprobleme beim Ziehen Ziehen unter hydrostatischen Schmierbedingungen - Ultraschallanwendung beim Drahtziehen - Das Ziehwalzen	257
4.3.4.6.	Temperatur beim Ziehen	266
4.3.4.7.	Ziehen mit Mehrfachziehdüsen	275
4.3.4.8.	Direkte experimentelle Ermittlung der Reibzahl	277
4.3.4.9.	Ziehen von Rohren und Profilen Innenwerkzeug – Ziehkräfte – Zusatzspannung bei Innenwerkzeug — Rohrziehen mit fliegendem Dorn - Profile	281

<b>5.</b>	<b>Gesetzmäßigkeiten der Umformverfahren mit axialer Stauchung</b>	<b>287</b>
5.1.	Situation	287
5.2.	Vergleichsumformgrad und –geschwindigkeit beim Stauchen	288
5.3.	Drücke beim Stauchen	289
5.3.1.	Grundsätzliche Betrachtungen	289
5.3.2.	Drücke und Druckverläufe	293
5.3.2.1.	Druckverlauf bei Haftreibung	293
5.3.2.2.	Druckverlauf bei Gleitreibung	295
5.3.2.3.	Verschiedene Einzeldrücke      mittlere Drücke – vertikale Drücke	298
5.3.3.	Stauchkraft und weitere Einzelgrößen	299
5.3.3.1.	Stauchkraft	299
5.3.3.2.	Umformarbeit (Staucharbeit)	303
5.4.	Das Recken	304
5.5.	Der Umformwiderstand	307
	Formelzeichenverzeichnis	9
	Zusammenstellung der Übungen und deren Lösungen	309
	Literaturverzeichnis	345
	Verzeichnis der Ergänzungen	352
	Sachverzeichnis deutsch-englisch	353
	Sachverzeichnis englisch-deutsch	359