

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	1
Literatur .....	3
<b>2 Grundlagen</b> .....	5
2.1 Einleitung .....	6
2.2 Metallkundliche Grundlagen zur Erfassung des Werkstoffzustands .....	6
2.2.1 Aufbau der Kristalle .....	6
2.2.2 Elastische und plastische Formänderung der Kristalle .....	8
2.2.3 Rekristallisation .....	13
2.2.4 Abgrenzung zwischen Kalt- und Warmumformung .....	17
2.3 Plastomechanische Grundlagen .....	19
2.3.1 Gegenüberstellung von Kristallphysik und Kontinuumsmechanik ....	19
2.3.2 Der Spannungszustand .....	19
2.3.3 Fließbedingung .....	21
2.3.4 Kinematik des Kontinuums .....	25
2.3.5 Volumenkonstanz .....	29
2.3.6 Fließgesetz .....	30
2.3.7 Grenzen der plastischen Umformung .....	33
2.4 Plastizitätstheoretische Lösungsmöglichkeiten für umformtechnische Probleme .....	38
2.4.1 Lösungsmethoden der elementaren Plastizitätstheorie .....	40
2.4.2 Energiemethode .....	40
2.4.3 Berechnungsverfahren mit dem Streifen-, Scheiben- und Röhrenmodell .....	42
2.4.4 Strenge Lösung .....	44
2.4.5 Gleitlinienverfahren .....	44
2.4.6 Visioplastizität und Messrasterverfahren .....	45
2.4.7 Schrankenverfahren .....	48
2.4.8 Fehlerabgleichverfahren (FAV) .....	48
2.5 Finite-Elemente-Methode (FEM) .....	49
2.5.1 Grundlegende Konzepte der Finite-Elemente-Methode .....	50
2.5.2 Lagrange'sche und Euler'sche Betrachtung des Kontinuums .....	52

2.5.3	Explizite und implizite Lösungsverfahren .....	52
2.5.4	Thermische Kopplung .....	53
2.5.5	Elementtypen .....	53
2.5.6	Nichtlinearitäten .....	55
2.5.7	Stoffgesetze .....	55
2.5.8	Software .....	56
2.5.9	Hardware .....	57
2.5.10	Phasen einer Finite-Elemente-Analyse (FEA) .....	58
2.5.11	Einsatz der FEM in der Umformtechnik .....	59
2.6	Metallographie und Analyse .....	71
2.6.1	Einführung .....	71
2.6.2	Lichtmikroskopie .....	71
2.6.3	Mikrohärteprüfung .....	72
2.6.4	Elektronenmikroskopie (EM) .....	73
2.6.5	Präparationsmethoden .....	79
2.7	Werkstoffe in der Umformtechnik .....	82
2.7.1	Werkstückwerkstoffe .....	82
2.7.2	Werkzeugwerkstoffe .....	104
2.7.3	Fließkurvenermittlung und Werkstoffprüfung .....	113
2.8	Tribologie in der Umformtechnik .....	131
2.8.1	Das tribologische System .....	131
2.8.2	Reibung .....	133
2.8.3	Verschleiß .....	142
2.8.4	Schmierung in der Umformtechnik .....	149
2.8.5	Werkzeugeinflüsse .....	163
2.8.6	Topographieeinflüsse .....	171
2.8.7	Tribologische Prüfverfahren in der Umformtechnik .....	175
Literatur	.....	187
<b>3</b>	<b>Massivumformung</b> .....	<b>201</b>
3.1	Kaltumformung .....	202
3.1.1	Stauchen .....	202
3.1.2	Fließpressen .....	205
3.1.3	Kraft- und Arbeitsbedarf .....	222
3.1.4	Schmierung und Schmierstoffe .....	230
3.1.5	Fertigungsgenauigkeiten und Oberflächenqualitäten .....	231
3.1.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	233
3.2	Halbwarmumformung .....	237
3.3	Warmumformung .....	240
3.3.1	Definitionen und Verfahrensübersicht .....	240
3.3.2	Freiformschmieden .....	243
3.3.3	Gesenkschmieden .....	255

---

3.3.4	Rundkneten .....	267
3.3.5	Erwärmen .....	270
3.3.6	Werkzeuge zum Freiformschmieden .....	274
3.3.7	Werkzeuge zum Gesenkschmieden .....	275
3.3.8	Schmierung beim Gesenkschmieden .....	280
3.3.9	Gestaltung und Eigenschaften von Schmiedestücken .....	282
3.4	Sonderverfahren der Massivumformung .....	288
3.4.1	Sonderverfahren des Gesenkschmiedens .....	288
3.4.2	Kombination der Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung .....	292
3.4.3	Superplastische Umformung .....	294
3.4.4	Thixoschmieden .....	297
3.5	Walzen als Nach- oder Fertigbearbeitungsverfahren .....	304
3.5.1	Profilwalzen von Fertigteilen .....	304
3.5.2	Oberflächenfeinwalzen .....	323
3.5.3	Werkstoffe für Walzverfahren .....	332
3.5.4	Werkzeugbaustoffe für Walzverfahren .....	333
3.5.5	Reibung und Schmierung .....	334
3.6	Trends in der Massivumformung .....	335
	Literatur .....	338
<b>4</b>	<b>Blechumformung .....</b>	<b>351</b>
4.1	Tiefziehen.....	352
4.1.1	Grundlagen des Tiefziehens .....	353
4.1.2	Verfahrensvarianten und Fertigungsbeispiele .....	364
4.1.3	Werkzeuge .....	375
4.1.4	Werkstückwerkstoffe .....	379
4.1.5	Fertigungsgenauigkeiten .....	382
4.2	Kragenziehen .....	385
4.2.1	Grundlagen des Kragenziehens .....	385
4.2.2	Verfahrensvarianten und Fertigungsbeispiele .....	390
4.2.3	Werkzeuge .....	393
4.2.4	Werkstoffe .....	393
4.2.5	Fertigungsgenauigkeiten .....	394
4.3	Streckziehen.....	395
4.3.1	Verfahrensprinzip .....	395
4.3.2	Verfahrensvarianten .....	396
4.3.3	Formänderungen, Werkstückwerkstoffe und Kräfte .....	404
4.3.4	Werkzeuge .....	406
4.4	Drücken .....	406
4.4.1	Verfahrensprinzip .....	407
4.4.2	Zulässige Formänderungen .....	411
4.4.3	Kräfte .....	413

4.4.4	Fertigungsbeispiele .....	415
4.4.5	Werkzeuge .....	418
4.4.6	Werkstoffe .....	421
4.4.7	Fertigungsqualitäten .....	421
4.4.8	Vor- und Nachteile des Drückens, Einsatzkriterien .....	422
4.5	Biegen .....	423
4.5.1	Grundlagen des Biegens .....	424
4.5.2	Verfahrensvarianten .....	429
4.5.3	Werkzeuge und Werkstückformen .....	440
4.6	Sonderverfahren der Blechumformung .....	450
4.6.1	Innenhochdruckumformung .....	450
4.6.2	Superplastische Blechumformung .....	461
4.6.3	Hochgeschwindigkeitsumformung .....	464
4.7	Trends in der Blechumformung .....	471
	Literatur .....	475
<b>5</b>	<b>Blechtrennung</b> .....	<b>487</b>
5.1	Schneiden .....	488
5.1.1	Grundlagen des Schneidens .....	488
5.1.2	Verfahrensmerkmale und -varianten .....	498
5.1.3	Fertigungsgenauigkeiten .....	508
5.2	Feinschneiden .....	511
5.2.1	Grundlagen des Feinschneidens .....	512
5.2.2	Werkzeuge .....	526
5.2.3	Werkstoffe .....	528
5.2.4	Verfahrensvarianten und Fertigungsbeispiele .....	533
5.2.5	Fertigungsgenauigkeiten und Bauteileigenschaften .....	536
5.3	Trends in der Blechtrennung .....	539
	Literatur .....	541
<b>6</b>	<b>Fügen durch Umformen</b> .....	<b>545</b>
6.1	Stanznieten und Durchsetzfügen .....	546
6.1.1	Stanznieten .....	546
6.1.2	Durchsetzfügen .....	548
6.1.3	Statische und dynamische Festigkeit .....	552
6.2	Bördeln und Falzen .....	553
6.2.1	Bördeln .....	555
6.2.2	Falzen .....	556
6.3	Anwendungsbeispiele .....	558
6.4	Trends beim Fügen .....	560
	Literatur .....	564
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>569</b>