
Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
Literatur	3
2 Grundlagen	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
3	Massivumformung	201
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
4	Blechumformung	351
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
5	Blechtrennung	487
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
6	Fügen durch Umformen	545
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
	Stichwortverzeichnis	569