

Inhaltsverzeichnis

Hinweise zur beigelegten DVD	15
Verzeichnis häufig verwendeter Formelzeichen	19
1 Einleitung	23
1.1 Geschichtliche Entwicklung und wirtschaftliche Bedeutung	23
1.2 Werkstoffverhalten und Umformtemperaturen	26
1.3 Basisverfahren der Umformtechnik	28
1.3.1 Flachwalzen	29
1.3.2 Fließpressen	30
1.3.3 Drahtziehen	31
1.3.4 Stauchen und Gesenkschmieden	33
1.3.5 Tiefziehen	34
1.4 Einteilung der Umformverfahren	35
1.4.1 Einordnung nach dem Spannungszustand in der Umformzone	35
1.4.2 Einordnung nach der Umformtemperatur	36
1.4.2.1 Einordnung nach der Umformtemperatur in Relation zur Raumtemperatur	36
1.4.2.2 Einordnung nach der Umformtemperatur in Relation zur Rekristallisationstemperatur T_{rek}	37
1.4.2.3 Abgrenzung	38
1.4.3 Einordnung nach der Bauteilgeometrie	38
1.4.4 Einordnung nach dem Verwendungszweck	38
1.5 Fragen zum Kapitel 1	39
2 Allgemeine Grundlagen der Umformtechnik	41
2.1 Grundgrößen der Umformung	41
2.1.1 Größen der Umformzone	41
2.1.1.1 Konstantes Volumen der Umformzone	41
2.1.1.2 Umformgrad und andere Bezeichnungen für die plastische Formänderung	42
2.1.1.3 Fragen zum Kapitel 2.1.1	48
2.1.2 Spannungsgrößen	48
2.1.2.1 Fließspannung und andere Werkstoffkennwerte	48
2.1.2.2 Fließbedingung	51
2.1.2.3 Vergleichsspannung	52
2.1.2.4 Fragen zum Kapitel 2.1.2	56
2.1.3 Fließkurven	57
2.1.3.1 Verfahren zur Ermittlung der Fließspannung	57
2.1.3.2 Fließkurven metallischer Werkstoffe	62
2.1.3.3 Fragen zum Kapitel 2.1.3	66
2.1.4 Anwendungen der Fließkurven	66
2.1.4.1 Kraft- und Arbeitsberechnungen	67
2.1.4.2 Gesamtumformarbeit und -kraft	70

2.1.4.3	Bauteilfestigkeit	73
2.1.4.4	Fragen zum Kapitel 2.1.4	73
2.2	Berechnungen an realen Umformzonen	74
2.2.1	Homogene und inhomogene Umformungen	74
2.2.1.1	Fragen zum Kapitel 2.2.1	75
2.2.2	Elementare Plastizitätstheorie	76
2.2.2.1	Allgemeines	76
2.2.2.2	Scheibentheorie	77
2.2.2.3	Fragen zum Kapitel 2.2.2	80
2.2.3	Simulationsrechnungen – Finite-Elemente-Methode FEM	80
2.2.3.1	Motivation, Aufgaben, Lösungsansätze und Ergebnisse	80
2.2.3.2	Ablauf einer Prozesssimulation	84
2.2.3.3	Thermische und tribologische Einflüsse auf die Umformprozesse	88
2.2.3.4	Grenzen – offene Fragen	91
2.2.3.5	Fragen zum Kapitel 2.2.3	91
2.3	Metallkundliche Aspekte	92
2.3.1	Aufbau der Metalle	92
2.3.1.1	Gitterstrukturen	92
2.3.1.2	Punktförmige Gitterfehler: Leerstellen, Fremdatome	95
2.3.1.3	Linienförmige Gitterfehler: Versetzungen	95
2.3.1.4	Flächenförmige Gitterfehler: Korngrenzen	97
2.3.1.5	Fragen zum Kapitel 2.3.1	98
2.3.2	Fließverhalten der Metalle	99
2.3.2.1	Mechanismen der plastischen Formänderung	99
2.3.2.2	Einflüsse der Gitterfehler auf das Fließverhalten	100
2.3.2.3	Fragen zum Kapitel 2.3.2	102
2.4	Tribologie	103
2.4.1	Reibung	103
2.4.2	Schmierung	104
2.4.2.1	Schmierstoffe für die Kaltmassivumformung	104
2.4.2.2	Schmierstoffe für die Blechumformung	104
2.4.2.3	Schmierstoffe für die Warmformgebung (Gesensschmieden)	105
2.4.2.4	Fragen zum Kapitel 2.4.2	105
2.4.3	Oberflächenbehandlung	105
2.4.3.1	Oberflächenbehandlung der Werkstücke	105
2.4.3.2	Oberflächenbehandlung der Werkzeuge	106
2.4.3.3	Fragen zum Kapitel 2.4.3	107
2.4.4	Verschleiß	107
2.4.4.1	Verschleißarten	107
2.4.4.2	Verschleißuntersuchungen	108
2.4.4.3	Verschleiß an Umformwerkzeugen	109
2.4.4.4	Fragen zum Kapitel 2.4.4	110
3	Kaltmassivumformung	111
3.1	Grundlagen der Kaltmassivumformung	111
3.1.1	Allgemeines	111
3.1.2	Verfestigung und Streckgrenzenanomalie	112
3.1.2.1	Verfestigung	112

3.1.2.2 Streckgrenzenanomalie	112
3.1.3 Entfestigung durch Erholung und Rekristallisation	113
3.1.3.1 Erholung	114
3.1.3.2 Rekristallisation	114
3.1.4 Warm-, Kalt- und Halbwarmumformung	116
3.1.4.1 Warmumformung	116
3.1.4.2 Kaltumformung	116
3.1.4.3 Halbwarmumformung	117
3.1.5 Oberflächengüte, Randschicht und Eigenspannungen	118
3.1.5.1 Oberflächengüte	118
3.1.5.2 Randschicht	119
3.1.5.3 Eigenspannungen in der Randschicht	120
3.1.5.4 Einflüsse auf die Dauerfestigkeit beim Kaltmassivumformen	120
3.1.6 Fragen zum Kapitel 3.1	121
3.2 Herstellung von Halbzeugen: Bänder, Bleche, Rohre, Drähte, Stäbe	122
3.2.1 Kaltwalzen – Flachwalzen	123
3.2.1.1 Verfahren, Erzeugnisse und Fertigungseinrichtungen	123
3.2.1.2 Größen der Umformzone	128
3.2.1.3 Walzkkräfte und -momente	130
3.2.1.4 Auffederung, Durchbiegung und deren Kompensation	132
3.2.1.5 Einzug, Durchzug, Haspelzug, Bremszug	134
3.2.1.6 Stichplan, Enddicke und Endfestigkeit	135
3.2.1.7 Fragen zum Kapitel 3.2.1	139
3.2.2 Drahtziehen	140
3.2.2.1 Halbzeuge und Werkstoffe	140
3.2.2.2 Verfahrensprinzipien	141
3.2.2.3 Maschinen und Verfahren	143
3.2.2.4 Berechnungen und Zugabstufungen	146
3.2.2.5 Berechnungsbeispiel	148
3.2.2.6 Fragen zum Kapitel 3.2.2	149
3.2.3 Stab- und Rohrziehen	150
3.2.3.1 Halbzeuge und Werkstoffe	150
3.2.3.2 Verfahren, Verfahrensvarianten und Fertigungseinrichtungen	152
3.2.3.3 Fragen zum Kapitel 3.2.3	155
3.3 Herstellung von Bauteilen – Verfahren der Kaltmassivumformung	155
3.3.1 Fließpressen	156
3.3.1.1 Verfahren	156
3.3.1.2 Prinzipielle Fließpressverfahren	161
3.3.1.3 Gestaltungsmöglichkeiten und Verfahrensvarianten	163
3.3.1.4 Stadienplanung von Fließpressteilen	167
3.3.1.5 Oberflächengüte und Genauigkeit	172
3.3.1.6 Festigkeit der Bauteile	173
3.3.1.7 Beanspruchung von Werkzeug und Maschine	175
3.3.1.8 Werkzeugbau	182
3.3.1.9 Pressenbau	188
3.3.1.10 Fließpressen einer Tube aus Aluminium	194
3.3.1.11 Beispiele zum Voll-Vorwärts-Fließpressen	196
3.3.1.12 Fragen zum Kapitel 3.3.1	198

3.3.2	Kaltstauchen	200
3.3.2.1	Bauteile und Werkstoffe	200
3.3.2.2	Verfahren, Verfahrensvarianten und Maschinen	202
3.3.2.3	Berechnungen	205
3.3.2.4	Berechnungsbeispiel Schraubenrohling	208
3.3.2.5	Fragen zum Kapitel 3.3.2	211
3.3.3	Eindrücken: Kalteinsenken, Prägen, Formpressen, Dornen	211
3.3.3.1	Kalteinsenken	212
3.3.3.2	Prägen	215
3.3.3.3	Formpressen	216
3.3.3.4	Dornen	216
3.3.3.5	Fragen zum Kapitel 3.3.3	217
3.3.4	Gewindewalzen	217
3.3.4.1	Werkstoffe	217
3.3.4.2	Werkzeuge zum Gewindewalzen	218
3.3.4.3	Festigkeit und Dauerfestigkeit	220
3.3.4.4	Fragen zum Kapitel 3.3.4	222
3.3.5	Profilwalzen	222
3.3.5.1	Bauteile und Werkstoffe	222
3.3.5.2	Verfahrensprinzip	223
3.3.5.3	Verfahrensvarianten	224
3.3.5.4	Fragen zum Kapitel 3.3.5	225
3.3.6	Festwalzen, Glattwalzen	225
3.3.6.1	Bauteile und Werkstoffe	225
3.3.6.2	Verfahren	226
3.3.6.3	Kennzeichnende Merkmale des Verfahrens	227
3.3.6.4	Fragen zum Kapitel 3.3.6	229
3.3.7	Ringwalzen	229
3.3.7.1	Bauteile und Werkstoffe	229
3.3.7.2	Verfahrensprinzip	230
3.3.7.3	Walzen von Profilringen	230
3.3.7.4	Kennzeichnende Merkmale des Verfahrens	231
3.3.7.5	Zielgrößen	231
3.3.7.6	Fragen zum Kapitel 3.3.7	232
3.3.8	Rundkneten	232
3.3.8.1	Bauteile und Werkstoffe	232
3.3.8.2	Verfahren	234
3.3.8.3	Fragen zum Kapitel 3.3.8	235
3.3.9	Taumelumformen, Taumelpressen	235
3.3.9.1	Bauteile und Werkstoffe	236
3.3.9.2	Verfahren	236
3.3.9.3	Kennzeichnende Merkmale des Verfahrens	238
3.3.9.4	Fragen zum Kapitel 3.3.9	238
3.3.10	Biegen von Rohren, Profilen und Drähten	239
3.3.10.1	Bauteile und Werkstoffe	239
3.3.10.2	Allgemeines zum Biegen	240
3.3.10.3	Rohrbiegen	240
3.3.10.4	Profilbiegen	241

3.3.10.5 Zugbiegen	242
3.3.10.6 Zubehör	243
3.3.10.7 Drahtbiegen	243
3.3.10.8 Wickeln von dynamisch beanspruchten Federn	244
3.3.10.9 Fragen zum Kapitel 3.3.10	246
4 Warmmassivumformung	247
4.1 Grundlagen der Warmmassivumformung	247
4.1.1 Allgemeines	247
4.1.2 Vom Gussgefüge zum feinkörnigen Gefüge	248
4.1.2.1 Verfestigung	248
4.1.2.2 Entfestigung	249
4.1.3 Einfluss der Umformtemperatur	250
4.1.4 Einfluss der Umformgeschwindigkeit	251
4.1.5 Einfluss des Stapelfehlerabstandes	252
4.1.6 Fragen zum Kapitel 4.1	253
4.2 Herstellung von Halbzeug: Warmband, Grobblech, Profile	254
4.2.1 Warmwalzen	254
4.2.1.1 Allgemeines	255
4.2.1.2 Werkstoffe und Erzeugnisse	255
4.2.1.3 Verfahren	256
4.2.1.4 Fragen zum Kapitel 4.2.1	265
4.2.2 Rohrherstellung, Schräg- und Pilgerschrittwalzen	265
4.2.2.1 Verfahrensübersicht und Erzeugnisse	265
4.2.2.2 Schrägwalzen	266
4.2.2.3 Walzen über eine mitbewegte Stange: Dornwalzen	267
4.2.2.4 Pilgerschrittverfahren	268
4.2.2.5 Fragen zum Kapitel 4.2.2	268
4.2.3 Strangpressen	269
4.2.3.1 Werkstoffe und Erzeugnisse	269
4.2.3.2 Verfahrensprinzip	270
4.2.3.3 Werkzeuge	271
4.2.3.4 Verfahrensvarianten	273
4.2.3.5 Strangpressen von AlMgSi (EN AW 6060)	275
4.2.3.6 Ausscheidungshärtung von AlMgSi 0,5 nach dem Strang- pressen	276
4.2.3.7 Fragen zum Kapitel 4.2.3	278
4.3 Herstellung von Bauteilen – Verfahren der Warmmassivumformung	279
4.3.1 Freiformschmieden	280
4.3.1.1 Werkstoffe und Erzeugnisse	280
4.3.1.2 Maschinen	281
4.3.1.3 Werkzeuge	281
4.3.1.4 Verfahrensprinzipien	282
4.3.1.5 Fragen zum Kapitel 4.3.1	284
4.3.2 Recken	285
4.3.2.1 Recken mit dem Sattel	285
4.3.2.2 Reckwalzen	285

4.3.2.3	Beispiel Turbinenrotor	286
4.3.2.4	Fragen zum Kapitel 4.3.2	287
4.3.3	Gesenkschmieden	287
4.3.3.1	Werkstoffe und Bauteile	288
4.3.3.2	Verfahrensprinzip und Werkzeuge	289
4.3.3.3	Maschinen und Anlagen	292
4.3.3.4	Gefüge der Schmiedeteile	296
4.3.3.5	Kraft- und Arbeitsbedarf der Schmiedeteile	297
4.3.3.6	Fragen zum Kapitel 4.3.3	301
4.3.4	Ringwalzen (warm)	301
4.3.4.1	Werkstoffe und Bauteile	301
4.3.4.2	Verfahrensprinzip und Werkzeuge	302
4.3.4.3	Verfahrensgrenzen	304
4.3.4.4	Fragen zum Kapitel 4.3.4	305
5	Blechumformung	306
5.1	Grundlagen der Blechumformung	306
5.1.1	Streckgrenze, Streckgrenzendehnung, Fließfiguren	306
5.1.2	Senkrechte Anisotropie (r -Wert) und Kaltverfestigung (n -Wert) der Blechwerkstoffe	307
5.1.3	Anisotropie bezüglich der Blechebene (Δr -Wert)	309
5.1.4	Grenzformänderungsschaubild	310
5.1.5	Übungen	313
5.1.5.1	Bestimmen des n -Wertes	313
5.1.5.2	Bestimmen des r -Wertes	313
5.1.6	Fragen zum Kapitel 5.1	313
5.2	Herstellen von Bauteilen – Blechumformverfahren	314
5.2.1	Streckziehen	315
5.2.1.1	Werkstoffe und Bauteile	315
5.2.1.2	Verfahrensprinzip	315
5.2.1.3	Streckziehanteile beim Tiefziehen und Biegen	316
5.2.1.4	Fragen zum Kapitel 5.2.1	318
5.2.2	Tiefziehen	318
5.2.2.1	Verfahren, Verfahrensvarianten	319
5.2.2.2	Zuschnittermittlung	323
5.2.2.3	Verfahrensgrenzen	326
5.2.2.4	Arbeitsablauf	332
5.2.2.5	Kraft- und Arbeitsbedarf	334
5.2.2.6	Übungsaufgaben	337
5.2.2.7	Fragen zum Kapitel 5.2.2	338
5.2.3	Biegen von Blechen	339
5.2.3.1	Grundlagen des Biegens	339
5.2.3.2	Verfahren und Maschinen	344
5.2.3.3	Übungsaufgaben	348
5.2.3.4	Fragen zum Kapitel 5.2.3	348
5.2.4	Biegen durch Walzen: Walzrunden und Walzprofilieren	349
5.2.4.1	Walzrunden	349

5.2.4.2	Walzprofilieren	350
5.2.4.3	Fragen zum Kapitel 5.2.4	351
5.2.5	Abstreckziehen, Kragenziehen – zwei Durchziehverfahren	352
5.2.5.1	Abstreckziehen	352
5.2.5.2	Kragenziehen	353
5.2.5.3	Übungsaufgabe	355
5.2.5.4	Fragen zum Kapitel 5.2.5	355
5.2.6	Kugelstrahlumformen	356
5.2.6.1	Verfahrensprinzip	356
5.2.6.2	Bauteile	356
5.2.6.3	Anlage zum Kugelstrahlumformen	357
5.2.6.4	Einflüsse auf die Krümmung	358
5.2.6.5	Fragen zum Kapitel 5.2.6	359
5.2.7	Drücken	359
5.2.7.1	Bauteile und Werkstoffe	360
5.2.7.2	Verfahren	360
5.2.7.3	Verfahrensvarianten	362
5.2.7.4	Fragen zum Kapitel 5.2.7	363
5.2.8	Hohlprägen	363
5.2.8.1	Verfahrensprinzip	363
5.2.8.2	Versteifungssicken	364
5.2.8.3	Anordnung der Sicken	364
5.2.8.4	Fragen zum Kapitel 5.2.8	365
5.2.9	Innenhochdruckumformen	365
5.2.9.1	Bauteile und Werkstoffe	366
5.2.9.2	Verfahrensprinzip	366
5.2.9.3	Verfahrensvarianten	367
5.2.9.4	Fragen zum Kapitel 5.2.9	369
6	Planung der Lehrveranstaltungen zum Buch	370
6.1	Rahmenbedingungen	370
6.1.1	Personenkreis	370
6.1.2	Einordnung in den Studienablauf	370
6.1.3	Allgemeiner Umgang mit Informationen	370
6.1.4	Schlüsselqualifikationen	370
6.2	Planung von Lehrveranstaltungen	371
6.2.1	Übersichtsvortrag für Ingenieure	371
6.2.2	Vorlesung für Wirtschaftsingenieure	371
6.2.3	Vorlesung für Maschinenbauer	371
6.2.3.1	Grundlagenwissen	371
6.2.3.2	Erweiterte Grundlagen	372
6.2.3.3	Fachwissen	372
6.2.3.4	Erwerben und Erweitern von Übersichtswissen – Seminar zu Umformtechnik	372
6.3	Hinweise für die Lernenden	373
6.3.1	Allgemeine Lernziele	373
6.3.2	Lernkonzepte für die Lernenden	374

6.3.2.1 Selbstgesteuertes Lernen	374
6.3.2.2 Lernen und Arbeiten in Gruppen	374
6.3.2.3 Handlungsorientiertes Lernen	374
6.4 Fazit	375
Quellen- und Literaturverzeichnis	377
Anhang	381
Sachwortverzeichnis	386

Inhalt der Begleit-DVD

Die Informationen auf dieser DVD dienen der Vertiefung des Lernstoffes aus dem Lehrbuch.

FRAGEN UND ANTWORTEN

Fragen und Antworten zu Kapitel 1 bis 5

VIDEOS

Einleitung (Kap. 1)

Stahl – Herstellung und Verarbeitung (Kap. 1.0.0)

Grundlagen (Kap. 2)

Simulationsrechnungen Finite-Elemente-Methode FEM (Kap. 2.2.3)

Kaltmassivumformung (Kap. 3)

Drahtziehen (Kap. 3.2.2)

Fließpressen (Kap. 3.3.1)

Profilwalzen (Kap. 3.3.5)

Rundkneten (Kap. 3.3.8)

Taumelumformen (Kap. 3.3.9)

Warmmassivumformung (Kap. 4)

Warmmassivumformen (Kap. 4.3.0)

Gesenkschmieden (Kap. 4.3.3)

Blechumformung (Kap. 5)

Biegen von Blechen (Kap. 5.2.3)

Drücken (Kap. 5.2.7)

Innenhochdruckumformen (Kap. 5.2.9)

ANWENDUNGEN

Wegabhängige Simulationsrechnung Kaltfließpressen und Kaltstauchen mit Werkstoffdatenbank

Teil 1: Simulationsprogramm – Scheibentheorie, Röhrentheorie

Teil 2: Herleitung des allgemeinen Spannungszustandes und der Vergleichsspannung

Teil 3: Herleitung der Vergleichsspannung für die Gestaltänderungsenergiehypothese

Teil 4: Elementare Plastizitätstheorie – Aufstellen der Differenzialgleichung im Scheibenmodell für das Vollvorwärts-Fließpressen