

Inhaltsverzeichnis

0	Allgemeine Begriffe, Formelzeichen und Einheiten in der Umformtechnik (K. Lange)	1
1	Einführung (K. Lange)	7
1.0	Begriffe, Allgemeines	7
1.1	Technisch-wirtschaftliche Bedeutung der Umformtechnik	9
1.2	Übersicht über die Verfahren der Umformtechnik	11
1.3	Massivumformung — Blechumformung	26
1.4	Systematische Betrachtung von Umformvorgängen	28
	Literatur zu Kapitel 1	31
2	Metallkundliche Grundlagen (G. Schröder; J. Reissner)	32
2.0	Einleitung	33
2.1	Kristallstruktur und Gefüge der Metalle	36
2.2	Elastische und plastische Formänderungen an Einkristallen bzw. Idealkristallen	39
2.2.1	Elastische Formänderungen	39
2.2.2	Plastische Formänderungen	39
2.2.2.1	Gleitung	40
2.2.2.2	Zwillingsbildung	44
2.2.3	Theoretische Schubfestigkeit	45
2.3	Gitterfehler	45
2.3.1	Arten von Gitterfehlern	45
2.3.2	Versetzungen	46
2.3.2.1	Arten von Versetzungen	46
2.3.2.2	Burgers-Umlauf, Burgers-Vektor	49
2.3.2.3	Teilversetzung, Stapelfehler	51
2.3.3	Andere Gitterfehler	53
2.3.3.1	Nulldimensionale Gitterfehler	53
2.3.3.2	Zweidimensionale Gitterfehler	53
2.4	Versetzungen und Werkstoffeigenschaften	55
2.4.1	Plastische Formänderungen durch Versetzungsbewegung	55
2.4.2	Erzeugung von Versetzungen, Versetzungsquellen	57

2.4.2.1	Frank-Read-Quelle	58
2.4.3	Quergleitung von Schraubenversetzungen	61
2.4.4	Klettern von Stufenversetzungen	62
2.4.5	Verfestigung	62
2.4.5.1	Ursachen der Verfestigung.	63
2.5	Wechselwirkung von Versetzungen mit Fremdatomen und Teilchen	64
2.5.1	Mischkristallbildung	64
2.5.2	Obere und untere Streckgrenze, Reckalterung, Blaubruchigkeit.	65
2.5.3	Aushärtung, Dispersionshärtung	68
2.5.4	Martensitbildung, Stahlhärtung	69
2.6	Thermische aktivierte Vorgänge	70
2.6.1	Übersicht	70
2.6.2	Kristallerholung	71
2.6.3	Rekristallisation und Kornvergrößerung	73
2.6.3.1	Primäre Rekristallisation	74
2.6.3.2	Sekundäre Rekristallisation, Kornvergrößerung	75
2.6.4	Statische und dynamische Gefügeänderungen bei der Warmumformung	75
2.6.4.1	Einleitung	75
2.6.4.2	Dynamische Erholung	77
2.6.4.3	Dynamische Rekristallisation	79
2.7	Anisotropie	80
2.7.1	Kristallanisotropie und Gefügeanisotropie	81
2.7.2	Elastische und plastische Anisotropie	84
2.8	Bruchvorgänge bei Metallen	90
2.8.1	Bedeutung der Bruchvorgänge	90
2.8.2	Der spröde Bruch	91
2.8.2.1	Theoretische Festigkeit	91
2.8.2.2	Theorie von Griffith	92
2.8.2.3	Rißbildung	93
2.8.2.4	Korngrenzeneinfluß.	93
2.8.2.5	Einfluß des Spannungszustands	93
2.8.3	Der duktile Bruch	94
	Literatur zu Kapitel 2	95
3	Fließkurven, Fließortkurven und Formänderungsvermögen (K. Pöhlant: J. Reissner: G. Schröder)	97
3.0	Einleitung	98
3.1	Definition der Fließkurve	98
3.2	Fließkurven von Einkristallen	100
3.3	Fließkurven vielkristalliner Metalle	100
3.3.1	Korngrenzeneinfluß.	100
3.3.2	Fließkurven bei Raumtemperatur	101
3.3.3	Einfluß von Temperatur und Uniformgeschwindigkeit.	102
3.4	Aufnahme von Fließkurven	104

3.4.1	Zugversuch	104
3.4.1.1	Zugversuch nach DIN 50145.	104
3.4.1.2	Verfahren nach Siebel und Schwaigerer	105
3.4.1.3	Zugversuch nach Reihle	106
3.4.2	Stauchversuch	107
3.4.2.1	Grundbegriffe	107
3.4.2.2	Einfluß der Reibung	108
3.4.2.3	Kontinuierlicher und diskontinuierlicher Stauchversuch	109
3.4.2.4	Zylinderstauchversuch nach Rastegaev	109
3.4.2.5	Einfluß der Umformgeschwindigkeit und der Temperatur	111
3.4.2.6	Flachstauchversuch	111
3.4.3	Verdrehversuch	112
3.4.3.1	Grundbegriffe	112
3.4.3.2	Berechnung der Fließkurve aus den Meßdaten	113
3.4.3.3	Auswirkung des Fließkriteriums	114
3.4.3.4	Das Hauptergebnis des Torsionsversuchs	115
3.4.3.5	Erzielen extrem hoher Umformgeschwindigkeiten.	115
3.4.3.6	Berücksichtigung der Kerbwirkung	116
3.4.3.7	Abwandlungen des Torsionsversuchs	116
3.4.3.8	Fehler beim Torsionsversuch	116
3.4.4	Ermittlung der Fließkurven von Blechwerkstoffen	116
3.4.4.1	Flachzugversuch	116
3.4.4.2	Flachstauchversuch.	117
3.4.4.3	Hydraulischer Tiefungsversuch	117
3.5	Vergleich der Verfahren	118
3.6	Fließkurven wichtiger Werkstoffe	118
3.6.1	Kaltfließkurven	118
3.6.2	Warmfließkurven	122
3.6.3	Vorhersage der Fließkurven von Einsatz- und Vergütungsstählen aus der chemischen Analyse und dem Gefügezustand	124
3.7	Fließkurven und Fließortkurven	125
3.7.1	Aufnahme von Fließortkurven	125
3.7.1.1	Definierte Spannungszustände	125
3.7.1.2	Ebener Formänderungsversuch.	127
3.7.1.3	Texturanalyse	129
3.7.1.4	Knoop-Härtemessung	129
3.7.2	Vergleich der Verfahren	130
3.8	Formänderungsvermögen und Grenzformänderung	131
3.8.1	Formänderungsvermögen	131
3.8.2	Der Begriff „Zähigkeit“ oder „Duktilität“	132
3.8.3	Grenzformänderung	134
	Literatur zu Kapitel 3	135
4	Plastizitätstheoretische Grundlagen (E. Steck; M. Geiger)	139
4.0	Einleitung	139
4.1	Grundlagen der elementaren Plastizitätstheorie	140

4.1.1	Plastizität, Fließgrenze, Verfestigung	140
4.1.2	Bewegungszustand	141
4.1.3	Formänderungen und Formänderungsgeschwindigkeiten	142
4.1.3.1	Dehnungen	142
4.1.3.2	Schiebungen	143
4.1.4	Homogene Umformung, Umformgrad	145
4.1.5	Fließbedingung und Stoffgesetz	149
4.1.6	Formänderungsvermögen	153
4.1.7	Umformleistung und Umformarbeit	154
4.1.8	Vergleichsumformgrad und Vergleichsumformgeschwindigkeit	156
4.1.9	Lösungsverfahren der elementaren Plastizitätstheorie	159
4.1.9.1	Streifentheorie	159
4.1.9.2	Axialsymmetrische Umformung	164
4.1.9.3	Beispiele	166
4.2	Grundlagen und Anwendungen der v. Misesschen Plastizitätstheorie	170
4.2.1	Werkstoffmodelle	170
4.2.2	Spannungszustand und Spannungsverteilung	172
4.2.2.1	Spannungsverteilung und Gleichgewichtsbedingungen	173
4.2.2.2	Transformation des Spannungszustands, Spannungstensor	175
4.2.2.3	Hauptachsen und Invarianten	177
4.2.2.4	Deviator des Spannungszustands und Fließbedingung	178
4.2.3	Bewegungszustand	180
4.2.3.1	Kontinuitätsgleichung	181
4.2.3.2	Formänderungsgeschwindigkeiten	181
4.2.4	Stoffgesetz	183
4.2.5	Sonderfälle des Spannungs- und Formänderungszustands	185
4.2.5.1	Ebener Formänderungszustand	185
4.2.5.2	Vorgänge mit axialer Symmetrie	188
4.2.6	Abgekürzte Schreibweise für kartesische Tensoren	190
4.2.7	Umformleistung	193
4.2.8	Zusammenhang zwischen Fließbedingung und Stoffgesetz; Drucker- sches Postulat	196
4.2.9	Extremalprinzipien der v. Misesschen Theorie	200
4.3	Lösungsverfahren	202
4.3.1	Strenge Lösungen	202
4.3.2	Gleitlinientheorie	202
4.3.3	Schrankenverfahren	209
4.3.4	Fehlerabgleichmethoden	215
4.3.5	Auswertung von im Versuch ermittelten Geschwindigkeitsfeldern („Visioplasticity“)	224
4.3.6	Finite-Elemente-Methode (FEM)	229
4.3.6.1	Elastisches Werkstoffmodell	229
4.3.6.2	Elastisch-plastisches Werkstoffmodell	230
4.3.6.3	Starrplastisches Werkstoffmodell	233
	Literatur zu Kapitel 4	237

5	Tribologische Grundlagen; Oberflächenwandlung (E. Dannenmann; R. Geiger; Th. Gräbner).	239
5.0	Einleitung	239
5.1	Reibung	240
5.1.1	Reibung bei plastischen Formänderungen	240
5.1.2	Folgen der Reibung	241
5.1.3	Reibpartner, Oberflächeneinfluß	242
5.1.4	Mathematische Beschreibung der Reibung	244
5.1.5	Einflußgrößen der Reibung	249
5.2	Schmierung, Oberflächenbehandlung	250
5.2.1	Aufgaben der Schmierung	250
5.2.2	Schmierungszustände	251
5.2.2.1	Festkörperreibung	252
5.2.2.2	Grenzschmierung	253
5.2.2.3	Mischschmierung	254
5.2.2.4	Hydrodynamische Schmierung, Flüssigkeitsschmierung	255
5.2.3	Trenn- und Schmierstoffträgerschichten	256
5.2.3.1	Grundlagen des Zinkphosphatierens	256
5.2.3.2	Oxalieren	258
5.2.4	Schmierstoffe	258
5.2.4.1	Öle und Fette	259
5.2.4.2	Wäßrige Suspensionen	260
5.2.4.3	Seifenschmierstoffe	260
5.2.4.4	Festschmierstoffe	260
5.2.5	Anwendung der Schmierstoffe	261
5.2.6	Schmierstoffprüfung	261
5.2.6.1	Reibungsuntersuchungen in Modellversuchen	265
5.2.6.2	Reibungsuntersuchungen bei Uniformverfahren	273
5.3	Verschleiß	275
5.3.1	Verschleißmechanismen	276
5.3.2	Möglichkeiten zur Minderung des Werkzeugverschleißes	278
5.3.3	Verschleißprüfung	281
5.4	Oberflächenwandlung	284
5.4.0	Begriffe	284
5.4.1	Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit	285
5.4.1.1	Senkrechtmäße	286
5.4.1.2	Waagrechtmäße	288
5.4.1.3	Aussagekraft der Oberflächenmaße; abgeleitete Größen	289
5.4.2	Oberflächenwandlungen beim Kaltumformen	291
5.4.2.1	Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit bei der freien Umformung	291
5.4.2.2	Veränderung der Oberflächenbeschaffenheit bei der gebundenen Umformung	296
	Literatur zu Kapitel 5	303
6	Ermittlung von Verfahrenskennwerten durch Messen (V. Schmidt).	307
6.0	Einleitung	307

6.1	Verfahrenskenngrößen	308
6.1.1	Kraft, Weg und Arbeit	308
6.1.2	Vorgangskenngrößen	309
6.2	Elektrische Messung mechanischer Größen	310
6.2.1	Meßwertaufnehmer	311
6.2.1.1	Wegaufnehmer	311
6.2.1.2	Geschwindigkeitsaufnehmer	314
6.2.1.3	Kraftaufnehmer	315
6.2.1.4	Druckaufnehmer	317
6.2.1.5	Beschleunigungsaufnehmer	318
6.2.1.6	Temperaturmessung	318
6.2.2	Meßwertaufbereitung	321
6.2.2.1	Verstärker	321
6.2.2.2	Meßbrücke	322
6.2.2.3	Elektronische Zähler	323
6.2.2.4	Analog-Digital-Umsetzer	324
6.2.3	Registriergeräte	325
6.2.3.1	Registrierung über der Zeit	325
6.2.3.2	Aufzeichnung von Meßwerten über einem weiteren Meßwert	326
6.2.3.3	Digitale Registrierung und Verarbeitung von Meßwerten	327
6.3	Messung der Vorgangskenngrößen	329
6.3.1	Visioplastizität	329
6.3.2	Messung örtlicher Spannungen	331
6.3.3	Modelltechnik	332
6.3.3.1	Modellwerkstoffe	332
6.3.3.2	Modellverfahren	333
	Literatur zu Kapitel 6	334
7	Grundlagen der Werkzeugmaschinen zum Umformen (E. Dannen- mann: K. Lange)	336
7.0	Einleitung (Aufgabe, Definition)	336
7.1	Kenngrößen von Preßmaschinen	336
7.1.0	Arten von Kenngrößen	338
7.1.1	Kraft- und Energiekenngrößen	339
7.1.2	Zeitkenngrößen	344
7.1.2.1	Zeiten	344
7.1.2.2	Geschwindigkeiten	345
7.1.3	Genauigkeitskenngrößen	347
7.1.3.1	Genauigkeitskenngrößen der unbelasteten Maschine	347
7.1.3.2	Genauigkeitskenngrößen der belasteten Maschine	348
7.1.4	Zusammenstellung der wichtigsten Kenngrößen von Preßmaschinen	358
7.2	Arbeitgebundene Preßmaschinen	359
7.2.1	Hämmer	360
7.2.1.1	Bauarten von Hämmern	361
7.2.1.2	Kennwerte von Hämmern	368
7.2.1.3	Bauelemente von Hämmern	371

7.2.1.4 Steuerungen von Hämmern	377
7.2.2 Spindelpressen	381
7.2.2.1 Antriebsarten und Bewegungsvorgänge	384
7.2.2.2 Energieumsetzung und Wirkungsgrad	388
7.2.2.3 Steuerungen	392
7.2.2.4 Anwendung und Baugrößen von Spindelpressen	393
7.3 Kraftgebundene Preßmaschinen	394
7.3.0 Einleitung	394
7.3.1 Druckflüssigkeiten	397
7.3.1.1 Aufgaben der Druckflüssigkeiten	397
7.3.1.2 Wichtige Eigenschaften der Druckflüssigkeiten	397
7.3.1.3 Schwer entflammbare Druckflüssigkeiten	400
7.3.2 Antriebssysteme	400
7.3.2.1 Pressen mit Förderstromquelle (unmittelbarer Pumpenantrieb)	401
7.3.2.2 Kreisläufe mit Druckquelle (Speicherantrieb)	402
7.3.2.3 Anwendungsgebiete von unmittelbarem Pumpenantrieb ¹ und Speicherantrieb	403
7.3.3 Kenngrößen hydraulischer Pressen	403
7.3.4 Bauarten hydraulischer Pressen	404
7.3.5 Bauelemente	407
7.3.5.1 Pumpen und zugehörige Regeleinrichtungen	407
7.3.5.2 Zylinder	415
7.3.5.3 Hydrospeicher	416
7.3.5.4 Ventile	417
7.3.5.5 Steuerung hydraulischer Pressen	418
7.3.6 Vor- und Nachteile hydraulischer Pressen, Einsatzgebiete	420
7.4 Weggebundene Preßmaschinen	422
7.4.0 Einleitung, Bauarten	423
7.4.1 Kinetisches und kinematisches Verhalten weggebundener Pressen	425
7.4.1.1 Kinetisches und kinematisches Verhalten von weggebundenen Pressen mit geradem, ungeschränktem Schubkurbelgetriebe und unveränderlichem Gesamthub des Stößels (Kurbelpressen)	425
7.4.1.2 Kinetisches und kinematisches Verhalten von weggebundenen Pressen mit geradem, ungeschränktem Schubkurbelgetriebe und veränderlichem Gesamthub des Stößels (Exzenterpressen)	434
7.4.1.3 Kinetisches und kinematisches Verhalten von weggebundenen Pressen mit Schubkurbel-Kniehebel-Getriebe (Kniehebelpressen)	436
7.4.2 Baugruppen weggebundener Pressen	440
7.4.2.1 Gestell	440
7.4.2.2 Antrieb	445
7.5 Schutzeinrichtungen	457
7.5.1 Einrichtungen zum Schutz des arbeitenden Menschen	457
7.5.1.1 Arbeitsweise mit geringen Sicherheitsanforderungen	458
7.5.1.2 Arbeitsweise mit erhöhten Sicherheitsanforderungen	460
7.5.1.3 Arbeitsweise mit hohen Sicherheitsanforderungen	462
7.5.2 Einrichtungen zum Schutz der Maschine gegen Überlastung	464
7.5.2.1 Schutzeinrichtungen an weggebundenen Pressen	464

7.5.2.2	Schutzeinrichtungen an Schwungrad-Spindelpressen	467
7.6	Automatisierungsfragen	468
7.6.1	Die Gegebenheiten	469
7.6.2	Fertigungssysteme	471
7.6.3	Numerische Steuerungen für umformende Fertigungseinrichtungen .	473
7.6.3.1	Definition und Benennung der Steuerungen	473
7.6.3.2	Strukturen von Steuerungen	474
7.6.3.3	Bauarten von NC-Steuerungen	475
7.6.4	Werkstückhandhabung	480
7.6.5	Lösung der Automatisierungsaufgaben	483
7.6.5.1	Einzelmaschinen	484
7.6.5.2	Maschinenfließreihen	485
7.6.5.3	Umformmaschinen für die Klein- und Mittelserienfertigung	488
7.6.5.4	Automatisierung und Fertigungskosten	488
7.6.5.5	Flexible Fertigungssysteme	491
	Literatur zu Kapitel 7	494
8	Arbeitsgenauigkeit (K. Lange)	499
8.0	Begriffe. Allgemeines	499
8.1	Fehler	500
8.1.1	Systematische und zufällige Fehler	500
8.1.2	Werkzeugabhängige und maschinenabhängige Fehler	501
8.1.3	Fehler am Werkstück	502
8.2	Einflüsse auf die Genauigkeit beim Umformen	503
8.2.1	Werkstoff	504
8.2.2	Werkzeug	505
8.2.3	Maschine	506
8.2.4	Arbeitsablauf	509
8.3	Genauigkeit einzelner Verfahren	510
8.3.1	Warmumformen, Kaltumformen	510
8.3.2	Gesenkschnieden.	511
8.3.3	Maßprägen	512
8.3.4	Kaltfließpressen, Kaltmassivumformen	514
8.3.5	Kombination von Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung	517
8.3.6	Feinschneiden	518
8.3.7	Kaltwalzen von Präzisionsprofilen	518
8.4	Toleranzen	519
8.4.1	Toleranzfelder	519
8.4.2	ISO Toleranzen	520
8.5	Normen und Richtlinien für Toleranzen an umgeformten Werkstücken	521
8.5.1	Toleranznormen für Gesenkschmiedestücke aus Stahl (DIN 7526)	522
8.5.2	Toleranzsystem für Kaltumformteile aus Stahl	525
	Literatur zu Kapitel 8	525
	Sachverzeichnis	527