

Heinz Tschätsch

Praxis der Umformtechnik

Arbeitsverfahren,
Maschinen,
Werkzeuge

8. Auflage



Vieweg Praxiswissen

EXTRA
MATERIALS
extras.springer.com

Ihr Partner in allen Fragen der Umformtechnik

Mit über 160 Mitarbeitern und produktionstechnischen Versuchsfeldern von über 7 000 m² in Chemnitz und Dresden gehört das Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU deutschlandweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungseinrichtungen auf dem Gebiet der Produktionstechnik.

Ausgewählte Produkte:

- Werkstückspezifische Technologien
- Umformwerkzeuge
- Flächenintegralbauteile
- Spaceframe-Komponenten
- Metallschaum-Komponenten
- Antriebshohlwellen
- Gebaute Nockenwellen
- Lenkungsbauten
- Funktionsbaugruppen von Werkzeugmaschinen
- Anlagenkonzepte

Ausgewählte Stoffe/Halbzeuge:

- Höherfeste Stahlsorten
- Wölbstrukturierte Bleche
- Aluminiumlegierungen
- Titan- und Magnesiumlegierungen
- Metallschäume
- Metall-Kunststoff-Verbunde

Ausgewählte Methoden:

- Überwachungs- und Regelungssysteme
- Geregelte Mehrpunktumformung
- Feinschneiden
- Mechanische Umformung von Tubes
- Temperiertes Umformen
- Near-net-shape Verzahnungen
- Quer- und Profilwalzen
- Schmieden
- Vorformprozesse, z.B. Freiformbiegen
- HSC-Werkzeugfertigung
- Mikro- und Präzisionsbearbeitung
- Experimentelle Eigenschaftsanalyse

Ausgewählte Systeme:

- Karosseriepressen mit geregelten Ziehkissensystemen
- Tryout-Anlage
- Anlagen für das Innenhochdruck-Umformen
- Flexibles 3-D-Biegezentrum
- Bohrungsdrückmaschine
- 5-Achs-Fräsbearbeitungszentren

Wollen Sie mehr wissen? Nehmen Sie mit uns Kontakt auf!

Fraunhofer-Institut für
Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU
Presse & Öffentlichkeitsarbeit
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon: +49 (0)3 71/53 97-4 36
Fax: +49 (0)3 71/53 97-4 48
E-Mail: info@iwu.fraunhofer.de
www.iwu.fraunhofer.de

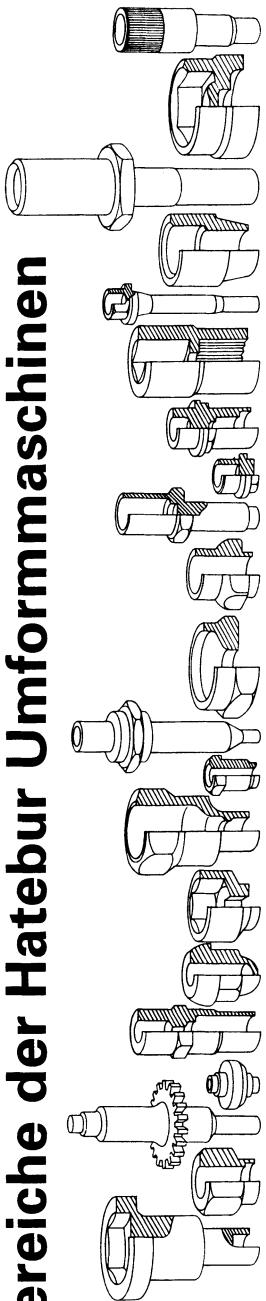


Fraunhofer Institut
Werkzeugmaschinen
und Umformtechnik

Heinz Tschätsch

**Praxis der
Umformtechnik**

Arbeitsbereiche der Hatebur Umformmaschinen



COLDMATIC KALTFORMER
Umformstufen

Max. Draht Ø (bei 600 N/mm² Zugfestigkeit)

Max. Länge des Teiles für Quertransport

Max. Aussendurchmesser je nach Werkstoff, Stadienfolge und Umformgrad

Hubzahl pro Minute (stufenlos regelbar)

AKP 3-5

AKP 4-5

AKP 4-6 S

AKP 5-5

5

14 mm

90 mm

ca. 22 mm

150-210

ca. 30 mm

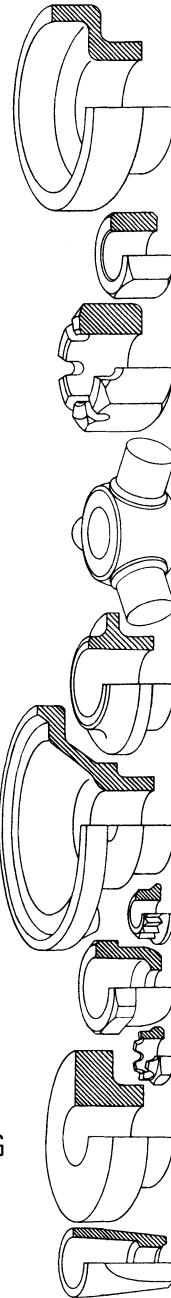
110-160

ca. 30 mm

110-160

ca. 42 mm

80-120



HOTMATIC WARMFORMER
Umformstufen

Einsatzgewicht

Max. Aussendurchmesser für runde Teile aus Stahl

Max. Schlüsselweite (Sechskant) aus Stahl

Max. Stangendurchmesser

Hubzahl pro Minute (stufenlos regelbar)

AMP 20 S

AMP 30 S

AMP 40 S

AMP 50 XL

HM 75 (XL)

–

–

–

–

–

–

–

–

Hatebur Umformmaschinen AG
Tel. +41 61 716 21 11
Fax +41 61 716 21 31
E-Mail: hatebur@hatebur.ch
www.hatebur.com

HATEBUR®
CH-4153 Reinach (Schweiz)

Heinz Tschätsch

Praxis der Umformtechnik

Arbeitsverfahren, Maschinen, Werkzeuge

8., aktualisierte und erweiterte Auflage

Unter Mitarbeit von Jochen Dietrich

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH



Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Prof. Dr.-Ing. E.h. Heinz Tschätsch, Bad Reichenhall, war lange Jahre in leitenden Stellungen der Industrie als Betriebs- und Werkleiter und danach Professor für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik an der FH Coburg und FH Konstanz.

Diese Auflage entstand unter Mitarbeit von Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Jochen Dietrich, Dozent für Fertigungs- und CNC-Technik an der Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden.

Bis zur 4. Auflage erschien das Buch unter dem Titel *Handbuch Umformtechnik* im Hoppenstedt Verlag, Darmstadt.

In der 5. Auflage erschien das Buch unter dem Titel *Praxiswissen Umformtechnik* im Vieweg Verlag.

- 5., überarbeitete und erweiterte Auflage 1997
- 6., aktualisierte und erweiterte Auflage April 2001
- 7., verbesserte und erweiterte Auflage Juni 2003
- 8., aktualisierte und erweiterte Auflage November 2005

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 2005

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2005.

Softcover reprint of the hardcover 8th edition 2005

Lektorat: Thomas Zipsner

www.vieweg.de

Additional material to this book can be downloaded from <http://extras.springer.com>.



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Technische Redaktion: Hartmut Kühn von Burgsdorf, Wiesbaden

Gedruckt auf säurefreiem und chlorkrei gebleichtem Papier.

ISBN 978-3-322-99433-2 ISBN 978-3-322-99432-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99432-5

Vorwort

Das Buch „Praxiswissen Umformtechnik“, dass für die 8. Auflage überarbeitet wurde, zeigt den neuesten Stand der Technik auf dem Sektor der Umformtechnik.

Im Teil I werden die Umform- und Trennverfahren abgehandelt. Es werden die wichtigsten Merkmale der Verfahren, die dazu notwendigen Werkzeuge und die Einsatzgebiete beschrieben. An praktischen Beispielen wird gezeigt, wie man die erforderlichen Umformkräfte und Formänderungsarbeiten rechnerisch bestimmen kann.

Im Teil II werden Umformmaschinen beschrieben und gezeigt, wie man ihre Kenngrößen rechnerisch bestimmen kann.

In diesem Teil werden auch die flexiblen Fertigungssysteme in der Umformtechnik und die zur Vollautomatisierung erforderlichen Handlingsysteme (automatische Werkzeugwechsel- und Werkstück-Zubringersysteme), vorgestellt.

Teil III enthält Tabellen und Fließkurven, mit Zahlenangaben, die zur Berechnung von Umformkräften und Formänderungsarbeiten erforderlich sind.

Die moderne CNC-Technik in den Steuerungen dieser weitestgehend automatisierten Fertigungsanlagen vermindert die Neben- und Rüstzeiten und damit auch die Herstellkosten. Außer diesen wirtschaftlichen Vorteilen, sind aber auch die technischen Vorteile, wie:

- Materialeinsparung
- optimaler Faserverlauf
- Kaltverfestigung beim Kaltumformen

wichtige Gründe für den Einsatz der Umformverfahren.

Das Buch stellt die wichtigsten Umform- und Trennverfahren und die dazugehörigen Werkzeuge und Maschinen in einer gerafften Form vor. In Kap. 15.4 wurde die inkrementale Blechumformung neu aufgenommen.

Für den Techniker im Betrieb soll es ein Nachschlagwerk sein, in dem er sich schnell orientieren kann. Der Student hat mit diesem Buch ein Skriptum, das ihm im Hörsaal Schreibarbeit erspart und dadurch ein aufmerksames Anhören der Vorlesung ermöglicht.

Besonderen Dank für die Mitgestaltung ab der 6. Auflage als Co-Autor, sage ich meinem Kollegen, Prof. Dr.-Ing. Prof. eh. Jochen Dietrich, Dozent für Fertigungsverfahren und CNC-Technik, an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (FH), Dresden.

Dank sage ich auch Herrn Dr.-Ing. Mauermann vom Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik, Chemnitz, für seine Mitarbeit an der 7. Auflage des Buches.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Begriffe, Formelzeichen und Einheiten	1
Teil I Umform- und Trennverfahren	3
1 Einteilung der Fertigungsverfahren	5
2 Begriffe und Kenngrößen der Umformtechnik	7
2.1 Plastische (bleibende) Verformung.....	7
2.2 Formänderungsfestigkeit	8
2.3 Formänderungswiderstand.....	10
2.4 Formänderungsvermögen	11
2.5 Formänderungsgrad und Hauptformänderung.....	11
2.6 Formänderungsgeschwindigkeit.....	14
2.7 Testfragen	14
3 Oberflächenbehandlung	15
3.1 Kalt-Massivumformung.....	15
3.2 Kalt-Blechumformung	16
3.3 Warmformgebung	17
3.4 Testfragen	17
4 Stauchen	18
4.1 Definition	18
4.2 Anwendung.....	18
4.3 Ausgangsrohling	18
4.4 Zulässige Formänderungen.....	19
4.5 Stauchkraft	23
4.6 Staucharbeit	23
4.7 Stauchwerkzeuge	24
4.8 Erreichbare Genauigkeiten	26
4.9 Fehler beim Stauchen.....	27
4.10 Berechnungsbeispiele	27
4.11 Testfragen	32
5 Fließpressen	33
5.1 Definition	33
5.2 Anwendung eines Verfahrens.....	33
5.3 Unterteilung des Fließpressverfahrens.....	34
5.4 Ausgangsrohling	35
5.5 Hauptformänderung	35
5.6 Kraft- und Arbeitsberechnung	36
5.7 Fließpresswerkzeuge	38
5.8 Armierungsberechnung nach VDI 3186 Bl. 3 für einfach armierte Pressbüchsen	39
5.9 Erreichbare Genauigkeiten	42
5.10 Fehler beim Fließpressen	43

5.11	Stadienplan	43
5.12	Berechnungsbeispiele	44
5.13	Formenordnung	49
5.14	Testfragen	55
6	Gewindewalzen und Verzahnungswalzen	56
6.1	Unterteilung der Verfahren	56
6.2	Anwendung der Verfahren	58
6.3	Vorteile des Gewindewalzens	59
6.4	Bestimmung des Ausgangsdurchmessers	60
6.5	Rollgeschwindigkeiten mit Rundwerkzeugen	61
6.6	Walzwerkzeuge	61
6.7	Beispiel	63
6.8	Gewindewalzmaschinen	64
6.9	Testfragen	68
6.10	Verfahren und Maschinen für das Walzen von Verzahnungen	69
7	Kalteinsenken	77
7.1	Definition	77
7.2	Anwendung des Verfahrens	77
7.3	Zulässige Formänderungen	78
7.4	Kraft- und Arbeitsberechnung	78
7.5	Einsenkbare Werkstoffe	79
7.6	Einsenkgeschwindigkeit	80
7.7	Schmierung beim Kalteinsenken	80
7.8	Gestaltung der einzusenkenden Werkstücke	80
7.9	Einsenkerzeug	81
7.10	Vorteile des Kalteinsenkens	82
7.11	Fehler beim Kalteinsenken	83
7.12	Maschinen für das Kalteinsenken	83
7.13	Berechnungsbeispiele	84
7.14	Testfragen	85
8	Massivprägen	86
8.1	Definition	86
8.2	Unterteilung und Anwendung der Massivprägeverfahren	86
8.3	Kraft- und Arbeitsberechnung	87
8.4	Werkzeuge	88
8.5	Fehler beim Massivprägen	89
8.6	Beispiel	89
8.7	Testfragen	90
9	Abstreckziehen	91
9.1	Definition	91
9.2	Anwendung des Verfahrens	91
9.3	Ausgangsrohling	91
9.4	Hauptformänderung	91
9.5	Kraft- und Arbeitsberechnung	93
9.6	Beispiel	93
9.7	Testfragen	94

10 Drahtziehen	95
10.1 Definition	95
10.2 Anwendung	95
10.3 Ausgangsmaterial	96
10.4 Hauptformänderung	96
10.5 Zulässige Formänderungen	96
10.6 Ziehkraft	97
10.7 Ziehgeschwindigkeiten	97
10.8 Antriebsleistung	99
10.9 Ziehwerkzeuge	100
10.10 Beispiel	102
10.11 Testfragen	104
11 Rohrziehen	105
11.1 Definition	105
11.2 Rohrziehverfahren	105
11.3 Hauptformänderung und Ziehkraft	106
11.4 Ziehwerkzeuge	107
11.5 Beispiel	108
11.6 Testfragen	108
12 Strangpressen	109
12.1 Definition	109
12.2 Anwendung	109
12.3 Ausgangsmaterial	110
12.4 Strangpressverfahren	110
12.5 Hauptformänderung	113
12.6 Formänderungsgeschwindigkeiten	113
12.7 Presskraft	114
12.8 Arbeit	116
12.9 Werkzeuge	118
12.10 Strangpressmaschinen	120
12.11 Beispiel	121
12.12 Testfragen	122
13 Gesenkschmieden	123
13.1 Definition	123
13.2 Ausgangsröhling	123
13.3 Unterteilung und Anwendung des Verfahrens	124
13.4 Vorgänge im Gesenk	126
13.5 Kraft- und Arbeitsberechnung	127
13.6 Werkzeuge	132
13.7 Gestaltung von Gesenkschmiedeteilen	136
13.8 Erreichbare Genauigkeiten	137
13.9 Beispiel	137
13.10 Testfragen	139
14 Tiefziehen	141
14.1 Definition	141
14.2 Anwendung des Verfahrens	141
14.3 Umformvorgang und Spannungsverteilung	142

14.4	Ausgangsrohling	143
14.5	Zulässige Formänderung	150
14.6	Zugabstufung	152
14.7	Berechnung der Ziehkraft	154
14.8	Niederhalterkraft	155
14.9	Zieharbeit	156
14.10	Ziehwerkzeuge	158
14.11	Erreichbare Genauigkeiten	166
14.12	Tiefziehfehler	167
14.13	Beispiel	169
14.14	Hydromechanisches Tiefziehen	172
14.15	Außenhochdruckumformen	174
14.16	Innenhochdruckumformen	179
14.17	Testfragen	184
15	Ziehen ohne Niederhalter und Drücken	185
15.1	Ziehen ohne Niederhalter	185
15.2	Drücken	186
15.3	Testfragen	192
15.4	Inkrementale Blechumformung	193
16	Biegen	194
16.1	Definition	194
16.2	Anwendung des Verfahrens	194
16.3	Biegeverfahren	194
16.4	Grenzen der Biegeumformung	195
16.5	Rückfederung	197
16.6	Ermittlung der Zuschnittslänge	198
16.7	Biegekraft	199
16.8	Biegearbeit	201
16.9	Biegewerkzeuge	203
16.10	Biegefehler	204
16.11	Beispiel	204
16.12	Biegemaschinen	205
16.13	Testfragen	211
17	Hohlprägen	212
17.1	Definition	212
17.2	Anwendung des Verfahrens	212
17.3	Kraft- und Arbeitsberechnung	213
17.4	Werkzeuge zum Hohlprägen	216
17.5	Prägefehler	217
17.6	Beispiel	217
17.7	Testfragen	217
18	Schneiden (Zerteilen)	218
18.1	Definition	218
18.2	Ablauf des Schneidvorganges	218
18.3	Unterteilung der Schneidverfahren	219
18.4	Zulässige Formänderung	220
18.5	Kraft- und Arbeitsberechnung	220

18.6	Resultierende Wirkungslinie	222
18.7	Schneidspalt	225
18.8	Steg- und Randbreiten	227
18.9	Erreichbare Genauigkeiten	228
18.10	Schneidwerkzeuge	229
18.11	Beispiel	238
18.12	Testfragen	240
19	Feinschneiden (Genauschneiden)	241
19.1	Definition	241
19.2	Einsatzgebiete	241
19.3	Ablauf des Schneidvorganges	241
19.4	Aufbau des Feinstanzwerkzeuges	242
19.5	Schneidspalt	242
19.6	Kräfte beim Feinschneiden	243
19.7	Feinschneidpressen	244
19.8	Testfragen	246
19.9	Laserschneidmaschinen	247
20	Fügen durch Umformen	249
20.1	Clinchen	250
20.2	Vollstanznieten	254
20.3	Halbhohlstanznieten	257

Teil II Pressmaschinen

21	Unterteilung der Pressmaschinen	262
21.1	Arbeitgebundene Maschinen	262
21.2	Weggebundene Maschinen	262
21.3	Kraftgebundene Maschinen	263
21.4	Testfragen	263
22	Hämmer	264
22.1	Ständer und Gestelle	264
22.2	Unterteilung der Hämmer	264
22.3	Konstruktiver Aufbau und Berechnung der Schlagenergie	266
22.4	Einsatzgebiete der Hämmer	273
22.5	Beispiel	274
22.6	Testfragen	274
23	Spindelpressen	275
23.1	Konstruktive Ausführungsformen	275
23.2	Wirkungsweise der einzelnen Bauformen	276
23.3	Berechnung der Kenngrößen für Spindelpressen	287
23.4	Vorteile der Spindelpressen	291
23.5	Typische Einsatzgebiete der Spindelpressen	291
23.6	Beispiele	292
23.7	Testfragen	294
24	Exzenter- und Kurbelpressen	295
24.1	Unterteilung dieser Pressen	295
24.2	Gestellwerkstoffe	298

24.3	Körperfederung und Federungsarbeit	299
24.4	Antriebe der Exzenter- und Kurbelpressen	300
24.5	Berechnung der Kenngrößen	306
24.6	Beispiel	310
24.7	Einsatz der Exzenter- und Kurbelpressen	312
24.8	Testfragen	312
25	Kniehebelpressen	313
25.1	Kniehebelpressen mit Einpunktantrieb	313
25.2	Kniehebelpressen mit modifiziertem Kniehebelantrieb	314
25.3	Liegende Kniehebelpressen	317
25.4	Testfragen	317
26	Hydraulische Pressen	318
26.1	Antrieb der hydraulischen Pressen	318
26.2	Beispiel	320
26.3	Vorteile der hydraulischen Pressen	321
26.4	Praktischer Einsatz der hydraulischen Pressen	321
26.5	Testfragen	324
27	Sonderpressen	325
27.1	Stufenziehpressen	325
27.2	Mehrstufenpressen für die Massivumformung	331
27.3	Stanzautomaten	339
27.4	Testfragen	344
28	Werkstück- bzw. Werkstoffzuführungssysteme	345
28.1	Zuführeinrichtungen für den Stanzereibetrieb	345
28.2	Transporteinrichtungen in Stufenziehpressen	346
28.3	Transporteinrichtungen für Mehrstufenpressen-Massivumformung	347
28.4	Zuführeinrichtungen für Ronden und Platinen	348
28.5	Zuführeinrichtungen zur schrittweisen Zuführung von Einzelwerkstücken	348
28.6	Zuführeinrichtungen zur Beschickung von Schmiedemaschinen	349
28.7	Testfragen	349
29	Weiterentwicklung der Umformmaschinen und der Werkzeugwechselsysteme	351
29.1	Flexible Fertigungssysteme	351
29.2	Automatische Werkzeugwechselsysteme	362
Teil III Tabellen	367	
Literaturverzeichnis	403	
Anhang Werkstoffbezeichnung	408	
Sachwortverzeichnis	416	

Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheit (Auswahl)
Arbeit, mechanische	W	Nm
Kraft (Presskraft)	F	N
Ziehkraft	F_Z	N
Niederhalterkraft	F_N	N
Geschwindigkeit	v	m/s, m/min
Umformgeschwindigkeit	$\dot{\varphi}$	s ⁻¹
Druck	p	Pa, bar
Schubspannung	τ	N/mm ²
Zugspannung	R, σ	N/mm ²
Zugfestigkeit	R_m	N/mm ²
Streckgrenzenfestigkeit	R_e	N/mm ²
Dehngrenze	$R_{P_{0,2}}$	N/mm ²
Dehnung	ε	m/m, %
Formänderungsfestigkeit	k_f	N/mm ²
Formänderungsfestigkeit vor der Umformung (Kaltverformung)	k_{f_0}	N/mm ²
Formänderungsfestigkeit nach der Umformung (Kaltverformung)	k_{f_1}	N/mm ²
Fließwiderstand	p_{fl}	N/mm ²
Formänderungswiderstand	k_w	N/mm ²
Elastizitätsmodul	E	N/mm ²
Dichte	ρ	t/m ³ , kg/dm ³ , g/cm ³
Rohlingslänge vor der Umformung	h_0, l_0	m, mm
Rohlingslänge nach der Umformung	h_1, l_1	m, mm
Fläche	A	m ² , mm ²
Fläche vor der Umformung	A_0	m ² , mm ²
Fläche nach der Umformung	A_1	m ² , mm ²
Volumen	V	m ³ , mm ³
Umformtemperatur	T	K, °C
Reibungszahl	μ	–

Größe	Formelzeichen	Einheit (Auswahl)
Wirkungsgrad	η	–
Formänderungswirkungsgrad	η_F	–
Schlagwirkung (bei Hämmern)	η_s	–
Leistung	P	Nm/s, W
Beschleunigung	a, g	m/s ²
Hubzahl bei Pressen	n	min ⁻¹ , s ⁻¹
Hubgröße	H, h	m, mm
Massenträgheitsmoment	I_d, θ	kgm ²
Masse	m	kg
Winkelgeschwindigkeit	ω	s ⁻¹
Drehmoment	M	Nm, J
Tangentialkraft (bei Kurbelpressen)	T_p	N
Kurbelwinkel (bei Kurbelpressen)	α	°

Teil I: Umform- und Trennverfahren

1 Einteilung der Fertigungsverfahren

Nach DIN 8580 werden die Fertigungsverfahren in 6 Hauptgruppen unterteilt.

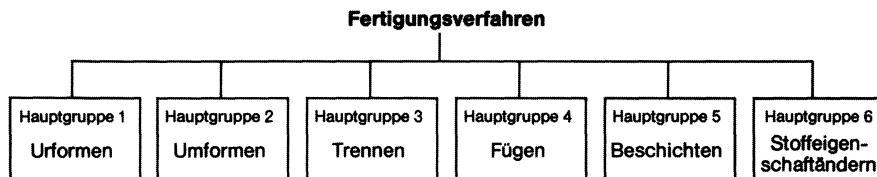


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren

Von diesen 6 Hauptgruppen werden in diesem Buch die Umformverfahren (Bild 1.2) und die Trennverfahren (Bild 1.3) besprochen.

Umformen ist nach DIN 8580 ein Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers.

Dabei werden sowohl die Masse als auch der Werkstoffzusammenhang beibehalten.

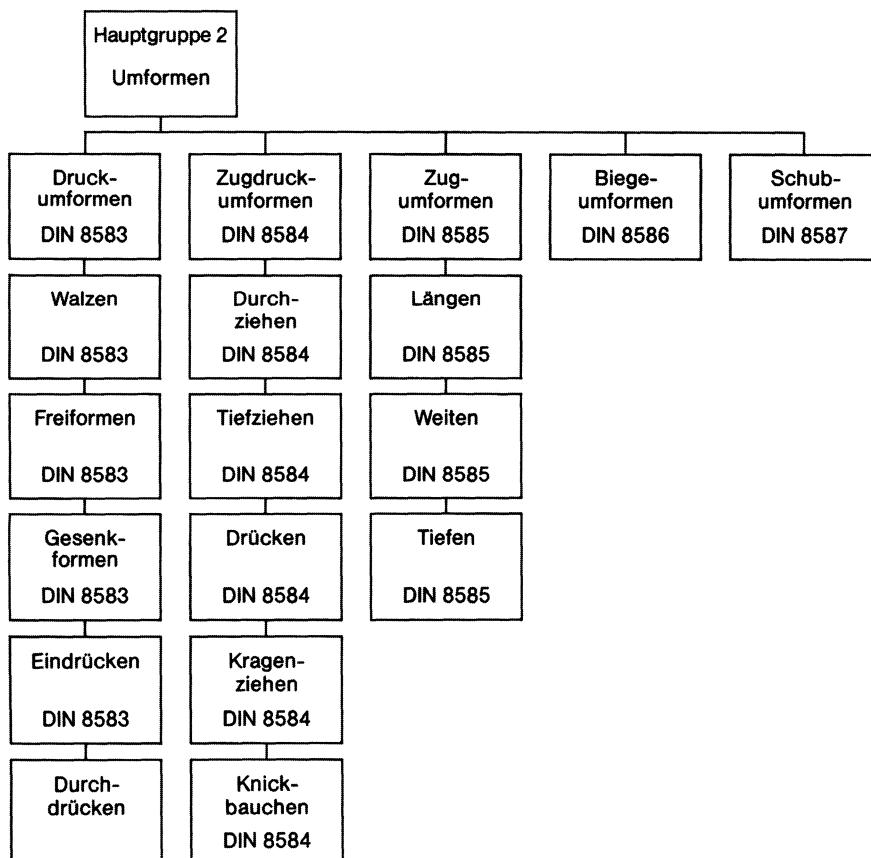
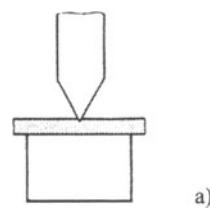


Bild 1.2 Unterteilung der Umformverfahren

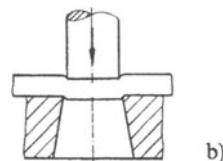
Trennen ist nach DIN 8588 ein Zerteilen benachbarter Teile eines Werkstückes, oder das Trennen ganzer Werkstücke voneinander, ohne dass dabei Späne entstehen.

Bei den Zerteilverfahren unterscheidet man nach Ausbildung der Schneiden zwischen Scherschneiden und Keilschneiden.

Industriell hat das Zerteilen mit Scherschneiden die größere Bedeutung (Bild 1.4).



a)



b)

Hauptgruppe 3
spanloses Trennen
Scherschneiden
DIN 8588

Abschneiden

Bild 1.4 (oben) Zerteilen.
a) Keilschneiden, b) Scherschneiden

Ausschneiden

Einschneiden

Beschneiden

Be- und Nachschneiden

Lochen

Bild 1.3
(links) Unterteilung der Trennverfahren

2 Begriffe und Kenngrößen der Umformtechnik

2.1 Plastische (bleibende) Verformung

Im Gegensatz zur elastischen Verformung, bei der z. B. ein auf Zug beanspruchter Stab in seine Ursprungslänge zurückgeht, wenn ein bestimmter Grenzwert (Dehngrenze des Werkstoffes $R_{p0,2}$ -Grenze) nicht überschritten wird, nimmt das plastisch verformte Werkstück die Form bleibend an.

Im elastischen Bereich gilt:

$$\sigma_Z = \varepsilon \cdot E$$
$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_0 - l_1}{l_0}$$

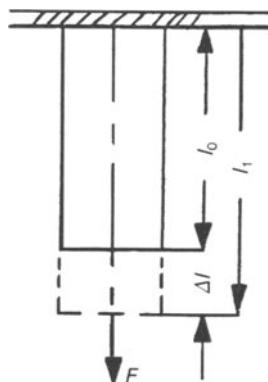


Bild 2.1 Zerreißstab – Längenänderung bei Belastung

σ_Z in N/mm ²	Zugspannung
ε in –	Dehnung
l_0 in mm	Ausgangslänge
l_1 in mm	Länge bei Krafteinwirkung
Δl in mm	Verlängerung
R_m in N/mm ²	Zugfestigkeit (früher σ_B)
R_e in N/mm ²	Festigkeit an der Streckgrenze (früher σ_S)
E in N/mm ²	Elastizitätsmodul.

Im plastischen Bereich,

wird eine bleibende Verformung durch Schubspannungen ausreichender Größe ausgelöst. Dadurch verändern die Atome der Reihe A₁ (Bild 2.2) ihre Gleichgewichtslage gegenüber der Reihe A₂. Die Größe der Verschiebung ist proportional der Größe der Schubspannung τ .

Ist die wirksame Schubspannung kleiner als τ_f (τ_f -Fließschubspannung), dann ist $m < a/2$ und die Atome nehmen nach Entlastung wieder ihre ursprüngliche Lage ein – elastische Verformung.

Wird aber der Grenzwert der Fließschubspannung überschritten, dann wird $m > a/2$ bzw. $m > n$, die Atome gelangen in den Anziehungsbereich des Nachbaratoms und es tritt eine neue bleibende Gleichgewichtslage ein – plastische Verformung.

Den Grenzwert, der überschritten werden muss, bezeichnet man als Plastizitätsbedingung und die zugeordnete Festigkeit als

Formänderungsfestigkeit k_f

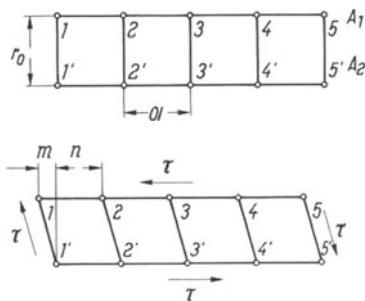


Bild 2.2 Ideeller Vorgang der Lageänderung der Atome

2.2 Formänderungsfestigkeit k_f in N/mm²

2.2.1 Kaltverformung

Bei der Kaltverformung ist k_f nur von der Größe der Verformung φ_h (Hauptformänderung) und vom zu verformenden Werkstoff abhängig. Das Diagramm (Bild 2.3) dass die Formänderungsfestigkeit in Abhängigkeit von der Größe der Formänderung zeigt, bezeichnet man als Fließkurve.

Sie kennzeichnet das Verfestigungsverhalten eines Werkstoffes. Die Fließkurven lassen sich mit der folgenden Gleichung annähernd darstellen.

$$k_f = k_{f_0} 100\% \cdot \varphi^n = c \cdot \varphi^n$$

n – Verfestigungskoeffizient

c – entspricht k_{f_1} bei $\varphi = 1$ bzw. bei $\varphi = 100\%$

k_{f_0} – Formänderungsfestigkeit vor der Umformung für $\varphi = 0$.

Mittlere Formänderungsfestigkeit k_{f_m}

Für die Kraft- und Arbeitsberechnung benötigt man bei einigen Arbeitsverfahren die sogenannte mittlere Formänderungsfestigkeit. Sie kann näherungsweise bestimmt werden aus:

$$k_{f_m} = \frac{k_{f_0} + k_{f_1}}{2}$$

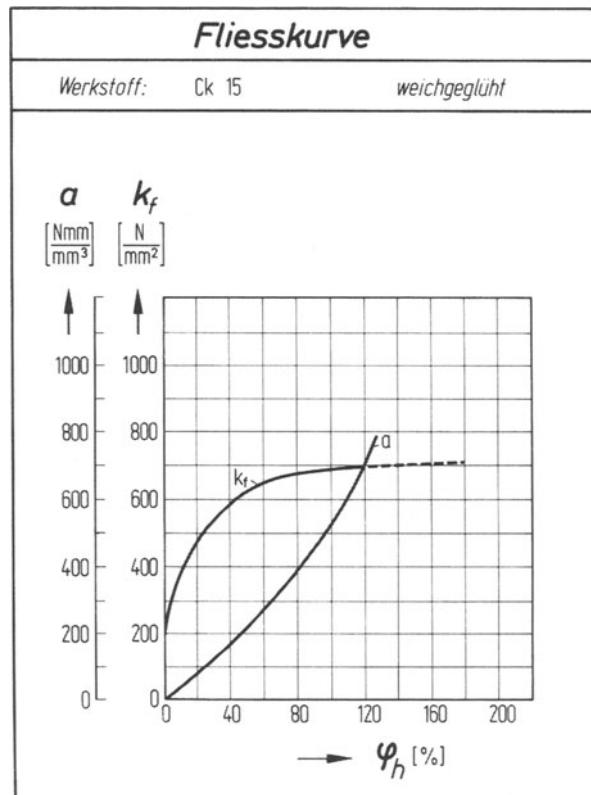
k_{f_m} in N/mm² mittlere Formänderungsfestigkeit

k_{f_0} in N/mm² Formänderungsfestigkeit für $\varphi = 0$

k_{f_1} in N/mm² Formänderungsfestigkeit am Ende der Umformung ($\varphi_h = \varphi_{max}$).

Bild 2.3

Fließkurve – Kaltverformung.
 $k_f = f(\varphi_h)$ $a = f(\varphi_h) a$ in Nmm/mm³
 bezogene Formänderungsarbeit



2.2.2 Warmverformung

Bei der Warmverformung oberhalb der Rekristallisationstemperatur ist k_f unabhängig von der Größe des Formänderungsgrades φ . Hier ist k_f abhängig von der Formänderungsgeschwindigkeit $\dot{\varphi}$ (Bild 2.4), von der Formänderungstemperatur (Bild 2.5) und vom zu verformenden Werkstoff.

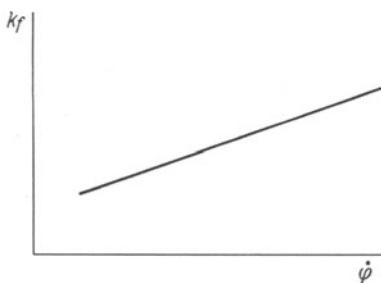


Bild 2.4 $k_f = f(\dot{\varphi})$ bei der Warmverformung

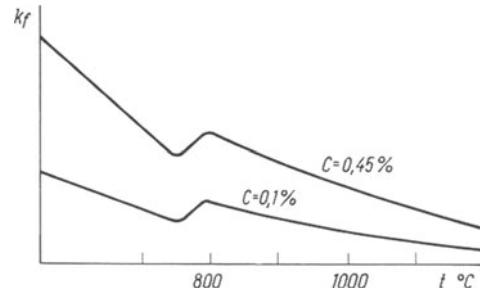


Bild 2.5 $k_f = f(t)$ (Temperatur und vom Werkstoff) bei der Warmverformung. Bei höheregekohlten Stählen fällt k_f steiler ab als bei niedergekohlten Stählen

Bei großen Umformgeschwindigkeiten wird k_f bei der Warmverformung größer, weil die durch die Rekristallisation entstehenden Entfestigungsvorgänge nicht mehr vollständig ablaufen.

2.2.3 Berechnung der Formänderungsfestigkeit $k_{f_{HW}}$ für die Halbwarmumformung

$$k_{f_{HW}} = c \cdot \varphi_h^n \cdot \dot{\varphi}^m \quad | \quad c = \frac{1400 - T}{3}$$

$k_{f_{HW}}$	in N/mm ²	Formänderungsfestigkeit bei Halbwarmumformung
T	in °C	Temperatur bei Halbwarmumformung
c	in N/mm ²	empirischer Berechnungsfaktor
φ_h	–	Hauptformänderung
n	–	Exponent von φ_h
$\dot{\varphi}$	in s ⁻¹	Umformgeschwindigkeit
m	–	Exponent von $\dot{\varphi}$

Tabelle 2.1 Exponenten und Halbwarmumformtemperaturen

Werkstoff	n	m	T °C	C
C 15	0,1	0,08	500	300
C 22	0,09	0,09	500	300
C 35	0,08	0,10	550	283
C 45	0,07	0,11	550	283
C 60	0,06	0,12	600	267
X 10 Cr 13	0,05	0,13	600	267

Beispiel:

gegeben: Werkstoff C 60
 Arbeitstemperatur: $T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$
 Hauptformänderung: $\varphi_h = 1,10 = 110 \text{ \%}$
 Formänderungsgeschwindigkeit $\dot{\varphi} = 250 \text{ s}^{-1}$

Lösung:

$c = 267, n = 0,06, m = 0,12$ aus Tabelle 2.1

$$k_{f_{HW}} = c \cdot \varphi_h^n \cdot \dot{\varphi}^m = 267 \cdot 1,1^{0,06} \cdot 250^{0,12}$$

$$k_{f_{HW}} = 267 \cdot 1,0 \cdot 1,94 = \underline{\underline{515 \text{ N/mm}^2}}$$

2.3 Formänderungswiderstand k_w

Der bei einer Formänderung zu überwindende Widerstand setzt sich aus der Formänderungsfestigkeit und den Reibwiderständen im Werkzeug, die man unter dem Begriff »Fließwiderstand« zusammenfasst, zusammen.

$$k_w = k_f + p_{fl}$$

- k_w in N/mm² Formänderungswiderstand
 k_f in N/mm² Formänderungsfestigkeit
 p_{fl} in N/mm² Fließwiderstand

Für rotationssymmetrische Teile kann man den Fließwiderstand p_{fl} rechnerisch bestimmen.

$$p_{fl} = \frac{1}{3} \mu \cdot k_{f_l} \frac{d_1}{h_l}$$

Daraus folgt für den Formänderungswiderstand k_w

$$k_w = k_{f_l} \left(1 + \frac{1}{3} \mu \cdot \frac{d_1}{h_l} \right)$$

- k_{f_l} in N/mm² Formänderungsfestigkeit am Ende der Umformung
 d_0 in mm Durchmesser vor der Umformung
 h_0 in mm Höhe vor der Umformung (Bild 4.6)
 μ – Reibungskoeffizient ($\mu = 0,15$)
 d_1 in mm Durchmesser nach der Umformung
 h_1 in mm Höhe nach der Umformung
 η_F – Formänderungswirkungsgrad.

Für asymmetrische Teile, die mathematisch nur bedingt erfassbar sind, bestimmt man den Formänderungswiderstand mit Hilfe des Formänderungswirkungsgrades

$$k_w = \frac{k_{f_l}}{\eta_F} .$$

2.4 Formänderungsvermögen

Darunter versteht man die Fähigkeit eines Werkstoffes sich umformen zu lassen. Es ist abhängig von:

2.4.1 Chemischer Zusammensetzung

Bei Stählen ist z. B. die Kaltformbarkeit abhängig vom C-Gehalt, den Legierungsbestandteilen (Ni, Cr, Va, Mo, Mn) und dem Phosphor-Gehalt. Je größer der C-Gehalt, der P-Gehalt und die Legierungsanteile, um so kleiner ist das Formänderungsvermögen.

2.4.2 Gefügeausbildung

Hier sind die Korngröße und vor allem die Perlitausbildung von Bedeutung.

- Korngröße

Stähle sollen möglichst feinkörnig sein, weil sich bei Stählen mit kleiner bis mittlerer Korngröße die Kristallite auf den kristallinen Gleitebenen leichter verschieben lassen.

- Perlitausbildung

Perlit ist der Kohlenstoffträger im Stahl. Er ist schlecht verformbar. Deshalb ist es wichtig, dass der Perlit in der gut kaltverformbaren ferritischen Grundmasse gleichmäßig verteilt ist.

2.4.3 Wärmebehandlung

Ein gleichmäßig verteiltes Gefüge erhält man durch eine Normalisierungsglühung (über Ac₃) mit rascher Abkühlung. Die dabei entstehende Härte wird durch eine anschließende Weichglühung (um Ac₁) aufgehoben.

Beachten Sie! Nur weichgeglühtes Material kann kaltverformt werden.

2.5 Formänderungsgrad und Hauptformänderung

2.5.1 Massivumformverfahren

Das Maß für die Größe einer Formänderung ist der Formänderungsgrad. Die Berechnung erfolgt allgemein aus dem Verhältnis einer unendlich kleinen Abmessungsdifferenz dx auf eine vorhandene Abmessung x. Durch Integration in den Grenzen x₀ bis x₁ erhält man

$$\varphi_x = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x} = \ln \frac{x_1}{x_0}.$$

Dabei wird vorausgesetzt, dass das Volumen des umzuformenden Körpers bei der Umformung konstant bleibt.

$$V = l_0 \cdot b_0 \cdot h_0 = l_1 \cdot b_1 \cdot h_1.$$

Je nach dem welche Größe sich bei der Umformung am stärksten ändert, unterscheidet man (Bild 2.6) zwischen

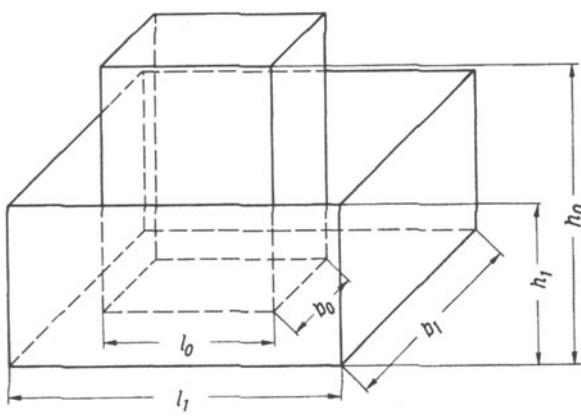


Bild 2.6

Quader vor der Umformung mit den Maßen h_0, b_0, l_0 und nach der Umformung mit den Maßen h_1, b_1, l_1

$$\text{Stauchungsgrad } \varphi_1 = \ln \frac{h_1}{h_0}$$

$$\text{Breitungsgrad } \varphi_2 = \ln \frac{b_1}{b_0}$$

$$\text{Längungsgrad } \varphi_3 = \ln \frac{l_1}{l_0}$$

Wenn die Querschnittsänderung oder die Wanddickenänderung dominierende Größen sind, kann man φ auch aus diesen Größen bestimmen.

$$\text{bei Wanddickenänderung } \varphi = \ln \frac{s_1}{s_0}$$

$$\text{bei Querschnittsänderung } \varphi = \ln \frac{A_1}{A_0} .$$

Die Summe der drei Formänderungen in den drei Hauptrichtungen (Länge, Breite, Höhe) ist gleich Null. Was an Höhe verloren geht, wird an Breite und Länge gewonnen – Bild 2.6.

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$$

D. h. eine von diesen drei Formänderungen ist gleich der negativen Summe der beiden anderen.

$$\text{Z. B. } \varphi_1 = -(\varphi_2 + \varphi_3).$$

Diese größte Formänderung bezeichnet man als **Hauptformänderung** « φ_h ».

Sie charakterisiert die Arbeitsverfahren und geht in die Kraft- und Arbeitsberechnung ein.

Sie ist das Maß für die Größe einer Umformung.

Welche Umformung ein Werkstoff ertragen kann, d. h. wie groß sein Formänderungsvermögen ist, kann man aus Richtwerttabellen, aus denen man die zulässigen Formänderungen φ_h zul ablesen kann, entnehmen.

Nur wenn die tatsächliche Formänderung bei der Herstellung eines Werkstückes gleich oder kleiner ist als φ_h zul, kann das Werkstück in einem Arbeitsgang hergestellt werden. Andernfalls sind mehrere Arbeitsgänge mit Zwischenglühung (Weichglühung) erforderlich.

2.5.2 Blechumformung

Beim Tiefziehen kann man z. B. die Anzahl der erforderlichen Züge aus dem Ziehverhältnis β bestimmen.

$$\beta = \frac{D}{d} = \frac{\text{Rondendurchmesser}}{\text{Stempeldurchmesser}} .$$

Da beim Tiefziehen die Größen D und d für ein bestimmtes Werkstück bekannt sind, lässt sich daraus β berechnen.

Auch hier entnimmt man aus Richtwerttabellen (siehe Kapitel Tiefziehen) das zulässige Ziehverhältnis β_{zul} und vergleicht es mit dem errechneten Ziehverhältnis. Nur dann, wenn β gleich oder kleiner ist als β_{zul} , kann das Werkstück in einem Arbeitsgang hergestellt werden. Andernfalls sind mehrere Züge erforderlich.

2.6 Formänderungsgeschwindigkeit

Wird eine Formänderung in der Zeit t durchgeführt, dann ergibt sich eine mittlere Formänderungsgeschwindigkeit von:

$$w_m = \frac{\varphi}{t}$$

w_m	in %/s	mittlere Formänderungsgeschwindigkeit
φ	in %	Formänderungsgrad
t	in s	Verformungszeit

Sie lässt sich aber auch aus der Stößelgeschwindigkeit und der Anfangshöhe des Werkstückes bestimmen.

$$\dot{\varphi} = \frac{v}{h_0}$$

$\dot{\varphi}$	in s^{-1}	Formänderungsgeschwindigkeit
v	in m/s	Geschwindigkeit des Stößels
h_0	in s	Höhe des Rohlings.

2.7 Testfragen zu Kapitel 2

1. Welche Bedingung muss erfüllt sein, wenn es zu einer plastischen (bleibenden) Verformung kommen soll?
2. Was versteht man unter dem Begriff Formänderungsfestigkeit k_p ?
3. Woraus kann man die Größe der Formänderungsfestigkeit entnehmen?
4. Wie kann man die mittlere Formänderungsfestigkeit (annähernd) berechnen?
5. Welchen Einfluss hat die Umformtemperatur auf die Formänderungsfestigkeit?
6. Welchen Einfluss hat die Formänderungsgeschwindigkeit auf die Formänderungsfestigkeit?
 - a) bei der Kaltverformung
 - b) bei der Warmverformung.
7. Was versteht man unter dem Begriff Kaltverformung?
8. Was versteht man unter dem Begriff »Formänderungsvermögen«?
9. Von welchen Faktoren ist das Formänderungsvermögen eines Werkstoffes abhängig?
10. Erklären sie die Begriffe:
 Stauchungsgrad
 Breitungsgrad
 Längungsgrad.
11. Was versteht man unter dem Begriff »Hauptformänderung«?

3 Oberflächenbehandlung

Würde man die Rohlinge (Draht- oder Stangenabschnitte) nur einfach in das Presswerkzeug einführen und dann pressen, dann wäre das Werkzeug nach wenigen Stücken nicht mehr zu gebrauchen. Durch eine entstehende Kaltverschweißung zwischen Werkstück und Werkzeug käme es im Werkzeug zum Fressen. Dadurch würden am Werkzeug Grate entstehen, die unbrauchbare Presssteile zur Folge hätten. Deshalb müssen die Rohlinge vor dem Pressen sorgfältig vorbereitet werden. Zu dieser Vorbereitung, die man zusammenfassend als »Oberflächenbehandlung« bezeichnet, gehören

Beizen, Phosphatieren, Schmieren.

3.1 Kalt-Massivumformung

3.1.1 Beizen

Mit dem Beizvorgang sollen oxydische Überzüge (Rost, Zunder) entfernt werden, sodass als Ausgangsbasis für die eigentliche Oberflächenbehandlung, die Oberfläche des Pressrohlings metallisch rein ist.

Als Beizmittel verwendet man verdünnte Säuren. Für Stahl z. B. 10 %ige (Volumenprozent) Schwefelsäure.

3.1.2 Phosphatieren

Wenn man auf einen metallisch reinen (gebeizten) Rohling als Schmiermittel Fett, Öl oder Seife unmittelbar aufbringen würde, dann hätte das Schmiermittel keine Wirkung. Beim Pressen würde der Schmierfilm abreißen und es käme zum Kaltverschweißen und zum Fressen.

Deshalb muss zuerst eine Schmiermittelträgerschicht aufgebracht werden, die mit dem Rohlingswerkstoff eine feste Bindung eingeht.

Als Trägerschicht verwendet man Phosphate. Mit dem Phosphatieren wird eine nichtmetallische, mit dem Grundwerkstoff fest verwachsene Schmiermittelträgerschicht auf den Rohling aus

Stahl (mit Ausnahme von Nirosta-Stählen)

Zink und Zinklegierungen

Aluminium und Aluminiumlegierungen

aufgebracht.

Diese poröse Schicht wirkt als Schmiermittelträger. In die Poren diffundiert das Schmiermittel ein und kann so vom Rohling nicht mehr abgestreift werden. Die Schichtdicken des aufgebrachten Phosphates liegen zwischen 5 und 15 µm.

3.1.3 Schmieren

- *Aufgaben der Schmiermittel*

Das Schmiermittel soll:

- die unmittelbare Berührung zwischen Werkzeug und Werkstück verhindern, um damit eine Stoffübertragung vom Werkzeug auf das Werkstück (Kalschweißung) unmöglich zu machen;
- die Reibung zwischen den aufeinander gleitenden Flächen vermindern;
- die bei der Umformung entstehende Wärme in Grenzen halten.

- *Schmierstoffe für das Kaltumformen*

Für das Kaltumformen kann man folgende Stoffe als Schmiermittel einsetzen

- *Kalk (Kälken)*

Unter Kälken versteht man ein Eintauchen der Rohlinge in eine auf 90 °C erwärmte Lösung aus Wasser mit 8 Gewichtsprozent Kalk. Kälken ist nur für Stahl bei geringen Umformungen anwendbar.

- *Seife*

Hier verwendet man z. B. Kernseifenlösungen mit 4–8 Gewichtsprozent Seifenanteil bei 80 °C und einer Tauchzeit von 2–3 Minuten. Ihr Einsatz ist bei mittleren Schmieranforderungen gegeben.

- *Mineralöle (evtl. mit geringen Fettzusätzen)*

Diese unter der Bezeichnung Pressöle auf dem Markt befindlichen Schmiermittel sind für hohe Schmieranforderungen vor allem bei automatischer Fertigung geeignet. Sie übernehmen neben der Schmierung noch zusätzlich die Aufgabe des Kühlens.

- *Molybdändisulfid (Molykote-Suspensionen)*

Bei den Schmiermitteln auf Molybdändisulfid-Basis, die für höchste Schmieransprüche geeignet sind, verwendet man überwiegend

MoS₂-Wasser Suspensionen.

Die Tauchzeit liegt zwischen 2 und 5 Minuten bei einer Temperatur von 80 °C. Die Konzentration (Mittelwert) liegt bei 1 : 3 (d.h. 1 Teil Molykote, 3 Teile Wasser).

Bei besonders schwierigen Umformungen verwendet man auch höher konzentrierte Suspensionen.

3.2 Kalt-Blechumformung

Zum Tiefziehen reichen in der Regel reine Gleitmittel wie Ziehhölze oder Ziehfette aus, die eine unmittelbare Berührungen von Werkstück und Werkzeug verhindern.

3.3 Warmformgebung (Gesenkschmieden)

Beim Gesenkschmieden verwendet man als Schmier- und Gleitmittel Sägemehl und Graphitsuspensionen. Optimale Ergebnisse erhält man mit 4 % kolloidalem Graphit in Wasser oder Leichtöl. Bei den Flüssigschmiermitteln muss jedoch die Dosierung beachtet werden. Zu viel Suspension erhöht den Gasdruck im Gesenk und erschwert die Ausformung.

3.4 Testfragen zu Kapitel 3

1. Welche Aufgabe hat das Schmiermittel bei der Umformung?
2. Warum kann man bei der Kaltumformung den Rohling nicht einfach mit Öl oder Fett schmieren?
3. Welche Vorbehandlung (Oberflächenbehandlung) der Rohlinge ist vor dem Pressvorgang bei der Kaltverformung erforderlich?
4. Welche Schmierstoffe verwendet man bei der Kaltumformung?
5. Welche Schmierstoffe verwendet man beim Gesenkschmieden?

4 Stauchen (DIN 8583)

4.1 Definition

Stauchen ist ein Massivumformverfahren, bei dem die Druckwirkung in der Längsachse des Werkstückes liegt.

4.2 Anwendung

Bevorzugt zur Herstellung von Massenteilen wie Schrauben, Nieten, Kopfbolzen, Ventilstößel usw. (Bilder 4.1, 4.2 und 4.3).

4.3 Ausgangsrohling

Ausgangsrohling ist ein Stangenabschnitt aus Rund- oder Profilmaterial. In vielen Fällen, vor allem in der Schraubenfertigung, wird vom Drahtbund (Bild 4.2) gearbeitet. Da Walzmaterial billiger ist als gezogenes Material, wird es bevorzugt eingesetzt.

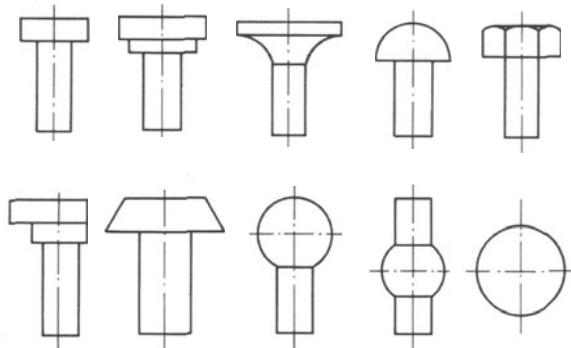


Bild 4.1 Typische Stauchteile