

Kurt Lange · Manfred Kammerer · Klaus Pöhlandt · Joachim Schöck

Fließpressen

Kurt Lange · Manfred Kammerer
Klaus Pöhlandt · Joachim Schöck

Fließpressen

Wirtschaftliche Fertigung
metallischer Präzisionswerkstücke

Mit 439 Abbildungen and 74 Tabellen

Professor em. Dr.-Ing. Dr. h.c. Kurt Lange
Universität Stuttgart
Institut für Umformtechnik (IfU)
Holzgartenstr. 17
70174 Stuttgart
E-Mail: kurt.lange@ifu.uni-stuttgart.de

Manfred Kammerer
Königstr. 68
71679 Asperg
E-Mail: me.kammerer@t-online.de

Professor Dr.-Ing. habil. Klaus Pöhlandt[†]
Universität Stuttgart
Institut für Statik und Dynamik (ISD)
Pfaffenwaldring 27
70569 Stuttgart

Dr.-Ing. Joachim Schöck
Universität Stuttgart
Institut für Statik und Dynamik (ISD)
Pfaffenwaldring 27
70569 Stuttgart

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.

ISBN 978-3-540-30909-3 Springer Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media

springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Text und Abbildungen wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Verlag und Autor können jedoch für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen.

Satz: Digitale Druckvorlagen der Autoren

Herstellung: LE-TeX Jelonek, Schmidt & Vöckler GbR, Leipzig

Einbandgestaltung: eStudioCalamar S.L., F. Steinen-Broo, Girona, Spanien

Einbandmotiv: Voll-Vorwärts-Fließpressen, Joachim Schöck

SPIN 11422617 7/3180/YL - 5 4 3 2 1 0 Gedruckt auf säurefreiem Papier

Technische Akte sind Reaktionen des Menschen auf seine Umwelt, die völlig neue Möglichkeiten zur Erzeugung von Gegenständen schaffen, die es in der naturhaften Welt des Menschen nicht gibt.

Ortega y Gasset

Autoren

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. Kurt Lange

Von 1963 bis 1988 Leiter des Institutes für Umformtechnik (IfU) der Universität Stuttgart.

Kap. 1

Manfred Kammerer

Von 1965 bis 1998 Leiter der Abteilung Massivumformung am Institut für Umformtechnik (IfU) der Universität Stuttgart.

Kap. 4, 5, 6, 7, 8 u. 10.7

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Pöhlandt †

Von 1977 bis 1996 Leiter der Abteilung Grundlagen am Institut für Umformtechnik (IfU) der Universität Stuttgart.

Kap. 3

Dr.-Ing. Joachim Schöck

Von 1994 bis 1997 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am Institut für Umformtechnik (IfU) der Universität Stuttgart.

Kap. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 u. 10

Inhaltliche Struktur und Gestaltung sowie Kapitelzusammenstellung und redaktionelle Ausarbeitung des Buches: Joachim Schöck

Vorwort

Die zur Umformtechnik zählenden Fertigungsverfahren des Kaltfließpressens spielen für die kostengünstige Produktion von komplexen und präzisen, oft einbaufertigen Werkstücken in großen Mengen aus hoch beanspruchbaren metallischen Werkstoffen, vorwiegend Stahl, eine zunehmend wichtige Rolle. Für die weltweite Versorgung mit mannigfaltigen Industriegütern hat das 1935 in Deutschland patentierte Kaltfließpressen von Stahl weltweit wachsende Bedeutung gewonnen. Einige Industrieländer in Europa, Amerika und Asien haben die Weiterentwicklung dieser Technologie nach 1945 systematisch betrieben. Die im Jahre 1967 gegründete International Cold Forging Group (ICFG), der Fachleute aus etwa 20 Ländern weltweit angehören, bemüht sich seitdem erfolgreich um die Weiterentwicklung des erforderlichen Grundlagenwissens für die Anwendung dieser leistungsfähigen und werkstoffsparenden Technologie.

Treibende Kräfte hierfür sind einerseits die weltweit steigende Nachfrage nach derartigen Werkstücken und andererseits die in Industrie und Wissenschaft betriebene Erforschung und Entwicklung der Werkstoffe für Werkstücke und Werkzeuge sowie ihrer Wärme- und Oberflächenbehandlung und ferner der Werkzeugbearbeitungstechniken, insbesondere der spanenden und abtragenden Bearbeitung der Innenformen. Dazu treten die Optimierung ihrer den Werkstofffluss bei niedrigsten Kräften erleichternden Gestaltung und weiter die Erforschung der dabei wirkenden tribologischen Vorgänge. Bei der Lösung dieser Aufgaben spielt die Prozesssimulation mit dem Computer eine zunehmend wichtige Rolle.

Am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart wurde seit 1958 das Kaltfließpressen in seinen Grundlagen intensiv erforscht und weiterentwickelt; dazu wurde u. a. mit der Industrie im Jahre 1963 ein spezieller Arbeitskreis geschaffen. Die Autoren dieses Buches halten es jetzt für geboten, den derzeitigen Stand und die technischen Möglichkeiten des Kaltfließpressens sowie der oftmals mit ihr kombinierten Halbwarmfließpresstechnologie angesichts ihrer sichtbar zunehmenden industriellen Anwendung in geschlossener Form der Fachöffentlichkeit vorzustellen. Dabei wird bewusst auf früher erschienene Werke mit den Grundlagen der Umformtechnik und des Kaltfließpressens Bezug genommen. Diese behalten auch weiterhin ihre Gültigkeit. Änderungen ergeben sich dagegen

ständig durch die oben erwähnten Entwicklungen in Wissenschaft und Industrie. Hierzu wird auf die am Buchende zu findende Aufstellung der in englischer Sprache erschienenen ICFG-Richtlinien verwiesen, in denen sowohl zu werkstoffkundlichen als auch zu technologischen Fragen konkret Stellung genommen wird und aktuelle Probleme behandelt werden.

Stuttgart, im Juli 2007

Für die Autoren

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Kurt Lange

Inhalt

1	Einleitung	1
	<i>K. Lange</i>	
1.1	Einteilung der Fließpressverfahren	1
1.2	Wirtschaftliche Bedeutung, Produktionszahlen weltweit	2
1.3	Grundverfahren des Fließpressens	3
1.3.1	Voll-Vorwärts-Fließpressen.....	3
1.3.2	Hohl-Vorwärts-Fließpressen.....	5
1.3.3	Napf-Rückwärts- und Napf-Vorwärts-Fließpressen	7
1.3.4	Querfließpressen	8
1.3.5	Quer-Hohl-Vorwärts-Fließpressen.....	10
1.3.6	Verfahrenskombinationen und Verfahrensfolgen	11
1.3.7	Verjüngen.....	14
1.3.8	Abstreckgleitziehen.....	14
1.3.9	Kalt- und Warmfließpressen	15
	Literatur	16
2	Metallkundliche Grundlagen	17
	<i>J. Schöck</i>	
2.1	Skalen der Betrachtung	17
2.2	Makroskopische Fließstruktur.....	19
2.3	Atom	20
2.4	Gleitsysteme.....	22
2.5	Versetzungen.....	25
2.6	Monokristall.....	27
2.7	Polykristall	28
2.8	Elastische Verformung.....	28
2.9	Elastizitätsgrenze, $R_p 0,01$	30
2.10	Streckgrenze und Dehngrenze $R_p 0,2$	30
2.11	Plastische Deformation	31
	Literatur	34

3	Werkstoffe.....	35
	<i>K. Pöhlandt</i>	
3.1	Werkstoffe für das Kaltfließpressen.....	35
3.1.1	Stähle	35
3.1.2	Nichteisenmetalle.....	38
3.1.3	Anmerkung zur Halbwarmumformung.....	38
3.1.4	Zur Frage der Werkstoffbezeichnungen	39
3.2	Vorbehandlung für die Verarbeitung	41
	Literatur.....	41
	Anmerkung.....	42
4	Werkstoffauswahl.....	43
	<i>J. Schöck, M. Kammerer</i>	
4.1	Einleitung.....	43
4.1.1	Kaltfließpressen	44
4.1.2	Halbwarmfließpressen	45
4.1.3	Bevorzugt eingesetzte Fließpresstähle	47
4.2	Baustähle.....	47
4.3	Einsatzstähle	48
4.3.1	Hinweis zur Werkstoffauswahl.....	51
4.4	Vergütungsstähle.....	51
4.4.1	Fließpressen bei Temperaturen bis ca. 350°C.....	54
4.4.2	Fließpressen bei 760°C – 800°C (Halbwarmumformung)...	55
4.4.3	Hinweis zur Werkstoffauswahl.....	59
4.5	Nichtrostende Stähle	61
4.5.1	Fließpressen bei Temperaturen bis ca. 350°C.....	62
4.6	Kupfer	64
4.7	Messing (Kupfer-Zink-Legierung).....	66
4.7.1	Fließpressen bei Temperaturen bis ca. 300°C.....	69
4.7.2	Fließpressen bei Temperaturen bis ca. 600°C.....	69
4.8	Bronze (Kupfer-Zinn-Legierung).....	70
4.9	Neusilber (Kupfer-Nickel-Legierung)	71
4.10	Zink	72
4.10.1	Fließpressen bei Temperaturen bis ca. 150°C.....	72
4.11	Titan	73
4.11.1	Fließpressen bei Temperaturen bis 500°C	74
4.12	Magnesium.....	74
4.12.1	Fließpressen bei Temperaturen bis ca. 300°C.....	75
4.13	Aluminium	75
4.13.1	Aushärten	78
	Literatur.....	79

5	Vorbehandlung.....	81
	<i>J. Schöck, M. Kammerer</i>	
5.1	Einleitung.....	81
5.2	Anlieferungszustand.....	83
5.3	Form.....	86
5.3.1	Rohteilabschnitte.....	86
5.3.2	Scheren.....	87
5.3.3	Sägen.....	90
5.3.4	Schneiden.....	92
5.3.5	Genauigkeit der Rohteilabschnitte.....	94
5.3.6	Entgraten der Rohteilanschnitte.....	94
5.4	Abmessungen.....	95
5.4.1	Setzen.....	95
5.4.2	Setzen und zentrieren.....	96
5.4.3	Setzen und Werkstoffvorverteilung.....	97
5.4.4	Setzen und Werkstoffvororientierung.....	98
5.5	Gefüge.....	99
5.5.1	Weichglühen, Glühen auf kugeligen Zementit (GKZ).....	100
5.5.2	Rekristallisationsglühen.....	104
5.5.3	Normalglühen.....	105
5.5.4	Spannungsfreiglühen.....	106
5.6	Oberfläche.....	107
5.6.1	Schmierstoffe und Schmierstoffträgerschichten.....	107
5.6.2	Zink-Phosphatieranlage.....	110
5.6.3	Oberflächenbehandlung mit Beseifen.....	112
5.6.4	Oberflächenbehandlung mit Molybdändisulfid (MoS ₂).....	114
5.6.5	Reglementierung zum Betrieb einer Phosphatieranlage.....	116
	Literatur.....	117
6	Verfahren.....	119
	<i>M. Kammerer, J. Schöck</i>	
6.1	Verfahrensübersicht.....	119
6.1.1	Fließpressverfahren.....	119
6.1.2	Verjüngen, Abstreckgleitziehen, Stauchen, Setzen, Lochen, Fließblochen, Kalibrieren.....	122
6.1.3	Verfahrensfolge und Verfahrenskombination.....	123
6.1.4	Von der Fertigteilzeichnung zum Formteil.....	123
6.1.5	Stadienplan.....	124
6.1.6	Fertigungsalternativen.....	128
6.1.7	Hybride Lösungen.....	129

6.2	Voll-Vorwärts-Fließpressen.....	130
6.3	Hohl-Vorwärts-Fließpressen.....	141
6.4	Napf-Vorwärts-Fließpressen.....	152
6.5	Napf-Rückwärts-Fließpressen.....	161
6.5.1	Napf-Fließpressen mit hoher Präzision.....	174
6.6	Voll-Rückwärts-Fließpressen.....	189
6.7	Hohl-Rückwärts-Fließpressen.....	196
6.8	Quer-Fließpressen.....	199
6.9	Verjüngen.....	233
6.10	Abstreckgleitziehen.....	238
6.11	Stauchen.....	249
6.12	Setzen.....	258
6.13	Quer-Hohl-Vorwärts-Fließpressen.....	262
6.14	Verfahren zur Verzahnungsherstellung [6.42, 6.43].....	268
	Literatur.....	279
	Anhang.....	281
7	Werkzeugwerkstoffe	283
	<i>J. Schöck, M. Kammerer</i>	
7.1	Einleitung.....	283
7.2	Mechanische und thermische Beanspruchung.....	284
7.3	Trend.....	285
7.4	Werkstoffauswahl.....	285
7.5	Werkzeugwerkstoffe.....	286
7.5.1	Kaltarbeitsstähle.....	286
7.5.2	Warmarbeitsstähle.....	286
7.5.3	Schnellarbeitsstähle.....	287
7.5.4	Pulvermetallurgisch hergestellte Schnellarbeitsstähle.....	288
7.5.6	Herstellung von schmelz- und pulvermetallurgischen Stählen.....	290
7.5.7	Härte und Zähigkeit.....	292
7.5.8	Werkzeugherstellung.....	293
7.5.9	Hartmetall.....	294
7.6	Ausfallerscheinungen bei Werkzeugen.....	295
7.6.1	Verschleiß.....	296
7.6.2	Ausbrüche.....	296
7.6.3	Plastische Verformung.....	296
7.6.4	Rissbildung, Bruch.....	297
7.6.5	Kaltaufschweissungen.....	298

7.7	Werkzeugoberflächenbehandlung.....	298
7.7.1	Reaktionsschichten	299
7.7.2	Auflageschichten.....	300
7.8	Werkzeugwerkstoffe für die Halbwarmumformung	302
	Literatur.....	307
8	Werkzeuge.....	309
	<i>M. Kammerer, J. Schöck</i>	
8.1	Einleitung.....	309
8.2	Werkzeugbestandteile	311
8.2.1	Gestellteile	317
8.2.2	Einbauteile	321
8.2.3	Aktivteile.....	323
8.3	Stempel.....	323
8.3.1	Stempel für das Voll- und Quer-Fließpressen.....	326
8.3.2	Stempel für das Hohl-Vorwärts-Fließpressen.....	329
8.3.3	Stempel für das Voll- und Hohl-Rückwärts-Fließpressen.....	332
8.3.4	Stempel für das Napf-Fließpressen	333
8.4	Matrize	338
8.4.1	Matrize ohne Armierung.....	339
8.4.2	Matrize mit Armierung	341
8.4.3	Matrize mit einteiligem Kern.....	352
8.4.4	Matrizenkern mit Einsatz (Längsteilung).....	353
8.4.5	Matrize mit Querteilung, von außen axial vorgespannt	356
8.4.6	Matrize mit Querteilung, von innen axial vorgespannt.....	357
8.4.7	Matrize mit Längs- und Querteilung, axial vorgespannt ...	359
8.4.8	Matrize mit Keramikkern.....	360
8.4.9	Bersten von Armierungsringen	361
8.5	Werkzeuge für Aluminiumfließpressteile	362
8.6	Werkzeuge zum Querfließpressen	389
8.6.1	Schließkraft	391
8.6.2	Matrizengleichlauf.....	394
8.6.3	Kompakte Schließvorrichtungen.....	396
8.6.4	Matrizenanordnung.....	398
8.6.5	Führungssysteme.....	399
8.6.6	Kraftdurchleitung.....	403
8.6.7	Schließvorrichtungen mit Federelementen	404
8.6.8	Schließvorrichtung mit mechanischer Verriegelung.....	407
8.6.9	Hydraulische Schließvorrichtung mit N ₂ -Blasenspeicher..	410
8.6.10	Elastomer-Schließvorrichtung	415

8.6.11	Stickstofffeder-Schließvorrichtung.....	420
8.6.12	Tellerfeder-Schließvorrichtung.....	425
8.6.13	Kombiniert mechanisch-hydraulische Schließvorrichtung.....	427
8.6.14	Schließvorrichtung mit Druckschlauch.....	428
8.6.15	Schließvorrichtung nach dem Prinzip der Druckwaage.....	431
8.6.16	Mehrfach wirkende Presse als Schließvorrichtung.....	433
	Literatur.....	435
9	Maschinen	437
	<i>J. Schöck</i>	
9.1	Einleitung.....	437
9.2	Einzelstücke verarbeitende Einstufen-Kaltfließpressen.....	439
9.3	Einzelstücke verarbeitende Mehrstufen-Kaltfließpressen.....	442
9.3.1	Kurbel- bzw. Exzenterpressen	443
9.3.2	Kniehebelpressen	444
9.3.3	Kniehebelpressen mit modifiziertem Antrieb	446
9.4	Vom Draht arbeitende Mehrstufen-Kaltfließpressen	453
9.5	Vom Stab arbeitende Mehrstufen-Halbwarmfließpressen	455
9.6	Hydraulische Pressen	462
9.7	Werkzeugwechselsysteme	464
9.8	Werkstücktransportsysteme	466
	Literatur.....	470
10	Berechnungen	473
	<i>J. Schöck, M. Kammerer</i>	
10.1	Einleitung.....	473
10.2	Umformgrad, bezogene Querschnittsänderung.....	478
10.3	Umformgrade beim mehrstufigen Umformen	480
10.4	Gesetz der Volumenkonstanz.....	481
10.5	Fließspannung.....	482
10.5.1	Fließkurve	483
10.5.2	Fließkurve bei Raumtemperatur	483
10.5.3	k_{f0} , k_{f1} und k_{fm}	485
10.6	Bezogene Umformarbeit w und absolute Umformarbeit W ...	487
10.7	Vereinfachte Berechnungsmethode [10.1, 10.2, 10.19].....	488
10.8	Ausführliche Berechnungsmethode [10.12 -10.17]	490
10.8.1	Stauchen.....	491
10.8.2	Voll-Vorwärts-Fließpressen.....	495
10.8.3	Napf-Rückwärts-Fließpressen.....	499

10.8.4 Hohl-Vorwärts-Fließpressen.....	503
10.8.5 Verjüngen.....	506
10.8.6 Abstreckgleitziehen.....	509
10.8.7 Setzen.....	512
10.8.8 Querfließpressen	514
Literatur.....	515
ICFG-Data Sheets and Documents	517
<i>J. Schöck</i>	
ICFG Data Sheets.....	517
ICFG Documents.....	517
Index	519

1 Einleitung

Das Fließpressen zählt neben dem Stauchen und Gleitziehen zu den Kernverfahren des Kaltmassivumformens. In beschränktem Maße wird es auch im halbwarmen Bereich zwischen 600°C und 800°C werkstoff- oder verfahrensbedingt angewandt. Besondere technisch-wirtschaftliche Bedeutung hat das Kaltfließpressen von Stahl erlangt, nachdem 1934 durch Phosphatieren der Rohteile nach dem Singer-Patent die sichere Umformung von Stahlwerkstoffen in Stahlwerkzeugen ohne Kaltverschweißen möglich geworden war. Die Werkstückmassen liegen beim Kaltfließpressen zwischen wenigen Gramm und einigen Kilogramm, seltener auch darüber. Grenzen sind die Werkzeugbelastung einerseits und die hohen Umformkräfte andererseits. Grundsätzlich lassen sich fast alle knetbaren Metalle durch Fließpressen umformen. Heute ist diese Verfahrensgruppe eine leistungsfähige Technologie, die die Fertigung präziser, geometrisch komplexer, hochbeanspruchbarer Werkstücke aus hochfesten Stählen für weite Einsatzbereiche mit geringstem Werkstoffeinsatz ermöglicht.

1.1 Einteilung der Fließpressverfahren

Man unterscheidet allgemein nach der Werkstückgeometrie Voll-, Hohl- und Napfflößpressen, und nach der Richtung des Stoffflusses, bezogen auf die Werkzeughauptbewegung, Vorwärts-, Rückwärts- und Querflößpressen [1.1]. Ein jüngerer Verfahren ist das Quer-Hohl-Vorwärts-Flößpressen zur Erzeugung dünnwandiger Nöpfe aus Stababschnitten deutlich kleineren Durchmessers in einem Hub. Diese Grundverfahren werden oft in Kombinationen (gleichzeitig) und Verfahrensfolgen (nacheinander) an einem Werkstück angewandt. Weiterhin sind auch das Verjüngen und das Abstreckgleitziehen zu diesen zu zählen. Andere Verfahren, wie Stauchen, Anstauchen, Prägen werden häufig zusätzlich zur Formgebung herangezogen.

Merkmale des Kaltflößpressens sind

- erhebliche Werkstoffeinsparung durch optimale Werkstoffausnutzung,
- sehr hohe Mengenleistung bei kurzen Stückzeiten,

- Einbaufertigkeit bei ggf. geringfügiger Nacharbeit infolge hoher Maß- und Formgenauigkeit sowie Oberflächenqualität,
- Verbesserung der Werkstoffeigenschaften durch Kaltverfestigung und ungestörten Faserverlauf.

1.2 Wirtschaftliche Bedeutung, Produktionszahlen weltweit

Das Kaltfließpressen hat große technisch-wirtschaftliche Bedeutung für die Mengenfertigung hochwertiger Bauteile in einem weiten Produktspektrum erlangt. Abgesehen vom militärischen Bereich sind das vornehmlich Bauteile für Fahrzeuge, Maschinen und Geräte, Elektrotechnik und Elektronik sowie Befestigungsmittel u.a.m.. Durch Weiterentwicklung der Werkstück- und Werkzeugstoffe, der Bearbeitungstechniken – Abspannen, Ero-dieren, Polieren –, durch Erneuerungen bei Schmierstoffen und -technik, bei Oberflächenbeschichtungen u.a.m. sind gegen die Jahrtausendwende sehr große Fortschritte bei der Fertigung von komplexen Werkstücken mit hoher Genauigkeit erzielt worden. Die Prozess-Simulation mit dem Computer hat dazu erheblich beigetragen.

Die weltweiten Produktionszahlen sind wegen länderweit unterschiedlicher Zuordnungen und Statistiken nur unvollständig und ungenau zu erfassen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass eine leistungsfähige Automobilproduktion, die 85 bis 90% aller zivilen Kaltfließpressteile abnimmt, die Grundlage für deren wirtschaftliche Fertigung ist. Je PKW werden ca. 40 bis 50 kg dieser Teile eingebaut, davon 25 bis 30 kg hochbeanspruchbare Massivteile für Getriebe, Achsen, Lenkungen sowie 15 bis 20 kg für Hohlteile und Sonderbefestigungsmittel. Da ferner in einzelnen Ländern heute zwar Fließpressteile produziert, aber in andere mit Automobilindustrie exportiert oder mit anderen Verfahren fertig bearbeitet werden, ohne dass die ursprüngliche Fertigung bekannt wird, ist eine genaue Aufstellung sehr erschwert.

In der Bundesrepublik Deutschland werden derzeit etwa 150 000 t Kaltfließpressteile jährlich erzeugt, in der EG darüber hinaus insgesamt mehrere 10 000 t, im Fürstentum Liechtenstein 30 000 t, in den USA 500 000 t, in Japan 450 000 t, in China 100 000 t und in Brasilien 25 000 t. In Japan wird das Kaltfließpressen konsequent von staatlicher Seite und in wissenschaftlich-industrieller Gemeinschaftsarbeit seit fast 50 Jahren gefördert; Präzisionsteile werden zunehmend in die USA und nach Europa exportiert. In den USA war die Produktion von Kaltfließpressteilen 25 Jahre nach dem Kriegsende höher als am Ende des Jahrhunderts; sie schrumpfte teils we-

gen der Entwicklung leistungsfähiger, automatisierter Abspantechniken. Diese erlauben zwar die Fertigung von Präzisionsteilen mit komplexer Geometrie, nutzen aber nicht die Vorteile von Kaltfließpressteilen: hohe Dauerfestigkeit bei ungestörtem Faserverlauf sowie gute Werkstoffausnutzung; die letztere kann 85 bis 90% betragen. Angesichts der weltweit steigenden Nachfrage nach Stahl dürfte das den Einsatz von Kaltfließpressteilen weiter fördern.

1.3 Grundverfahren des Fließpressens

In den folgenden Kapiteln werden die in Abschn. 1.1 erwähnten Grundverfahren des Kaltfließpressens behandelt, die auftretenden Spannungen und Kräfte erörtert sowie die für die Fertigung benötigten Maschinen und Einrichtungen vorgestellt. Darüber hinaus werden die wesentlichen Verfahrenskombinationen und -folgen diskutiert.

Für die Fertigung von Kaltfließpressteilen – das sei hier allgemein geltend vermerkt – werden mechanische Kurbel- und Exzenterpressen, ölhdraulische Pressen und auch Kniehebelpressen eingesetzt. Für langschäftige Werkstücke werden Pressen mit ausreichend hohem Werkzeugeinbauraum verwendet. Die Maschinen sind heute oft mit numerischen Steuerungen, Werkzeugüberwachungseinrichtungen, Werkstückzuführeinrichtungen wie Industrie-Robotern ausgerüstet und auch automatisiert.

1.3.1 Voll-Vorwärts-Fließpressen

Dieses Verfahren dient der Verkleinerung des Durchmessers oder Querschnitts eines Werkstücks bei Querschnittsabnahmen $\epsilon_A \geq 0.3$. Dazu wird dieses nach Abb. 1.1 in einem Aufnehmer gegen Ausknicken und Aufstauen abgestützt und mit dem Stempel durch die mit dem Aufnehmer verbundene Matrize, die üblicherweise einen Öffnungswinkel $2\alpha = 60^\circ$ bis 120° hat, gedrückt.

Häufig sind Aufnehmer und Matrize zu einer Pressbüchse zusammengefasst. Beim Vorgang treten Axialspannungen bis $\sigma_z = 2000 \text{ N/mm}^2$ und mehr auf. Ein Stempel aus Werkzeugstahl von 200 mm Länge staucht sich dabei beispielsweise um etwa 2 mm elastisch auf. Die Querkontraktion nach dem Poissonschen Gesetz kann 0.3%, d. h. bei $d_{St} = 30 \text{ mm}$ $\sim 0.1 \text{ mm}$ betragen. Das muss bei der Bemessung des Spiels zwischen Aufnehmer und Stempel berücksichtigt werden, ebenso die Auswirkung der Stempelstauchung auf die Werkstückgeometrie, z. B. Kopf- oder Bodendicke. Die Radialspannungen σ_r erreichen im Übergangsbereich Werte von mehr als

3000 N/mm² und auch darüber [1.1, 1.2]. Wegen dieser hohen Innendrücker bzw. Radialspannungen müssen die Matrizen gegen Bruch durch Armieren abgestützt werden.

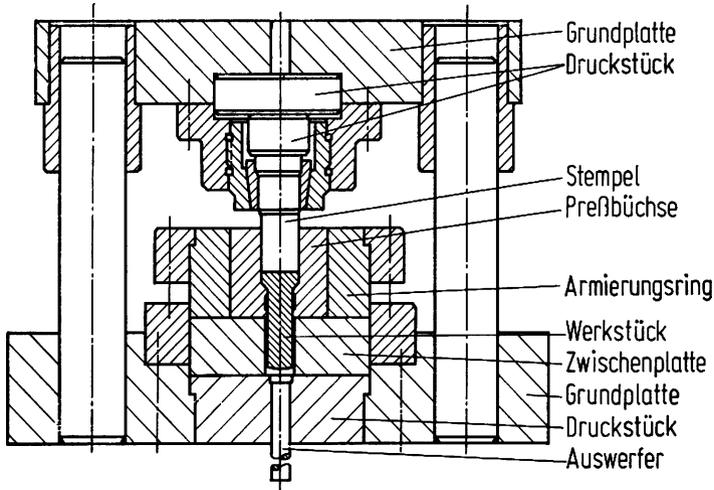


Abb. 1.1 Voll-Vorwärts-Fließpressen [1.1]

Das kann mit Armierungsringen oder durch Umwickeln mit hochfesten, vorgespannten Stahlbändern erfolgen (Abb. 1.2), [1.1, 1.3]. Die Matrizen sind dann sehr hoch belastbar, besonders z.B. bei Verwendung eines Hartmetall-Wickelrohrs um den Matrizenkern. Einfach armierte Matrizen lassen Innendrücker von 1600 N/mm², doppelt armierte von 2000 N/mm² zu. Bei höheren Innendrücker müssen die erwähnten Sonderarmierungen eingesetzt werden.

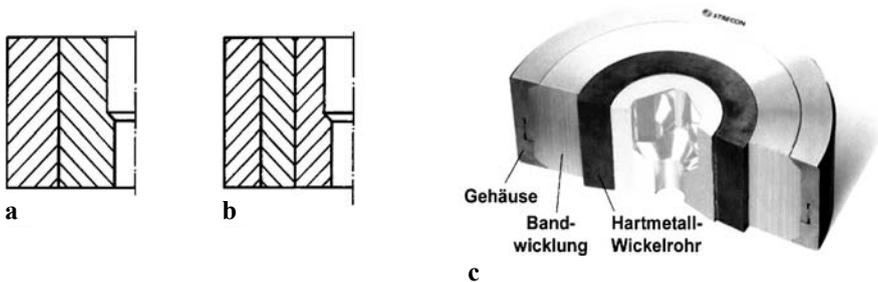


Abb. 1.2 Armierung von Fließpressmatrizen: **a** mit einem Armierungsring [1.1], **b** mit zwei Armierungsringen, **c** durch Umwickeln mit hochfesten, vorgespannten Stahlbändern (Bandarmieren) [1.3]

Bei den Fließpressverfahren mit stationärem Werkstofffluss (Vorwärts- und Rückwärts-Fließpressen, voll oder hohl) zeigt der Kraft-Weg-Verlauf zunächst einen kleinen instationären Anteil und fällt danach stetig ab. Die Kräfte nehmen mit der Querschnittsabnahme $\varepsilon_A = (A_0 - A_1/A_0)$ bzw. mit dem Umformgrad $\varphi = \ln A_1/A_0$, mit dem Öffnungswinkel 2α und mit der Werkstofffestigkeit bzw. der Härte zu [1.1]. Beim Voll-Vorwärts-Fließpressen können große Werte von 2α abhängig von Werkstoffart und -zustand zu Chevron-Rissen im Innern führen.

1.3.2 Hohl-Vorwärts-Fließpressen

Bei diesem Grundverfahren der Kaltmassivumformung wird ein hohles Werkstück mit (Napf) oder ohne Boden (Rohrabschnitt) von einem Stempel mit festem oder mitlaufendem Dorn wie beim Voll-Fließpressen durch eine Matrize gedrückt. Bei festem Dorn und einem Napf als Rohteil entsteht am Boden-Innenrand oft ein Wulst; ist der Innendurchmesser bei einem dickwandigen Hohlkörper klein und die Querschnittsabnahme groß, kann der feste Dorn infolge der Reibkräfte ggf. abreißen.

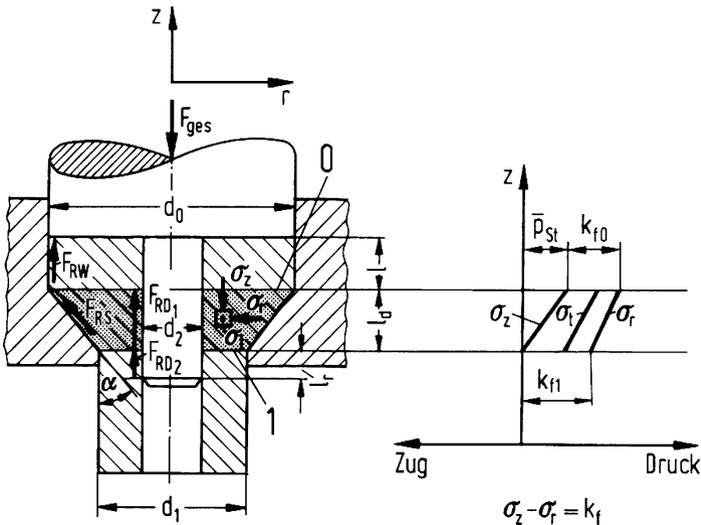


Abb. 1.3 Spannungszustand beim Hohl-Vorwärts-Fließpressen [1.1]

Abb. 1.3 zeigt das Prinzip des Vorgangs und die dabei wirkenden Spannungen, Abb. 1.4 den Kraft-Weg-Verlauf beim Hohl-Vorwärts-Fließpressen sowie die Verformung eines Werkstoffelements im instationären und stationären Bereich des Vorgangs. Aus Abb. 1.5 ist ferner die

zunehmende Inhomogenität des Werkstoffflusses mit größer werdendem Matrizenöffnungswinkel 2α zu ersehen [1.9].

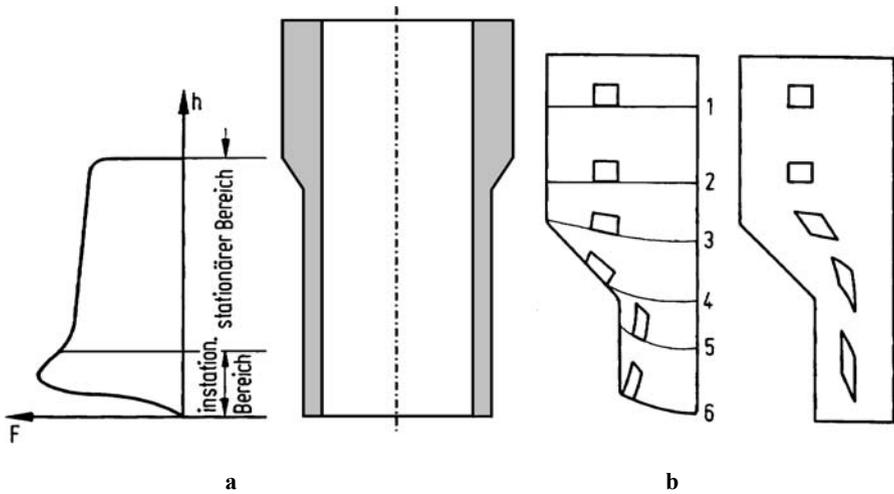


Abb. 1.4 Hohl-Vorwärtsfließpressen [1.1]: **a** Kraft-Weg-Verlauf, **b** Verformung eines Werkstoffelementes im instationären und stationären Vorgangsbereich

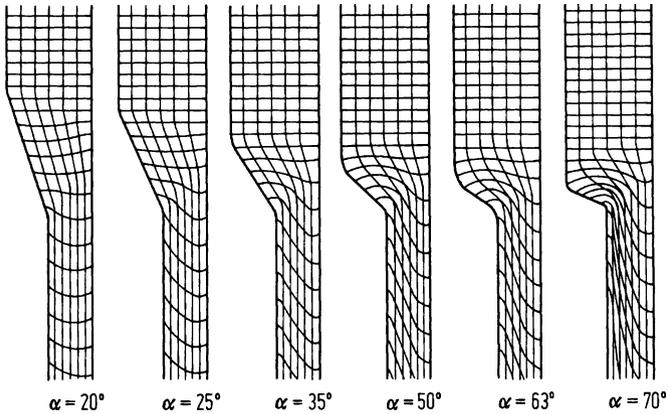


Abb. 1.5 Einfluss des Matrizenöffnungswinkels 2α auf den Werkstofffluss beim Hohl-Vorwärts-Fließpressen [1.9]

1.3.3 Napf-Rückwärts- und Napf-Vorwärts-Fließpressen

Diese zählen zu den wichtigsten Kaltfließpressverfahren. Ausgehend von einem gescherten und gesetzten oder gesägten Stababschnitt wird aus diesem ein Hohlkörper mit Boden erzeugt, der durch weitere Umformungen wie Abstreckgleitziehen, Flanschanstauchen, Bodenprägen u.a.m. anschließend fertig bearbeitet wird.

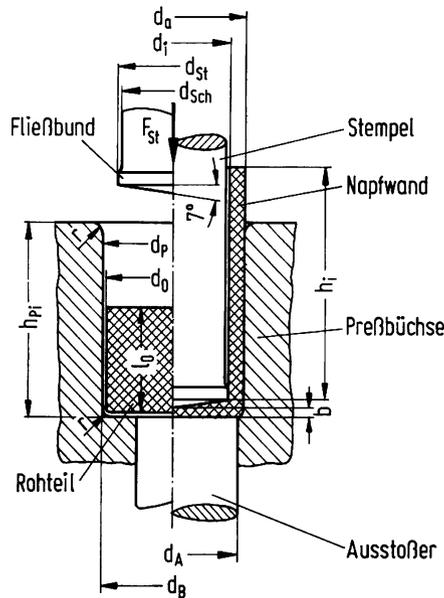


Abb. 1.6 Bezeichnungen und Werkzeugkräfte beim Napf-Rückwärts-Fließpressen [1.1]

Der Werkstofffluss ist instationär; die Stempelkraft fällt nach Erreichen des Maximums ab, umso mehr, je größer die relative Querschnittsänderung $\varepsilon_A = (A_0 - A_1) / A_0$ ist. Die Kraft F_{St} hat bei $\varepsilon_A \approx 0.5$ ein Minimum bei den meisten Werkstoffen, nimmt mit größeren Werten zu und bei kleineren, abhängig von den Rohenteilabmessungen l_0/d_0 , mit der Querschnittsänderung ε_A zu oder ab [1.1].

Besonders bei dünneren Böden am Ende eines Vorgangs können die Stempelkräfte infolge der Werkstoff-Verfestigung und der Stirnreibung schnell ansteigen. Mit Entlastungsbohrungen lassen sich die sich beim Stauchen des Bodens ausbildenden hohen Druckspannungsspitzen, die ein Mehrfaches der Werkstofffließspannung erreichen und auch Werkzeugschäden bewirken können, merklich herabsetzen [1.1].

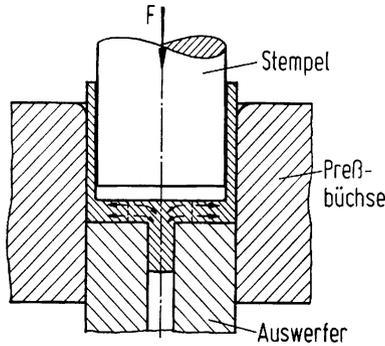


Abb. 1.7 Prinzip der Entlastungsbohrung beim Napf-Rückwärts-Fließpressen [1.1]

Näpfe mit großem relativem Querschnittsverhältnis und dünnem Boden lassen sich folgerichtig leichter fließpressen, wenn zur Entlastung gleichzeitig ein dünner Zapfen vorwärts oder rückwärts mit gepresst wird. In der Praxis wird davon häufig Gebrauch gemacht. Der Werkstoffaufwand dafür ist sehr gering; oftmals lassen sich die Zapfen auch zur Bodenformgebung nutzen. Das Prinzip der Entlastungsbohrung lässt sich auch bei vielen anderen Umformvorgängen erfolgreich zur Minderung der Stempelkraft bzw. der Druckspannungsspitze anwenden.

1.3.4 Querfließpressen

Das Querfließpressen wurde nach 1970 am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart zunächst zu einem in der Massenfertigung einsetzbaren Verfahren zur Fertigung von in Gelenkwellen millionenfach verwendeten Kreuzstücken entwickelt. Diese wurden zuvor durch Gesenkschmieden und Abspannen mit größerem Werkstoff- und Zeitaufwand hergestellt. Für das neue Verfahren musste dazu ein spezielles Werkzeug mit Querteilung und geeigneten Mechanismen zur Erzeugung des vor dem Fließpressvorgang benötigten hohen axialen Schließdrucks entwickelt werden (Abb. 1.8).

Aus diesen Anfängen entwickelte sich eine Gruppe von industriellen Prozessen für einen breiten Einsatz vor allem in der Fahrzeugindustrie. Abbildung 1.9 gibt einen Überblick über die grundsätzlich möglichen Werkstückformen. Diese Technologie erfordert in allen Produktionsschritten von der Werkzeugherstellung über die Rohteilfertigung bis zum Pressvorgang größte Sorgfalt. Auf diese Weise lassen sich dann jedoch Präzisionsteile mit vielfältigen Nebenformelementen ohne wesentliche spanende Nachbearbeitung in Großserie fertigen (Abb. 1.10).

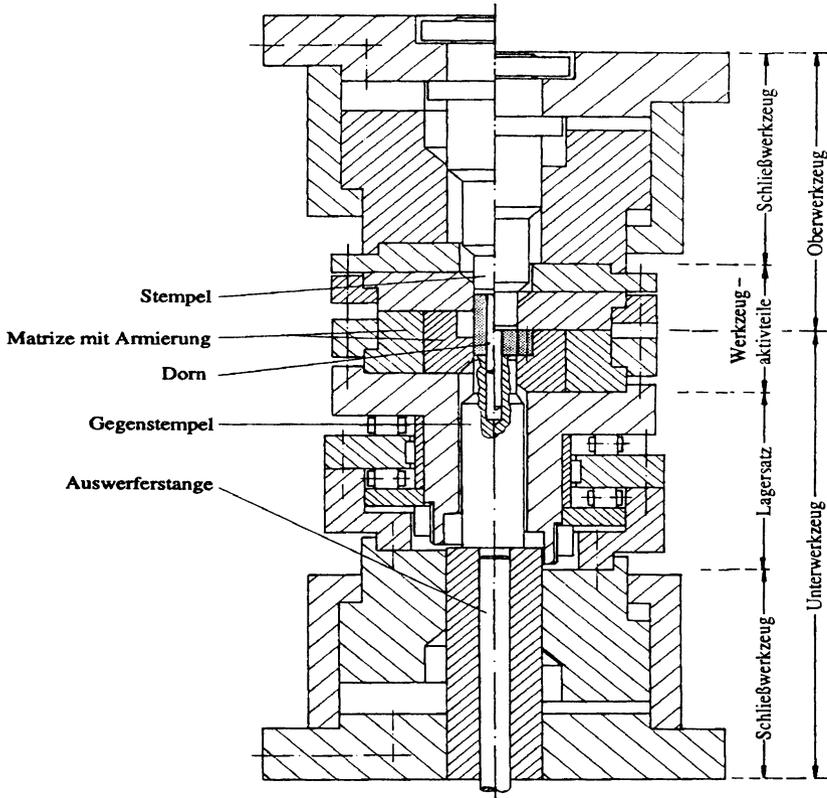


Abb. 1.8 Schließvorrichtung für das Querfließpressen [1.8]

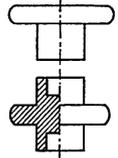
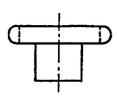
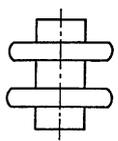
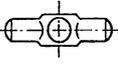
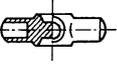
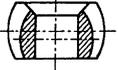
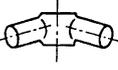
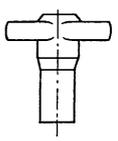
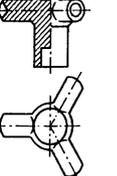
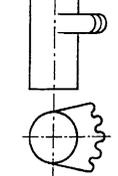
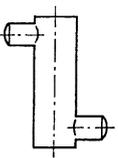
	Nebenformelemente in einer Ebene			Nebenformelemente nicht in einer Ebene
	voll	hohl	profiliert	
Bund / Flansch		—		
seitliche Nebenformelemente	gedrungene Form 			
	Langform 			

Abb. 1.9 Formenordnung für Querfließpressesteile [1.1]



Abb. 1.10 Durch Querfließpressen hergestellte Werkstücke. Bild: ThyssenKruppPresta

1.3.5 Quer-Hohl-Vorwärts-Fließpressen

Dieses relativ neue Verfahren wurde ebenfalls am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart entwickelt. Vorbild war ein Warmstrangpress-

verfahren zur Erzeugung von dünnwandigen Stahlrohren aus Rundknüppelabschnitten kleineren Durchmessers in einem Pressenhub [1.6]. Das neue Kaltfließpressverfahren dient der Erzeugung dünnwandiger Hohlkörper größeren Durchmessers mit Boden und Zapfen aus einem dünneren Stababschnitt (Abb. 1.11). Weitere Umformverfahren und andere können sich anschließen. Das Verfahren ähnelt zwar dem älteren Kunugi-Verfahren [1.4], ist aber durch die zweimalige Werkstoffumlenkung und das in den Prozess integrierte Abstrecken deutlich von diesem unterschieden.

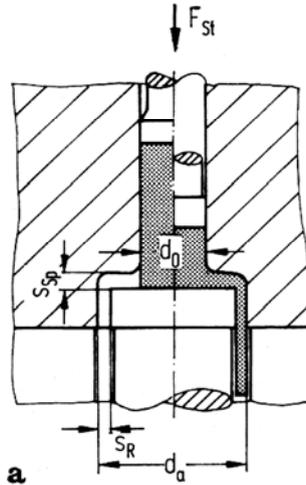


Abb. 1.11 Kombiniertes Quer-Napf-Vorwärts-Fließpressen [1.7]

Für QSt 32-3 oder C 15 lassen sich Aufweitungen $d_A/d_0 = 2.4$ erzielen; die Ringwanddicke s_R muss dabei kleiner sein als die Bodendicke s_{SP} . Der dabei durch Abstrecken erzeugte Gegendruck ist für das fehlerfreie Auspressen erforderlich. Diese Verminderung der Ringwanddicke gegenüber der Bodendicke ist ein gutes Beispiel für die Realisierung einer Druckspannungsüberlagerung zur Erhöhung des Formänderungsvermögens.

1.3.6 Verfahrenskombinationen und Verfahrensfolgen

Bei Verfahrenskombinationen werden in der Regel zwei Vorgänge in einem Werkzeug zusammengefasst und in einem Arbeitshub ausgeführt. Zu unterscheiden davon sind Verfahrensfolgen, bei denen jeweils ein Arbeitsgang nacheinander an einem Werkstück erfolgt (Abb. 1.12). Verfahrenskombinationen können auch in Verfahrensfolgen einbezogen werden, zwei Beispiele für die letzteren zeigt Abb. 1.13.

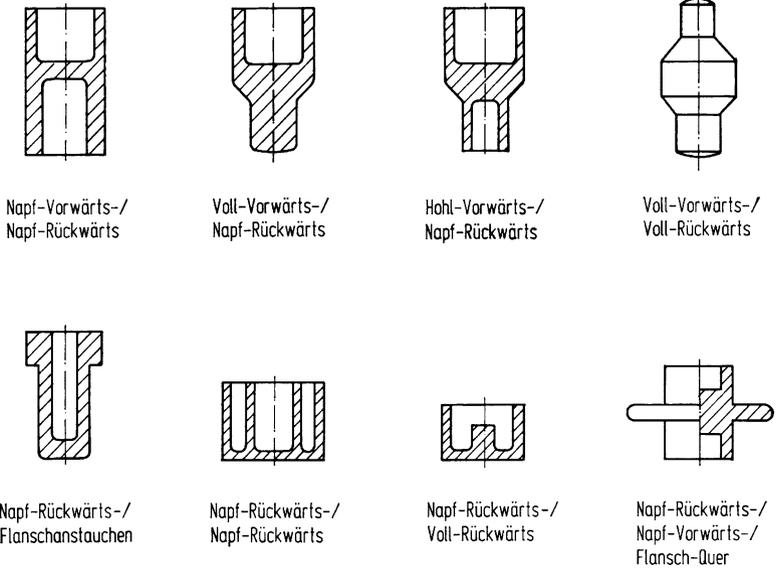


Abb. 1.12 Verfahrenskombinationen beim Fließpressen, Beispiele [1.1]



Abb. 1.13 Verfahrenfolgen beim Fließpressen, Beispiele Hatebur AG

Durch Verfahrenskombinationen wird das Formenspektrum des Kaltfließpressens deutlich erweitert, wie aus Abb. 1.12 ersichtlich ist. Elemente wie Flansch-Anstauchen oder Flansch-Quer-Fließpressen erweitern dieses

zusätzlich. Wichtig ist die Auswirkung derartiger Kombinationen auf den Kraftbedarf des Prozesses. Beim kombinierten Napf-Vorwärts/Napf-Rückwärts-Fließpressen ist die Gesamtkraft geringer als die Kraft für das einfache Napf-Vorwärts- oder Napf-Rückwärts-Fließpressen (Abb. 1.14). Die sich einstellenden Napfhöhen hängen vom Werkstoff, von der relativen Querschnittsänderung ε_A und von der Wandreibung ab [1.1].

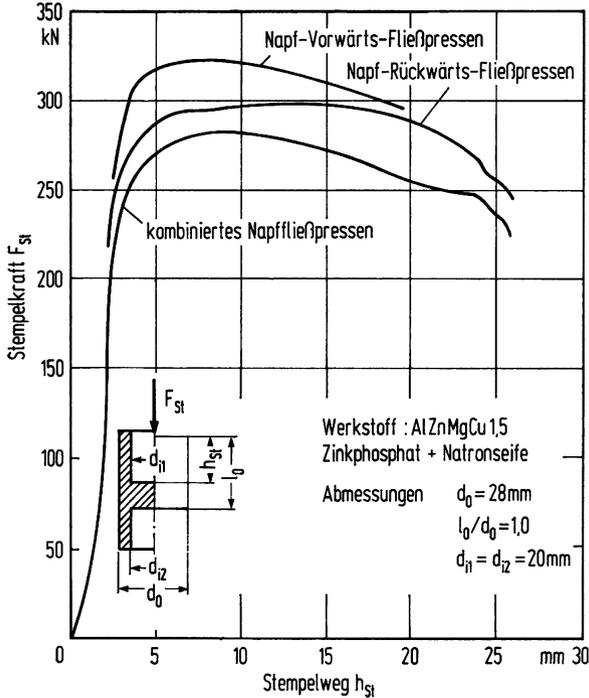


Abb. 1.14 Kraft-Weg-Verlauf beim kombinierten Napffließpressen [1.1]

Ähnlich verhalten sich die Ausflusslängen auch bei anderen Kombinationen. Grundsätzlich gilt, dass bei diesen allen durch die Vergrößerung der Gesamtfläche der Austrittsöffnungen die Spannung oder der Innendruck und damit die Stempelkraft F_{St} vermindert wird. Die Kraft für den Einzelvorgang ist damit eine obere Schranke für die Prozessauslegung. Die Länge der fließgepressten Elemente muss durch Überschlagsrechnung, Prozesssimulation oder experimentell bestimmt werden [1.1].

1.3.7 Verjüngen

Das Verjüngen ist ein in Verbindung mit dem Kaltfließpressen oft, meistens in Verfahrensfolgen, angewandtes Verfahren. Es dient wie das Vorwärtsfließpressen der Verminderung des Durchmessers oder Querschnitts eines Werkstückteils. Diese ist dabei auf $\varepsilon_A \leq 0.3$ begrenzt; dafür kann auf einen Aufnehmer verzichtet werden, da die geringe Umformkraft ein Ausknicken oder Aufstauchen des Werkstücks ausschließt. Werden Hohlkörper verjüngt, so vergrößert sich dabei die Wanddicke geringfügig (Abb. 1.15).

Der Matrizenöffnungswinkel 2α sollte 30° bis 45° nicht überschreiten. Beispiele für durch das häufig verwendete Verfahren geformte Teile sind Befestigungsmittel, Niete, Bolzen, Achsen, Wellen und Spindeln.

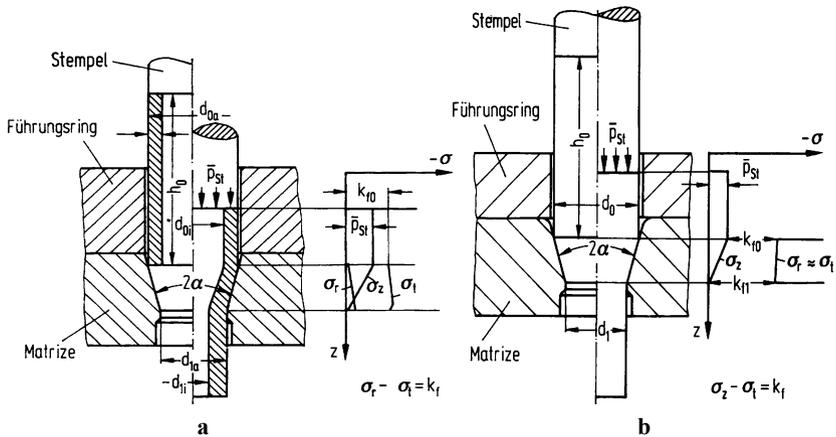


Abb. 1.15 Geometrie und Spannungszustand beim Verjüngen [1.1] a Vollkörper b Hohlkörper

1.3.8 Abstreckgleitziehen

Das Abstreckgleitziehen gehört zwar zum Zugumformen von Hohlkörpern, wird hier aber wegen seiner häufigen Anwendung in Verbindung mit Kaltfließpressverfahren mitbehandelt. Abbildung 1.16 zeigt das Prinzip. Die Zugkraft F_z wird mit dem auf den Napfboden drückenden Stempel aufgebracht und über den bereits abgestreckten Teil des Werkstücks in die Umformzone übertragen. Das Verfahren dient vornehmlich der Wanddickenverminderung, wobei auch eine mehrfache Anordnung von Matrizen oder Ziehringen hintereinander möglich ist.

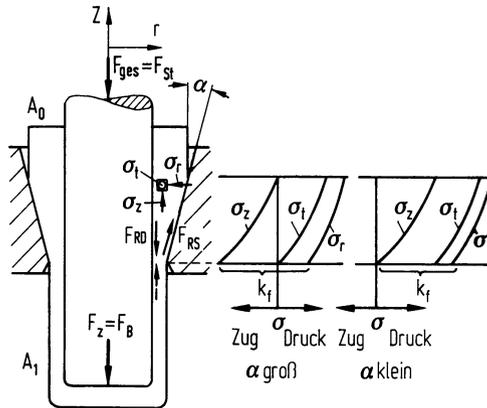


Abb. 1.16 Abstreckgleitziehen von Hohlkörpern [1.1]

Mit kleiner werdendem Abstreckwinkel 2α nimmt die Bodenkraft unabhängig von der Querschnittsabnahme ε_A schließlich bis auf Null ab [1.1]. Dabei kann der Werkstückboden vom Stempel abheben. Mitunter werden durch Abstreckgleitziehen auch Nebenformelemente wie beispielsweise Keilprofile oder Nuten an der Außenkontur eines Werkstücks erzeugt.

1.3.9 Kalt- und Warmfließpressen

Durch Umformen bei erhöhten Temperaturen wird das Formänderungsvermögen der metallischen Werkstoffe signifikant verbessert. Allerdings ist der Energieverbrauch durch Erwärmen und Umformen sehr viel höher als die Energieeinsparung infolge Absenken der Fließspannung. Außerdem steigt der Reibwert zwischen Werkstück und Werkzeug um das Zwei- bis Dreifache an; die Oberflächenqualität verschlechtert sich ohne besondere Maßnahmen, ebenso die Maßgenauigkeit. Ferner muss zu anderen Werkzeugwerkstoffen, Oberflächenbehandlungsverfahren und Schmierstoffen übergegangen werden.

Die Vorschrift eines definierten Werkstoffs oder die erwünschte Geometrie eines Werkstücks können es dennoch erforderlich machen, das Rohteil vor dem Fließpressen zu erwärmen. Je nach Höhe des Anwärmens spricht man bei Stahl von Halbwarmumformen, wenn die Einlegetemperatur etwa 600°C bis 800°C beträgt, und von Warmumformen, sobald diese darüber liegt.

Grundsätzlich gilt, dass möglichst ohne Anwärmen, d. h. bei Raumtemperatur, fließgepresst werden sollte. Lässt sich das aus objektiven Gründen nicht realisieren, müssen die mit dem Anwärmen verbundenen Nachteile

bzw. Schwierigkeiten in jedem Einzelfall in wirtschaftlicher und technischer Hinsicht sorgfältig erörtert werden.

Literatur

- [1.1] Lange K (Hrsg) (1988) Umformtechnik Bd.2, Massivumformung. Springer, Berlin, Heidelberg New York
- [1.2] Lange K (Ed) (1994) Handbook of Metal Forming. SME, Dearborn MI, USA
- [1.3] Grønbaek J (2005) Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet regulierbarer Matrizen für die Massivumformung. In: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung. MAT INFO, Hamburg, S 65–81
- [1.4] Kunogi M (1956) A new method of cold extrusion. J. Sci. Res. Inst. 50, S 215–224
- [1.5] Lange K (1985) On the stress distribution in prestressed extrusion dies under non-uniform distribution of internal pressure. Int. J. Mech. Sci. Vol. 27, No 33, pp. 169–175
- [1.6] Powell D W (1977) Large tube production by radial extrusion. Proc. 5th NAMRC 1977, S 122–127
- [1.7] Osen W (1987) Untersuchungen über das kombinierte Quer-Hohl-Vorwärts-Fließpressen. Dissertation Universität Stuttgart
- [1.8] Schmieder F (1992) Beitrag zur Fertigung von schrägverzahnten Zahnradern durch Querfließpressen. Dissertation Universität Stuttgart
- [1.9] Schmoeckel D (1966) Untersuchungen über die Werkzeuggestaltung beim Vorwärts-Hohlfließpressen von Stahl und Nichteisenmetallen. Dissertation Universität Stuttgart