

K. Lange
M. Kammerer
K. Pöhlandt
J. Schöck

Fließpressen

Wirtschaftliche Fertigung
metallischer Präzisionswerkstücke

VDI

 Springer

K. Lange
M. Kammerer
K. Pöhlandt
J. Schöck

Fließpressen

Wirtschaftliche Fertigung
metallischer Präzisionswerkstücke

VDI

 Springer

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 Fertigteildezeichnung 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