

**Berichte aus dem
Institut für Umformtechnik
der Universität Stuttgart
Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. K. Lange**

58



Helmut Binder

**Untersuchungen über das
Verjüngen von
zylindrischen Vollkörpern**

Mit 50 Abbildungen und 3 Tabellen

**Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1980**

Dipl.-Ing. Helmut Binder

Institut für Umformtechnik
Universität Stuttgart

Dr.-Ing. Kurt Lange

o. Professor an der Universität Stuttgart
Institut für Umformtechnik

D 93

ISBN-13:978-3-540-10466-7 e-ISBN-13:978-3-642-81560-7

DOI: 10.1007/978-3-642-81560-7

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1980.

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.

Gesamtherstellung: Drucken + Werben GmbH · Löwenstraße 94 · 7000 Stuttgart 70 ·
Telefon (07 11) 76 49 59.

2362/3020—543210

GELEITWORT DES HERAUSGEBERS

Die Umformtechnik zeichnet sich durch sehr gute Werkstoffauswertung und hohe Mengenleistung in der Serienfertigung gegenüber anderen Fertigungsverfahren aus, wobei Beibehaltung der Masse, Änderung der Festigkeitseigenschaften während eines Vorgangs und elastische Rückfederung der Werkstücke nach einem Vorgang wesentliche Merkmale sind. Weiter sind die benötigten Kräfte, Arbeiten und Leistungen sehr viel größer als z.B. bei spanenden Verfahren. Die sichere Beherrschung eines Verfahrens in der industriellen Fertigung und die zunehmende Forderung nach Vermeidung bzw. Minimierung spanender Nacharbeit erzwingen die geschlossene Betrachtung des Systems "Umformende Fertigung" unter zentraler Berücksichtigung plastizitätstheoretischer, werkstoffkundlicher und tribologischer Grundlagen.

Das Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart stellt entsprechend Forschung und Entwicklung zum einen auf die Erarbeitung von Grundlagenwissen in diesen Bereichen ab, zum anderen untersucht und entwickelt es Verfahren unter Anwendung spezieller Meßtechniken mit dem Ziel einer genauen quantitativen Ermittlung des Einflusses der Parameter von Vorgang, Werkstoff, Werkzeug und Maschine. Die Behandlung von Problemen des Maschinenverhaltens, der Maschinenkonstruktion sowie der Werkzeugauslegung und -beanspruchung, der Auswahl hochbeanspruchbarer, verschleißfester Werkzeugbaustoffe und schließlich der Tribologie gehört entsprechend ebenfalls zum Arbeitsgebiet, das durch die Erfassung organisatorischer und betriebswirtschaftlicher Fragen abgerundet wird.

Im Rahmen der "Berichte aus dem Institut für Umformtechnik" erscheinen in zwangloser Folge jährlich mehrere Bände, in denen über einzelne Themen ausführlich berichtet wird. Dabei handelt es sich vornehmlich um Abschlußberichte von Forschungsvorhaben, Dissertationen, aber gelegentlich auch um andere Texte. Diese Berichte sollen den in der Praxis stehenden Ingenieuren und Wissenschaftlern zur Weiterbildung dienen und eine Hilfe bei der Lösung umformtechnischer Aufgaben sein. Für die Studierenden bieten sie die Möglichkeit zur Vertiefung der Kenntnisse. Die seit

zwei Jahrzehnten bewährte freundschaftliche Zusammenarbeit mit dem Springer-Verlag sehe ich als beste Voraussetzung für das Gelingen dieses Vorhabens an.

Kurt Lange

V o r w o r t

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart.

Herrn Professor Dr.-Ing. K. Lange danke ich für seine großzügige Förderung und Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Für die eingehende Durchsicht der Dissertation bin ich Herrn Professor Dr.-Ing. H. Stabe dankbar.

Mein Dank gilt ferner allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Umformtechnik, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Die Mittel zur Durchführung der Untersuchung wurden vom Arbeitskreis für Entwicklung und Erforschung des Kaltpressens, vom Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr Baden-Württemberg und der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt.

Stuttgart, August 1980

Helmut Binder

Inhaltsverzeichnis

Seite

Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen	11
0 Einleitung	14
1 Aufgabenstellung	16
1.1 Stand der Erkenntnisse	16
1.2 Zielsetzung der eigenen Untersuchungen	21
1.2.1 Experimentelle Untersuchungen	21
1.2.1.1 Versuchseinrichtungen	22
1.2.1.2 Versuchswerkstoffe und Probenherstellung	23
1.2.2 Theoretische Untersuchungen	25
2 Verfahrensanalyse	27
2.1 Visioplastische Stoffflußuntersuchungen	27
2.1.1 Experimentelle Ermittlung des Fließverhaltens	27
2.1.2 Berechnung der örtlichen Vergleichsformänderungsgeschwindigkeiten und Vergleichsformänderungen nach der Differenzenmethode [27]	29
2.2 Analytische Beschreibung der Geschwindigkeitsverteilung	34
2.2.1 Verfahren der oberen Schranke	37
2.2.2 Analytische Berechnung der Vergleichsformänderungen	40
2.3 Berechnung der örtlichen Spannungen	41
3 Kraftbedarf	45
3.1 Versuche	45
3.1.1 Versuchsprogramm	45
3.1.2 Versuchsergebnisse	46
3.1.2.1 Kraft-Weg-Verlauf	46
3.1.2.2 Rohteilabmessungen	47
3.1.2.3 Preßgeschwindigkeit	47
3.1.2.4 Matrizenöffnungswinkel	49
3.1.2.5 Umformgrad	50
3.1.2.6 Mechanische Eigenschaften des Rohteiles	50
3.1.2.7 Oberflächenbehandlung	51

	Seite	
3.2	Kraftberechnung	52
3.2.1	Berechnung mit den im Schrifttum angegebenen Formeln	52
3.2.2	Eigene Ansätze zur Kraftberechnung	53
3.2.2.1	Kraftberechnung mit dem Verfahren der oberen Schranke	53
3.2.2.2	Kraftberechnung mit analytischen Gleichungen	54
4	Verfahrensgrenzen	56
4.1	Plastische Verformung des Rohteils durch Aufstauchen	56
4.1.1	Versuche	57
4.1.2	Rechnerische Bestimmung	58
4.2	Elastische Verformung des Rohteils durch Ausknicken	59
4.2.1	Versuche	60
4.2.2	Rechnerische Bestimmung	60
4.3	Zentralbruchbildung	63
5	Gebrauchseigenschaften	65
5.1	Mechanische Eigenschaften	65
5.1.1	Fließspannung	66
5.1.2	Härteverteilung	67
5.2	Geometrische Eigenschaften	70
5.2.1	Maßgenauigkeit	70
5.2.2	Oberflächenbeschaffenheit	73
6	Aufbereitung der Ergebnisse für die praktische Anwendung	75
6.1	Vorausbestimmung des Kraftbedarfs	75
6.2	Vorausbestimmung der Verfahrensgrenzen	76
6.3	Entscheidungshilfen für die Festlegung von Vorgangsparametern	77
7	Zusammenfassung	79
8	Bilder, Tabellen	81
Anhang		134
Schrifttum		139

Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen

Allgemeine Zeichen

A	%	Bruchdehnung
A	mm ²	Querschnittsfläche
c	$\frac{J}{g \text{ grad}}$	spezifische Wärmekapazität
d	mm	Durchmesser
e	mm	Exzentrizität
E	N/mm ²	Elastizitätsmodul
F	N	Kraft
h	mm	Höhe
h _k	mm	Kalibrierbereichshöhe
H	mm	Gesamthub
H	HV 10	Härte
J	mm ⁴	Flächenträgheitsmoment
k		Konstante
k	N/mm ²	Schubfließgrenze
k _f	N/mm ²	Fließspannung
l	mm	Länge
n	min ⁻¹	Hubzahl
n		Verfestigungsexponent
\bar{P}	N/mm ²	bezogene Kraft, Druck
P	$\frac{Nm}{s}$, J	Leistung
R _e	N/mm ²	Streckgrenze
R _m	N/mm ²	Zugfestigkeit
R _{p0,2}	N/mm ²	Dehngrenze
R _a	µm	arithmetrischer Mittenrauhwert
R _p	µm	Glättungstiefe
R _t	µm	Rauhtiefe
S _o	mm ²	Anfangsquerschnitt (Zugprobe)
S _u	mm ²	kleinster Querschnitt nach dem Bruch (Zugprobe)
t	s	Zeit
T	°C (K)	Temperatur
v	mm/s	Geschwindigkeit
V	mm ³	Volumen
w	mm	elastische Auslenkung
w	N/mm ²	bezogene Formänderungsarbeit

W	mm ³	Widerstandsmoment
z, r, ϑ		Zylinderkoordinaten
Z	%	Bruch einschnürung
α	grd	halber Matrizenöffnungswinkel
ε		Formänderung
$\dot{\varepsilon}$	1/s	Formänderungsgeschwindigkeit
ε_A		relative Querschnittsänderung
η		Wirkungsgrad
λ	$\lambda = 1/i$	Schlankheitsgrad (i = Trägheitsradius)
μ		Reibwert
ρ	g/cm ³	Dichte
σ	N/mm ²	Spannung
τ	N/mm ²	Schubspannung
θ	grd	Winkel
φ	$\varphi = \ln A_0/A_1$	Umformgrad
$\dot{\varphi}$	1/s	Umformgeschwindigkeit
ϕ, κ		Spannungsfunktionen
ψ	grd	Winkel
Ψ		Stromfunktion

Indizes

A	Auftreff...
F	Formänderungs...
id	ideell
K	Knick...
m	mittlere
max	Maximal...
M	Matrizen...
N	Normal...
N	Nutzhub...
opt	optimal
p	proportional
rel	relativ
R	Reib...
St	Stempel...
Sch	Schiebungs...
V	Vergleichs...

W	Werkzeug...
W	Wulst...
zul	zulässig
O	Anfangs...
1	End...