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

59

Manfred Stilz

**Umformverhalten
legierter Sintereisen**

Mit 75 Abbildungen und 5 Tabellen

**Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1981**

Dipl.-Ing. Manfred Stilz

Institut für Umformtechnik

Universität Stuttgart

Dr.-Ing. Kurt Lange

o. Professor an der Universität Stuttgart

Institut für Umformtechnik

D 93

ISBN-13:978-3-540-11051-4

e-ISBN-13:978-3-642-81712-0

DOI: 10.1007/978-3-642-81712-0

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.

Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die 'Verwertungsgesellschaft Wort', München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1981.

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 · Zettachring 12 · 7000 Stuttgart 80 (Fasanenhof-Industriegebiet) · Telefon (07 11) 715 69 06/07/08.

2362/3020—543210

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 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik der Universität Stuttgart.

Herrn Professor Dr.-Ing. K. Lange danke ich für die großzügige Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit, sowie für die vielen Hinweise und Anregungen.

Für die eingehende Durchsicht der Dissertation, aus der sich zahlreiche Anregungen ergaben, bin ich Herrn Prof. Dr. phil. nat. G. Zapf sehr dankbar.

Mein Dank gilt ferner auch allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Umformtechnik, die durch tätige Hilfe meine Arbeit unterstützt haben.

Die Mittel zur Durchführung wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung gestellt.

Stuttgart, Juli 1981

Manfred Stilz

Inhalt

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	12
0 Einleitung	15
1 Stand der Erkenntnisse	17
2 Ziel der Arbeit, Lösungsweg	22
3 Experimentelle Untersuchungen beim Voll-Vorwärts- und Napf-Rückwärts-Fließpressen	24
3.1 Versuchsplan und Durchführung	24
3.1.1 Versuchsmatrix	24
3.1.2 Werkstoffe	25
3.1.3 Rohteilfertigung	29
3.1.3.1 Pulverpressen und Nachverdichten	29
3.1.3.2 Sintern	32
3.1.3.3 Oberflächenbehandlung	38
3.1.4 Versuchseinrichtung	41
3.1.4.1 Werkzeuge, Meßeinrichtungen	41
3.1.4.2 Umformmaschinen	44
3.1.5 Wärmebehandlungen nach der Kaltumformung	44
3.1.6 Erfassung der mechanischen Eigenschaften	45
3.2 Versuchsergebnisse Voll-Vorwärts-Fließpressen	48
3.2.1 Umformkräfte	48
3.2.2 Oberflächenbeschaffenheit	49
3.2.3 Festigkeitseigenschaften, Duktilität	49
3.2.4 Kerbschlagzähigkeit	53
3.2.5 Dauerfestigkeit	54
3.2.6 Härteverteilung	56
3.2.7 Auswirkungen zusätzlicher Wärmebehandlungen	57
3.2.8 Einfluß des Stickstoffs auf die Werkstoffkennwerte nach der Kaltumformung	58
3.2.9 Festigkeitseigenschaften induktiv gesinterter Rohteile	61
3.3 Versuchsergebnisse Napf-Rückwärts-Fließpressen	63

	Seite
3.3.1 Umformkräfte	64
3.3.2 Geometrische Eigenschaften	65
3.3.3 Härteverteilung	66
4 Rechnerische Ermittlung des Werkstoffflusses beim Voll-Vorwärts- und Napf-Rückwärts- Fließpressen	68
4.1 Visioplastische Untersuchungen	68
4.1.1 Allgemeine Vorgehensweise	68
4.1.2 Bestimmung der örtlichen Dichte	68
4.1.2.1 Verdichtungsverhalten beim Voll-Vorwärts- Fließpressen (VVFP)	70
4.1.2.2 Verdichtungsverhalten beim Napf-Rückwärts- Fließpressen (NRFP)	71
4.1.3 Berechnung der örtlichen Vergleichsform- änderung beim Voll-Vorwärts-Fließpressen	74
4.1.4 Berechnung der örtlichen Vergleichsform- änderung beim Napf-Rückwärts-Fließpressen	76
4.2 Einfache Kraftabschätzungen für das Voll- Vorwärts-Fließpressen	77
4.3 Obere Schranke für das Voll-Vorwärts- Fließpressen eines kompressiblen Werkstoffes	79
4.4 Bestimmung der mittleren Fließspannung	82
4.5 Nomogramm für das Voll-Vorwärts-Fließpressen	84
4.6 Analytischer Ansatz zur Kraftabschätzung für das Napf-Rückwärts-Fließpressen	86
5 Zusammenhang zwischen Härte und örtlicher Vergleichsformänderung beim Voll-Vorwärts- und Napf-Rückwärts-Fließpressen	88
6 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchun- gen an Bruchflächen	90
7 Folgerungen für die praktische Anwen- dung	92
8 Zusammenfassung	96

	Seite
9 Bilder, Tabellen	99
Schrifttum	163

Abkürzungsverzeichnis

Verwendete Größen, Formelzeichen und Einheiten

A	mm ²	Fläche
A _g	%	Gleichmaßdehnung
A ₅	%	Bruchdehnung
a		Konstante
a _k	J/cm ²	Kerbschlagzähigkeit
C	N/mm ²	Fließspannung bei $\varphi = 1$
d	mm	Durchmesser
I ₁		erste Invariante des Formänderungsge- schwindigkeitstensors
I ₂ '		zweite Invariante des Formänderungsge- schwindigkeitsdeviators
F	kN	Kraft
f	Hz	Frequenz
h	mm	Höhe
HB		Brinellhärte
HV		Vickershärte
k	N/mm ²	Schubfließgrenze
k _f	N/mm ²	Fließspannung
m		Reibfaktor
N		Lastspielzahl
n		Verfestigungsexponent, Konstante
ppm		parts per million
$\bar{p}$		bezogene Kraft
p _g	N/mm ²	Gegendruck
R _a	μm	Mittenrauhwert
R _m	N/mm ²	Zugfestigkeit
R _p	μm	Glättungstiefe
R _{p0,2}	N/mm ²	0,2-Dehngrenze
R _t	μm	Rauhtiefe
R _{p0,2} /R _m		Streckgrenzenverhältnis
T	°C /	Temperatur, Unstetigkeitsfläche
t	min	Sinterzeit
V	mm ³	Volumen

v	mm/s	Geschwindigkeit
Z	%	Brucheinschnürung
r, z, ϑ		Achsrichtungen
α_k		dichteabhängige Funktion
2α	Grd	Matrizenöffnungswinkel
δ	m	Eindringtiefe
ϵ_A		relative Querschnittsänderung
ϵ_V		Vergleichsformänderung
ϵ_{Vo}		Vergleichsformänderung resultierend aus der Verdichtung
ϵ_{ij}		Komponenten des Formänderungstensors
μ		Reibzahl
μ_R		relative magnetische Permeabilität
ρ	g/cm ³	Dichte
ρ	$\Omega\ m$	spezifischer elektrischer Widerstand
σ_{bw}	N/mm ²	Biegewechselfestigkeit
σ_{bw}/R_m		Verhältnis von Biegewechselfestigkeit zu Zugfestigkeit
τ	N/mm ²	Schubspannung
φ		Umformgrad

Indizes

a	Außen...
B	Boden...
ges	Gesamt...
i	Innen...
max	maximal
rel	relativ
St	Stempel...
O, M, U	Werkstückbereich: oben, Mitte, unten
0	Anfangs...
1	End...

Abkürzungen

NRFP	Napf-Rückwärts-Fließpressen
VVFP	Voll-Vorwärts-Fließpressen