

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

**94**



**Willi Reiss**

**Untersuchung  
des Werkzeugbruches beim  
Voll-Vorwärts-Fließpressen**

Mit 69 Abbildungen und 3 Tabellen

**Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1987**

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

ISBN 978-3-540-18376-1      ISBN 978-3-642-83228-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-83228-4

## 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

den bieten sie die Möglichkeit zur Vertiefung der Kenntnisse.  
Die seit zwei Jahrzehnten bewährte freundschaftliche Zusammen-  
arbeit 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. Dr. h.c. Kurt Lange danke ich für sein Vertrauen und die großzügige Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Herrn Professor Dr. rer.nat. Otmar Vöhringer bin ich für die eingehende Durchsicht der Arbeit sowie für viele wertvolle Diskussionen und Anregungen zu Dank verpflichtet.

Mein Dank gilt ferner Herrn Dr.-Ing. habil. K. Pöhlandt für die Betreuung der Arbeit. Ebenso danke ich allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Umformtechnik, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr.-Ing. G. Schröder für hilfreich unterstützende Diskussionen danken, Herrn Dr. rer.nat. habil. C. Mattheck für die Bruchmechanikanalyse der Werkzeuge, Herrn Dr.-Ing. W. Wunsch für die Hilfe bei der Ultraschallprüfung und Herrn Dipl.-Ing. R. Bartels für die Durchführung der Wärmebehandlungen. Besonderer Dank gilt auch Herrn H. Opielka vom Max-Planck-Institut für Metallforschung in Stuttgart für metallographische Untersuchungen und die Anfertigung zahlreicher REM-Aufnahmen.

Die Durchführung der Untersuchung wurde von der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) gefördert, wofür an dieser Stelle ebenfalls gedankt sei.

Aidlingen, Juli 1987

Willi Reiss

Abkürzungsverzeichnis		12
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Kenntnisse</b>	<b>18</b>
2.1	Versagen von Werkzeugen beim Voll-Vorwärts-Fließpressen (Grundlagen)	18
2.1.1	Werkzeugversagen durch Bruch	22
2.1.1.1	Gewaltbruch	22
2.1.1.2	Ermüdungsbruch	23
2.1.2	Werkzeugversagen durch Verschleiß	24
2.2	Prüfverfahren zur Beurteilung und Auswahl von gehärteten Werkzeugstählen	25
<b>3</b>	<b>Zielsetzung der Arbeit</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Grundlagen zur Untersuchung von Werkzeugstählen und Werkzeugen</b>	<b>32</b>
4.1	Anforderungsprofil an Werkzeugwerkstoffe	32
4.1.1	Gewählter Werkzeugwerkstoff	33
4.1.1.1	Eigenschaften im Lieferzustand	33
4.2	Wärmebehandlung	38
4.2.1	Übliche Wärmebehandlung	39
4.2.2	Sonderwärmebehandlung	40
4.2.3	Durchführung der Wärmebehandlung	40
4.3	Experimentelle Untersuchungen im Labor - Versuchsdurchführung	42
4.3.1	Härtemessungen	44
4.3.2	Biegeversuche	44
4.3.3	Stauchversuche	47
4.3.4	Umlaufbiegeversuche	47
4.3.5	Bruchmechanikversuche	49
4.3.5.1	Rißzähigkeit	50
4.3.5.2	Rißwachstumsgeschwindigkeit	51
4.4	Versuche unter betriebsnahen Bedingungen - Standmengerermittlung	53
4.4.1	Werkzeugauslegung	53
4.4.2	Werkzeugfertigung	54
4.4.3	Versuchsanlage	59

	Seite	
4.4.4	Werkstückwerkstoff	60
4.4.5	Erfassung des Werkzeugversagens	62
4.4.5.1	Werkzeugbruch	62
4.4.5.1.1	Wirbelstromprüfung	63
4.4.5.1.2	Ultraschallprüfung	65
4.4.5.2	Werkzeugverschleiß	67
<b>5</b>	<b>Wärmebehandlung und Gefügeanalyse des Werkzeugstahles</b>	<b>68</b>
5.1	Ermittlung des Härte- und Anlaßverhaltens	68
5.1.1	Werkstoffeigenschaften und Gefüge nach dem Härten	68
5.1.2	Werkstoffeigenschaften und Gefüge nach dem Anlassen	70
5.2	Ausgewählte Wärmebehandlungszustände	74
<b>6</b>	<b>Ergebnisse der Laborversuche</b>	<b>77</b>
6.1	Biegeversuche	77
6.2	Stauchversuche	80
6.3	Umlaufbiegeversuche	82
6.4	Bruchmechanikversuche	87
6.4.1	Ermittlung der Ribzähigkeit	87
6.4.2	Ermittlung des Ribwachstums	91
<b>7</b>	<b>Ergebnisse und Bewertung der Standmengenversuche an Voll-Vorwärts-Fließpreß-Werkzeugen</b>	<b>95</b>
7.1	Werkzeugversagen durch Bruch	95
7.1.1	Einfluß der Wärmebehandlung auf die Ribeinleitung	95
7.1.2	Einfluß der Werkzeugoberfläche auf die Ribeinleitung	100
7.1.3	Einfluß der Wärmebehandlung auf die Ribausbreitung	105
7.1.4	Bewertung des Werkzeugbruches beim VVFP	113
7.1.4.1	Vereinfachtes Modell zur Berechnung der Spannungsintensitätsverteilung	114
7.1.4.2	Übertragung der Ergebnisse auf die Werkzeuge	116
7.1.4.3	Übertragung des an Bruchmechanikproben ermittelten Werkstoffverhaltens auf den Werkzeugbruch	118
7.2	Werkzeugversagen durch Verschleiß	122
7.2.1	Einfluß der Wärmebehandlung der Werkzeuge auf die Maßhaltigkeit der Werkstücke	123
7.2.2	Einfluß der Wärmebehandlung der Werkzeuge auf die Oberflächenbeschaffenheit der Werkstücke	128



	Seite	
<b>8</b>	<b>Hinweise für die Praxis zur Lebensdauerabschätzung</b>	134
8.1	Werkzeugversagen durch Bruch	134
8.2	Werkzeugversagen durch Verschleiß	138
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	141
<b>Anhang</b>		145
<b>Schrifttum</b>		148

## Abkürzungsverzeichnis

### Allgemeine Zeichen

A	Nm	Arbeit (Zeichen nicht nach DIN 1304)
a	mm	Rißtiefe
B	mm	Probendicke
C	mm/LW	Werkstoffkonstante
d	mm	Durchmesser
da/dN	mm/LW	Rißausbreitungsgeschwindigkeit
F	N	Kraft
f	mm	Durchbiegung
h	mm	Höhe
K	$\text{N/mm}^{3/2}$	Spannungsintensität
$\Delta K$	$\text{N/mm}^{3/2}$	zyklische Spannungsintensität
$\Delta K_{th}$	$\text{N/mm}^{3/2}$	Schwellenwert der zyklischen Spannungsintensität
$k_f$	$\text{N/mm}^2$	Fließspannung
N	-	Schwingspielzahl
n	-	Stückzahl, Verfestigungsexponent
$n^*$	$\text{mm}^{5/2}/\text{N}\cdot\text{LW}$	Werkstoffkonstante
P	%	Wahrscheinlichkeit
p	$\text{N/mm}^2$	Druck
R	-	Spannungsverhältnis
R	mm	Radius
RA	Vol-%	Restaustenitgehalt
$R_b$	$\text{N/mm}^2$	Biegeelastizitätsgrenze
$R_{bB}$	$\text{N/mm}^2$	Biegefestigkeit
$R_{dB}$	$\text{N/mm}^2$	Druckfestigkeit
$R_m$	$\text{N/mm}^2$	Zugfestigkeit
$R_{b0,01}$	$\text{N/mm}^2$	0,01%-Biegegrenze
$R_{d0,2}$	$\text{N/mm}^2$	0,2%-Stauchgrenze
$R_{p0,2}$	$\text{N/mm}^2$	0,2%-Dehngrenze
$R_t$	$\mu\text{m}$	Rauhtiefe
$R_{zDIN}$	$\mu\text{m}$	gemittelte Rauhtiefe
W	mm	Probenbreite
$W_{1/z}$	$\mu\text{m}$	Verschleißbetrag

$\alpha$	grd	Winkel
$\epsilon$	-	Dehnung
$\vartheta$	°C	Temperatur
$\sigma$	N/mm <sup>2</sup>	Nennspannung
$\sigma_a$	N/mm <sup>2</sup>	Spannungsausschlag
$\sigma_1$	N/mm <sup>2</sup>	Hauptnormalspannung
$\tau$	N/mm <sup>2</sup>	Schubspannung
$\varphi$	-	Umformgrad

### Indizes

A	Anlaß...
B	Bruch...
cr	kritisch...
d	Druck...
el	elastisch...
ges	Gesamt...
i	Innen...
m	Mittel...
max	maximal...
min	minimal...
o	Ober...
pl	plastisch...
r	Radial...
St	Stempel...
u	Unter...
z	Axial...
0	Ausgangs...
1	Anfangs...; End...
2	End...
I	Rißöffnungsart I
II	Rißöffnungsart II

### Abkürzungen

CVD	Chemical Vapour Deposition
DCT	Disk-Shaped Compact Tension
GKZ	geglüht auf kugeligen Zementit

kfz	kubisch flächenzentriert
krz	kubisch raumzentriert
MK	Mischkristall
NRFP	Napf-Rückwärts-Fließpressen
PVD	Physical Vapour Deposition
REM	Rasterelektronenmikroskop
TIN	Titannitrid
VVFP	Voll-Vorwärts-Fließpressen