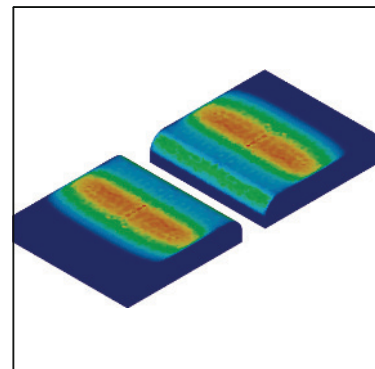
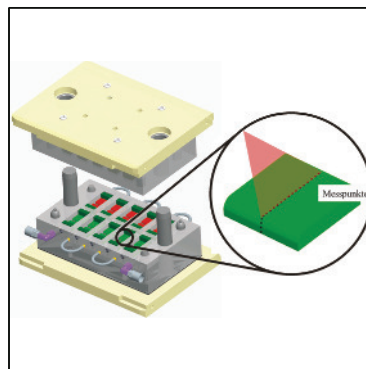


Michael Lücke

Werkzeugverschleiß in der Aluminiummassivumformung





Institut für
Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Berichte aus dem IPH

Wissenschaftliche Schriftenreihe des
Instituts für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer

Zugleich: Dissertation,
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2018

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen Werkes oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

© TEWISS-Technik und Wissen GmbH, 2018
An der Universität 2 ♦ 30823 Garbsen
Tel: 0511-762-19434 ♦ Fax: 0511-762-18037
www.tewiss-verlag.de ♦ mail: info@tewiss-verlag.de

ISBN 978-3-95900-239-4
ISSN 1865-5513

Verlag: TEWISS Verlag,
Wissenschaftlicher Verlag der TEWISS – Technik und Wissen GmbH

Herstellung: Herstellung: DruckTeam Druckgesellschaft mbH, Hannover

Printed in Germany

Werkzeugverschleiß in der Aluminiummassivumformung

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von
Dipl.-Ing. (FH)

Michael Lücke

2018

Referentin/Referent: Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens
Korreferentin/Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Poll
Tag der Promotion: 25.10.2018

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Projektingenieur am IPH - Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH. Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziell unterstützt.

Herrn Prof. Behrens, dem geschäftsführenden Gesellschafter des IPH und Leiter des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen der Leibniz Universität Hannover, gilt mein besonderer Dank für die überaus vertrauensvolle aber auch herausfordernde Unterstützung, die ich während meiner Tätigkeit am Institut erfahren habe.

Zudem bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Gerhard Poll für die Übernahme des Koreferates und Herrn Professor Dr.-Ing. Ludger Overmeyer für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Mein Dank gilt den Kollegen am IPH, insbesondere den Kollegen der Abteilung Prozesstechnik, die mich bei der Erstellung der Arbeit durch ihr großes Engagement unterstützt haben.

Den Kollegen Malte Stonis und Andreas Krause vom IPH sowie Herrn Tobias Vieregge vom Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen der Leibniz Universität Hannover möchte ich für die kritische Durchsicht und die hilfreichen Anmerkungen zu meiner Arbeit danken. Die vielen hilfreichen Diskussionen über die Arbeit haben einen äußerst wertvollen Beitrag geleistet. Außerdem danke ich den studentischen Mitarbeitern für die Unterstützung. Hervorheben möchte ich Herrn Lars Jagodzinski, dessen Mitarbeit und Anregungen im hohen Maße zur Qualität dieser Arbeit beigetragen haben.

Herzlichst bedanken möchte ich mich bei meinen Eltern, die mir meinen Lebens- und Bildungsweg überhaupt erst ermöglicht und mich immer bestmöglich unterstützt haben.

Hannover, im Oktober 2018

Michael Lücke

Kurzfassung

Beim Schmieden von Aluminium ist die Hauptausfallursache der Werkzeuge der adhäsionsbedingte Verschleiß. Durch die hohe Affinität zum Anhaften von Aluminiumlegierungen an den Stahlwerkstoffen der Schmiedegesenke entstehen sogenannte „Aufkleber“, welche das Schmiedeergebnis negativ beeinflussen. Demzufolge müssen die Gravuren der Werkzeuge regelmäßig überholt werden. Das Intervall der Überholung hängt maßgeblich von Werkstückgeometrie und -temperatur sowie von Werkzeugtemperatur, -werkstoff und -oberfläche ab.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Modell entwickelt, das den adhäsiven Verschleiß prognostiziert und somit die Standmenge bzw. den Zeitpunkt des potentiellen Werkzeugausfalls bestimmt. Dieses Modell basiert auf der Korrelation von simulativ und experimentell ermittelten Daten. Nach Auswertung der Sensitivität der variierten Parameter werden Einflussgrößen, wie Umform- oder Werkzeugtemperatur, in einem Data-Mining-Modell zusammengefasst. Mithilfe verschiedener Algorithmen kann somit nach der Simulation eines beliebigen Aluminiumumformprozesses die sich einstellende Oberflächengüte und demzufolge die Standmenge der Werkzeuge vorhergesagt werden.

Schlagworte: Schmieden, Adhäsion, Aluminium, Verschleiß

Abstract

The main failure cause of tools for forging of aluminium is wear caused by adhesion. Due to the high inclination of aluminium alloys to stick on forging dies made of steel cold welding's occur and influence the forging result negatively. Hence the die cavities have to be checked up frequently. The most influential parameters for the clearance of the maintenance are the temperature, the surface and the geometry of the tool as well as the properties of the billet.

In this thesis a model will be developed that forecast adhesion. Thus, the specific date of the wearout failure of the forging tools can be investigated. This model is based on the correlation of data which were determined by simulations and physical tests. After the analyses of the sensitivity of the varied parameters the results were integrated in a data mining model. Via algorithms the developed method is able to predict the arising surface quality and thus the wearout failure of the dies.

Keywords: Forging, Adhesion, Aluminium, Wear

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen.....	IV
1 Einleitung	1
2 Tribologie beim Aluminiumschmieden	3
2.1 Grundlagen der Schmiedetechnik	3
2.2 Aluminium als Konstruktionswerkstoff	4
2.3 Aluminiumknetlegierungen.....	5
2.4 Reibung in der Massivumformung.....	6
2.5 Ermittlung des Reibwertes	9
2.6 Verschleiß in der Massivumformung	10
2.6.1 Adhäsion beim Aluminiumschmieden	12
2.6.2 Bewertung von Verschleiß.....	15
2.6.3 Verschleißschutz durch Oberflächenbehandlung.....	17
2.6.4 Verschleißcharakterisierung (Modelle, Verfahren)	24
3 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	28
4 Entwicklung eines Referenzprozesses zum Aluminiumschmieden.....	31
4.1 Entwicklung des Werkzeugkonzeptes	31
4.2 Verschleißschutzschichten auf den Gesenkeinsätzen.....	33
4.3 Entwicklung des Simulationsmodells.....	35
4.3.1 Ringstauchversuche	36
4.3.2 Prozesssimulationen	39
4.3.3 Auswertung der Prozesssimulation.....	39
4.4 Versuchsplan und Parametermatrix	47
5 Experimentelle Untersuchungen	50
5.1 Randbedingungen des Umformprozesses	50
5.2 Versuchsdurchführung und -auswertung.....	52
5.2.1 Umformenergiebedarf anhand der Weg-Spannungs-Verläufe	54

5.2.2	Auswertung der Oberflächenprofile der Gesenkeinsätze	55
5.2.3	Bauteilvermessung zur Ermittlung der Reibverhältnisse	65
6	Korrelation der Simulations- und Versuchsergebnisse	71
6.1	Aufbau des Modells in RapidMiner	75
6.2	Ermittlung des geeigneten Algorithmus zur Vorhersage von Adhäsion	76
6.3	Ermittlung der Eingangsattribute zur Vorhersage von Adhäsion	77
6.4	Ermittlung geeigneter Gestaltabweichungen zur Beschreibung der Adhäsion	81
6.5	Praktische Anwendung des Modells	83
7	Zusammenfassung und Ausblick	86
7.1	Zusammenfassung	86
7.2	Ausblick	87
8	Literaturverzeichnis	88
9	Anhang	97

Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen

A	N/mm^2	Fließspannungsfaktor
F_{adh}	N	adhäsive Reibkraft
A_R	mm^2	reale Kontaktfläche
F_N	N	Normalkraft
F_t	N	Tangentialkraft
H	HRC	Härte
K	N/mm^2	Schubfließgrenze
$K_{f,t,N}$	N/mm^2	Fließspannung unter kombinierter Last
k_{fweich}	N/mm^2	Fließspannung des weicheren Kontaktpartners
l_{max}	mm	maximale Bauteillänge
m	-	Reibfaktor
M_{r1}	%	kleinste Materialanteil
M_{r2}	%	größte Materialanteil
P_a	μm	arithmetischer Mittenrauwert des Primärprofils
P_{da}	-	mittlere Profilsteigung des Primärprofils
P_{dq}	-	mittlere quadratische Steigung des Primärprofils
P_{max}	μm	maximale Rautiefe des Primärprofils
P_p	μm	mittlere Glättungstiefe des Primärprofils
P_{pc}	-	Spitzenzahl des Primärprofils
P_{pm}	μm	mittlere Spitzenhöhe des Primärprofils
P_q	μm	quadratischer Mittenrauwert des Primärprofils
P_t	μm	Rautiefe des Primärprofils

P_{tm}	μm	mittlere Gesamthöhe des Primärprofils
P_v	μm	mittlere Riefentiefe des Primärprofils
P_{vm}	μm	mittlere Riefentiefe des Primärprofils
R_a	μm	arithmetischer Mittenrauwert
R_{da}	-	mittlere Profilsteigung
R_{dq}	-	mittlere quadratische Steigung
R_k	μm	Kernrautiefe
R_{max}	μm	maximale Rautiefe
R_p	μm	mittlere Glättungstiefe
R_{pk}	μm	reduzierte Spitzenhöhe
R_{pm}	μm	mittlere Spitzenhöhe
R_q	μm	quadratischer Mittenrauwert
R_t	μm	Rautiefe
R_{tm}	μm	mittlere Gesamthöhe
R_v	μm	mittlere Riefentiefe
R_{vk}	μm	reduzierte Riefentiefe
R_{vm}	μm	mittlere Riefentiefe
R_z	μm	gemittelte Rautiefe
S	N/mm^2	Scherfestigkeit der Verbindungsbrücken
V_{rel}	mm/s	Relativgeschwindigkeit
V_f	mm/s	Fließgeschwindigkeit
V_t	mm/s	Tangentialgeschwindigkeit
V_v	mm^3	Verschleißvolumen
w	mm	Verschleißtiefe

W_a	μm	arithmetischer Mittenrauwert des Wellenprofils
W_{da}	-	mittlere Profilsteigung des Wellenprofils
W_{dq}	-	mittlere quadratische Steigung des Wellenprofils
W_{max}	μm	maximale Rautiefe des Wellenprofils
W_q	μm	quadratischer Mittenrauwert des Wellenprofils
W_t	μm	Rautiefe des Wellenprofils
W_{tm}	μm	mittlere Gesamthöhe des Wellenprofils
W_V	μm	mittlere Riefentiefe des Wellenprofils
$W_{V\text{m}}$	μm	mittlere Riefentiefe des Wellenprofils
W_W	μm	mittlere Glättungstiefe des Wellenprofils
W_{Wc}	-	Spitzenzahl des Wellenprofils
W_{Wm}	μm	mittlere Spitzenhöhe des Wellenprofils
σ_N	N/mm^2	Normalspannung
ΔT	K	Temperaturdifferenz
ϑ	$^\circ \text{Celsius}$	Temperatur
τ_p	N/mm^2	Reibschubspannung
$\tau_{\xi\psi}$	N/mm^2	Schubspannung
μ	-	Reibzahl
μ_{adh}	-	adhäsive Reibzahl

Abkürzungen

FEM	Finite Elemente Methode
DMS	Dehnungsmessstreifen
hdp	hexagonal-dichteste Packung

krz	kubisch raumzentriert
kfz	kubisch flächenzentriert
EDV	elektronische Datenverarbeitung
AlN	Aluminiumnitrid
CAD	Computer Aided Design
DLC	Diamond Like Carbon
IFUM	Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen
IPH	Institut für Integrierte Produktion gemeinnützige GmbH
PVD	Physical Vapour Deposition
CVD	Chemical Vapour Deposition
W_{st-T}	Werkstücktemperatur
W_z-T	Werkzeugtemperatur
SVM	Support Vector Machine
VBA	Visual Basic for Applications