

Investigation of the Weather Effect on Tribological Systems of Cold Forging

The complex lubricant systems required for cold forging are in part subjected to considerably volatile weather conditions because of the process chain. The study presented here shows the possible influences based on information provided by companies and on the results of the on-site investigation of production. Of these influences, humidity, temperature and aging seem to be the most important factors. The approaches were examined with the help

of slide-compression tests. The results show that neither the regular fluctuation in humidity nor the ambient temperature have a negative influence on the friction value. Even corrosion does not influence the friction value in a negative way. In summary, it can be said that naturally occurring weather influences on the tribological systems of cold forging are acceptable for a period of one to two months.

Untersuchung des Witterungseinflusses auf tribologische Systeme der Kaltmassivumformung

Dipl.-Ing. Christoph Müller,
Dipl.-Ing. Dominik Reuter,
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Peter Groche, Darmstadt

Die für die Kaltmassivumformung notwendigen komplexen Schmierstoffsysteme werden auf Grund der Prozesskette teils erheblich schwankenden Witterungsbedingungen ausgesetzt. Auf Basis von Hinweisen von Unternehmen und Vor-Ort-Betrachtungen der Fertigung zeigt die hier vorgestellte Studie mögliche Einflüsse. Von diesen scheinen Luftfeuchtigkeit, Tempe-

ratur und Alterung am bedeutendsten zu sein. Eine Überprüfung der Ansätze erfolgte mit Hilfe von Gleitstauchversuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass weder übliche Schwankungen von Luftfeuchtigkeit noch Umgebungstemperatur einen negativen Einfluss auf den Reibwert haben. Selbst aufgetretene Korrosion beeinflusst den Reibwert nicht negativ. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass natürlich auftretende Witterungseinflüsse auf die tribologischen Systeme der Kaltmassivumformung über einen Zeitraum von bis zu zwei Monaten zulässig sind.

Einleitung

Zum wirtschaftlichen und ökologischen Herstellen von Bauteilen bietet sich die Kaltmassivumformung auf Grund ihrer hohen Bauteilgenauigkeit und guten Ressourceneffizienz an [Lan08]. Dies zeigt sich an einer jährlichen Verarbeitung von bis zu 3 Millionen Tonnen Stahl [Inf03]. Auf Grund der hohen tribologischen Lasten sind jedoch zum Erreichen zufriedenstellender Umformergebnisse spezielle, häufig komplexe Schmierstoffsysteme wie eine Zinkphosphatbeschichtung mit Seife notwendig [Bay94, Nit09a, Nit09b, Bay10]. Hierbei sind die wichtigsten Bestandteile des tribologischen Systems die Werkstoffpaarung von Werkzeug

und Werkstück, der Zwischenstoff, das auftretende Beanspruchungskollektiv und auch das Umgebungsmedium [Czi10]. Bei tribologischen Untersuchungen wird Letzteres selten berücksichtigt, obwohl bei der Kaltmassivumformung häufig lange Prozessketten mit schwankenden Bedingungen auftreten. Entsprechend könnten die tribologischen Systeme bereits vor der Umformung zum Beispiel durch Temperaturschwankungen oder Luftfeuchtigkeit verändert werden. Dies wiederum könnte zu einem Versagen der Schmierstoffsysteme führen. In einer Arbeitsgruppe der German Cold Forging Group (GCFG), einem Zusammenschluss von Kaltmassivumformern, wurde diskutiert,

dass während der Jahreszeiten mit besonderer Witterung, das heißt im Herbst und Frühjahr, ein vermehrtes, unerwartetes Versagen von Schmierstoffsystemen auftritt. Entsprechend liegt der Verdacht nahe, dass die Witterung einen Einfluss hat.

Dieser Artikel beschreibt Ergebnisse, welche im Rahmen einer durch ein Stipendium des Industrieverband Massivumformung e. V. zur Nachwuchsförderung unterstützten Untersuchung erzielt worden sind. Zuerst erfolgte eine Analyse der Prozesskette zur Identifikation von Einflussfaktoren der Witterung, welche im Gleitstauchversuch überprüft wurden.

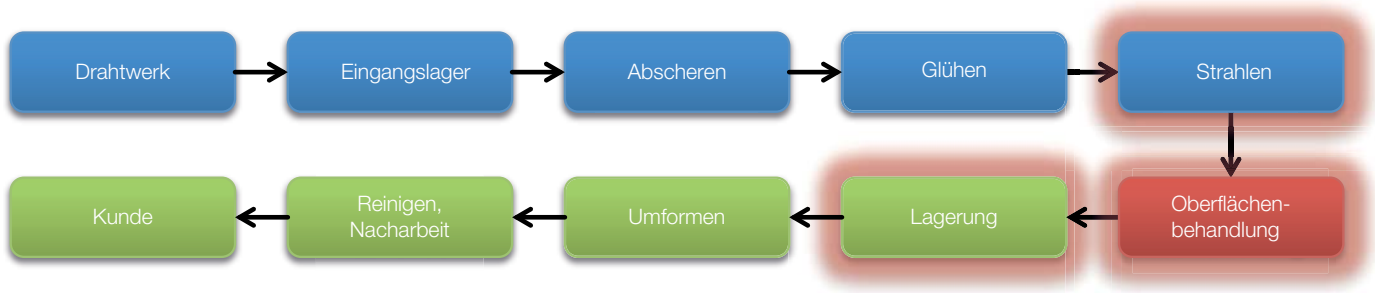


Bild 1: Vereinfachte Prozesskette der Kaltmassivumformung (Beispiel).

Identifikation von Einflussparametern

Durch Telefoninterviews mit verschiedenen Mitgliedsfirmen der GCFG erfolgte eine erste Einordnung, ob und wo ein Witterungseinfluss auftreten kann. Hierbei zeigte sich, dass deutlich unterschiedliche Meinungen zu diesem Thema existieren. Der Einfluss von Luftfeuchte auf Schmierstoffsysteme wurde jedoch von allen Teilnehmern als kritisch eingeschätzt. Witterungsbedingte Probleme treten nach Selbsteinschätzung auf Grund entsprechender Schutzmaßnahmen bei den Gesprächspartnern jedoch nur in wenigen Fällen auf.

In Diskussionen und Untersuchungen der Prozessketten vor Ort bei insgesamt elf Unternehmen konnten verschiedene Angriffspunkte für auftretende Klimafaktoren erkannt werden. Diese sind in den verschiedenen Unternehmen unterschiedlich stark ausgeprägt. Hierbei muss zwischen den Prozesskettenabschnitten vor und nach dem Beschichtungsprozess differenziert werden. Die einzelnen Prozesse sind in Bild 1 aufgelistet, wobei die rot hinterlegten Bearbeitungsschritte als besonders kritisch angesehen werden.

Vor der Oberflächenbehandlung treten vor allem Zunder sowie witterungsbedingte Korrosion auf dem Rohmaterial auf. Findet keine angemessene Oberflächenbehandlung (zum Beispiel Beizen, Strahlen) zum Entfernen

dieser Schichten statt, so ist mit verringerter Schichthaftung und in Folge dessen mit erhöhter Reibung, undefinierten Werkstückoberflächen und Werkzeugbeschädigungen zu rechnen.

Nach dem Beschichtungsprozess sind Trocknungs- und Lagerungsprozesse von besonderer Bedeutung. Durch ausbleibende oder unzureichende Trocknungsprozesse kann Flüssigkeit unter der Schmierstoffschicht eingeschlossen bleiben. Auch in diesem Fall ist die Schichthaftung nicht gewährleistet. Lagerprozesse bieten hingegen viele Angriffsmöglichkeiten für die Witterung. Hohe auftretende Luftfeuchte führt in Abhängigkeit vom Schmierstoffsystem und der Lagerdauer zur Ausbildung von Korrosion. Erhöhte Temperaturen beschleunigen diesen Prozess zusätzlich. Darüber hinaus kann die Lagerung in der Nähe von sauren Dämpfen, wie sie zum Beispiel beim Beizen entstehen, die Korrosionswirkung verstärken. Ebenfalls unterscheidet sich die Anfälligkeit der Schmierstoffe voneinander. Im Allgemeinen bietet das Zinkphosphat bei Zweischichtsystemen ein zusätzliches Korrosionsschutzpotenzial [Nar05]. Molybdändisulfid hingegen erhöht die Korrosionsanfälligkeit üblicherweise erheblich.

Laborversuche

Zur Überprüfung der Hypothesen wurden am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen der Technischen Universität

Darmstadt (PtU) Reibversuche durchgeführt. Die Bestimmung der Reibwerte erfolgte bei definierten klimatischen Vorbelastungen unter einem repräsentativen Lastkollektiv. Prüfkörper waren zylindrische Proben aus dem Material 16MnCrS5 mit gestrahlter Oberfläche und verschiedenen Schmierstoffsystemen. Die ausgewählten Schmierstoffsysteme waren zwei Polymerschmierstoffe (Polymer A und B) und ein Salzschniermittelträger mit integrierter Schmierung (Salz-Wachs) ohne Konversionsschicht sowie die am stärksten verbreiteten Schmierstoffsysteme Natriumseife (ZnP + Seife) und Molybdändisulfid (ZnP + MoS2) auf einer Zinkphosphatträgerschicht. Die Prüfkörper wurden im Anschluss an die Beschichtung den in Tabelle 1 beschriebenen Lagerbedingungen ausgesetzt, bevor sie im Gleitstauchversuch untersucht wurden.

Als Reibversuch wurde der am PtU entwickelte Gleitstauchversuch gewählt. Dieser beruht auf einem Stauchen der Probe, dem ein Gleitvorgang bei aufrechterhaltener Stauchkraft folgt. Realisiert wird dies mittels einer zweifach wirkenden Presse, welche Stößel und Pressentisch senkrecht zueinander verfahren kann. Über die aufgezeichneten Kräfte in Gleitrichtung errechnet sich der Reibwert. Die ermittelten Reibwerte sind nicht konstant, sondern hängen unter anderem vom aufgebrachten Lastkollektiv und dem Gleitweg ab [Gro04, Kap05, Gro09, Sta12].

Lagerbedingungen	Luftfeuchte	Temperatur	Lagerdauer	Besonderheit
Normale Bedingungen	20 % bis 45 %	Raumtemperatur	< 48 Std.	Referenzwerte
Niedrige Luftfeuchte	< 5 %	Raumtemperatur	5 Tage	Keine
Erhöhte Luftfeuchte	75 %	Raumtemperatur	4 Tage	Keine
Hohe Luftfeuchte	60 % bis 93 %	17 °C bis 30 °C	23 Tage	Korrosionsbildung
Temperaturen unter 0 °C	65 % bis 78 %	-15 °C bis -21 °C	2 Tage	Kondensfilmbildung
Temperaturen über 70 °C	0 % bis 30 %	75 °C bis 80 °C	2,5 Tage	Keine
Natürliche Witterung	20 % bis 76 %	-7 °C bis 16 °C	60 Tage	Keine

Tabelle 1: Übersicht der Lagerbedingungen vor den Gleitstauchversuchen.

Die verwendeten Versuchsparameter waren eine Gleitgeschwindigkeit von 50 mm/s, ein Gleitweg von 60 mm, eine mittlere Kontaktnormalspannung von 740 N/mm² (Maximum: 1.220 N/mm²) und eine mittlere Oberflächenvergrößerung im Kontaktbereich von 2,4 (Maximum: 3,3).

Feuchtigkeitseinfluss

Die in Bild 2 dargestellten Laborversuche zeigen, dass der Einfluss der Luftfeuchte auf den Reibwert im Gleitstauchversuch annähernd vernachlässigbar ist. Verglichen mit den Referenzversuchen (normale Bedingungen), schwanken die Versuchsergebnisse bei niedriger, erhöhter und hoher Luftfeuchte jeweils geringfügig um den Referenzwert. Von den untersuchten Schmierstoffsystemen weist nur Zinkphosphat mit Molybdändisulfid eine deutliche Verringerung des Reibwertes auf. Dieser sinkt auf Werte der anderen untersuchten Systeme. Allerdings liegen die Werte bei diesem Schmierstoffsystem unter normalen Bedingungen und auch bei erhöhter Luftfeuchte deutlich höher als bei den anderen Schmierstoffsystemen.

Nach Lagerung bei hoher Luftfeuchte sind unterschiedliche Korrosionsgrade auf den Probenoberflächen zu erkennen. Am stärksten betroffen ist Molybdändisulfid auf der Zinkphosphatbeschichtung mit Korrosion auf 50 Prozent der Probenoberfläche. Dennoch sinkt der Reibwert. Zinkphosphat mit Seife hingegen weist keine Anzeichen von Korrosion auf. Die Reibwerte weisen bei jeweils fünf Messungen eine geringe Streuung auf.

Temperatureinfluss und Schmierstoffalterung

Die Ergebnisse der Untersuchung von Temperatureinflüssen aus Bild 3 zeigen, dass Lagertemperaturen unter dem Gefrierpunkt einen deutlichen Einfluss auf den Reibwert

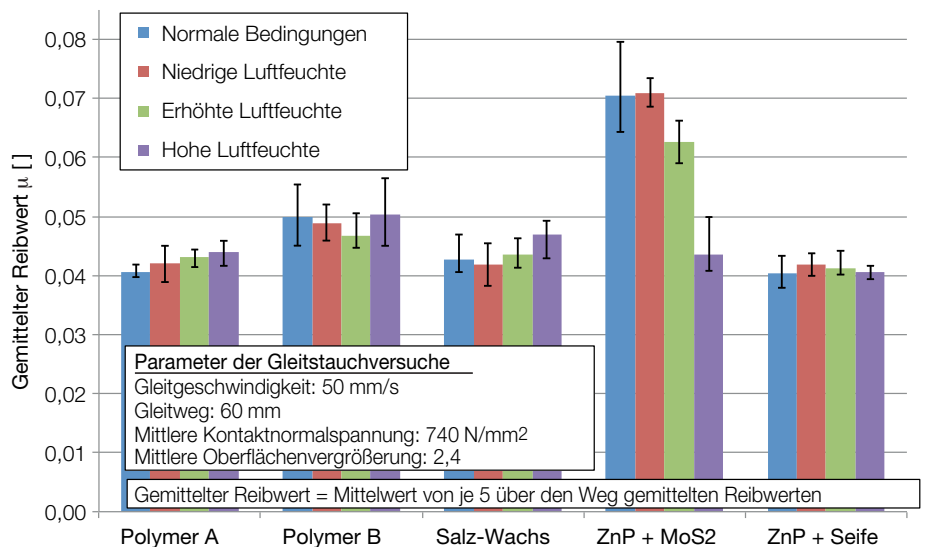


Bild 2: Einfluss der Luftfeuchte auf den Reibwert.

haben, während erhöhte Temperaturen diesen nur geringfügig beeinflussen. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um den direkten Temperatureinfluss. Vielmehr wirkt sich hier die deutlich erkennbare Kondenswasserbildung bei Umgebungsluftfeuchte nach Entnahme der Proben aus dem Kälteschrank aus. Mit Ausnahme des Schmierstoffsystems ZnP + Seife reagieren alle Schmierstoffsysteme hierauf mit einer deutlichen Abnahme der Reibwerte. Im Fall von ZnP + MoS2 sinkt der mittlere Reibwert auf ungefähr 40 Prozent des Referenzwertes.

Die Gleitstauchversuche nach Lagerung über 60 Tage bei natürlicher Witterung stellen eine Kombination verschiedener Einflussgrößen dar. Schwankende Temperaturen zwischen -7 °C und 16 °C sowie natürlich auftretende Luftfeuchte zwischen 20 Prozent und 76 Prozent zeigen trotz einer Lagerzeit von 60 Tagen keinen deutlichen Einfluss auf den

Reibwert. Eine Schmierstoffalterung von zwei Monaten zeigt hierbei nach nicht optimalen Lagerbedingungen keinen negativen Einfluss auf den Reibwert im Gleitstauchversuch.

Zusammenfassung und Fazit

Die Untersuchungen zeigen, dass relative Luftfeuchten von bis zu 75 Prozent nach einer Lagerdauer von vier Tagen keinen negativen Einfluss auf die ausgewählten tribologischen Systeme haben. Über eine Dauer von drei Wochen führt eine Luftfeuchte von bis zu 90 Prozent zur Ausbildung von Korrosion. Obwohl Molybdändisulfid auf Zinkphosphat am stärksten betroffen ist, steigt der Reibwert nicht an. Bei der Umformung sind jedoch Beeinträchtigungen in Form von Werkzeugbeschädigungen durch Abrasion und eingepresste Korrosionspartikel im Umformteil zu erwarten. Lagertemperaturen zwischen -20 °C und +25 °C sowie eine kurzzeitige Lagerung bis zu 75 °C erweisen sich als nicht bedeutend.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Lagerdauer von bis zu zwei Monaten bei den untersuchten Schmierstoffsystemen unproblematisch ist, solange die Luftfeuchte nicht dauerhaft 75 Prozent übersteigt. Minimale Flüssigkeitsmengen hingegen können eine erhebliche Reduzierung des Reibwertes bei gleichzeitig guter Oberflächenqualität herbeiführen. Für weitere Betrachtungen scheint der Einfluss von Wasser interessant, denn hierdurch scheint eine Reibkraftreduzierung möglich zu sein.

Die Ergebnisse belegen weiterhin, dass bei einer ordnungsgemäßen Vorbehandlung und Beschichtung der Rohlinge sowie einer Lagerung bei gemäßigten Temperaturen und Luftfeuchten keine negativen Einflüsse auf den Reibwert auftreten und damit keine Beeinträchtigung des Umformverhaltens zu erwarten ist. Korrosionserscheinungen bleiben auch nach einer Lagerdauer von bis zu zwei Monaten aus.

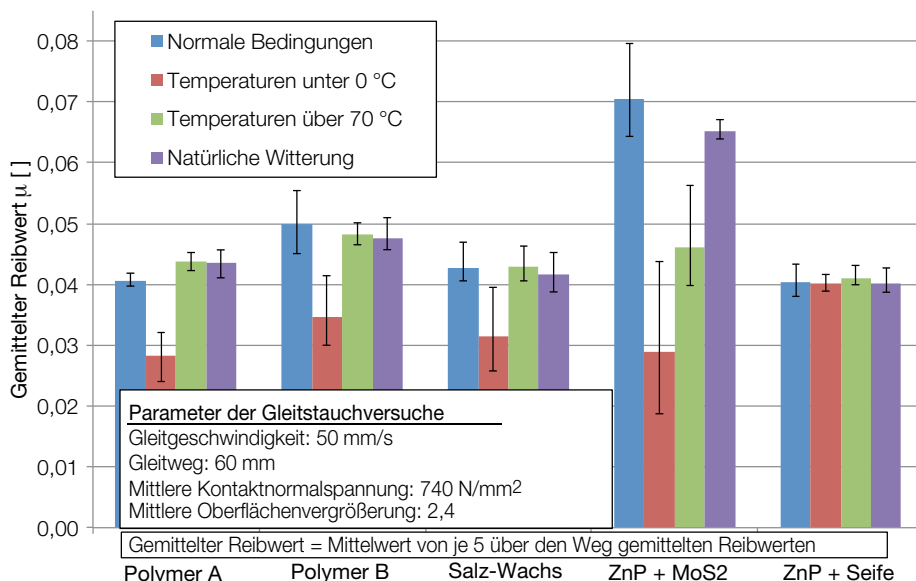


Bild 3: Einfluss der Temperatur und der Schmierstoffalterung auf den Reibwert.

Bilder: Autoren

Literatur

[Bay10] Bay, N.; Azushima, A.; Groche, P.; Ishibashi, I.; Merklein, M.; Morishita, M. et al.: Environmentally benign tribo-systems for metal forming. *Annals of CIRP* 59, 2010, S. 760–780.

[Bay94] Bay, N.: The state of the art in cold forging lubrication. *Journal of Materials Processing Technology* 46, 1994, S. 19–40.

[Czi10] Czichos, H.; Habig, K.-H.: *Tribologie-Handbuch*. 3. Auflage, Vieweg + Teubner, 2010.

[Gro04] Groche, P.; Kappes, B.: *Tribologie der Massivumformung - Modellprüfstände der Tribologie*. Handbuch der Tribologie und Schmierungsstechnik, 2004, S. 1–15.

[Gro09] Groche, P.; Stahlmann, J.; Hartel, J.; Köhler, M.: Hydrodynamic Effects of Macroscopic Deterministic Surface Structures in Cold Forging Processes. *Tribology International* 42, 2009, S. 1173–1179.

[Inf03] Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.: *Kaltmassivumformung: Präzision in großen Serien*. 2003.

[Kap05] Kappes, B.: Über den Nachweis tribologischer Effekte mit Hilfe von Modellversuchen im Bereich der umweltfreundlichen Kaltmassivumformung. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. Shaker Verlag, 2005.

[Lan08] Lange, K.; Kammerer, M.; Pöhlandt, K.; Schöck, J.: *Fließpressen*. Springer, 2008.

[Nar05] Narayanan, S.: Surface Pretreatment by Phosphate conversion coatings - A Review. *Reviews on advanced Materials Science* 9, 2005, S. 130-177.

[Nit09a] Nittel, K. D.: Chemische Beschichtungssysteme als Schmierstoffträger für die Kaltmassivumformung. *Tribologie + Schmierungsstechnik* 4/2009, 2009, S. 42–49.

[Nit09b] Nittel, K. D.: Schmierstoffe für die Kaltmassivumformung. *Tribologie + Schmierungsstechnik* 5/2009, 2009, S. 37–41.

[Sta12] Stahlmann, J.; Nicodemus, E.; Sharma, S.; Groche, P. (2012): Surface Roughness Evolution in FEA Simulations of Bulk Metal Forming Process. *Wear*, 288, S. 78–87.

Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Industrieverband Massivumformung e. V., welcher durch das vergebene Stipendium die Bearbeitung ermöglicht hat, sowie den kooperierenden Unternehmen, welche die intensiven und interessanten Betrachtungen der Prozesskette erlaubt haben.



Dipl.-Ing.
Christoph Müller



Dipl.-Ing.
Dominik Reuter



Prof. Dr.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Peter Groche