The Influence of Velocity on the Tribology of Cold Forging

Due to recent developments in the servopress-technology, the use of this technology has gained more and more interest for companies in the field of cold forging. Flexibly adjustable stroke curves enable a specific control of the forging process by means of a variation of the stroke velocity and, therefore, the relative velocity between tool and workpiece. This article presents a focused examination of the effects of different relative velocities on the tribological system. The results obtained by using the Sliding Compression Test, show that increasing relative velocities have a positive influence on the friction coefficient. Thereby, an increase of the temperature at the tool/workpiece interface has a major impact. The results won in laboratory tests have finally been verified by a solid forward extrusion process.

Geschwindigkeitseinfluss auf die Tribologie der Kaltmassivumformung

Dipl.-Ing. Sebastian Zang und
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche, Darmstadt

Bedingt durch die Entwicklung der Servopressen-Technologie in den letzten Jahren wird deren Einsatz für Unternehmen im Bereich der Kaltmassivumformung immer interessanter. Die Nutzung flexibel gestaltbarer Hubverläufe ermöglicht es dabei, gezielt auf den Umformprozess durch eine Variation der Umformgeschwindigkeit und somit der Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück Einfluss zu nehmen. Der vorliegende Artikel präsentiert eine gezielte Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher Relativgeschwindigkeiten auf das tribologische System. Die mit Hilfe einer Gleitstauchanlage ermittelten Ergebnisse zeigen, dass zunehmende Relativgeschwindigkeiten einen positiven Einfluss auf den Reibwert haben. Dabei führt maßgeblich die Temperaturerhöhung in der Trennfuge zwischen Werkzeug und Werkstück zu einem Abfallen des Reibwerts. Die in Labortests ermittelten Ergebnisse konnten abschließend bei einem Voll-Vorwärts-Fließpressprozess verifiziert werden.

Einleitung

Die Verfahren der Kaltmassivumformung sind in der Industrie aufgrund ihrer wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile bei der Bauteilherstellung weit verbreitet. Zu nennen sind an dieser Stelle unter anderem die hohe Materialausnutzung, die Möglichkeit, Bauteile mit engen Toleranzen fertigen zu können sowie die sich während der Umformung einstellende Kaltverfestigung [Lan 08]. Eine jährliche Verarbeitung von bis zu 299.000 Tonnen Stahl unterstreicht die Bedeutung der Kaltmassivumformung [Eur11]. Allerdings treten bedingt durch die Umformung bei Raumtemperatur auch hohe tribologische Lasten auf. Die Literatur verweist hierbei auf Kontaktnormalspannungen bis zu 3.000 N/mm² für niedrig legierte Stähle [Hem99, Bay10], Oberflächenvergrößerungen bis zu 30 [Bay94] und Relativgeschwindigkeiten bis zu 500 mm/s [Gro13]. Um diesen begegnen zu können,

sind komplexe Schmierstoffsysteme, häufig auf Basis einer Zinkphosphat-Konversionsschicht, notwendig [Bay94, Nit09]. Jedoch kommt dem Schmierstoffsystem nicht nur die Aufgabe zu, den Verschleiß zu vermindern und somit Werkzeugstandzeiten zu erhöhen. Oftmals kann dieses auch direkt den Prozess und die Umformergebnisse beeinflussen. Daher war das tribologische System bereits Thema zahlreicher Untersuchungen. Den größten Einfluss auf die Tribologie hat der Schmierstoff selbst. Jedoch sind auch auf Seiten des Werkstücks die Oberflächenbehandlung und das Werkstückmaterial von Bedeutung [Hu00, Sag11]. Auf Seiten des Werkzeugs sollte die Oberflächenbeschaffenheit und eine mögliche Beschichtung beachtet werden [Jun08, Sya11, Gei04]. Weiterhin hat sich gezeigt, dass auch die Umgebungsbedingungen einen Einfluss auf das tribologische System haben [Gro12, Mue12].

Aufgrund der Entwicklungen der Servopressen-Technologie in den letzten Jahren wird auch deren Einsatz im Bereich der Kaltmassivumformung immer interessanter. Servopressen ermöglichen die Nutzung flexibel gestaltbarer Hubverläufe, mit denen gezielt auf den Umformprozess durch eine Variation der Umformgeschwindigkeit und somit der Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück Einfluss genommen werden kann. Untersuchungen zum Einfluss der Relativgeschwindigkeit auf die Tribologie der Kaltmassivumformung sind in der Literatur bisher nicht ausreichend dokumentiert. Daher präsentiert dieser Artikel eine gezielte Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher Relativgeschwindigkeiten auf das tribologische System.

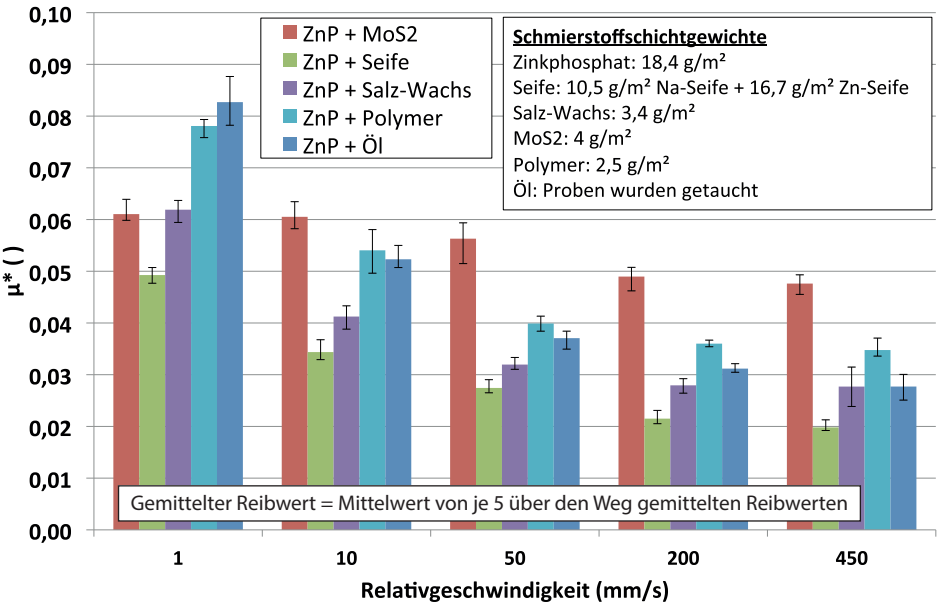

Bild 1: Charakteristischer Verlauf der Reibung über der Relativgeschwindigkeit.

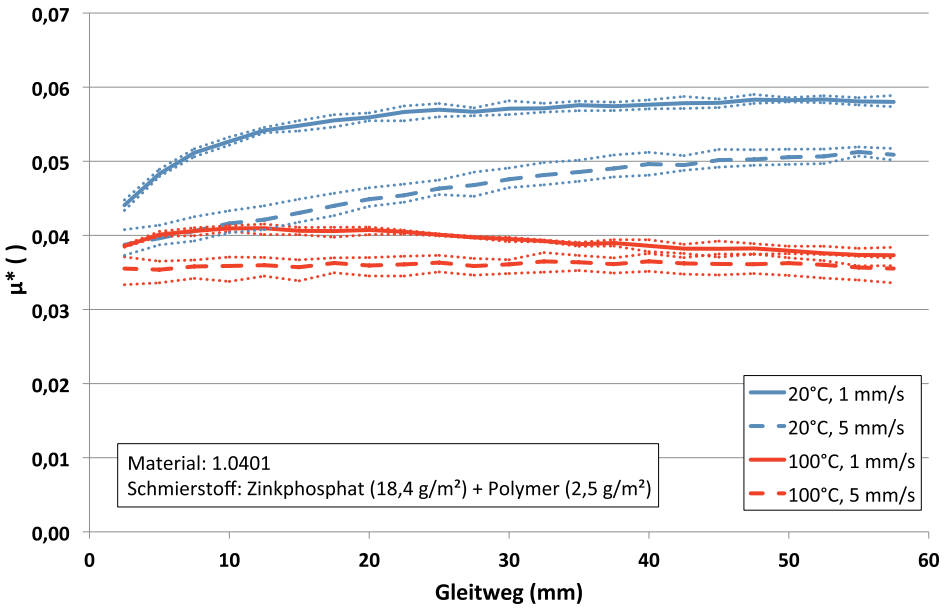

Bild 2: Temperierter Gleitstauchversuch.

Laborversuche

Zur Untersuchung des Einflusses der Relativgeschwindigkeit auf das tribologische System wurden am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen der Technischen Universität Darmstadt (PtU) Reibversuche durchgeführt. Für die Durchführung der Versuche wurde zunächst ein Lastkollektiv aus einem repräsentativen Voll-Vorwärts-Fließpressprozess numerisch bestimmt. Die Prüfkörper waren zylindrische Proben aus dem Material 1.0401 (C15) mit einem Durchmesser von 15 mm und einer Probenhöhe von 20 mm. Die zuvor mit WS 330 gestrahlten Proben wurden auf Basis einer Zinkphosphat-Schicht mit verschiedenen Schmierstoffen beschichtet. Als Schmierstoffe dienten ein Polymerschmierstoff, ein Kaltfließpress-Öl, ein Salzschmiermittelträger mit integrierter Schmierung (Salz-Wachs), eine Seife und Molybdändisulfid.

Die tribologischen Untersuchungen der Prüfkörper fanden auf der am PtU entwickelten Gleitstauchanlage statt. Der Gleitstauchversuch basiert auf einem Stauchvorgang, während dessen definierte Oberflächenvergrößerungen des Prüfkörpers und wirkende Kontaktnormalkräfte zwischen Probe und Werkzeug eingestellt werden können. Unter Aufrechterhaltung der Stauchkraft wird ein Gleitvorgang mit einstellbarer Geschwindigkeit eingeleitet. Mit der Gleitstauchanlage sind Geschwindigkeiten bis zu 500 mm/s erreichbar. Realisiert wird dies mittels einer zweifach wirkenden Presse, welche Stößel und Pressentisch senkrecht zueinander verfahren kann. Über die integrierte Messtechnik können Kräfte in Gleitrichtung gemessen werden. Aus dem Quotient aus der Kraft in Gleitrichtung und der Stauchkraft errechnet sich der Reibwert nach dem Gesetz von Coulomb. Allerdings sind die ermittelten Reibwerte μ* nicht konstant, sondern hängen unter anderem vom aufgebrachten Lastkollektiv, wie Kontaktnormalkraft, Oberflächenvergrößerung und Temperatur und weiterhin von Gleitweg und Relativgeschwindigkeit ab [Gro04, Kap05, Sta12].

Untersucht wurden fünf unterschiedliche Relativgeschwindigkeiten zwischen 1 mm/s und 450 mm/s mit den oben genannten Schmierstoffsystemen bei Raumtemperatur.

Die weiteren Parameter Gleitweg (60 mm) und Kontaktnormalspannung (max. 1.970 N/mm²) blieben konstant. Jeder Versuch wurde fünfmal wiederholt, dabei fand eine Reinigung der Gleitplatten zwischen jeder Reihe statt.

Geschwindigkeitseinfluss

In Bild 1 ist ein charakteristischer Verlauf des Reibwerts über die Relativgeschwindigkeit dargestellt. Man erkennt deutlich, dass mit zunehmender Relativgeschwindigkeit der Reibwert sinkt. Dies trifft auf alle betrachteten Schmierstoffsysteme zu. Der größte Einfluss ist bei Zinkphosphat + Öl erkennbar. Hier kann durch eine Zunahme der Geschwindigkeit von 1 mm/s auf 450 mm/s ein Abfall des Reibwerts von zirka 67 Prozent erreicht werden. Weiterhin tritt, wie in Bild 2 bei 20 °C dargestellt, ein Anstieg der Reibwerte über den Gleitweg auf. Müller hat gezeigt, dass dieser auf das Ausdünnen des Schmierstoffs infolge der Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück zurückzuführen ist [Mue13]. Mit zunehmender Relativgeschwindigkeit ist zu beobachten, dass der Reibwertanstieg über dem Gleitweg geringer wird. Der entscheidende Einflussfaktor ist die Temperatur in der Trennfuge zwischen Probe und Gleitplatte. Mit zunehmender Relativgeschwindigkeit steigt diese an und resultiert in einem geringer werdenden Anstieg des Reibwerts über dem Gleitweg. Hierfür wurden mit Hilfe des Simulationsprogramms Simufact.FormingGP 11.0 die auftretenden Temperaturen in der Trennfuge simuliert. Auf Basis der im Versuch ermittelten geschwindigkeitsabhängigen Reibwerte sowie der Weg/Zeit-Verläufe des Pressentischs konnten für Gleitgeschwindigkeiten von 200 mm/s Temperaturen bis zu T_{max} = 170 °C und für 450 mm/s sogar Temperaturen bis zu T_{max} = 300 °C erreicht werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde ein temperierter Gleitstauchversuch durchgeführt. Verwendet wurde das Material C15 (1.0401) zusammen mit Polymer (2,5 g/m²) als Schmierstoff. In Bild 2 sind die Ergebnisse dargestellt: Es tritt ein deutliches Abfallen des Reibwerts von µ* = 0,058 auf µ* = 0,041 bei 1 mm/s Relativgeschwindigkeit und einer Erhöhung der Gleitplattentemperatur von 20 °C auf 100 °C auf. Gleichermaßen verhält sich der Reibwert bei 5 mm/s Gleitgeschwindigkeit. Der Anstieg des Reibwertes über den Weg bei T = 20 °C und 1 mm/s entfällt bei T = 100 °C. Damit zeigt sich, dass die Temperatur einen entscheidenden Einfluss auf das Schmierverhalten hat, die sowohl in einem Absinken der Reibwerte als auch in einer geringeren Abweichung des Reibwerts über dem Gleitweg resultiert.

Verifikation im Realversuch

Zur Verifikation der im Gleitstauchversuch ermittelten Ergebnisse wurde ein Voll-Vorwärts-Fließpress-Prozess auf einer Servomotorpresse am PtU durchgeführt. Dieser diente bereits im Vorfeld der Laboruntersuchungen als Vorlage für die numerische Bestimmung der tribologischen Lasten. Als Schmierstoff fand Polymer auf Basis einer Zinkphosphat-Schicht Einsatz. In Bild 3 ist ebenso wie bei den Gleitstauchversuchen zu beobachten, dass die Umformkraft mit einer Zunahme der Relativgeschwindigkeit, beziehungsweise Hubzahl, absinkt. Insbesondere bei 1 Hub/min steigt die Kraft stark an. Dies ist damit zu begründen, dass mit einer geringeren Umformgeschwindigkeit die höheren Reibwerte in einem Ausbauchen der Probe resultieren. Durch die vergrößerte Kontaktfläche zwischen Werkzeug und Werkstück steigt die Umformkraft stark an. Insgesamt ist eine Kraftersparnis von 25 Prozent zwischen 1 Hub/min und 31 Hub/min erreichbar.

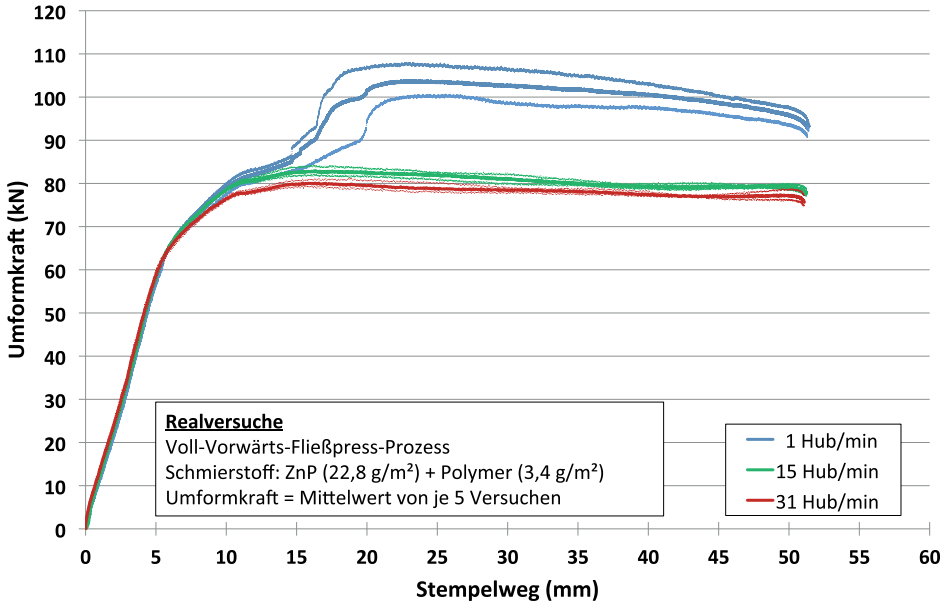

Bild 3: Voll-Vorwärts-Fließpressprozess bei unterschiedlichen Hubzahlen. Bilder: Autoren

Zusammenfassung und Fazit

Die Untersuchungen zeigen, dass im betrachteten Bereich von 1 mm/s bis 450 mm/s eine Zunahme der Relativgeschwindigkeit in einem Absinken des Reibwerts resultiert. Je nach Schmierstoffsystem konnte der Reibwert um mehr als 60 Prozent verringert werden. Das System Zinkphosphat + Molybdändisulfid zeigt die geringste Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit, jedoch ist auch hier noch ein Absinken des Reibwerts um 22 Prozent zu beobachten. Bei keinem der Versuche ist Verschleiß an den Gleitplatten aufgetreten.

Für das Absinken des Reibwerts ist maßgeblich die Temperatur verantwortlich. Bedingt durch die hohen Relativgeschwindigkeiten steigt auch die Temperatur in der Trennfuge an und resultiert so in einem Absinken des Reibwerts. Darüber hinaus verringert sich durch die erhöhte Temperatur der Anstieg des Reibwerts über dem Gleitweg.

Die ermittelten Ergebnisse aus den Gleitstauchversuchen konnten auf die Ergebnisse aus dem Realversuch auf der Servomotorpresse übertragen werden. ■

Dipl.-Ing.
Sebastian Zang

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

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 16497 N der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.