

## Tribologie des Ausstoßens

Tribologische Systeme in der Kaltmassivumformung sind hohen Belastungen ausgesetzt. Insbesondere beim Ausstoßprozess ist das tribologische System stark vorbelastet, wodurch die Versagenswahrscheinlichkeit ansteigt. Die Messung und Beeinflussung der beim Ausstoßen vorherrschenden Lasten wird im folgenden Artikel dargestellt. Hierfür kommt eine veränderliche Vorspannungseinrichtung zum Einsatz.

## AUTOREN



**Christoph Kuhn, M. Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen der Technischen Universität Darmstadt



**Patrick Kirchner**

ist Project Manager im Tech Center Forming Technology der ZF Friedrichshafen AG in Schweinfurt



**Wilhelm Schmidt, M. Sc.**

ist ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen der Technischen Universität Darmstadt



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

leitet das Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) der TU Darmstadt

Die Kaltmassivumformung zeichnet sich bei der Serienfertigung von hochbelasteten Bauteilen durch eine hohe Maß- und Formgenauigkeit sowie Energie und Kosteneffizienz aus. Einher mit der Kaltmassivumformung gehen hohe tribologische Lasten. Um diese zu beherrschen sind insbesondere die tribologischen Herausforderungen während der Formgebung zu meistern. Dazu kommen oftmals komplexe Schmierstoffsysteme auf Zinkphosphat-Seifen-Basis zum Einsatz, die aufgrund ihrer Nachteile hinsichtlich der Umweltverträglichkeit durch umweltverträglichere Einschichtschmierstoffsysteme wie Molybdän oder Polymer ersetzt werden sollen. Sind die Schmierstoffsysteme den tribologischen Herausforderungen nicht gewachsen kommt es zum Versagen. Im Fokus bestehender Untersuchungen zum Versagen von Schmierstoffsystemen steht zumeist der Vorhub. Dem angeschlossenen Ausstoßprozess wurde bisher nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Dabei ist das tribologische System in diesem Prozessschritt, insbesondere durch Schmierstoffausdünnung während des Vorhubs, stark vorbelastet. Dadurch steigt die Versagenswahrscheinlichkeit.

Kommt es durch vorbelastete Schmierstoffsysteme zum Anstieg der Reibung, führt dies beim Fließpressen von Aluminium zum deutlichen Anstieg der Ausstoßkräfte, in dessen Folge die Werkzeugstandzeit verringert werden kann. Zudem wurde festgestellt, dass die Auswerferkraft mit zunehmender Umformkraft ansteigt [1]. Tiefgehende Untersuchungen

von Missal am Beispiel von Hohlbauteilen mit komplexer helixförmiger Innengeometrie zeigen numerisch, dass eine Steigerung des Reibkoeffizienten um 0,1 zu einem 20-Prozent-Anstieg der Auswerferkraft führt. Zudem führt ein nach dem Umformen abgekühltes Bauteil zu acht Prozent Steigerung der Auswerferkraft, wohingegen die Auswerfergeschwindigkeit keinen Einfluss hat [2].

Weiterführende Forschungsergebnisse zeigen, dass Ausstoßkräfte bei der Aluminiumumformung durch elastische Stempel, die ein Rückfedern nach der Umformung ermöglichen, um bis zu 79 Prozent reduziert werden können. Ebenso lässt sich der Ausstoßprozess durch das aktive Einspritzen von Schmiermitteln positiv beeinflussen [3]. In beiden Fällen konnten Aufschweißungen auf der Stempeloberfläche reduziert werden.

Ergebnisse aus vorrangegangenen Untersuchungen zeigen, dass der Ausstoßprozess den Eigenspannungszustand beeinflusst [4]. Weiterführend lassen sich über einen kontrolliert gesteuerten Ausstoßprozess – mittels einer aktiven Matrize – Eigenspannungen gezielt einstellen [5]. Durch gezieltes Einstellen des Eigenspannungszustands lassen sich der Wärmeverzug oder ein Verzug bei nachfolgenden Fertigungsschritten reduzieren, wodurch Produktionsausschüsse vermieden und Bauteiltoleranzen aufgrund verringertem Verzug verbessert werden können [6]. Des Weiteren steigern oberflächennahe Eigenspannungen die Ermüdungsfestigkeit [7]

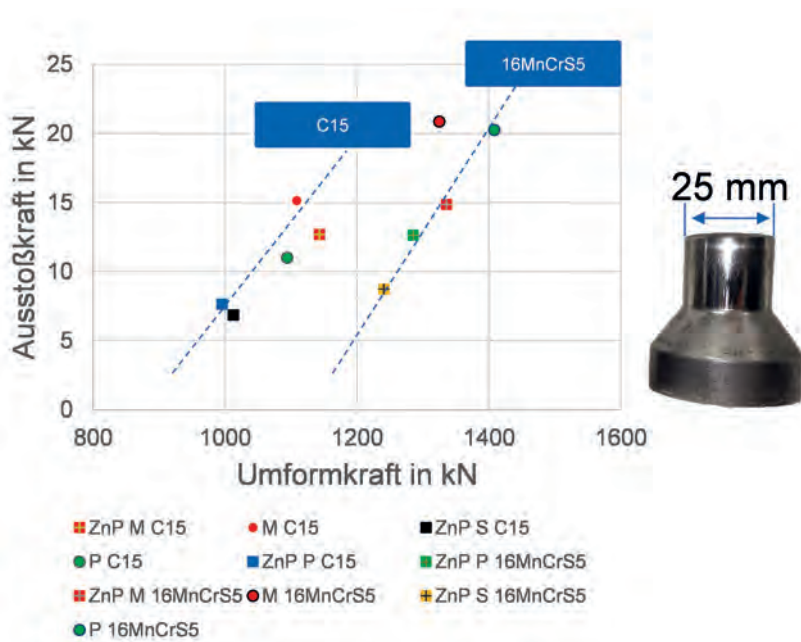


Bild 1: Umform- und Ausstoßkräfte im industriellen Fließpressprozess

und vermindern Rissentstehung [8]. Auch können Spannungskorrosionen durch das gezielte Einbringen von Druckeigen-  
spannungen reduziert werden [9].

Die genannten Erkenntnisse lassen sich nicht direkt auf die Gegebenheiten der Kaltmassivumformung übertragen. Zudem sind die im Ausstoßprozess vorliegenden tribologischen Zustände ebenso unbekannt wie die Möglichkeit, diese durch einen gesteuerten Ausstoßprozess zu beeinflussen.

In diesem Beitrag erfolgt im ersten Schritt die Quantifizierung der Ausstoßkraft in Abhängigkeit verschiedener tribologischer Systeme. In einer anschließenden Machbarkeitsstudie soll der Einfluss einer Vorspannungsveränderung während des Umformprozesses auf die Ausstoßkraft untersucht werden. Potenziell sind dabei sinkende Ausstoßkräfte zu erwarten, was zu längeren Standzeiten führen würde.

Wirtschaftlich führen längere Standzeiten in Folge potenziell reduzierter Ausstoßkräfte und des damit verbundenen geringeren Verschleißes zu verringerten Kosten. Diese ergeben sich aus reduzierten Werkzeugkosten, geringeren Rüstzeiten, höherer Maßstabilität während der Fertigung, verringerter Ausschussquote und geringeren Bauteilkosten.

Zur Erforschung der tribologischen Zustände während des Ausstoßens sollen im Folgenden zuerst die tribologischen Lasten in einem industriellen Prozess quantifiziert werden. Hierbei kommen sowohl etablierte als auch ökologisch vorteilhafte Schmierstoffe zum Einsatz. Die Messung von tribologischen

Lasten im Ausstoßprozess stellt im industriellen Fertigungsumfeld – insbesondere wegen der fehlenden Zugänglichkeit des Auswerfers – eine Herausforderung dar.

Gemeinsam mit der ZF Friedrichshafen AG am Standort Schweinfurt wurde eine Serienpresse mit einer DMS-Sensorik ausgestattet. Durch Anpassungen und das Schaffen von Kabelführungen in bestehenden Werkzeugaufnahmen wurde die Möglichkeit geschaffen, die Ausstoßkraft zu messen. Die Kraftmessung erfolgt durch die Messung der Dehnungsänderung der Werkzeugaufnahme. Diese ist im Betrieb vorgespannt und erlaubt dadurch eine vergleichende Messung der Kraft während der Umformung und beim Ausstoßen.

Die untersuchten Werkstoffe C15 und 16MnCrS5 durchliefen vor dem Umformprozess einen GKZ-Glühprozess. Als Schmierstoff kommt Zinkphosphat (ZnP) mit Polymer (P), mit Seife (S) und mit molybdändisulfidbasiertem Schmierstoff (M) zum Einsatz. Die Schmierstoffe auf Polymerbasis und auf Molybdändisulfidbasis kommen zudem auch ohne ZnP-Schicht zum Einsatz.

Bild 1 zeigt die Auswertung der Versuche. Dabei ist die Ausstoßkraft über der maximalen Umformkraft beim Prozess dargestellt. Zudem ist eine Trendlinie für beide Werkstoffe enthalten.

Es ist zu erkennen, dass mit steigender Umformkraft die Ausstoßkraft deutlich zunimmt. Auch ist zu beobachten, dass bei den ZnP-haltigen Schmierstoffen die geringsten Ausstoßkräfte auftreten. Die Leistungsfähigkeit des etablierten Systems ist als ausgesprochen gut zu bewerten, es lässt sich allerdings

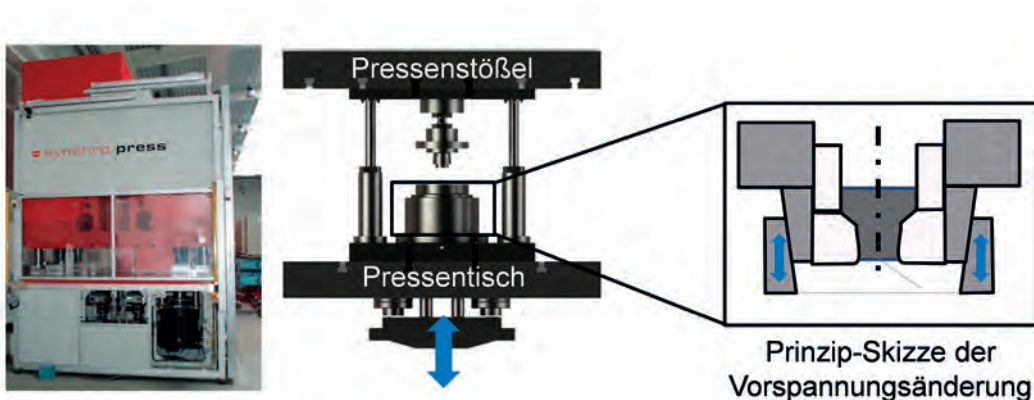


Bild 2: Werkzeugaufbau

auch mit alternativen Schmierstoffen kombinieren. Andererseits zeigen sich Ausstoß- und Umformkräfte mit neuen Schmierstofftechnologien ohne ZnP deutlich erhöht. Positiv ist anzumerken, dass die Umformung dennoch erfolgreich und ohne Werkzeugverschleiß ablief.

Es stellt sich die Frage, wie die Umformlasten beim Ausstoßen reduziert werden können. Eine Möglichkeit ist die Reduzierung der Vorspannung der Werkzeugmatrize während des Ausstoßens. Im industriell etablierten Prozess ist dies nicht ohne weiteres möglich, da die Fließpressmatrizen in Armierungen eingepresst sind. An einer zweifach wirkenden Laborpresse am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU) in Darmstadt besteht die Möglichkeit, die Vorspannung aktiv einzustellen. Hierfür kommt der in Bild 2 dargestellte Werkzeugaufbau zum Einsatz.

Zur Vorspannungsveränderung wird in der zweifach wirkenden Servomotorpresse die Ziehkissenaktorik verwendet: Ein Keilgetriebe übersetzt eine Aufwärtsbewegung in eine Vorspannung mittels einer radialen Zustellung mit zirka 0,1 mm Innendurchmesseränderung. Eine Abwärtsbewegung führt entsprechend zu einer Vorspannungsverminderung. Da nun keine Aktorik mehr zum Auswerfen bereitsteht, erfolgt das Ausstoßen der Proben mittels eines Hydraulikzylinders, an welchem die Ausstoßkraft ermittelt wird. Die Fließpressmatrize ist vor der Fließpressschulter zweigeteilt. Dieses Vorgehen ist nötig, um die Fließpressmatrize im zur Verfügung stehenden Bauraum unterzubringen. Der obere Teil der Matrize ist daher bei geschlossener Armierung nur teilweise vorgespannt. Die dabei auftretenden Spannungen

wurden im Vorhinein einer numerischen Machbarkeitsprüfung unterzogen. Der Versuchsablauf sieht vor, dass Bauteile mit und ohne Vorspannkraft ausgeworfen werden sollen. Bei der Umformung bleibt die Vorspannung dauerhaft vorhanden. Die Bauteilgeometrie ist an das industriell verwendete Bauteil angelehnt und in seiner Größe herunterskaliert.

Es kommen zwei Polymere und MoS<sub>2</sub> als Schmierstoff zum Einsatz. Die Hublänge wird zudem um einen Millimeter variiert. Daher sind alle Messpunkte doppelt vorhanden. Die höhere Prozesskraft kennzeichnet jeweils den längeren Hub (Bild 3). Die Ergebnisse zeigen, dass beim Ausstoßen mit geöffneter Armierung die Ausstoßkraft deutlich reduziert wird. Es ist ebenfalls zu erkennen, dass die Ausstoßkraft mit zunehmender Umformkraft steigt. Durch die Kraftreduktion beim Ausstoßen um etwa 50 Prozent kann das tribologische System im letzten Prozessschritt entlastet werden. Dass weiterhin eine Ausstoßkraft zu beobachten ist, ist darauf zurückzuführen, dass die Vorspannung im oberen Bereich der Matrize in Folge der Teilarmierung nicht verändert werden kann.

Diese Erkenntnisse motivieren dazu, das Ausstoßen mit reduzierter Vorspannung industriell anwendbar zu machen. Schwierigkeiten für die Umsetzung ergeben sich durch den Ansatz des separat ansteuerbaren Ziehkissens. Zweifachwirkende Pressen sind im industriellen Umfeld kaum verfügbar. Um die Vorteile der reduzierten Vorspannung für die Industrie interessant und nutzbar zu gestalten, bedarf es einer konstruktiven Erweiterung der typischen Werkzeugkonstruktion, sodass beispielsweise die Vorspannungssteuerung über eine zu entwickelnde Kinematik

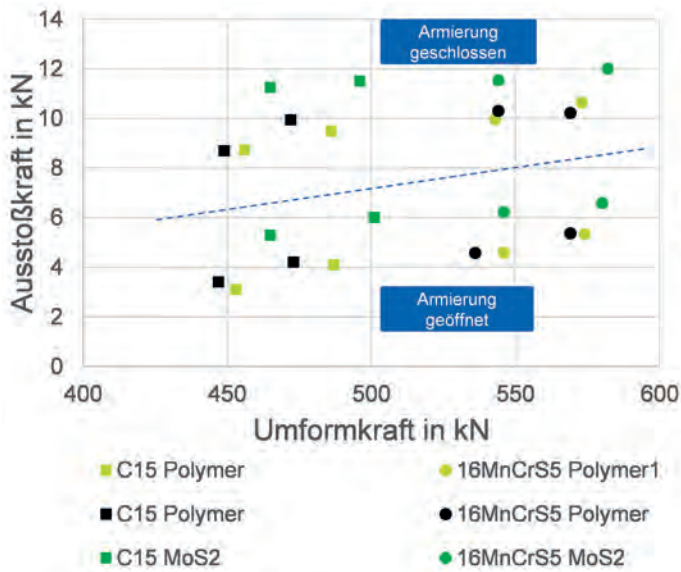


Bild 3: Ausstoß- und Umformkräfte beim Fließpressen am Laborwerkzeug, Bilder: Autoren

an den Stößelhub gekoppelt ist. Dadurch sollen auch einfach wirkende Pressen genutzt werden können, um eine Reduktion der Vorspannung zu ermöglichen.

Die Prüfung und Umsetzung von verschiedenen konstruktiven Möglichkeiten zum Verringern der Vorspannkraft sind Bestandteil eines Folgeprojets, welches derzeit in Planung ist. Interessierte Unternehmen sind eingeladen, sich mit der Forschungsstelle in Verbindung zu setzen, um weitere Details hierzu zu erhalten und ihre individuellen Anwendungsfälle in die Konzeptphase einzubringen.

Das Institut PtU dankt allen Patengruppenmitgliedern für die aktive Projektmitarbeit.



Das IGF-Vorhaben Nr. 20830 wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Langfassung des Schlussberichtes kann bei der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e.V., Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

**IGF**  
Industrielle  
Gemeinschaftsforschung



- [1] Sadeghi, M., Dean, T.: Analysis of ejection in precision forging, International Journal of machine Tools and Manufacture, 1990
- [2] Missal, M.: Kaltmassivumformen von Hohlbauteilen mit komplexen helixförmigen Innengeometrien, BEITRÄGE ZUR UMFORMTECHNIK, 2019
- [3] Lowrie, L.; Ngaile, G.: Novel extrusion punch design for improved lubrication and punch ejection, Proceedings of the ASME 2015 International Manufacturing Science and Engineering Conference, 2015
- [4] Tekkaya, A. E.: Ermittlung von Eigenspannungen in der Kaltmassivumformung, Berlin, Heidelberg, Springer, 1986
- [5] Franceschi, A.; Jaeger F.; Hoche H. et al.: Calibration of the residual stresses with an active die during the ejection phase of cold extrusion, International Journal of Material Forming, 2020
- [6] Franceschi, A.; Groche P.: Verzugsarme Kaltmassivumformung; wt Werkstattstechnik online, 2019
- [7] Reiss, A.; Engel, U.; Merklein, M.: Investigation on the Influence of Manufacturing Parameters on the Fatigue Strength of Components, KEM 554 – 557, S. 280 – 286, 2013
- [8] Chu, W.-Y.; Yao, J.; Haiiao, C.-M.: Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steel under Compressive Stress, CORROSION 40 (6), S. 302 – 306, 1984
- [9] Kephart, A. R.: Optimum Thread Rolling Process that Improves SCC Resistance. ASM International, Materials Solutions, Nov. 5 – 8, 2001