



Zinkphosphatfreie Kaltmassivumformung von Abschnitten

Einschichtschmierstoffe werden seit der 2007 eingeführten Chemikalienverordnung REACH im Bereich der Kaltmassivumformung immer interessanter. Obgleich diese in einstufigen Umformoperationen bereits Einsatz finden, bestehen bei mehrstufigen Operationen aufgrund höherer Lasten noch Zweifel bezüglich der Leistungsfähigkeit. In dem vorliegenden Bericht werden Einschichtschmierstoffe in einer neu entwickelten Inline-Beschichtungsanlage aufgebracht und anschließend einem dreistufigen Prozess zugeführt.

AUTOREN



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

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



**Dipl.-Ing.
Sebastian Zang**

ist Abteilungsleiter für Prozessketten und Anlagen am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen (PtU)

Nasschemisch aufgebrachte Konversionsschichten sind seit Singers Patent [1] Anfang der 1930er-Jahre Stand der Technik bei Verfahren der Kaltmassivumformung. Insbesondere beim Umformen von Abschnitten als Halbzeug, bei dem hohe tribologische Lasten auftreten können [2], sind etablierte Schmierstoffe weit verbreitet. Bedingt durch die im Jahr 2007 eingeführte europäische Chemikalienverordnung REACH [3] und das Verlangen nach einem geringeren Energie- und Ressourcenverbrauch hat jedoch ein Umdenken in Deutschland eingesetzt. Seitdem wurden Entwicklungen hinsichtlich alternativer Schmierstoffsysteme intensiviert. Im Jahr 2010 gab es erste Produkttests in der Industrie [4]. Neben den ökologisch günstigeren Bedingungen phosphatfreier Schmierstoffsysteme bieten diese Systeme auch ökonomische und logistische Vorteile. Aufgrund der einfacheren Handhabung können sogenannte Einschichtschmierstoffe direkt auf die Bauteiloberfläche aufgebracht werden. Nach Wang et al. ist lediglich ein Strahlen der Oberfläche notwendig, um eine gute Anhaftung des Schmierstoffs zu gewährleisten [5]. Diese Systeme ermöglichen somit die Aufbringung des Schmierstoffs direkt vor der eigentlichen Umformung in sogenannten Inline-Beschichtungsanlagen. Die ersten Anlagen wurden in Japan entwickelt [6], allerdings ist die Ausbringungsmenge pro Minute

noch relativ gering. Darüber hinaus existieren noch immer Fragen bezüglich der Zuverlässigkeit alternativer Schmierstoffe in anspruchsvollen mehrstufigen Prozessen.

In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt ist eine Inline-Beschichtungsanlage für eine mehrstufige Umformung mit 30 Teilen pro Minute entwickelt und gebaut worden. Hierfür sind phosphatfreie Schmierstoffe auf Basis von Salz-Wachs, Polymer und Molybdändisulfid (MoS_2) konsequent weiterentwickelt worden.

VERSUCHSAUFBAU UND LABORVERSUCHE

Als Musterprozess wird ein dreistufiger Prozess der Schondelmaier GmbH Presswerk verwendet, der schematisch in Bild 1 dargestellt ist. Der Prozess repräsentiert drei Hauptverfahren der Kaltmassivumformung: In der ersten Umformstufe wird ein Voll-Vorwärts-Fließpressen mit einer Reduzierung des Durchmessers von 27,3 mm auf 24 mm durchgeführt. Anschließend folgt in der zweiten Stufe ein Napf-Rückwärts-Fließpressen, bei dem an der Wirkfläche des Napfstempels mit Flächenpressungen von bis zu 1.800 N/mm² die höchsten tribologischen Lasten auftreten. Das Napfverhältnis (Tiefe/Durchmesser) beträgt $\approx 2,5$ und die ursprüngliche Oberfläche vergrößert sich

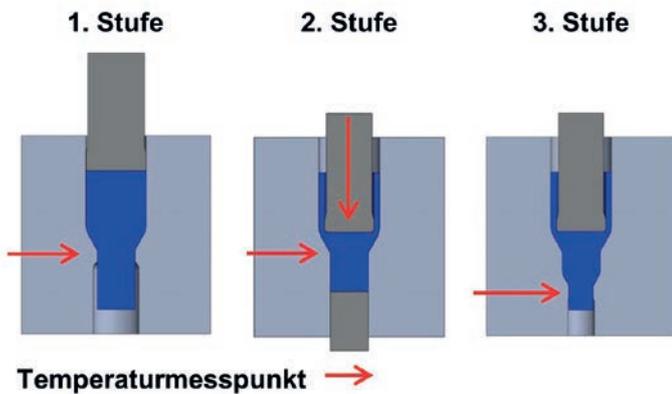


Bild 1: Schematischer Aufbau des Musterprozesses

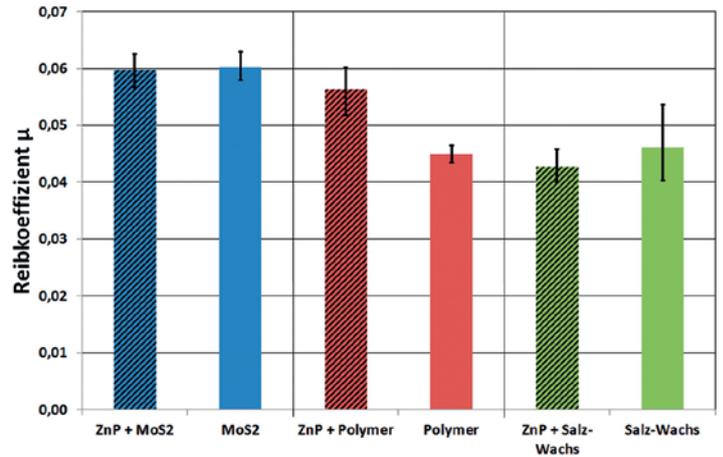


Bild 2: Vergleich zwischen phosphatfreien und phosphatbasierenden Schmierstoffsystemen

um 770 Prozent. Mit einem freien Reduzieren wird in der dritten Umformstufe der Schaft auf einen Durchmesser von 17,3 mm geformt. Neben den bereits genannten Lasten treten während der zweiten Stufe des Prozesses am Stempel Temperaturen von über 350 °C auf. Diese wurden mittels Temperatursensoren, die in die Werkzeuge (Bild 1) eingebracht wurden, im Prozess gemessen. Als Werkstückmaterial kam 16MnCr5 zum Einsatz.

Die auftretenden Lasten wurden zuvor mittels Gleitstauchversuchen simuliert und somit die im Projekt entwickelten Schmierstoffe auf Salz-Wachs, Polymer und MoS₂ Basis evaluiert. Dieses am Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen entwickelte Tribometer ist speziell auf die Lasten der Kaltmassivumformung ausgelegt [7]. Die Ergebnisse sind in Bild 2 dargestellt. Dabei wurde auf eine, auf einer ebenen Platte stehende zylindrische Probe eine Stauchkraft von 450 kN aufgebracht. Anschließend erfuhr die Platte unter Aufrechterhaltung der Kraft eine translatorische Bewegung mit einer Geschwindigkeit von 10 mm/s. Durch die Stauchkraft vergrößert sich die Probenoberfläche und der Schmierstoff wird, wie in

einem realen Prozess, ausgedünnt. Die für die Bewegung der Platte notwendige Kraft F_R wird gemessen und ergibt, dividiert durch die aufgebrachte Stauchkraft F_N , nach dem Gesetz von Coulomb den Reibkoeffizient μ .

$$\mu = F_R / F_N$$

In Bild 2 sind die einschichtschmierstoffe etablierten Systemen mit Zinkphosphat (ZnP) als Konversionsschicht und jeweils MoS₂, Salz-Wachs und Polymer als Schmierstoff gegenübergestellt. Jeder einzelne Balken stellt die Mittelwerte der Reibkoeffizienten von jeweils fünf Versuchen dar, die angegebenen Streubalken repräsentieren Maxima und Minima. Für MoS₂ sind diese nahezu identisch. Im Fall von Polymer konnten die Werte ohne ZnP sogar um 20 Prozent von 0,056 auf 0,045 gesenkt werden. Bei Salz-Wachs ist hingegen eine Zunahme von μ erkennbar. Grundsätzlich konnten alle Versuche ohne das Auftreten von Verschleiß durchgeführt werden und zeigen damit die Eignung, den Lasten der einzelnen Stufen des Musterprozesses standzuhalten.

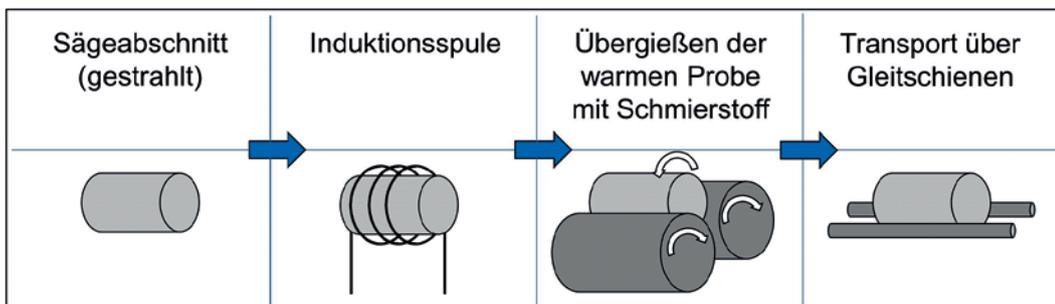


Bild 3: Beschichtungskonzept für die Inline-Schmierung

BESCHICHTUNGSANLAGE

Das gemeinsam von den Projektpartnern erstellte Beschichtungskonzept für die Inline-Schmierung ist schematisch in Bild 3 dargestellt. Für die Applikation der Schmierstoffe im Pressentakt ist eine schnelle Trocknung notwendig. Hierfür werden zuvor gestrahlte Proben mittels Induktion auf eine Temperatur zwischen 120 °C und 130 °C erwärmt. Höhere Temperaturen beschleunigen zwar die Trocknungszeit, beschädigen aber die aufgebrauchte Schmierstoffschicht, da sich Blasen auf der Oberfläche (Leidenfrost-Effekt) bilden können und somit eine inhomogene Schmierstoffverteilung entstehen kann. Nach der Erwärmung der Bauteile können diese optional gereinigt werden, bevor sie in Rotation versetzt und durch einen Schmierstoffvorhang geführt werden. Die Rotation stellt eine allseitige Beschichtung sicher. Die Trocknungszeit beträgt zirka 15 Sekunden. Um ein Abtragen des Schmierstoffs während des Transports über die Walzen oder die Gleitschienen zu verhindern, sind diese mit einer Antihafbeschichtung versehen.

In Bild 4 ist der Prototyp der Anlage dargestellt, die von der LS Mechanik GmbH gefertigt wurde. Die Bauteile durchlaufen die modular aufgebaute Anlage von links nach rechts. Im linken Modul sind die Induktionseinheit und eine optionale Reinigungsvorrichtung verbaut. Die Schmierstoffaufbringung und anschließende Trocknung findet im rechten Modul statt. Der Transport erfolgt über einen Kettentrieb. Die Bauteile werden bei einer Ausbringungsmenge von 30 Teilen pro Minute mit einer Geschwindigkeit von 40 mm/s durch die Anlage transportiert.

VERSUCHE IM INDUSTRIELLEN UMFELD

Mit Hilfe der Beschichtungsanlage wurden im industriellen Umfeld Bauteile im Pressentakt beschichtet. Hierfür kamen die zuvor genannten Schmierstoffe auf Basis von MoS₂, Salz-Wachs und Polymer zum Einsatz. Die Beschichtungsergebnisse für alle Schmierstoffe sind in Bezug auf die Homogenität der Schmierstoffverteilung und das aufgebrauchte Schichtgewicht vergleichbar mit Beschichtungen, die unter Laborbedingungen appliziert wurden. Bei der Durchführung der Versuche konnten jeweils ein Schmierstoff der Carl Bechem GmbH und der ZWEZ GmbH auf MoS₂-Basis erfolgreich über alle Stufen hinweg eingesetzt werden. Die mit diesen Einschichtschmierstoffen umgeformten Teile waren im Rahmen der vorgegebenen Toleranzen maßhaltig und zeigten eine einwandfreie Qualität der Bauteiloberfläche.

Die getesteten Schmierstoffe auf Basis von Polymeren oder Salz-Wachsen waren im Gegensatz zu den MoS₂-basierten Produkten nicht in der Lage, eine durchweg einwandfreie Umformung der Werkstücke sicherzustellen. Während die erste Stufe des Musterprozesses noch problemlos durchgeführt werden konnte, kam es in der zweiten Stufe zu einem erhöhten Verschleiß am Stempel. Erkennbar war dies an Riefen im Napfinneren der Bauteile bereits nach wenigen umgeformten Teilen. Hier wirkt sich das unterschiedliche Wirkprinzip beider Schmierstofftypen aus. Während bei MoS₂ große Oberflächenvergrößerungen, wie sie beim Napfen auftreten, wegen des Abscherens der Lamellenpakete ohne Abriss des Schmierfilms möglich sind, ist dies bei Polymeren und Wachsen nicht in dem gleichen Maße gegeben.

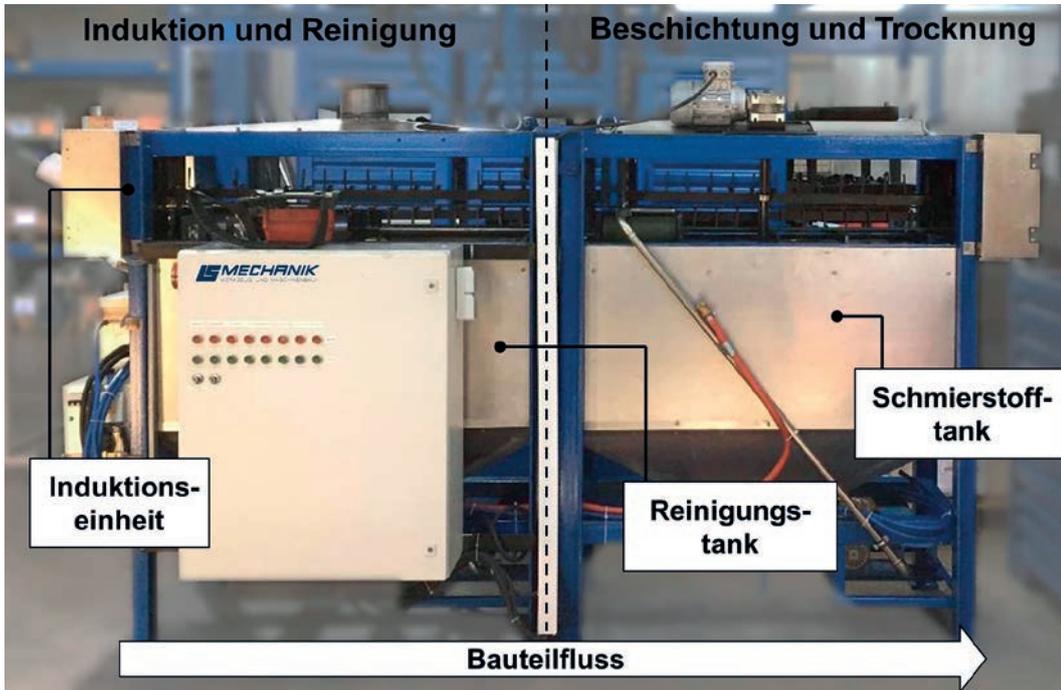


Bild 4: Prototyp der Beschichtungs-anlage
Bilder: Autoren

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Projekts „Umweltfreundliche Prozessketten in der Kaltmassivumformung von Abschnitten durch den Verzicht auf nasschemisch aufgetragene Konversionsschichten“ konnten Einsichtschmierstoffe auf Basis von MoS₂, Salz-Wachs und Polymer entwickelt werden. Tribometerversuche zeigten, dass diese eine vergleichbare oder sogar bessere Leistungsfähigkeit als Systeme mit Konversionsschicht als Basis haben. Mithilfe einer entwickelten Inline-Beschichtungsanlage konnten so Bauteile im Pressentakt beschichtet werden und einem dreistufigen Musterprozess zugeführt werden. Dabei haben Schmierstoffe auf MoS₂-Basis eine fehlerfreie Umformung gewährleistet, während Schmierstoffe auf Basis von Polymer und Salz-Wachs aufgrund der hohen Belastungen in der zweiten Stufe und der bereits infolge der ersten Stufe aufgetragenen Lasten keine einwandfreie Umformung sicherstellen konnten.



Dank gilt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, die das Projekt „Umweltfreundliche Prozessketten in der Kaltmassivumformung von Abschnitten durch den Verzicht auf nasschemisch aufgetragene Konversionsschichten“ finanziell unterstützt.



Die Autoren danken weiterhin den Projektpartnern LS Mechanik GmbH, ZWEZ-Chemie GmbH, Carl Bechem GmbH und Schondelmaier GmbH Presswerk für die kooperative und erfolgreiche Zusammenarbeit.



- [1] Singer, F.: Verfahren zur Vorbehandlung von Eisen- und Stahlwerkstücken für die spanlose Fertigung, z. B. das Ziehen, Strecken und Walzen, Reichspatentamt, Patentschrift Nr. 673405, 1934
- [2] Groche, P; Müller, C; Stahlmann, J; Zang, S: Mechanical Conditions in Bulk Metal Forming Tribometers – Part One, Tribology International, 62: S. 223–231, 2013
- [3] 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: S. 760–780, 2010
- [4] Ostrowski, J.: Zukunftsweisende Schmierstoffkonzepte für die moderne Metallbearbeitung. Suppliers Convention, Hannover Messe 2014
- [5] Wang, Z. G. et al.: Evaluation of lubricants without zinc phosphate precoat in multi-stage cold forging. In CIRP Annals – Manufacturing Technology, 64; S. 285–288, 2015
- [6] Kashimura, T; Takeuchi, M; Oda, F; Kawahara, F; Ojima, H. and Tomono, M.: Development of Environmentally Friendly Lubricant with High Performance and Simple Treatment for Cold Forging (auf Japanisch), JSTP, 41-469, S. 109-114, 2000
- [7] Groche, P; Stahlmann, J; Müller, C: Mechanical conditions in bulk metal forming tribometers-Part two, Tribology International, 66: S. 345-351, 2013