

## Gezielte Oberflächenkonditionierung von Schmiedegesenken

Schmiedegesenke unterliegen hohen Belastungen, die zu Verschleiß und dadurch zu Prozessstillständen aufgrund geringer Standmengen führen. Insbesondere der abrasive Verschleiß stellt mit über 70 Prozent den Hauptgrund für Werkzeugwechsel dar. Die dadurch auftretenden Prozessstillstände beeinflussen signifikant die Wirtschaftlichkeit von Schmiedeprozessen.

AUTOREN



**Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens**

leitet das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



**Dipl.-Ing. Lennard Lippold**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



**Dipl.-Ing. Hanno Paschke**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) in Dortmund

Durch den Einsatz von Schmierstoffen werden Reibkräfte zwischen Gesenkoberfläche und Schmiedeteil verringert. Die dennoch hohen tribologischen Belastungen führen zu umfassendem Materialabtrag. Im Forschungsvorhaben wurden Voraussetzungen für optimale Gesenkoberflächen untersucht, die eine verbesserte Haftung der Schmierstoffe und Reduzierung der Tragflächenanteile ermöglichen. Dazu wurde zunächst eine Konditionierung der Gesenkoberflächen zur Einstellung definierter Topographien durchgeführt. Weiterhin wurden die Oberflächen durch eine kombinierte Nitrier- und Hartstoffbeschichtung zur Verschleißverringerung modifiziert.

**VERBESSERTE SCHMIERBEDINGUNGEN**

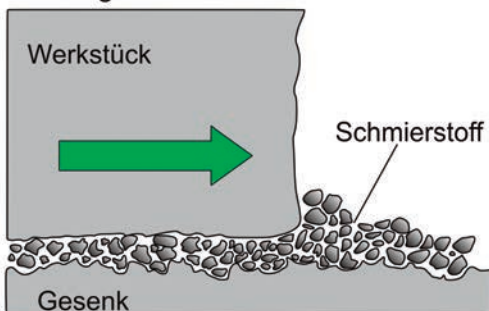
Um den Schmierstoff in einer tribologischen Kontaktsituation zwischen Gesenk und Werkstück unter hohen Reibkräften effektiv einzusetzen, sollten Gesenkoberflächen eine definierte Rauheit aufweisen, die eine optimale Haftung des Schmierstoffs in

den Kavitäten der Gesenkoberfläche, den sogenannten Schmier-taschen, gewährleisten (Bild 1).

Glatte Oberflächen können zur Verdrängung von Schmierstoff und dadurch zu einem vergrößerten Anteil der Festkörperreibung führen, der den abrasiven Verschleiß begünstigt. Werden Oberflächen von Schmiedegesenken hingegen mit einer zu großen Rauheit gestaltet, treten aufgrund hoher Kontaktkräfte an den Rauheitsspitzen zunehmende Oberflächenveränderungen auf [1].

In dem Forschungsvorhaben wurden unterschiedlich gefertigte Werkzeugtopographien auf ihre Beständigkeit und ihre Auswirkung auf das Werkzeugverschleißverhalten untersucht. Der Schwerpunkt lag dabei auf gängigen Herstellrouten des Werkzeugbaus sowie auf zusätzlichen Finishing-Verfahren. Letztere beschränkten sich auf wirtschaftliche Strahlverfahren, die in ihren Prozessparametern variiert wurden, um Oberflächen mit

**Gesenkoberfläche mit Kavitäten:  
Haftung von Schmierstoff**



**Glatte Gesenkoberfläche:  
Verdrängung von Schmierstoff**

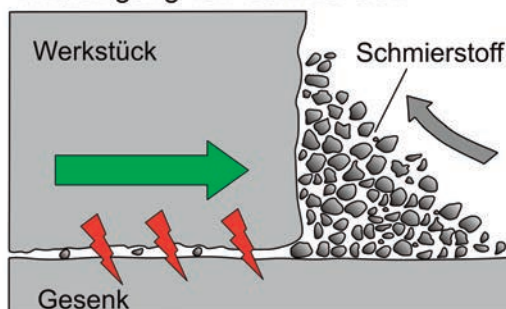


Bild 1: Schmierstoffhaftung an unterschiedlichen Gesenkoberflächen

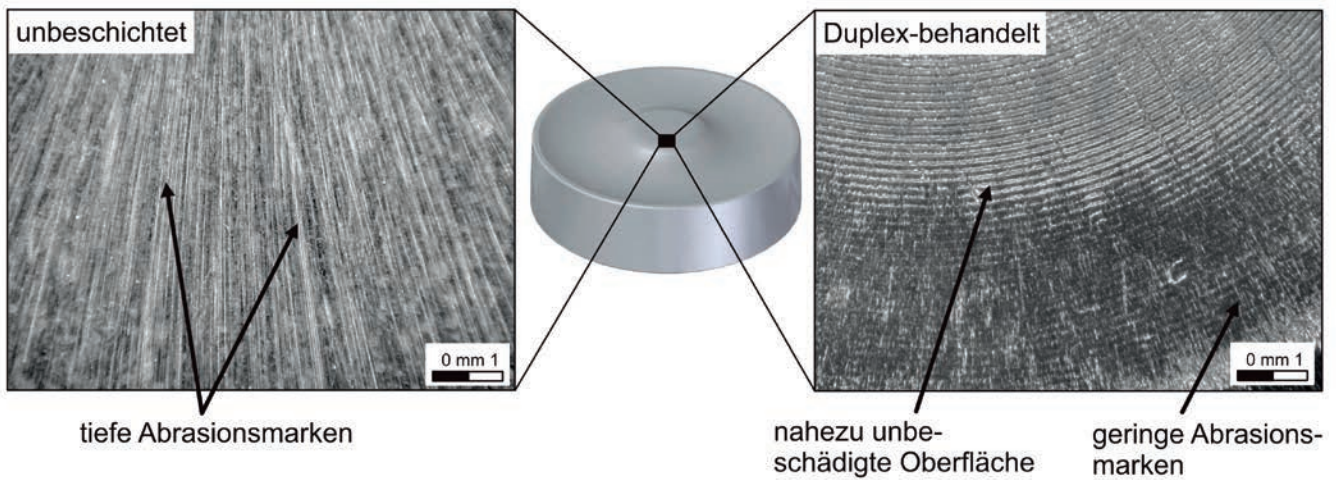


Bild 2: Gesenkokoberflächen nach 100 Schmiedezyklen

unterschiedlichen Rauheitswerten zu erzielen. Die Vorteile von Strahlverfahren sind neben der hohen Wirtschaftlichkeit auch die vergleichsweise einfache Integration in die Fertigungskette bei der Gesenkerstellung sowie die einfache Parametrierung, um gezielt die Oberflächentopographien zu gestalten [2].

Aufgrund der hohen, meist abrasiven Beanspruchung neigen Schmiedegesenke zu einer frühzeitig einsetzenden Veränderung der Oberflächengestalt. Um diesen Vorgängen entgegenzuwirken, wurden Oberflächen- und Randschichtmodifikationen eingesetzt, die eine Steigerung des abrasiven Verschleißwiderstands bewirken. Dazu wurden am Fraunhofer-Institut für Schicht und Oberflächentechnik (IST) Plasmanitrierbehandlungen zur Einstellung von Nitrierhärte-tiefen bis 100 µm mit PACVD-Hartstoffschichten bestehend aus TiBN-Mehrlagensystemen mit 2 bis 3 µm Schichtdicke kombiniert [3].

**EINFLUSS DER GESENKERSTELLUNG**

Bedingt durch ihre unterschiedlichen Fertigungsrouten weisen industrielle Schmiedegesenke prozessspezifisch ausgebildete Oberflächen auf. Im Vorhaben wurde in Zusammenarbeit mit den beteiligten Industriepartnern eine Bestandsaufnahme industrierelevanter Gesenktopographien durchgeführt. Es zeigte sich, dass deutlich unterschiedliche firmen- und produktspezifische Prozessrouten, meist mit spanender Bearbeitung in der Herstellung, verwendet werden. So entsteht eine große Spannweite an industriell verwendeten Oberflächen, die von nahezu „spiegelglatten“ bis zu „äußerst rauen“ Topographien reicht.

Um den Einfluss der fertigungsspezifischen Gesenkokoberflächen auf deren Verschleißverhalten zu untersuchen, wurden am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) Serienschmiedeveruche an einer automatisierten Schmiedepresse durchgeführt. Die zu untersuchenden Gesenke wurden mittels etablierter Herstellverfahren wie Drehen im weichen

beziehungsweise harten Zustand, Fräsen und zusätzlichem Strahlen durchgeführt. Die unterschiedlichen Oberflächen wurden teilweise mit kombinierten Nitrier- und Beschichtungsverfahren behandelt (Duplex-Behandlung). Alle Gesenke wurden mit einer definierten Anzahl an Schmiedezyklen belastet. Die Gesenke wurden in deren Ausgangszustand, in regelmäßigen Abständen während des Schmiedens, sowie nach Standmengenende umfangreich charakterisiert.

**TOPOGRAPHIE UND VERSCHLEISSENTWICKLUNG**

An tribologisch hoch belasteten Gesenken konnten deutliche Zusammenhänge zwischen Oberflächenbeschaffenheit und Verschleißverhalten der unterschiedlichen Oberflächen ermittelt werden. In einer ersten Versuchsreihe wurde zunächst das Verhalten weichgedrehter Gesenke untersucht. Darin konnte gezeigt werden, dass sich eine Duplex-Behandlung positiv auf die Beständigkeit von Gesenkokoberflächen auswirkt. Hierzu sind in Bild 2 die Oberflächen weich gedrehter Gesenke im nicht beschichteten Zustand (links) und im Duplex-behandelten Zustand (rechts) nach 100 Schmiedezyklen abgebildet.

Die nicht beschichtete Oberfläche zeigt deutlich erkennbare Abrasionsmarken, die auf die Relativbewegung zwischen Werkstückmaterial und Werkzeugoberfläche zurückzuführen sind. Dagegen zeigt die Duplex-behandelte Oberfläche nach der gleichen Anzahl an Schmiedezyklen optisch nahezu keine Beschädigungen. Die durch den Herstellprozess erzeugten Drehriefen sind auch nach hohen Belastungen im Schmiedeprozess erkennbar, sodass die Ausgangsoberfläche optisch erhalten bleibt.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Herstellung durch Hartdrehen und optional anschließendem Strahlen untersucht. Diese beinhaltete eine hartgedrehte und je zwei nach dem Hartdrehen unterschiedlich gestrahlte Gesenkvarianten. Die Strahl-

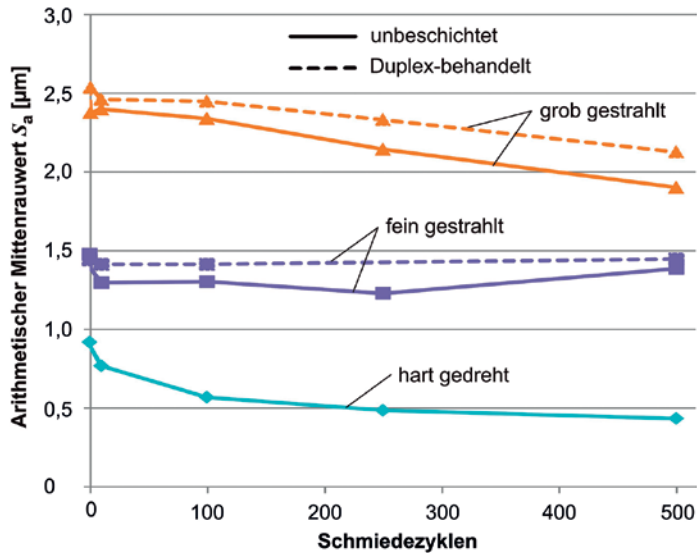


Bild 3: Verlauf des Oberflächenkennwerts  $S_a$  im Verlauf der Serienschmiedeveruche

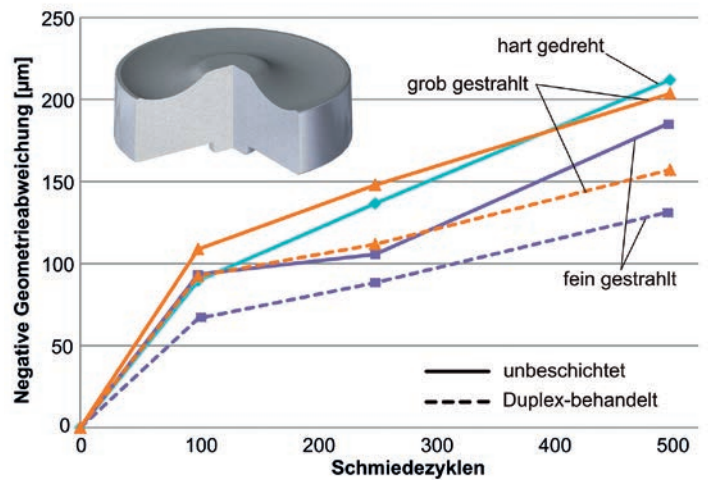


Bild 4: Verschleißkennwerte im Verlauf der Serienschmiedeveruche  
Bilder: Autoren

parameter wurden so gewählt, dass eine feine Rauheit von  $S_a = 1,5 \mu\text{m}$  und eine grobe Rauheit von  $S_a = 2,5 \mu\text{m}$  eingestellt wurden. Zu jedem gestrahlten Gesenk wurden eine unbeschichtete sowie eine Duplex-behandelte Variante untersucht. Die Gesenke wurden während der Versuchsreihen mehrfach taktil vermessen, um den Verschleißfortschritt und dazugehörige Oberflächenkennwerte in Abhängigkeit der Schmiedezyklen zu ermitteln. Zur Beschreibung der grundlegenden Oberflächenkennwerte wurden dreidimensionale Topographiemessungen durchgeführt und exemplarisch der arithmetische Mittenrauwert  $S_a$ -Wert betrachtet. Dieser stellt einen dreidimensionalen Kennwert analog zum  $R_a$ -Wert im zweidimensionalen Bereich dar. In Bild 3 ist exemplarisch die Entwicklung des  $S_a$ -Werts im Verlauf der Schmiedezyklen für die Gesenke aus der zweiten Versuchsreihe dargestellt.

Die ermittelte Entwicklung der Oberflächenkennwerte im Verlauf der Schmiedezyklen zeigt, dass die gedrehten und die grob gestrahlten Oberflächen während des Schmiedens einglättet werden. Im Vergleich zum Ausgangszustand nimmt die Rauheit im Verlauf der Schmiedezyklen kontinuierlich ab, was auf eine Einerbung durch wirkende Prozesskräfte oder abrasiven Verschleiß zurückzuführen ist. Die fein gestrahlten Oberflächen zeigen hingegen deutlich stabilere Oberflächenkennwerte. Während die unbeschichtete Oberfläche geringfügige Veränderungen aufweist, verläuft der  $S_a$ -Wert bei der Duplex-behandelten Oberfläche nahezu auf einem konstanten Niveau. Die bereits im unbeschichteten Zustand hohe Beständigkeit der Oberfläche konnte durch die Duplex-Behandlung nochmals gesteigert werden. Die entsprechenden Geometrieabweichungen, welche einen Kennwert für den Verschleißzustand der Gesenke liefern, sind in Bild 4 dargestellt. Insgesamt lässt sich zeigen, dass die Oberflächenkonditionierung durch Strahlen einen sehr

positiven Einfluss auf das Verschleißverhalten der Schmiedegesenke ausübt.

Während die grob gestrahlte und unbeschichtete Oberfläche stärker verschleißt als die gedrehte und unbeschichtete, kann durch das feine Strahlen eine Verbesserung des Verschleißverhaltens erzielt werden. Durch eine Duplex-Behandlung wird zusätzlich die Verschleißbeständigkeit erhöht. Dieses Verhalten kann auch bei der grob gestrahlten Variante beobachtet werden.

Um das in den Serienschmiedeveruchen an Modellgesenken festgestellte Verschleißverhalten auch unter industriellen Bedingungen in der Produktion eines Schmiedebetriebs zu evaluieren, wurden Schmiedegesenke eines Projektpartners mit der entwickelten Verschleißschutzbehandlung versehen. Trotz typischer Schwankungen der erreichten Standmengen ließen sich positive Effekte der Modifikation zeigen: Eingesetzte Vor- und Fertiggravuren zum Schmieden von Getriebekomponenten wiesen im Vergleich zu den Werkzeugen der Serienproduktion im Durchschnitt erhöhte Standmenge sowie ein verbessertes Verschleißverhalten auf. Im Vergleich zu den lediglich gasnitrierten Gesenken der Serienproduktion wiesen die zusätzlich durch die Oberflächenkonditionierung sowie kombinierte Plasmanitrierung und PACVD-Hartstoffbeschichtung behandelten Gesenke insbesondere in tribologisch hoch belasteten Bereichen deutliche Verbesserungen bezüglich abrasivem Verschleiß auf. Weiterhin konnte die Bildung mechanischer Risse deutlich reduziert werden, was in einer Erhöhung der Standmengen resultierte.

**FAZIT**

Eine Duplex-Behandlung kann die Randschichthärte und gleichzeitig die Warmfestigkeit [3] steigern. Diese Eigenschaften beeinflussen die Oberflächenbeständigkeit gegen plastische



Verformung und in hohem Maße auch die abrasive Verschleißfestigkeit. Eine gezielte Oberflächenkonditionierung durch Strahlverfahren mit nachfolgender Duplex-Behandlung steigert zusätzlich den Widerstand gegen tribologisch verursachte Abrasion.

Es lässt sich zeigen, dass die beständigste Oberfläche tribologisch hoch belasteter Schmiedegesenke auch die geringsten Verschleißwerte aufweist. Diese Oberfläche konnte mittels Strahlen auf einen arithmetischen Rauheitswert von  $S_a = 1,5 \mu\text{m}$  eingestellt werden. Dies entspricht einen ungefähren Wert von  $R_a = 1,3 \mu\text{m}$ . Die so hergestellte Topographie scheint für die Schmiermittelbindung optimale Eigenschaften aufzuweisen. Hohe Reibkräfte während der Umformung und die dadurch begünstigte Abrasion lassen sich somit durch eine gezielte Oberflächenkonditionierung verringern. Gleichzeitig bietet die Oberfläche ausreichend Tragfähigkeit, um nicht aufgrund hoher Flächenpressung eingeebnet zu werden. Dem verbesserten Verschleißverhalten und der damit einhergehenden Standmengensteigerung tribologisch hoch belasteter Schmiedegesenke steht ein erhöhter Aufwand bei der Gesenkfertigung gegenüber. Die Oberflächenkonditionierung und die Duplex-Behandlung verursachen dabei zusätzliche Kosten, die durch die mögliche Standmengensteigerung der modifizierten Gesenke dargestellt werden müssen. Hier sind die Standardverfahren wie das Gasnitrieren als state-of-the-art wirtschaftlich im Vorteil. Die bisher vielversprechenden Ergebnisse müssen dahingehend in weiterführenden Versuchsreihen bestätigt werden, indem die erreichten Standmengen behandelter Gesenke über einen längeren Zeitraum untersucht werden, um belastbare Aussagen zur Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit der Verschleißschutzbehandlung treffen zu können.



Das IGF-Vorhaben „Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Schmiedeprozessen durch gezielte Oberflächenkonditionierung mit strukturverstärkenden Hartstoffschichten“, IGF-Projekt Nr. 17912 N, der Forschungsgesellschaft Stahlverformung e. V. (FSV), wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert, wofür die Projektpartner ihren Dank aussprechen. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FSV, Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, angefordert werden.



[1] Steinhoff, K; Bünten, R; Rasp, W; Kopp, R; Pawelski, O.: Development of a model for the simulation of the transfer of surface in temper-rolling process; Steel Research 66, No. 12, Düsseldorf, Stahleisen Verlag, 1995

[2] Lakshimpathy, R.; Sagar, R.: Effect of Die Surface Topography on Die-Work Interfacial Friction in Open Die Forging; International Journal of Machine Tools and Manufacture, 1996, Vol. 32, S. 685–693

[3] Bistron, M.: Verschleißreduzierung beim Gesenkschmieden durch borhaltige Mehrlagenbeschichtungen; Berichte aus dem IFUM, Band 02/2012, Universität Hannover, 2012