

Partielle belastungsgerechte Verschleißschutzmaßnahmen für Schmiedegesenke

Die Anforderungen an Verschleißschutzbehandlungen für hoch belastete Schmiedegesenke sind ebenso vielfältig wie komplex. Die isolierte Betrachtung von Oberflächen- und Randschichteinflüssen ist richtungsweisend für die darauffolgende Umsetzung von Maßnahmen im industriellen Einsatz. Die Wirtschaftlichkeit der partiellen Behandlungsstrategien muss jedoch im Einzelfall nachgewiesen werden.

AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

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



Dipl.-Ing. Kai Brunotte

ist stellvertretender Oberingenieur 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



Markus Mejauschek, M. Sc.

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

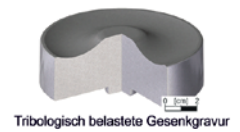
Schmiedegesenke unterliegen prozessbedingt überlagerten Beanspruchungskollektiven, welche die erzielbaren Werkzeugstandmengen begrenzen [1, 2]. Vorherrschende, meist zyklische Beanspruchungen finden sich in sehr hohen Prozesstemperaturen, einer hohen Temperaturwechselbeanspruchung sowie hohen mechanischen Kräften, die insgesamt vielfältige Verschleißmechanismen verursachen [3]. Vorhergehende Arbeiten haben gezeigt, dass bei Schmiedegesenken in Abhängigkeit der lokal vorherrschenden Beanspruchungen sehr unterschiedliche Verschleißmechanismen auftreten [4, 5]. Aufgrund des unterschiedlich ausgeprägten Belastungskollektivs kann durch die Anwendung global applizierter Behandlungen in einzelnen Gesenkbereichen eine deutliche Verschleißreduzierung erzielt werden, während in anderen Bereichen oftmals nur geringe bis gegenteilige Effekte nachweisbar sind.

Aus diesem Grund wurden lokal applizierte Oberflächen- und Randschichtmodifikationen entwickelt und validiert. Die Entwicklung erfolgte auf Basis von Modellwerkzeugen, welche die Hauptbeanspruchungsarten möglichst isoliert abbilden. Durch eine Verschleißanalytik an vergüteten Werkzeugen konnten Anforderungen an wirksame Behandlungsansätze definiert und als Ausgangsbasis für die anschließende Entwicklung herangezogen werden. Das Einsatzverhalten der Behandlungen wurde anhand von Serienschmiedeversuchen auf einer automatisierten Exzenterpresse eindeutig charakterisiert und jeder Beanspruchung eine geeignete Verschleißschutzbehandlung zugeordnet. Die Übertragbarkeit partieller Behandlungsstrategien in die industrielle Praxis wurde abschließend durch Industrierversuche sichergestellt.

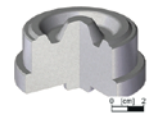
ENTWICKLUNG BELASTUNGSSPEZIFISCHER MODELLPROZESSE UND LOKALER BELASTUNGSGERECHTER BEHANDLUNGSSTRATEGIEN

In Modellgesenkegeometrien wurden die Beanspruchungsarten Überhitzung, Abrasion sowie mechanische Rissbildung

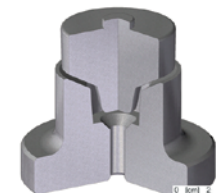
- **Tribologisch belastetes Gesenk**
 - Werkzeugwerkstoff: 1.2343, 48 HRC
 - Lange Gleitwege, hoher Materialfluss
 - Offene Gesenkgeometrie mit großen Radien
 - Halbzeugtemperatur: 1050 °C (geringerer thermischer Eintrag)
- **Thermisch belastetes Gesenk**
 - Werkzeugwerkstoff: 1.2343, 48 HRC
 - Domgeometrie mit kleinen Radien, erhöhter Wärmestau
 - Steile Flankenwinkel
 - Halbzeugtemperatur: 1150 °C
- **Mechanisch belastetes Gesenk**
 - Werkzeugwerkstoff: 1.2343, 44 - 52 HRC
 - Schrofne Querschnittsübergänge
 - Enge Gratbahn mit hohem Gesenkinnendruck
 - Formfüllung durch steigenden Materialfluss
 - Halbzeugtemperatur: 900 °C (hohe mechanische Beanspruchung)



Tribologisch belastete Gesenkgravur



Thermisch belastete Gesenkgravur



Mechanisch belastetes Ober- und Untergesenk

Bild 1: Entwickelte Modellgesenke für die Validierung belastungsangepasster Behandlungen

möglichst isoliert abgebildet. Eine vollständige Isolation einzelner Beanspruchungen ist in einem Schmiedeprozess nicht möglich, da es zum Beispiel aufgrund der hohen Rohteiltemperaturen stets zu einem thermischen Eintrag in das Werkzeug kommt. Dennoch kann durch angepasste Prozessführung sowie konstruktive Maßnahmen die gewünschte Beanspruchung gegenüber allen anderen maximiert werden. Auf Basis umfangreicher Studien wurden charakteristische Gestaltungsmerkmale zusammengefasst und die ausgelegten Modellprozesse anschließend in FE-basierten Iterationsschleifen optimiert (Bild 1).

Die anschließend am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) durchgeführten Serienschmiedeversuche lieferten Eingangsgrößen für die Entwicklung geeigneter Behandlungen. Bei den Versuchen zum tribologisch

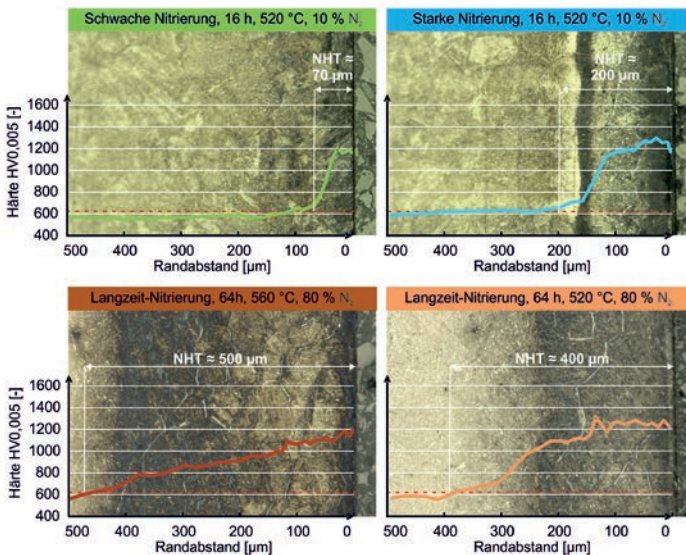


Bild 2: Metallografische Schlibbilder und Mikrohärtetiefenverläufe unterschiedlicher Nitrierungen (Werkstoff 1.2343)

belasteten Gesenk konnte nachgewiesen werden, dass sich zwar eine thermisch beeinflusste Zone mit einer Tiefe von zirka 400 µm ausbildet, die Randschichtschädigungen jedoch auf die oberflächennahen Bereiche bis zirka 100 µm reduziert bleiben. Bei hoher thermischer Beanspruchung werden Nitrierungen mit deutlich höherer Nitrierhärte (NHT) benötigt, um die auftretenden plastischen Deformationen infolge thermischer Entfestigung zu verhindern. Als Zielvorgabe für die Entwicklung lokaler Behandlungen wurden am Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) daher NHT von 70 bis 500 µm in Kombination mit einer Verschleißschutzschicht in einer so genannten Duplex-Behandlung abgeleitet. Exemplarische Gefügeaufnahmen im Querschliff sowie Mikrohärttemessungen entwickelter Behandlungen sind in Bild 2 dargestellt. In Abhängigkeit der Nitrierprozessparameter lassen sich die erreichbaren NHT sowie der Härtegradient variieren. Durch eine Prozesszeit von 64 Stunden in einer 80-prozentigen Stickstoffatmosphäre bei 560 °C lässt sich zum Beispiel eine 500 µm tiefe Nitrierung erreichen (Bild 2, unten links).

Weiterhin wurde in Untersuchungen der Übergangsbereich partieller Nitrierungen untersucht. Partielle Nitrierungen können sowohl durch mechanische Abdeckungen als auch Maskierung mit diffusionshemmenden Pasten realisiert werden. Der dabei entstehende Transientenbereich unterschiedlicher Nitrierungen

ist durch die Abnahme der Nitrierhärte gekennzeichnet. Ein Übergangsbereich gleichartiger Nitrierungen ist dagegen unter dem Lichtmikroskop nicht festzustellen.

Für die weiterführenden Untersuchungen wurde eine zusätzliche CrVN-Hartstoffschicht mit einer Schichtdicke von 3 bis 5 µm appliziert [6].

EINSATZVERHALTEN IM SERIENSCHMIEDEPROZESS

Alle am Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) behandelten Schmiedegesenke wurden am IFUM im Serienschmiedeprozess eingesetzt und durch prozessbegleitende zerstörungsfreie und zerstörende Analysen nach Erreichen des Standmengenkriteriums charakterisiert. An tribologisch belasteten Gesenken konnten deutliche Zusammenhänge zwischen NHT und Verschleißverhalten ermittelt werden.

In einer ersten Versuchsreihe wurden die Werkzeuge zunächst partiell behandelt, indem je eine Werkzeughälfte mit einer schwachen und die andere mit einer stärkeren Nitrierung (jeweils mit und ohne Beschichtung) behandelt wurde. Die Analyse zur festgelegten Standmenge von 500 Schmiedezyklen ergab, dass der Verschleiß der duplex-behandelten Gesenke unabhängig von der gewählten Nitrierung stets geringer ist als der nitrierter Gesenke. Dies ist auf die höhere Abrasionsbeständigkeit der applizierten Beschichtungen zurückzuführen. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass der Transientenbereich zwischen den unterschiedlichen Behandlungen auch im Serienschmiedeprozess keine Probleme bereitet. Eine eindeutige Aussage zur Wahl der Nitrierung bei hoher tribologischer Beanspruchung war aufgrund der geringen Unterschiede nicht möglich, weswegen eine zweite Versuchsreihe duplex-behandelter Gesenke bis zur Standmenge von 2.000 Schmiedezyklen durchgeführt wurde. In Bild 3 ist der Verlauf der auf abrasiven Abtrag zurückzuführenden mittleren negativen Geometrieabweichung im Verlauf der Schmiedezyklen dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die negative Geometrieabweichung mit zunehmender Nitrierintensität zunimmt und der Verschleißfortschritt nach etwa 500 Schmiedezyklen ansteigt, während der des vergüteten Referenzgesenks nahezu linear zunimmt. Im Vergleich zur vergüteten Referenz konnten die Verschleißbeträge nach 2.000 Schmiedezyklen um den Faktor 7 verringert werden. Auch die Unterschiede der einzelnen Behandlungen untereinander ermöglichen eine eindeutige Bewertung. Die Gründe für den einsetzenden stärkeren Verschleißfortschritt nach 500 bis 1.000 Schmiedezyklen liegen in der starken Rissbildung höherer NHT begründet. Während bei geringer NHT lediglich feine Risse sowie leichte Riefen in Materialflussrichtung

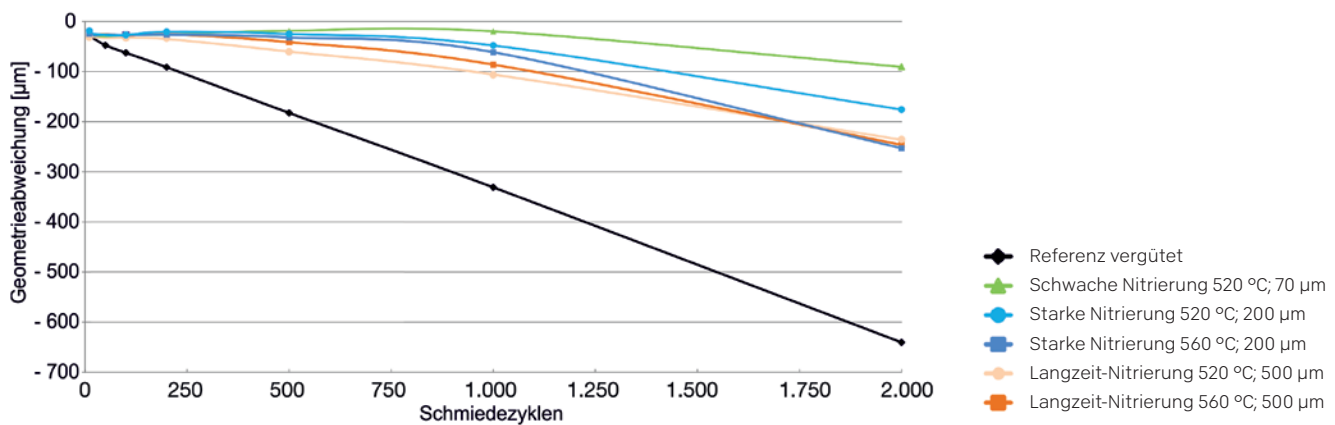


Bild 3: Negative Geometrieabweichung duplex-behandelter Gesenke im Verlauf von 2.000 Schmiedezyklen

Bilder: Autoren

zu erkennen sind, kommt es bei höheren NHT zu einem Auswaschen der Risse. Die entstehenden Schichtdefekte wirken verschleißinitiierend und begünstigen den abrasiven Verschleiß, weswegen bei tribologischen Belastungen eine geringe NHT in Kombination mit einer Beschichtung zielführend ist. Auch an den vorwiegend thermisch belasteten Gesenken konnte das Einsatzverhalten unterschiedlicher Nitrierungen bewertet und geeignete Behandlungsansätze herausgearbeitet werden. Es

kamen ebenfalls Nitrierungen mit NHT von 70 bis 500 µm bis zu einer Standmenge von 1.000 Schmiedezyklen zum Einsatz. Durch die anschließend durchgeführten Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass erst eine Nitrierung mit einer NHT von 500 µm die auftretenden plastischen Deformationen wirkungsvoll unterbindet (Bild 4). Die durch Mikrohärtemessungen nachgewiesene thermische Entfestigung des Grundgefüges unterhalb der Nitrierschicht begünstigt plastische Deformationen,

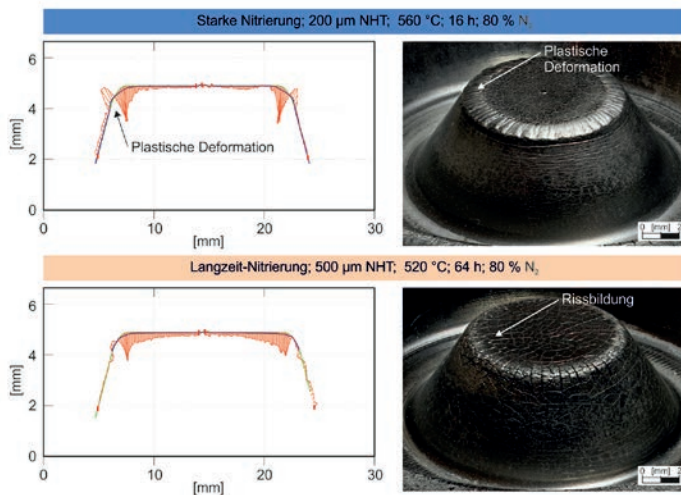


Bild 4: Konturenvergleich (links) und makroskopische Verschleißdokumentation (rechts) einer 200-µm- und einer 500-µm-Nitrierung nach 500 Schmiedezyklen

da die Nitrierschicht auf dem weicheren Gefüge durch lokales Überschreiten der Fließspannung abgeleitet. Dies ist sowohl im Koordinatenvergleich (links) als auch in der makroskopischen Aufnahme (rechts) der 200-µm-Nitrierung zu erkennen.

Erst eine Langzeit-Nitrierung mit einer NHT von 500 µm (Bild 4, unten) verhindert eine Materialverschiebung im Bereich des Dornradius wirkungsvoll, da sie den auftretenden thermischen Entfestigungen vollständig entgegenwirkt. Die Stabilisierung des Radius geht jedoch einher mit einer starken Rissbildung. Auch ein deformationsfreier abrasiver Abtrag des Gesenkdorns kann durch die starke Nitrierung nicht vollständig verhindert werden. Dies korreliert mit den Ergebnissen des tribologisch belasteten Modellgesenks, wonach die entstehende Rissbildung den abrasiven Abtrag begünstigt. Aufgrund der geringen Gleitwege auf dem Dorn des thermisch belasteten Gesenks ist der abrasive Verschleiß dieses Bereichs verhältnismäßig gering. Es überwiegt die stabilisierende Wirkung der tiefen Nitrierung und die damit einhergehende Reduzierung der Gesamtverschleißerscheinungen, weshalb in thermisch hochbelasteten Bereichen ohne große Gleitwege eine möglichst hohe Nitrierhärte gewählt werden sollte.

ERKENNTNISTRANSFER AUF INDUSTRIELLE SCHMIEDEPROZESSE

Um die an den Instituten durchgeführten Untersuchungen auf Schmiedeprozesse im industriellen Maßstab übertragen zu können, wurden produktionsbegleitende Schmiedeversuche durchgeführt. Hierfür wurde ein geeigneter Industrieprozess

ausgewählt und die Schmiedegesenke dieses zweistufigen Prozesses umfassend charakterisiert. Auf Basis dieser Charakterisierung wurde eine lokale Behandlungsstrategie abgeleitet und auf jeweils vier Werkzeuge appliziert, bevor diese regulär in der Produktion eingesetzt wurden. Nach Erreichen der Standmenge wurden diese ebenfalls untersucht und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Durch den lokalen Behandlungsansatz konnte die mittlere Standmenge der Vorgravur von durchschnittlich 3.000 auf 5.200 Schmiedezyklen und die der Fertiggravur von 2.400 auf 3.200 Schmiedezyklen gesteigert werden. Dies entspricht einer Standmengensteigerung von zirka 70 Prozent bei der Vorgravur beziehungsweise knapp 30 Prozent bei der Fertiggravur und bestätigt das hohe Potenzial lokaler belastungsangepasster Behandlungen. Die bisherigen Ergebnisse müssen nun in weiterführenden Versuchsreihen und über einen längeren Zeitraum untersucht werden, um abschließende Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der Verschleißschutzbehandlung treffen zu können.

FAZIT

Anhand ausgelegter Modellprozesse und experimenteller Untersuchungen konnten die Anforderungen an belastungsgerechte Verschleißschutzbehandlungen auf Basis von Oberflächen- und Randschichtmodifikationen definiert und entsprechend entwickelt werden. Anschließend wurden die Behandlungen in Serienschmiedeversuchen eingesetzt und anhand von umfangreichen Analysen die bestmögliche Behandlung je Hauptbeanspruchung herausgearbeitet. Weiterhin wurden Möglichkeiten zur lokalen Applikation und deren Einfluss auf das Einsatzverhalten untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass lokale Behandlungen durch diffusionshemmende Pasten oder mechanische Abdeckungen realisiert werden können und das Einsatzverhalten nicht beeinflussen. Weiterhin konnte sowohl der überwiegend tribologischen als auch der überwiegend thermischen Beanspruchung je eine geeignete Verschleißschutzmaßnahme zugeordnet werden. Unter überwiegend tribologischer Beanspruchung ist eine möglichst geringe Nitrierhärte in Kombination mit einer Beschichtung zu wählen, da die entstehende starke Rissbildung hoher Nitrierhärte tiefen verschleißinitiierend wirkt, während thermisch beanspruchte Bereiche eine hohe Nitrierhärte erfordern, um der thermischen Entfestigung entgegenzuwirken. Die starke Rissbildung ist in diesen Bereichen nicht verschleißinitiierend, da die vorherrschenden Gleitwege zumeist gering sind. Die Übertragbarkeit der entwickelten lokalen Behandlungsstrategien auf die industrielle Praxis wurde durch zusätzliche prozessbegleitende Industrierversuche sichergestellt. Durch die lokale belastungsangepasste Behandlung der Werkzeuge ist es möglich, die erreichbare Standmenge deutlich zu steigern. Das Potenzial dieser Behandlungen konnte herausgearbeitet werden, ist jedoch vom Einzelfall, das

heißt vom jeweiligen Gesenk beziehungsweise dessen Gravur abhängig. Für die Beurteilung der Gesamtwirtschaft muss der beschriebene Mehraufwand für die Oberflächenbehandlung dem Gewinn durch die Standmengensteigerung gegenüber gestellt werden.



Das IGF-Vorhaben „Realisierung partieller Verschleißschutzmaßnahmen für Schmiedegesenke mit Hilfe belastungsspezifischer Modellversuche“, IGF-Projekt Nr. 17951 N, der Forschungsvereinigung Werkzeuge und Werkstoffe e.V. (FGW), 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 Bundestages gefördert. Der Schlussbericht des Projekts kann über die FGW angefordert werden.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

IGF
Industrielle
Gemeinschaftsforschung



- [1] Doege, E.; Behrens B.-A.: Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen, Springer Verlag, 2010
- [2] Klümper-Westkamp, H.: Optimierung der Randschichtzusammensetzung durch Nitrieren von Warmarbeitsstählen zur Steigerung der Werkzeuglebensdauer, Industrieverband Massivumformung, 2009
- [3] Gronostajski, Z.; Kaszuba, M.; Polak, S.: The failure mechanisms of hot forging dies, Materials Science and Engineering, 657, 2016, pp. 147 – 160
- [4] Yilkiran, T.; Behrens, B.-A.; Paschke, H.; Weber, M.; Bräuer, G.: The Potential of Plasma Deposition Techniques Processes in the Application Field of Forging, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 12/2012, pp. 284 – 293
- [5] Behrens, B.-A.; Yilkiran, T.; Paschke, H.; Weber, M.; Dültgen, P.; Brand, H.: Weniger Gesenkverschleiß, Umformtechnik, Ausgabe 3, 2012
- [6] Paschke, H.; Yilkiran, T.; Lippold, L.; Brunotte, K.; Weber, M.; Braeuer, G.; Behrens, B.-A.: Adapted surface properties of hot forging tools using plasma technology for an effective wear reduction, Wear 330 – 331, 2015, pp. 429 – 438