

Untersuchung des Losgrößenabhängigen Werkzeugverschleißes beim Gesenkschmieden von Stahlbauteilen

Investigation of lot depending tool wear in die forging of steel parts

Johannes Richter, Henrik Prinzhorn, Thoms Blohm, Jan Langner, Malte Stonis, Bernd-Arno Behrens

Das IPH Hannover hat erstmals experimentell die Abhängigkeit des Werkzeugverschleißes von der gewählten Losgröße in Schmiedeprozessen untersucht. Auf Basis der Ergebnisse können zukünftig Instandhaltungsprozesse optimiert und Kosten reduziert werden.

Werkzeugverschleiß beim Gesenkschmieden

Aufgrund der thermischen und mechanischen Belastungen infolge der hohen Rohteiltemperaturen von bis zu 1280 °C, der großen Gesenkinnendrücke und des ausgeprägten Werkstoffflusses entlang der Gesenkoberflächen ist der Werkzeugverschleiß beim Gesenkschmieden besonders hoch [1]. Ein fortgeschrittener Werkzeugverschleiß führt zu Instandhaltungsaufwänden, Produktionsstillstandzeiten und im schlimmsten Fall zum Werkzeugbruch. Daher stellt der Werkzeugverschleiß ein Hauptkostenfaktor beim Gesenkschmieden dar [2]. Insbesondere für KMU ist der notwendige Forschungs- und Entwicklungsaufwand meist zu hoch, um den Werkzeugverschleiß zu reduzieren.

Der Werkzeugverschleiß wird unter anderem durch die Anzahl der thermischen Zyklen beeinflusst (Erwärmung und Abkühlung der Werkzeuge). Die Anzahl dieser thermischen Zyklen und damit der Verschleiß kann durch die Anpassung der Losgröße bzw. der Anzahl der Fertigungslose beeinflusst werden. Mit diesem Thema beschäftigt sich das im Januar 2016 am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover – gestartete Forschungsprojekt „Losgrößenabhängiger Werkzeugverschleiß“ (LöWe). Durch das Forschungsvorhaben soll eine Reduzierung der gesamten Herstellungskosten in der Warmmassivumformung sowie eine Erhöhung der Prozessstabilität erreicht werden. Das Forschungsprojekt wird mit der Unterstützung der Firmen Dr.-Bergfeld-Schmiedetechnik, KB Schmiedetechnik, GTT und Karl Groll Schmiedetechnik durchgeführt.

Einfluss der Losgröße auf den Werkzeugverschleiß

Beim Gesenkschmieden wird eine bestimmte Produktionsmenge mit mehreren Losen hergestellt. Dabei werden verschiedene thermische Zyklen durchlaufen. Der elementare thermische Zyklus bezeichnet die Temperaturschwankung im Werkzeug, die aus dem Kontakt des Werkzeuges mit den heißen Rohteilen ($T > 1000$ °C) während der Umformung sowie aus dem anschließenden Abkühlen und Schmieren des Werkzeuges vor einem erneuten Schmiedehub innerhalb von Sekunden entsteht (Temperaturschwankungen je nach Prozess bei ca. $\Delta T = 400$ °C in oberflächennahen Bereichen). Darüber hinaus entstehen losgrößenabhängige thermische Belastungen, da beim Schmieden eines Loses ein weiterer thermischer Zyklus durchlaufen wird. Dieser weitere thermische Zyklus beinhaltet die Erwärmung des Gesenkes auf die Werkzeuggrundtemperatur (Werkzeug wird eingebaut und vorgewärmt), den der Losgröße entsprechenden Schmiedehüben und der abschließenden Abkühlung bei Produkt- oder Schichtwechsel. Je mehr thermische Zyklen durchlaufen werden, umso größer sind die Belastungen durch thermisch bedingte Dehnung und

Schrumpfung des Werkzeuges und damit der resultierende Werkzeugverschleiß (vgl. Bild 1) [3].

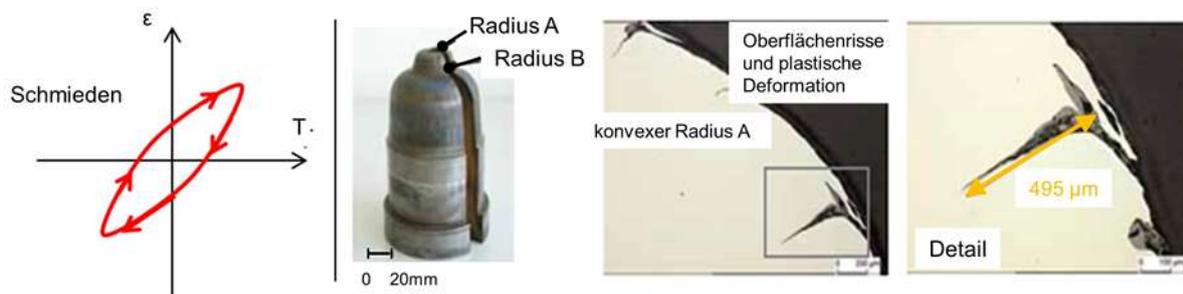


Bild 1 links: Dehnung in Abhängigkeit von der Temperatur (thermischer Zyklus), rechts: Rissbildung am konvexen Radius einer Hülse infolge von thermischer Wechselbelastung [4]

Ein höherer Werkzeugverschleiß bewirkt höhere Instandhaltungsaufwände bzw. -kosten, weshalb vor diesem Hintergrund weniger und dafür größere Lose vorteilhaft erscheinen. Die Forderung der betrieblichen Logistikplanung nach geringen Beständen und damit kleinen Fertigungslosen steht dem entgegen.

Forschungsziel

In Betrieben basiert die Bestimmung der Losgröße meist ausschließlich auf Logistikkosten (z. B. Flexibilität, Termintreue, Durchlaufzeit, Auftragsbestand und Lagerhaltung) und Auftragswechselkosten (z. B. Rüstaufwand) und berücksichtigt damit die Folgen des Werkzeugverschleißes nicht [5, 6]. Diese Betrachtungsweise ist gerade bei Schmieden, deren Prozesse meist mit hohen Werkzeugkosten verbunden sind, nicht sinnvoll. Das Ziel des Forschungsprojektes ist daher die Optimierung der Losgröße unter Berücksichtigung des Werkzeugverschleißes. Auf Basis der Ergebnisse soll es wahlweise möglich sein, durch Anpassung der Losgröße die Prozessstabilität (Wahrscheinlichkeit für Gutteile) zu erhöhen, die Werkzeugverschleißkosten bzw. Instandhaltungskosten zu reduzieren oder die Werkzeugstandzeit zu erhöhen.

Das erste Teilziel des Forschungsprojektes liegt in der Untersuchung des losgrößenabhängigen Werkzeugverschleißes durch Warmschmieden von Versuchsbauteilen. Der Verschleiß an den Werkzeugen wird anschließend durch verschiedene optische und taktile Messverfahren erfasst. Im zweiten Teilziel erfolgt Entwicklung einer losgrößenabhängigen Instandhaltungskostenfunktion auf Basis der Verschleißuntersuchungen aus dem ersten Teilziel. Dadurch erfolgt eine Optimierung der Losgröße unter Berücksichtigung verschieden gewichteter Kriterien wie Prozessstabilität, Werkzeugverschleißkosten, Werkzeugstandzeit, etc. Die Entwicklung eines Leitfadens zur Ermittlung bauteilindividueller Modellfunktionen des Verschleißes in einem Softwaredemonstrator und die industrielle Validierung stellen das dritte Teilziel dar.

Experimentelle Untersuchung des losgrößenabhängigen Werkzeugverschleißes

An konvexen Radien in Schmiedewerkzeugen treten in der Theorie vermehrt Verschleißerscheinungen auf [1]. Daher wurde für experimentelle Verschleißuntersuchungen eine Geometrie gewählt, deren Werkzeuge einen ausgeprägten konvexen Radius im Bereich des Dorns im Obergesenk aufweisen (siehe Bild 2). Während des Schmiedens fließt der Werkstoff stetig über den konvexen Radius des Stempels, weshalb an dieser Stelle ein erhöhter Verschleiß zu erwarten ist.

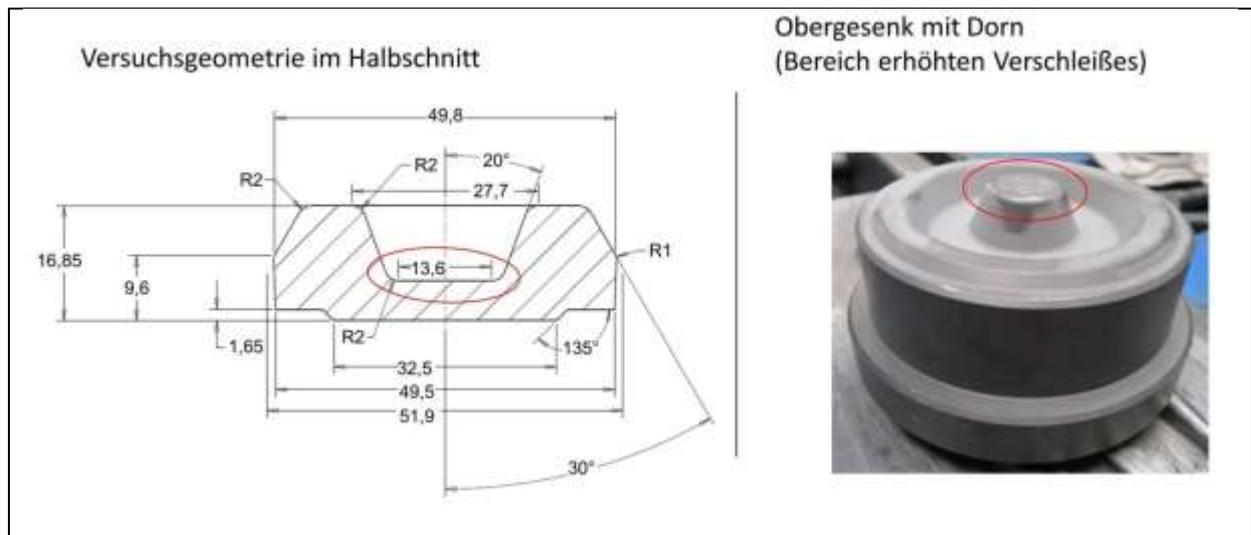


Bild 2: Versuchsgeometrie für experimentelle Verschleißuntersuchungen im Halbschnitt (links); Obergesenk mit Dorn und konvexem Radius wo erhöhter Verschleiß erwartet wird (rechts)

Um den Einfluss der Anzahl der thermischen Zyklen (hier abgebildet durch die Anzahl der Fertigungslose) auf den Werkzeugverschleiß zu untersuchen, wurden in einem einstufigen Schmiedeprozess mit zwei baugleichen Schmiedewerkzeugsätzen je 1000 Demonstratorbauteile in zwei verschiedenen Losgrößen ($L_1 = 100$, $L_2 = 500$) geschmiedet (siehe Versuchsplan in Tabelle 1). Die Werkzeuge wurden aus derselben Charge des Werkzeugstahls 1.2343 gefertigt und durch denselben Wärmebehandlungsprozess auf 44 HRC gehärtet. In den Verschleißuntersuchungen wurden somit ausschließlich die Anzahl der thermischen Warm-Kalt-Zyklen variiert.

Tabelle 1: Versuchsplan für experimentelle Untersuchung des Losgrößenabhängigen Werkzeugverschleißes

	Werkzeugsatz I	Werkzeugsatz II
Losgröße (Anzahl Teile ohne geplante Unterbrechung)	100	500
Anzahl der Fertigungslose	10	2
Anzahl Thermische Zyklen	10	2
Anzahl Teile pro Werkzeugsatz	1000	1000

Die experimentellen Schmiedeversuche wurden bei einer Rohteiltemperatur von ca. 1200 °C durchgeführt, wobei die Rohteile induktiv erwärmt und mit einem Manipulator zugeführt wurden. Die zylindrischen Rohteile hatten einen Durchmesser von 30 mm bei einer Höhe von 40 mm. Um das Verschleißverhalten an den Werkzeugen zu forcieren, wurden pro Werkzeugsatz die ersten 80 Teile aus dem Werkstoff 1.4301 (Edelstahl) geschmiedet. Durch die höhere Fließspannung dieses Werkstoffes steigt der Werkzeugverschleiß. Weitere 920 Teile wurden aus dem Werkstoff 1.0503 (C45) geschmiedet. Nach jedem Fertigungslos wurden die Werkzeuge 45 Minuten bei Raumtemperatur abgekühlt, um den thermischen Zyklus abzubilden. Die Versuche wurden auf einer EUMUCO Exzenterpresse mit einer maximalen Presskraft von $F_{\max} = 3100$ kN durchgeführt.

Nach der Versuchsdurchführung wurde der Werkzeugverschleiß am konvexen Radius im Bereich des Dornes am Obergesenk (vgl. Bild 2) mittels optischer Vermessung erfasst. In Bild 3 sind oben die jeweiligen Messaufnahmen der Werkzeuge im Bereich des Dorns zu sehen, während unten die ermittelten Verschleißwerte gezeigt sind.

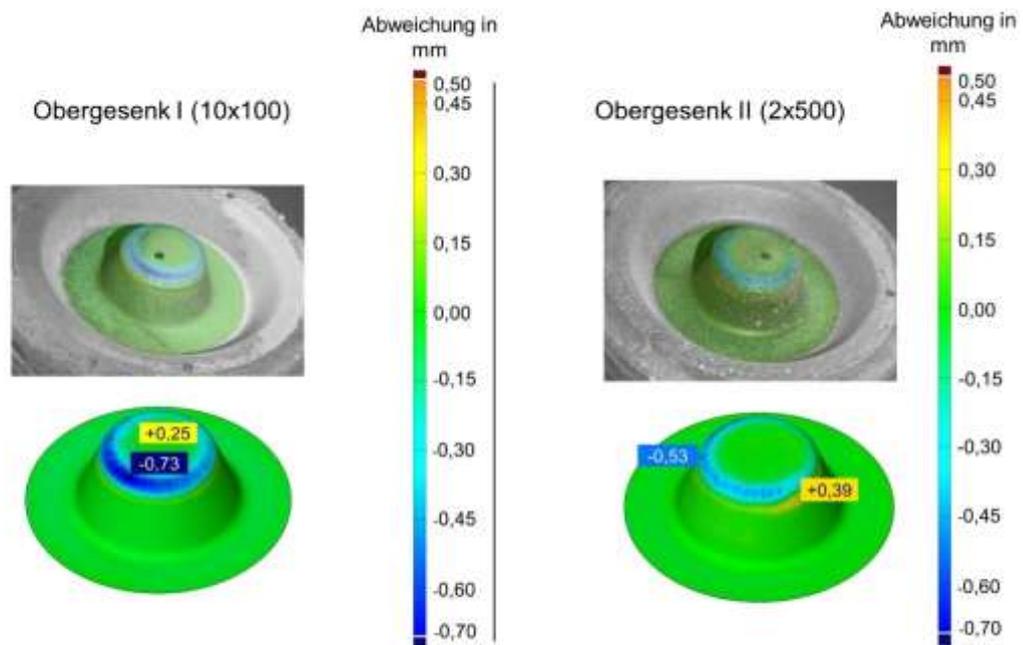


Bild 3: Messung des losgrößenabhängigen Werkzeugverschleißes durch Vergleich mit der 0-Messung (Vorher-/Nachher-Messung)

Die Verschleißerscheinungen treten am Dorn in zwei verschiedenen Erscheinungsformen auf. Zum einen ist abrasiver Verschleiß zu erkennen, welcher durch Werkstoffreduzierung an dem Dornradius erkennbar ist. Zum anderen tritt plastische Verformung am Dorn auf (siehe Bild 3). Die plastische Verformung ist vermutlich auf ein prozessbedingtes Ungleichgewicht der Temperaturverteilung zurückzuführen, welche beim Ausblasen des Zunders aus dem Schmiedegesenk entsteht. In Bild 3 wird links deutlich, dass der abrasive Verschleiß im Bereich des konvexen Radius des Dorns beim Schmieden von 10 x 100 Teilen -0,73 mm beträgt während der Verschleiß beim Schmieden von 2 x 500 Teilen bei lediglich -0,53 mm liegt (Bild 3 rechts). Als Vergleichsbasis diente die vor den Versuchen durchgeführte 0-Messung der baugleichen Gesenke im nicht verschlissenen Werkzeugzustand. Durch die jeweiligen Punkte des maximalen Verschleißes wurde zudem eine fiktive Konturlinie über die Flanke des Dorns und die jeweiligen konvexen Radien gezogen, anhand derer wiederum Verschleißmesswerte für die Gesenke I und II ermittelt wurden. Bild 4 zeigt den Vergleich der so ermittelten Verschleißmesswerte.

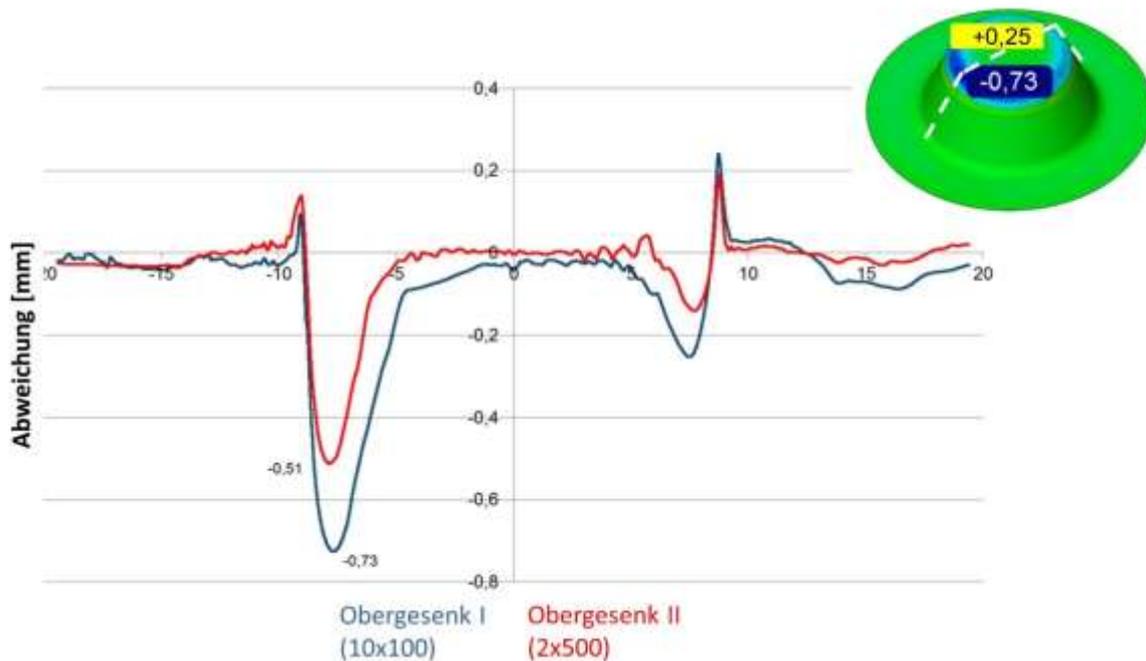


Bild 4: Erfassung des losgrößenabhängigen Werkzeugverschleißes entlang der Schnittlinie durch den Punkt des maximalen Verschleißes für die Gesenke I und II

Die Ergebnisse in Bild 3 und 4 zeigen, dass der Verschleiß entlang der Schnittlinie durch das jeweilige Verschleißmaximum im Falle von Gesenk I (10 x 100 Teile) in jedem Punkt der Konturlinie größer ist als bei Gesenk II (2 x 500 Teile). Dabei steigt der maximale abrasive Verschleiß um ca. 37 % (0,2 mm), wenn bei gleicher Gesamtmenge in zehn Losen à 100 statt in zwei Losen à 500 Teilen geschmiedet wird. Diese Ergebnisse zeigen, dass die über die Losgröße geregelte Variation der thermischen Zyklen einen deutlichen Einfluss auf den Werkzeugverschleiß hat.

Ausblick und Ergebnisnutzen

Weitere Verschleißuntersuchungen sollen anhand der Werkzeugquerschliffe unter Betrachtung von thermischer Rissbildung durchgeführt werden. Zudem soll der Verschleißzustand der Werkzeuge hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Gutteile zu produzieren, beurteilt werden. Dazu werden die jeweils letzten mit den Werkzeugen geschmiedeten Bauteile auf Basis der allgemeinen Maßtoleranzen für Gesenkschmiedeteile aus Stahl (DIN EN 10243) evaluiert. So sollen etwaige Instandhaltungsaufwände zu den entsprechenden Verschleißzuständen der Werkzeuge zugeordnet werden können.

Anschließend erfolgt die Entwicklung einer losgrößenabhängigen Instandhaltungskostenfunktion auf Basis der Ergebnisse der Verschleißuntersuchungen. Diese soll alle logistischen Kosten des Betriebes sowie die Instandhaltungskosten enthalten. Parallel dazu wird ein Konzept zur verschleißzustandsorientierten Instandhaltung ausgearbeitet, worin Kriterien wie z. B. die Prozessstabilität, die Werkzeugstandzeit oder Wiederbeschaffungskosten von Werkzeugen berücksichtigt werden. Letztlich soll dadurch eine ganzheitliche Kostenbetrachtung und Optimierung ermöglicht werden.

Schlussendlich soll das in dem Forschungsprojekt entwickelte Vorgehen anhand eines industriellen Bauteils validiert sowie in einem Leitfaden zusammengefasst und verallgemeinert werden. Somit soll interessierten Unternehmen die Ermittlung

bauteilindividueller Modellfunktionen des Verschleißes und letztlich eine verschleiß- und logistikkostenoptimale Fertigungsauslegung von Warm Schmiedeprozessen ermöglicht werden. Ferner sollen die Ergebnisse durch die Erstellung eines Softwaredemonstrators visualisiert werden. Durch die Eingabe von elementaren, bekannten Prozessdaten (z.B. Fertigungsdeckungsbeitrag oder Werkzeuganschaffungskosten) in einen Softwaredemonstrator soll den Unternehmen eine einfache Kostenschätzung bei Änderung der Losgröße ermöglicht werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik – Grundlagen, Technologien, Maschinen. 2. Aufl. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2010.
- [2] Awiszus, B.; Bast, J.; Dürr, H.; Matthes, K.-J.: Grundlagen der Fertigungstechnik, Carl Hanser Verlag, München 2012.
- [3] Lavtar, L. et al.: Analysis of the main types of damage on a pair of industrial dies for hot forging car steering mechanisms. In: Engineering Fatigue Analysis, Vol 18 (2011), Issue 4, pp. 1143-1152.
- [4] Hundertmark, A.: Vorhersage des Verschleißes und der Rissbildung mit Hilfe der Finite-Element-Methode bei Gesenkschmiedewerkzeugen. AiF Vorhaben 13789 N, Abschlussbericht 2005.
- [5] Harris, F. W.: How many parts to make at once. In: Factory, The Magazine of Management 10 (2), S. 947-950, 1913.
- [6] Münzberg, B.: Multikriterielle Losgrößenbildung, Dissertation Leibniz Universität Hannover, Garbsen: Berichte aus dem IFA (2013)

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 18780 N der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik e.V. (GVB) wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Stichworte

Gesenkschmieden, Produktionsplanung, Losgröße, Werkzeugverschleiß
hot forging, production planning and control, lot size, tool wear