

Tool Life Increase in Hot Forging through Boron-Containing Multilayer Coating

Within the scope of a project promoted by the German Federation of Industrial Research Associations, graded boron-containing PACVD coatings with different multilayer designs were tested

for tool life extension in forging. In addition, different lubricants were examined in combination with these coatings in order to additionally improve the achieved tool life.

Standmengenerhöhung in der Warmmassivumformung durch borhaltige Mehrlagenbeschichtungen

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens,
Dipl.-Ing. Marcus Bistron und
Dipl.-Ing. Hanno Paschke,
Hannover

Im Rahmen eines von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) geförderten Vorhabens wurden gradierte borhaltige PACVD-Beschichtungen in verschiedenen Mehrlagensdesigns hinsichtlich einer Erhöhung der Werkzeugstandmenge in der Warmmassivumformung untersucht. Weiterhin wurden unterschiedliche Schmiermittel in Kombination mit diesen Beschichtungen betrachtet, um die erreichten Standmengen zusätzlich zu verbessern.

In Prozessen der Warmmassivumformung wirken auf die Gesenke hohe mechanische und thermische Belastungen. Diese führen zu einer Schädigung der Werkzeugoberfläche. Im Vergleich zu Werkzeugen anderer Umformverfahren ist die Lebensdauer von Schmiedegesenken daher verhältnismäßig gering. Die Werkzeuge unterliegen einem komplexen Belastungskollektiv, das sich auf vier Grundbeanspruchungen zurückführen lässt [1]:

- Mechanische Beanspruchung
- Thermische (Wechsel-) Beanspruchung
- Tribologische Beanspruchung
- Chemische Beanspruchung.



Bild 1: Beschichtungsanlage PN 100/150 der Rübigen Anlagentechnik.

Eine Erhöhung der Werkzeugstandmengen erfolgt derzeit hauptsächlich durch Nitrieren und Härten der Oberflächen sowie durch Auftragschweißungen. Trotz vielfältiger Forschungstätigkeiten zur Erhöhung der Standmengen sind diese immer noch vergleichsweise gering.

Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen wurde der Ansatz zur Standmengenerhöhung durch borhaltige PACVD-Beschichtungen verfolgt. Die Beschichtungen wurden am Dortmunder OberflächenCenter DOC durch das Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik (IST) aufgebracht. Es wurde eine Beschichtungsanlage eingesetzt (Firma

Rübig Anlagentechnik, Wels, Österreich), die Plasmanitrieren und PACVD-Beschichtungen kombinieren kann als sogenannte Duplexprozesse (Bild 1). Beschichtungen von Bauteilen auf industriellem Maßstab, das heißt Werkstücke mit Abmessungen von 1,0 m Durchmesser und 1,5 m Länge mit einem Stückgewicht von bis zu zwei Tonnen sind behandelbar.

Im Anschluss wurden Standmengenuntersuchungen durchgeführt, um die entwickelten Schichtsysteme hinsichtlich ihres Verschleißverhaltens zu betrachten. Für die Verschleißuntersuchungen wurde die am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) vorhandene Exzenterpresse der Firma Eumuco mit 3.150 kN Presskraft verwendet (Bild 2).

Des Weiteren wurden Rohteile aus C45 (1.0503) mit einem Durchmesser von 30 mm und einer Höhe von 40 mm eingesetzt. Durch die automatische Handhabungseinrichtung, die Werkzeugheizung und die Kühlschmiereinrichtung ist für diesen Prozess eine hohe Reproduzierbarkeit gewährleistet. Als Rohteiltemperatur wurde 1.150 °C gewählt, um die Verschleißbeständigkeit der Schichtsysteme unter Bedingungen der Warmmassivumformung zu erproben. Während der Langzeituntersuchungen wurde die Rohteiltemperatur durch die induktive Erwärmungseinrichtung zuverlässig sichergestellt. Die Prozesszykluszeit liegt bei durchschnittlich sieben Sekunden pro Schmiedeteil. Als Werkzeug für die entwickelten Schichtvarianten wurde ein einfaches konstruiertes Werkzeug mit einem stark belasteten Dorn gewählt (Bild 3).

Die Verschleißuntersuchungen ergaben eine Reduzierung des Materialauftrags von bis zu 22 Prozent und des Materialabtrags von bis zu 78 Prozent unter Verwendung eines kostengünstigen graphithaltigen Schmiermittels (VS1) [2]. Weiterhin wurde das Verhalten der beiden verschleißärmsten Beschichtungen unter Einfluss verschiedener Schmiermittel betrachtet. Ausgewählt wurde eine Beschichtung mit acht Lagen der Materialgradierung einer TiN- zu einer TiB₂-Zusammensetzung und zurück zu einer TiN-Schicht. Es wurde eine Gesamtschichtdicke von 2,8 µm (V4) verwendet (Bild 4). Zum Vergleich wurde eine Beschichtung mit 25 Wiederholungen der gleichen Materialgradierung und einer Gesamtschichtdicke von 1,7 µm betrachtet (V6) [3]. Ziel der Untersuchung war es, die Beeinflussung des tribologischen Systems an der

Werkzeugoberfläche durch Schmierung und Beschichtung zu untersuchen. Die Sprüheinrichtungen wurden für jedes Schmiermittel angepasst, um eine gleichmäßige Benetzung der Werkzeugoberflächen zu gewährleisten.

Aufgrund der weiten Verbreitung und der guten Schmiereigenschaften wurden für die Untersuchungen zwei graphithaltige Schmiermittel (VS2 und VS3) ausgewählt sowie ein graphitfreies Schmiermittel zur Verbesserung der Trennwirkung zwischen Werkzeug und Werkstück.

Die graphithaltigen Schmiermittel VS2 und VS3 sind leicht wasser-mischbare Graphit-Dispersionen mit guter Trenn- und Schmierwirkung. Die Schmiermittel bestehen aus ausgewählten Graphiten mit unterschiedlichen Teilchengrößen. Die Vielzahl der kleinsten Teilchen sorgt dabei für eine gute Benetzung der Werkzeugoberfläche, während die größeren Graphitteilchen die Temperaturbeständigkeit verbessern. Während Schmiermittel VS2 häufig Anwendung in der Warmmassivumformung findet, wird Schmiermittel VS3 bevorzugt für die Halbwarmumformung von Stahl eingesetzt. Beide wurden in einem Mischungsverhältnis von 1:10 mit Wasser verdünnt. Aufgrund der in den zuvor durchgeführten Verschleißuntersuchungen ermittelten hohen Materialauftragswerte wurde das Untersuchungsspektrum um ein graphit- und ölfreies „weißes“ Schmiermittel erweitert. Dieses Schmiermittel wird hauptsächlich in der Warmumformung von Stahl, bei Sonderlegierungen und NE-Metallen eingesetzt, wenn aus betriebshygienischen Gründen graphithaltige Schmiermittel zu vermeiden sind.

Neben der Verbesserung der Trennwirkung sollen auch Materialfluss und Oberflächenqualität der Bauteile erhöht werden. Für die Untersuchungen wurde ein Mischungsverhältnis von 1:5 mit Wasser gewählt. Jeweils nach 500 geschmiedeten Bauteilen wurden die Werkzeuge mit einer 3D-Koordinatenmessmaschine vermessen. Durch Vergleich mit der vor Beginn der Versuche aufgenommenen Ursprungsgeometrie können die Materialauf- und -abträge bestimmt werden.

Beim Schmieden mit Schmierstoff VS2 und VS3 entstanden kleine, kurze Risse am Dornradius. Der Dornradius selbst erscheint nur leicht beschädigt. Beim Einsatz des graphitfreien Schmiermittels entsteht an der Werkzeugoberfläche ein deutlich unterschiedliches Aussehen im Vergleich zu den mit graphithaltigem Schmiermittel geschmiedeten Werkzeugen. Es bildeten sich tiefe, kurze Risse im Bereich des abgeflachten Radius, die in kerbenähnlichen Vertiefungen enden.

Bild 5 stellt die gemessenen Verschleißwerte der Schmiermitteluntersuchungen dar. Zur

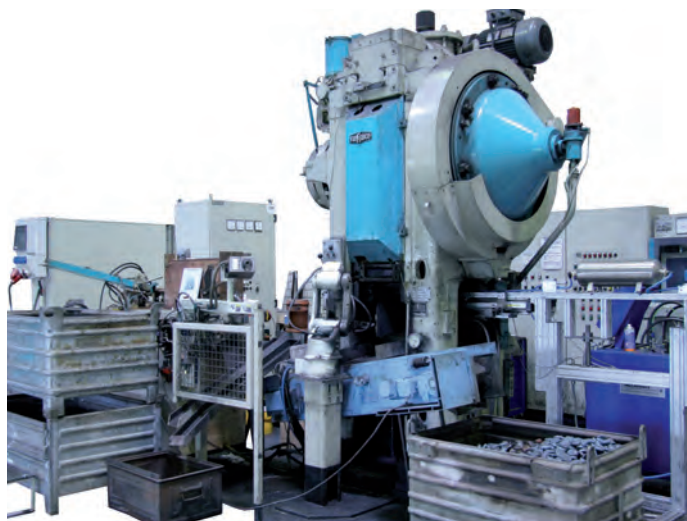


Bild 2: Automatisierte Exzenterpresse der Firma Eumuco.

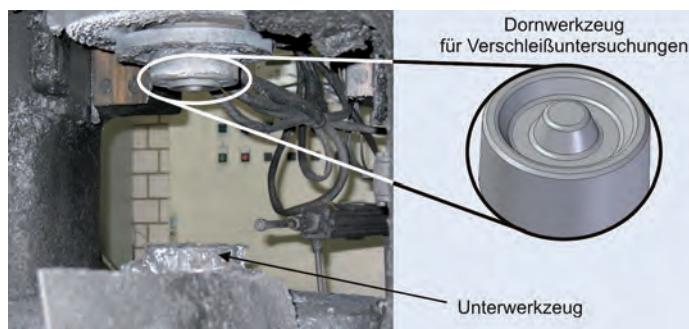


Bild 3: Werkzeugsystem für Verschleißuntersuchungen.

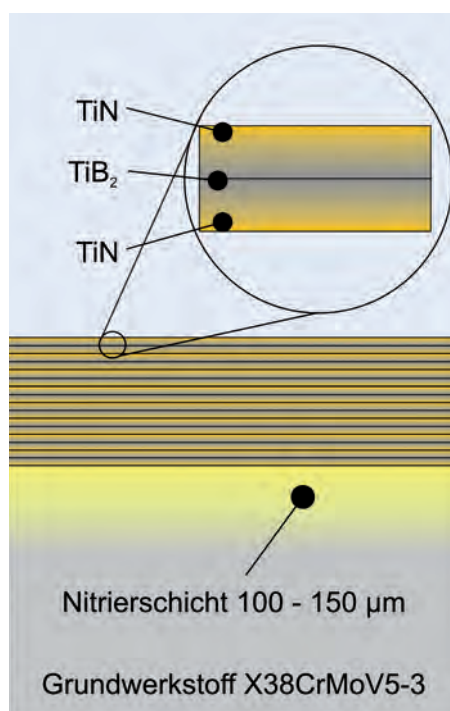


Bild 4: Gradierte Mehrlagenbeschichtung.

Gewährleistung der Übersichtlichkeit sind hier die Messwerte nach 1.000, 2.000 und 3.000 geschmiedeten Bauteilen abgebildet. Wie schon bei der optischen Betrachtung zu vermuten war, sind die Materialabträge der beiden graphithaltigen Schmiermittel am geringsten. Beim Materialauftragsverhalten sind die geringsten Werte beim graphitfreien Schmiermittel ermittelt worden. Der Ein-

nachgewiesen werden, während am Radius (M1) keine Spuren detektierbar waren. Die Ausnahme bei den Messungen konnte bei der Beschichtung V4 in Kombination mit dem Schmiermittel VS3 festgestellt werden. Wie in Bild 6 dargestellt ist, waren hier deutliche Spuren des in der Beschichtung vorhandenen Elements Titan sowohl an der Dornspitze (M2) als auch im Radiusbereich (M1) messbar. Dies

mittel, sodass die Schmierwirkung stark eingeschränkt war. Bei einem dem Laborversuchen entsprechenden Vorgehen erwartet die Paten-gruppe deshalb auch im industriellen Einsatz bessere Ergebnisse. Ein wirtschaftlicher Einsatz dieser Oberflächenbehandlung wurde überschlägig bei einer Standmengenerhöhung um 50 Prozent erwartet.

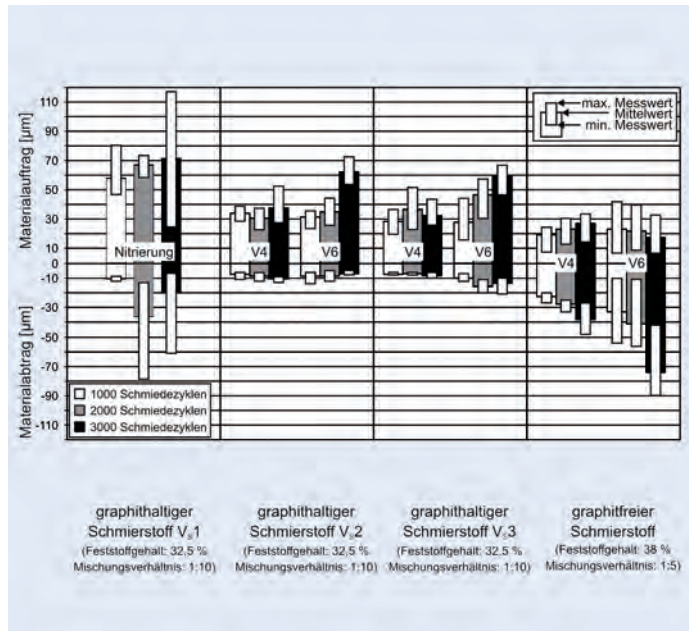


Bild 5: Ergebnisse der Verschleißmessungen.

satz dieses Schmiermittels führte aber auch zu höchsten Materialabträgen. Bei einer Betrachtung der gesamten Abweichung von der Ursprungsgeometrie der beschichteten Werkzeuge wird deutlich, dass durch das Schmiermittel das Verschleißverhalten maßgeblich beeinflusst wird. Insgesamt können bei Beschichtung V4, in Kombination mit Schmiermittel VS3, nach Abschluss der Untersuchungen die geringsten Gesamtabweichungen von der Ursprungsgeometrie ermittelt werden. Im Vergleich zum nitrierten Referenzwerkzeug, welches mit Schmiermittel VS1 geschmiert wurde, konnten die Materialauf- und -abträge deutlich reduziert werden.

Abschließend wurde bei allen Versuchswerkzeugen eine EDX-Analyse zur Beurteilung der verbleibenden Beschichtung durchgeführt. Die Messungen ergaben für fast alle Varianten ein ähnliches Ergebnis: An der Dornspitze (M2) konnten noch deutliche Spuren der Beschichtungselemente

lässt darauf schließen, dass die Beschichtung hier zumindest teilweise noch vorhanden ist. Das Potenzial der entwickelten Schichtsysteme wird durch die erarbeiteten Ergebnisse deutlich. Eine zusätzliche Anpassung des Schmiermittels trägt weiterhin deutlich zur Verbesserung der Verschleißigenschaften bei.

Die insgesamt positiven Ergebnisse der Laboruntersuchungen konnten in einem industriellen Praxistest nicht bestätigt werden. Aus Kostengründen wurde hier jedoch die PACVD-Beschichtung nicht auf Basis einer Plasmanitrierung, sondern auf einer Gasnitrierung mit mechanisch entfernter Verbindungsschicht aufgetragen. Die dabei entstandene Oberfläche hat sich negativ ausgewirkt in Hinblick auf die Benetzbarkeit mit Schmier-

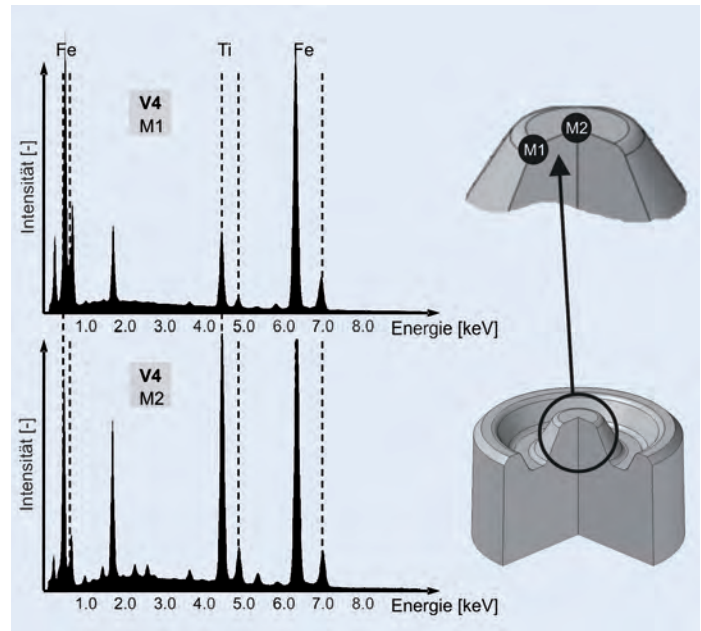


Bild 6: EDX-Analyse der Beschichtung V4.

Bilder: Autoren



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens



Dipl.-Ing. Marcus Bistron



Dipl.-Ing. Hanno Paschke

Danksagung

Das IGF-Vorhaben (IGF 15759) der Forschungsvereinigung Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. (EFDS) und der Forschungsgesellschaft Stahlverformung (FSV) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und – entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- [1] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik, 2. Aufl., Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2010
- [2] Behrens, B.-A.; Bräuer, G.; Paschke, H.; Bistron, M. Reduction of wear at hot forging dies by using coating systems containing boron, Production Engineering – Research and Development, 2011 (doi: 10.1007/s11740-011-0308-z)
- [3] Paschke, H.; Stueber, M.; Ziebert, C.; Bistron, M.; Mayrhofer, P.: Composition, microstructure and mechanical properties of boron containing multilayer coatings for hot forming tools; Surface and Coatings Technology (doi: 10.1016/j.surfcoat.2011.04.097)