

Measures for the Repair and Service Life Extension of Forging Tools

Maintenance or repair of forging tools and increasing of tool life quantity with wear reducing measures in hot forming are essential for the competitive capacity of forging companies. Depending on the stress conditions and the resulting types of damage, the achievable tool life quantity differs greatly rendering a closer look and some selection and optimization criteria helpful.

Maßnahmen zur Reparatur und Lebensdauererhöhung von Schmiedewerkzeugen

Dipl.-Ing. Timur Yilkiran,
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Hannover und
Univ. Prof. Dr. mont. Dipl.-Ing. Bruno Buchmayr, Leoben

Die Instandhaltung beziehungsweise Reparatur von Schmiedewerkzeugen und die Standmengenerhöhung

durch verschleißreduzierende Maßnahmen in der Warmumformung sind für die Wettbewerbsfähigkeit von Schmiedebetrieben essenziell. Je nach Belastungsbedingungen und den daraus resultierenden Schädigungsarten sind die erzielbaren Standmengen recht unterschiedlich, weshalb eine genauere Betrachtung und einige Auswahl- und Optimierungskriterien hilfreich sind.

Einleitung

Da die Werkzeugkosten 10 bis 30 Prozent der Gesamtkosten bei der Schmiedeteilfertigung ausmachen, sind wirkungsvolle, lebensdauerverlängernde und wirtschaftliche Technologien zur Instandhaltung beziehungsweise Reparatur von Gesenkschmiedewerkzeugen für die Warmumformung essenziell für die Wettbewerbsfähigkeit von Schmiedebetrieben. Sehr häufig stellt sich für den Instandhalter von Schmiedewerkzeugen die Frage, welche Technologie, welches Beschichtungsmaterial beziehungsweise ganz allgemein, welche Vorgehensweise am kostengünstigsten oder am besten geeignet für ein bestimmtes Werkzeug ist. Geht man von den Anforderungen an das Schmiedegesenk aus, so sind hier insbesondere folgende Faktoren entscheidend: Hoher Warmverschleißwiderstand, gute Formbeständigkeit, hohe Lebensdauer, gute Schweißbarkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, optimale Oberflächenhärte und kostengünstige Reparaturmöglichkeiten.



Bild 1: Verschleiß, Rissbildung und plastische Verformung an einem Schmiedewerkzeug.

Ausfallgründe für Schmiedegesenke sind in erster Linie Verschleiß (zirka 70 Prozent), mechanische Rissbildung (zirka 25 Prozent), thermische Rissbildung (zirka 3 Prozent) und plastische Verformung (zirka 2 Prozent) [1]. Durch den direkten Kontakt zwischen Werkstück und Werkzeug treten kurzzeitig Temperaturen um 700 °C an der Werkzeugoberfläche auf. Die intensive Kühlung der Werkzeuge resultiert in einer starken Thermoschockbeanspruchung der Gesenke, die zu den in Bild 1 dargestellten Verschleiß- und Ermüdungserscheinungen führen kann.

Geeignete Abhilfemaßnahmen in Abhängigkeit von der Schädigungsart

Geht man von den vier Grundmechanismen der Verschleißschädigung (Abrasion, Adhäsion, Ermüdung, plastische Verformung) aus, so liegen je nach vorliegender Schädigungsart bereits erfahrungsbasierte Abhilfemaßnahmen vor. Für den Fall der Abrasion würden eine höhere Härte des Gesenkwerkstoffs beziehungsweise harte Schichten, geringere Normalspannungen oder ein geringerer Reibungskoeffizient geeignete Maßnahmen sein. Auch die lokale Gleitgeschwindigkeit nimmt Einfluss auf das Schädigungsbild. Im Falle der Adhäsion (Festfressen) ist ein direkter Metall-Metall-Kontakt primär über den Schmierstoff zu vermeiden. Weiterhin wirkt sich ein großer Unterschied in der Oberflächenspannung günstig auf die Neigung zur Kaltverschweißung aus. Bezüglich der thermischen Ermüdung sollen der Temperaturgradient und die damit verbundene Dehnungsamplitude möglichst niedrig sein. Für den Fall der Niedriglastwechselermüdung (LCF = low cycle fatigue) ist eine möglichst hohe Duktilität vorteilhaft. Weiterhin wirken sich Druckeigenspannungen und das Nachpolieren des Gesenks nach einigen hundert Zyklen positiv auf die Standmenge des Werkzeugs aus. Plastische Verformungen treten meist nur in Verbindung mit extremer Belastung oder temperaturbedingter Erweichung des Werkzeugs auf. Gesenkwerkstoffe mit erhöhter Anlassbeständigkeit und hoher Duktilität können hier hilfreich sein. Auch verbesserte

Kühlungskonzepte und eine höhere Leitfähigkeit des Materials können zu niedrigeren Grenztemperaturen und Vermeidung von Überhitzungen beitragen.

Leider sind die Möglichkeiten einer Verbesserung des Betriebsverhaltens von Schmiedegesenken aufgrund starker gegenläufiger Wechselwirkungen wichtiger Werkstoffeigenschaften von vorneherein sehr eingeschränkt. So führt eine Steigerung der Festigkeit meist zu einer Absenkung der ebenso notwendigen Zähigkeit. Bei thermomechanischer Belastung sind die Optimierungsmaßnahmen stark von der Höhe der Dehnschwingbreite abhängig. Während im Bereich kleiner Lastspielzahlen kleiner 8.000 (= LCF-Bereich) die Duktilität entscheidend ist, führt im HCF-Bereich (HCF = high cycle fatigue, entspricht Lastspielzahlen größer als 8.000) eine Härtesteigerung zur Verbesserung der Lebensdauer (Bild 2) [2].

Am Beispiel der thermischen Ermüdung eines Auswerfers in einer kurz getakteten Horizontalpresse sieht man sehr klar, dass im Bereich der üblichen Lebensdauern von Schmiedegesenken (3.000 bis 30.000 Stück) kaum eine Wirkung durch Änderung der Härte erzielbar ist.

Die praktischen Erfahrungen haben auch zu einigen „best practice“-Regeln zur Vermeidung von Rissen und erhöhtem Verschleiß geführt, wie homogene Gesenkvorwärmung auf 280 °C, intensive Gesenkkühlung zur Vermeidung von Gesenkgrundtemperaturen größer 300 °C, Schmierung mit isolierender Wirkung zur Vermeidung von Oberflächentemperaturen größer 650 °C, Vermeidung zu hoher Schmiedetemperaturen (> 1.250 °C), Schleifen von verschleiß- und brandrissbehafteter Oberflächenbereiche und Einhaltung von Gravur-Nachbearbeitungs-Intervallen. Die herstellungsbedingten Fehlerursachen lassen sich auf die Güte des Werkstoffs, auf die Werkzeuggeometrie und auf die Werkzeugfertigung zurückführen. Werkstoffbedingte Ursachen sind auf eine unzureichende Durchschmiedung des Werkzeugrohblocks, mangelnde Reinheit (Nicht-metallische Ein-

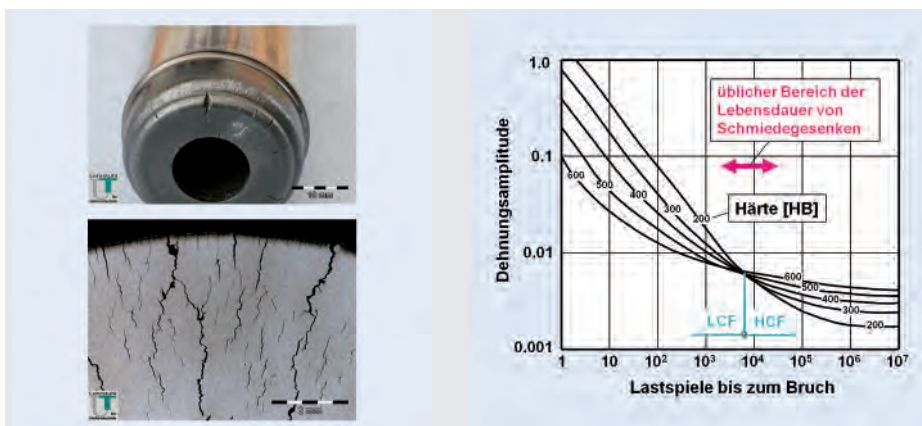


Bild 2: Thermische Ermüdungsrisse und Einfluss der Härte auf das Ermüdungsverhalten [2].

schlüsse in Gehalt und Form) oder eine falsche Wärmebehandlung zurückzuführen. Hinsichtlich der Werkzeuggeometrie wirken sich zu kleine Radien oder unzureichende Gesenkbreiten beziehungsweise Gesenkdicken negativ aus. Fertigungsfehler umfassen schlechte Oberflächenzustände oder Oberflächenbehandlungen, inhomogen verteilte EDM (Electrical Discharge Maschining)-Entladungen und ungeeignete Schweißreparaturen.

Möglichkeiten zur Reparatur von Schmiedegesenken

In Bild 3 ist eine Übersicht und Klassifizierung möglicher Reparaturarten dargestellt, wobei für die Auswahl einer geeigneten Methode ein fundiertes Wissen über den Schädigungsmechanismus und die Eigenschaften der Schweißzusätze beziehungsweise Beschichtungswerkstoffe erforderlich ist. Prinzipiell finden für das Auftragschweißen folgende Werkstoffgruppen Verwendung: Artgleicher warmfester Schweißzusatz, artgleicher Schweißzusatz plus Nitrierbehandlung, harte Karbidssysteme der Legierungselemente Cr, W und V, darüber hinaus Kobaltbasislegierungen (Stellite) und Nickelbasislegierungen. Bei der Auswahl eines geeigneten Schweißverfahrens beziehungsweise Zusatzwerkstoffs sollten die Schweißbarkeit des Bauteils, die metallurgische Verträglichkeit, die zu erwartenden Verschleißkennwerte, die Wärmeleitung beim Schweißen sowie die Festlegung geeigneter Prozessparameter und die Möglichkeiten einer mechanischen Nachbearbeitung berücksichtigt werden.

Hier sei erwähnt, dass die Angaben über die Warmhärte als Funktion der Temperatur bis zirka 700 °C eine gute Basis für die Eignung der Zusatzwerkstoffe darstellen [3]. So zeigt sich eine höhere Warmhärte bei Stellite 6 im Vergleich zu Stellite 21. Dies bedeutet wiederum, dass Stellite 6 eher für eine Schmiedepresse verwendet werden soll, während Stellite 21 aufgrund seiner höheren

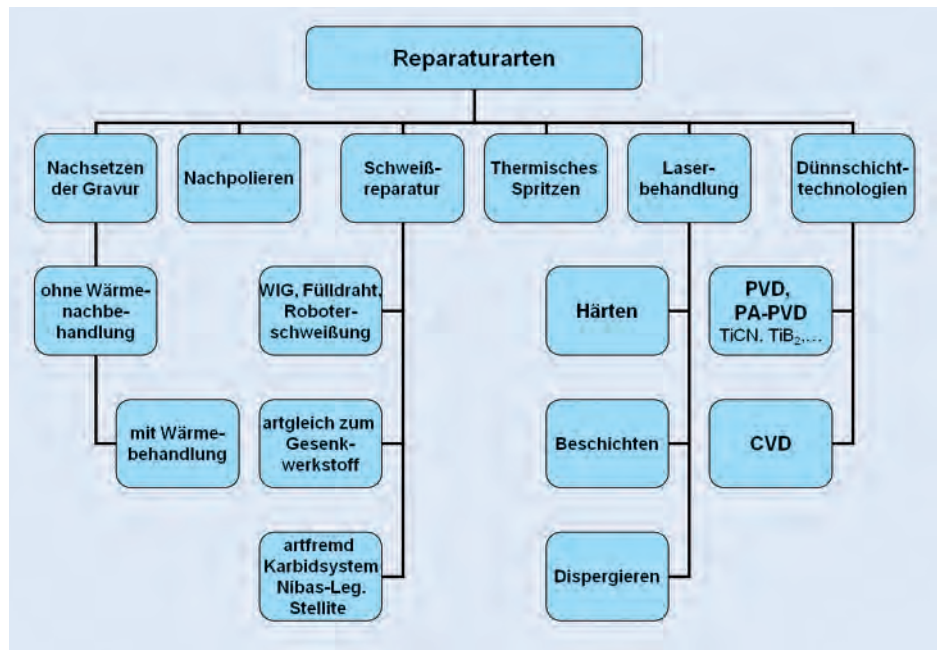


Bild 3: Möglichkeiten zur Reparatur von verschlissenen Schmiedegesenken.

Zähigkeit eher für Schmiedehämmer geeignet ist. Sehr gute Erfahrungen sind auch durch eine Randschichtmodifikation insbesondere durch ein Nitrieren bekannt, wobei als Einflussfaktoren die Rolle der spröden Verbindungsschicht, die Dicke der Diffusionsschicht, die Prozesstemperatur und das Nitrierverfahren (Gasnitrieren, Plasmanitrieren) genannt werden müssen. Es wird berichtet, dass ein Nitrieren ohne weiße Verbindungsschicht zu den besten Performance-Werten führen [4].

Schließlich soll noch die Möglichkeit der Anwendung von Dünnschichttechnologien (CVD, PVD, PACVD) mit den Schichtwerkstoffen CrN, TiN, TiCN, TiBN oder TiB₂ genannt werden [5]. Auch Mehrlagenbeschichtungen (beispielsweise TiN-TiCN-TiC) oder Duplex-Schichten (Nitrieren + PVD) wurden bereits untersucht [6,7].

Zusammengefasst muss aber betont werden, dass es kein für alle Einsatzfälle optimales Reparaturverfahren beziehungsweise Be-

schichtungswerkstoff gibt, sondern die Abhilfemaßnahmen stets von den gegebenen Einflussgrößen (Hammer oder Presse, Formkomplexität, lokale Gleitgeschwindigkeit, Temperatur an der Grenzschicht, Kontaktzeit et cetera) abhängig sind. Nachdem bereits an einem Werkzeug unterschiedliche Verschleißzustände auftreten können, wäre auch die Anwendung mehrerer Methoden beziehungsweise Beschichtungsstoffe überlegenswert. Aus Wirtschaftlichkeitsgründen wird auch versucht, automatisierte oder mechanisierte Reparaturen mittels Roboterschweißung einzusetzen.

Verschleißreduzierung durch zyklische Randschichthärtung

Neben den dargestellten Reparatur- und Verschleißschutztechniken durch zusätzliche Bearbeitungsschritte soll im Weiteren die Möglichkeit der Verschleißreduzierung durch einen werkstoffeigenen Verschleißschutzmechanismus dargestellt werden.

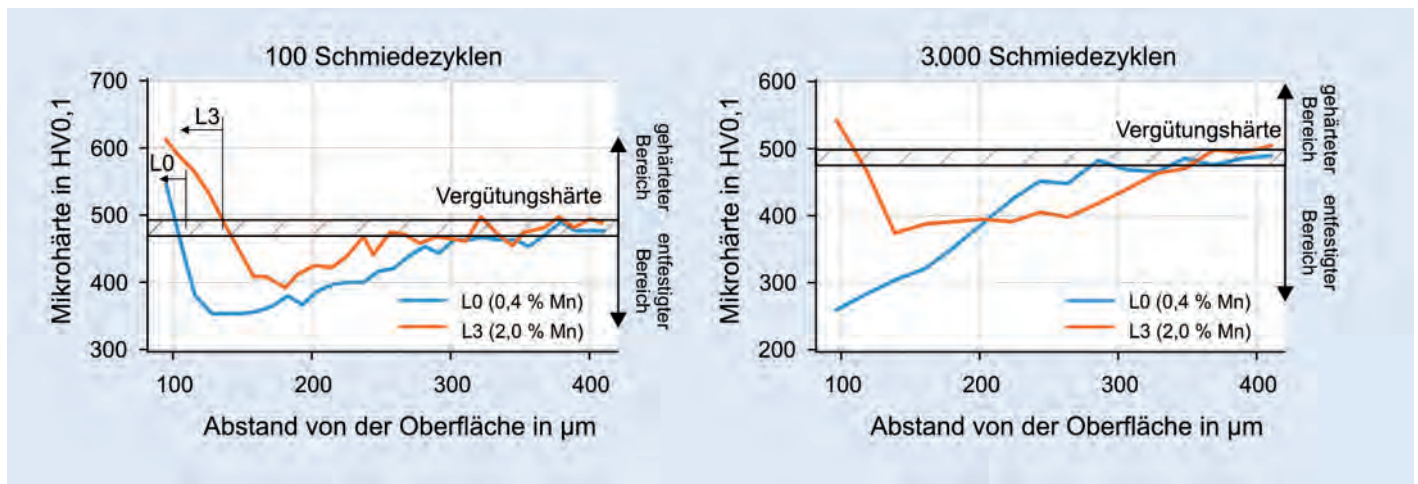


Bild 4: Mikrohärteprofilen der Randschichten nach 100 und 3.000 Schmiedezyklen.

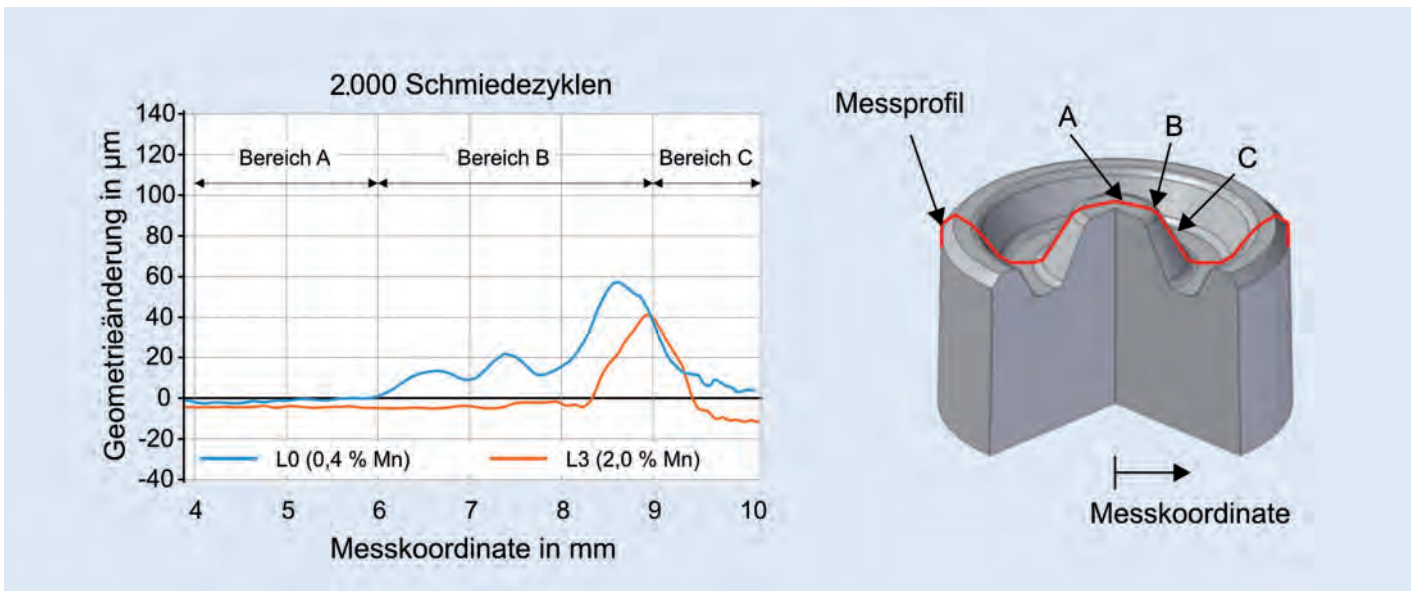


Bild 5: Verschleißmessung nach 2.000 Schmiedezyklen.

In einem durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojekt wurde die Legierungszusammensetzung eines gängigen Warmarbeitsstahls derart modifiziert, dass die im Schmiedeprozess vorherrschende thermische Belastung zur Bildung einer sich zyklisch erneuernden verschleißbeständigen Randschicht genutzt werden kann. Dabei wurde das Ziel verfolgt, die Austenitstarttemperatur Ac1b zu niedrigeren Temperaturen zu verschieben, um so eine größere und tiefer in das Gefüge reichende Neuhärtungsschicht zu erzwingen. Die Neuhärtungsschicht entsteht dabei durch eine martensitische Gefügewandlung aufgrund der Überschreitung der kritischen Abkühlgeschwindigkeit durch die nach jedem Zyklus stattfindende Sprühhkühlung.

Um das formulierte Ziel zu erreichen, wurde der Warmarbeitsstahl 1.2365 (32CrMoV12) mit variierenden Mengen Mangan angereichert. Über Dilatometermessungen wurde eine maximale Reduzierung der Ac1b-Temperatur um 65 °C bei einem zusätzlichen Mangangehalt von 2 Prozent erreicht [8]. Aus dieser Legierung entwickelte Schmiedegenke wurden in Standmengenversuchen

eingesetzt und anschließend in Bezug auf ihre Randschichthärtung und Verschleißbeständigkeit hin untersucht. In Bild 4 sind Mikrohärteprofile der Werkzeugrandschichten nach 100 und 3.000 Schmiedezyklen dargestellt. Anhand der Mikrohärteprofile ist zu erkennen, dass bereits nach 100 Schmiedezyklen ein thermisch deutlich entfestigter Randbereich bei der Standardlegierung 1.2365 (L0) vorhanden ist. Nach 3.000 Schmiedezyklen liegt eine vollständig thermisch entfestigte Randschicht vor. Bei der modifizierten Legierung hingegen konnte die Randschichthärtung durch die abgesenkte Ac1b-Temperatur verstärkt und über einen im Vergleich zur Standardlegierung längeren Zeitraum aufrechterhalten werden.

Um die verstärkte Randschichthärtung mit der Verschleißbeständigkeit der Werkzeuge zu korrelieren, wurden profilometrische Konturmessungen durchgeführt. In Bild 5 ist die Werkzeuggeometrie und eine Verschleißmessung am verschleißkritischen Bereich des Werkzeugs nach 2.000 Schmiedezyklen dargestellt. Die Verschleißmessung beschreibt dabei die Abweichungen der Geometrie vor und nach den Schmiedeversuchen.

Anhand der Vermessungsergebnisse kann nachgewiesen werden, dass es bei diesem Werkzeug vorrangig zu positiven Geometrieänderungen kommt. Diese lassen auf Materialadhäsionen beziehungsweise plastische Verformungen hindeuten. Die Geometrieabweichungen sind bei den dargestellten Ergebnissen für die neue Legierungsmodifikation deutlich geringer ausgefallen als bei der Standardlegierung. Im Bereich B sind bei der neuen Legierungsmodifikation annähernd keine Geometrieänderungen vorhanden, während bei der Standardvariante bereits deutliche Abweichungen zu erkennen sind. Wie zuvor beschrieben, kann eine Verschleißschutzmaßnahme nicht verallgemeinernd für alle Schmiedeanwendungen als „gut“ oder „schlecht“ beurteilt werden. Vielmehr bedarf es einer differenzierten Betrachtung der vorherrschenden Belastungsart, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten und diese auf industrielle Anwendungen zu übertragen. Zur Korrelation der verbesserten Verschleißbeständigkeit mit der vorherrschenden Belastungsart wurden numerische Berechnungen zur Ermittlung der Kontakttemperaturen und der Gleitwege durchgeführt. In Bild 6 sind die Ergebnisse der

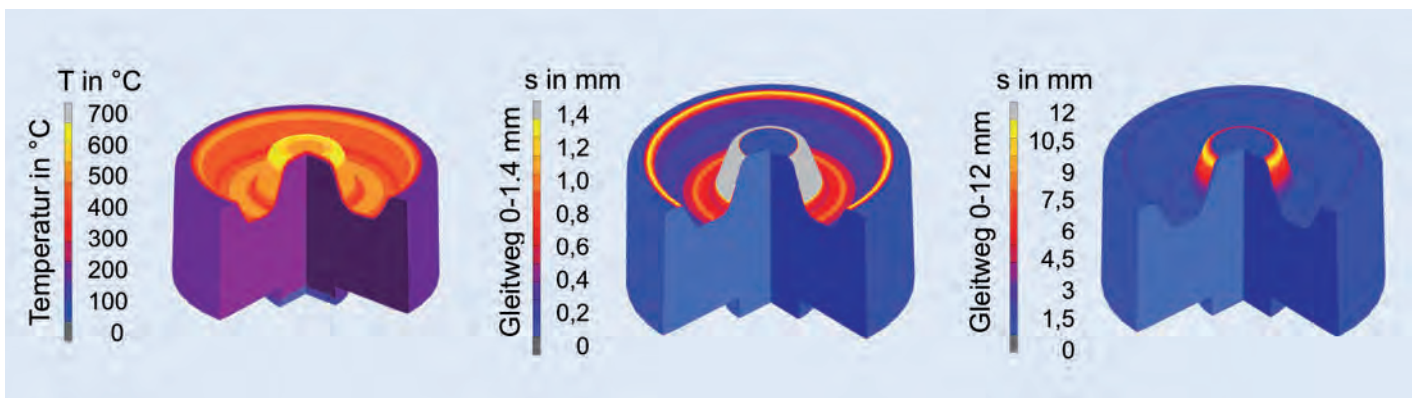


Bild 6: Belastungssimulation des verwendeten Versuchsgesenks; Kontakttemperaturen und Gleitwege.

Bilder: Autoren

Simulationen dargestellt. In dem zur Verschleißbeurteilung ausgewählten Bereich des konvexen Dornradius herrschen während der Druckberührzeit die lokal höchsten Temperaturen von bis zu 700 °C. Zusammen mit dem hohen Gleitweg von bis zu 12 mm resultiert hieraus die höchste Reibung aufgrund der Zunahme der Reibkraft mit steigenden Temperaturen [9].

Die dargestellte Verschleißschutzmaßnahme durch eine Verstärkung der Neuhärtung ist somit besonders bei Prozessen zu empfehlen, bei denen durch einen hohen thermischen Eintrag von Energie das Grundmaterial weichglüht und in Folge dessen ein Verschleiß durch plastische Verformungen hervorgerufen wird. Durch eine tiefer in das Gefüge reichende Martensitschicht kann die thermische Entfestigung des Materials und der daraus resultierende Verschleiß hinausgezögert werden. ■

Literatur

[1] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik, Springer Verlag, 2007

[2] Boardman, B.: Fatigue Resistance of Steels. In: ASM Handbook Vol.1, 1990, S. 679

[3] Kashani, H.; Amadeh, A.; Ghasemi, H. M.: Room and high temperature wear behaviors of nickel and cobalt base weld overlay coatings on hot forging dies. *Wear* 262, 2007, S. 800-806

[4] Paschke, H.; Weber, M.; Kaestner, P.; Braeuer, G.: Influence of different plasma nitriding treatments on the wear and crack behavior of forging tools evaluated by Rockwell indentation and scratch tests. *Surface & Coating Technology* 205, 2010, S. 1465-1469

[5] Behrens, B.-A. et. al.: *Werkstatttechnik online* Jahrgang 98 (2008) H. 10, S. 805

[6] Navinsek, B. et. al.: Improvement of hot-working processes with PVD coatings and duplex treatment. *Surface & Coating Technology* 142-144, 2001, S. 1148-1154

[7] Leskovsek, V.; Podgornik, B.; Jenko, M.: A PACVD duplex coating for hot-forging applications. *Wear* 266, 2009, S. 453-460

[8] Pfahl, A.; Puchert, A.; Behrens, B.-A.; Bach, Fr.-W.: Legierungsentwicklung zur Verschleißreduzierung von Schmiedegesenken – Einfluss von Mangan auf die Absenkung der Ac1b-Temperatur, *HTM – Journal of Heat Treatment and Materials*, Band 64, 2009, Heft 5, S. 291-296

[9] Köhler, M.: Beitrag zur Bestimmung des Coulomb'schen Haftreibungskoeffizienten zwischen zwei metallischen Festkörpern, Cuvillier Verlag, 2005, ISBN: 978-3-86537-617-6



Dipl.-Ing. Timur Yilkiran



Prof. Dr.-Ing.
Bernd-Arno Behrens



Univ. Prof. Dr. mont. Dipl.-Ing.
Bruno Buchmayr