

Tool Life Studies of Generatively Produced Forging Tools

Tools for forgings are currently manufactured by machining for the most part. In contrast, rapid tooling – the generative production of tools – could be used for special requirements for tool geometry in the future.

This article presents first results of manufacturing of forging dies with a selective laser melting process in view of the wear behaviour of the dies.

Forging dies are subject to high mechanical, thermal as well as tribological and chemical strains during forming. Therefore the development has to focus on an optimisation of the tool life. Selective laser melting offers the possibility to integrate contour-close cooling or temperature control channels in high-temperature stressed areas of forging tools, which can reduce this wear, while conventional tool production, i.e. mechanical processing, is stretching its limits considering the complexity of contour-close channels.

Standzeituntersuchungen generativ hergestellter Schmiedewerkzeuge

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Adis Huskic,
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Hannover,
Jochen Giedenbacher, B.Sc. und
Prof. (FH) Dr.-Ing. Aziz Huskic, Wels, Österreich

Die Herstellung von Werkzeugen für die Massivumformung erfolgt derzeit größtenteils durch spanende Fertigung. Dem gegenüber könnte das Rapid Tooling, die generative

Fertigung von Werkzeugen, zukünftig bei speziellen Anforderungen an die Werkzeuggeometrie zum Einsatz kommen. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse aus der Herstellung von Schmiedegesenken mittels selektivem Laserschmelzverfahren im Hinblick auf das Verschleißverhalten der Gesenke vorgestellt. Schmiedegesenke unterliegen während der Umformung hohen mechanischen, thermischen sowie tribologischen und chemischen Beanspruchungen, daher stellt die Optimierung der Lebensdauer eine permanente Herausforderung dar. Das selektive Laserschmelzverfahren bietet die Möglichkeit zur Integration von konturnahen Kühlbeziehungsweise Temperierkanälen in hochtemperaturbeanspruchten Bereichen eines Schmiedewerkzeugs, wodurch diese Beanspruchungen reduziert werden können. In diesem Fall stößt die konventionelle Werkzeugfertigung, das heißt die mechanische Bearbeitung, angesichts der Komplexität konturnaher Kanäle an ihre Grenzen.

Einleitung

Als Werkzeugwerkstoff dient bei den folgenden Untersuchungen eine Pulverlegierung nach der europäischen Klassifizierung 1.2709 (X3NiCoMoTi 18 9 5). Dieser martensitahärtende Werkzeugstahl vereint

hohe Festigkeit mit guter Zähigkeit. Der Verschleißwiderstand der generativ hergestellten Schmiedewerkzeuge wird unter industriennahen Schmiedebedingungen untersucht.

Einen wesentlichen Faktor für die Wirtschaftlichkeit eines Schmiedeprozesses stellt die Standmenge der eingesetzten Werkzeuge dar. Die hohen Rohteiltemperaturen und Drücke, die während des Umformvorgangs

auf die Werkzeugoberfläche wirken, schädigen diese. Die thermische Schädigung erfolgt zum Beispiel durch das Überschreiten der Anlasstemperatur des jeweiligen Werkstoffs, was zu starken Festigkeitsverlusten der oberflächennahen Bereiche der Schmiedewerkzeuge führt. Forschungsarbeiten zeigen, dass durch den Einsatz von verschleißbeständigen Werkstoffen, optimierten Legierungskonzepten, Beschichtungsverfahren, neuen Kühlschmierprozessen und durch die Reduzierung der thermischen Belastung die Standmenge der Schmiedewerkzeuge deutlich erhöht werden kann [1] - [3].

Die rasante Weiterentwicklung neuer Verfahren im Fertigungsbereich „Additive Manufacturing“ bietet neue Wege für die Herstellung komplexer Umformwerkzeuge. Das selektive Laserschmelzverfahren (SLS) stellt eines dieser innovativen Verfahren dar. In der Kunststoffindustrie, speziell beim Spritzgießen, wird das SLS-Verfahren zur Herstellung von Werkzeugeinsätzen mit konturangepassten Kühlkanälen schon seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt. Das Ziel ist dabei die Reduzierung der Zykluszeit durch intensive Kühlung der sogenannten Hotspots im Spritzgießwerkzeug [4].

Nach derzeitigem Stand der Technik kommen in der Schmiedeindustrie keine generativ gefertigten Werkzeuge zum Einsatz. Im folgenden Beitrag werden die ersten Ergebnisse dieser Fertigungstechnologie zur Herstellung von Werkzeugen für die Warmmassivumformung vorgestellt und unter industrienahen Bedingungen hinsichtlich ihres Verschleißverhaltens untersucht.

Verfahrensgrundlagen

Die beim SLS-Verfahren verwendeten Metallpulverwerkstoffe bilden die Ausgangs-

stoffe für die Herstellung eines Bauteils. Durch den Laserstrahl erfolgt das Fügen definierter Metallpulverschichten mit gleicher Auftragsdicke. Die flächige Formgebung erfolgt in der x-y-Ebene. Die endgültige Gestalt des Bauteils wird durch das Aufeinanderfügen der Einzelschichten in z-Richtung bestimmt. Die Genauigkeit eines Bauteils hängt von der Schichtdicke (z-Stufung) und der Korngröße des jeweiligen Pulverwerkstoffs ab. Bei diesem Fertigungsprozess erfolgt ein vollständiges, lokales Aufschmelzen der einzelnen Pulverschichten. Dieses Verfahren weist keine langen Reaktionszeiten auf, es erfolgt lediglich eine kurze Reaktion der lose nebeneinander liegenden Partikel im Pulverbett, die durch thermische Energie aktiviert werden. Um beim SLS-Prozess die Oxidation des Materials zu verhindern und die Anlagensicherheit zu gewährleisten (Explosionsschutz), ist es notwendig, den Prozess in einer Schutzgasatmosphäre ablaufen zu lassen. Diese besteht meist aus Stickstoff [4].

Auslegung und Herstellung eines generierten Schmiedegesenks

Als Grundwerkstoff dient bei der Herstellung der Schmiedegesenke das Werkzeugstahlpulver CL50WS der Firma Concept Laser. Bei diesem Pulverwerkstoff handelt es sich um eine martensitauhartende Werkzeugstahllegierung, die der europäischen Klassifizierung 1.2709 (X3NiCoMoTi 18 9 5) entspricht. Im vergüteten Zustand besitzt diese Legierung eine Streckgrenze von etwa 1.800 MPa und eine Härte von 54 HRC [5].

Die Generierung eines Werkzeugs kann prinzipiell auf zwei Konstruktionsarten erfolgen. Die erste Variante stellt den vollständigen Aufbau eines Werkzeugs in z-Richtung dar. Diese Bauweise benötigt lange Bauzeiten und

eine große Menge an Pulvermaterial, da das Werkzeug vollständig generiert werden muss.

Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung eines generierten Werkzeugs stellt die Hybridbauweise dar. Hierbei wird ein Stahlrohling zuerst spanend hergestellt und dient als Grundplatte des Werkzeugs. Das Volumen der jeweiligen Werkzeugform wird anschließend mithilfe der Pulverlegierung auf dem Stahlrohling aufgebaut. Durch diese konstruktive Maßnahme können die Kosten für den Pulverwerkstoff und die Bauzeit reduziert werden. Die anschließende Wärmebehandlung der Gesenke erfolgt über einen Warmauslagerungsprozess bei 520°C. In Bild 1 sind beide Bauformen der Schmiedegesenke dargestellt. Nach der Wärmebehandlung ist lediglich eine zerspanende Feinbearbeitung notwendig, um die geforderte Maßgenauigkeit zu erhalten. Für einen zusätzlichen Verschleißschutz können generierte Gesenke aus CL50WS sowie konventionell hergestellte Gesenke einer thermochemischen Behandlung oder Oberflächenbeschichtung unterzogen werden [5].

Mithilfe des SLS-Verfahrens können kleinere Hohlräume, etwa räumlich gekrümmte Kanäle, unter der Werkzeugoberfläche erzeugt werden. Dies ermöglicht es, konturnahe Temperier- beziehungsweise Kühlkanäle in hochtemperaturbeanspruchten Zonen eines Schmiedegesenks zu integrieren. Im Gegensatz zu spanenden Fertigungsverfahren sind bei der Auslegung eines generierten Schmiedegesenks hinsichtlich der Geometrie fast keine Grenzen gesetzt. Bei einem schichtweisen Aufbau eines Werkzeugs kann ein kreisrunder horizontaler Kanal verfahrensbedingt einen maximalen Durchmesser von 8 mm aufweisen. Eine weitere Vergrößerung des Kanaldurchmessers bedeutet einen Verlust

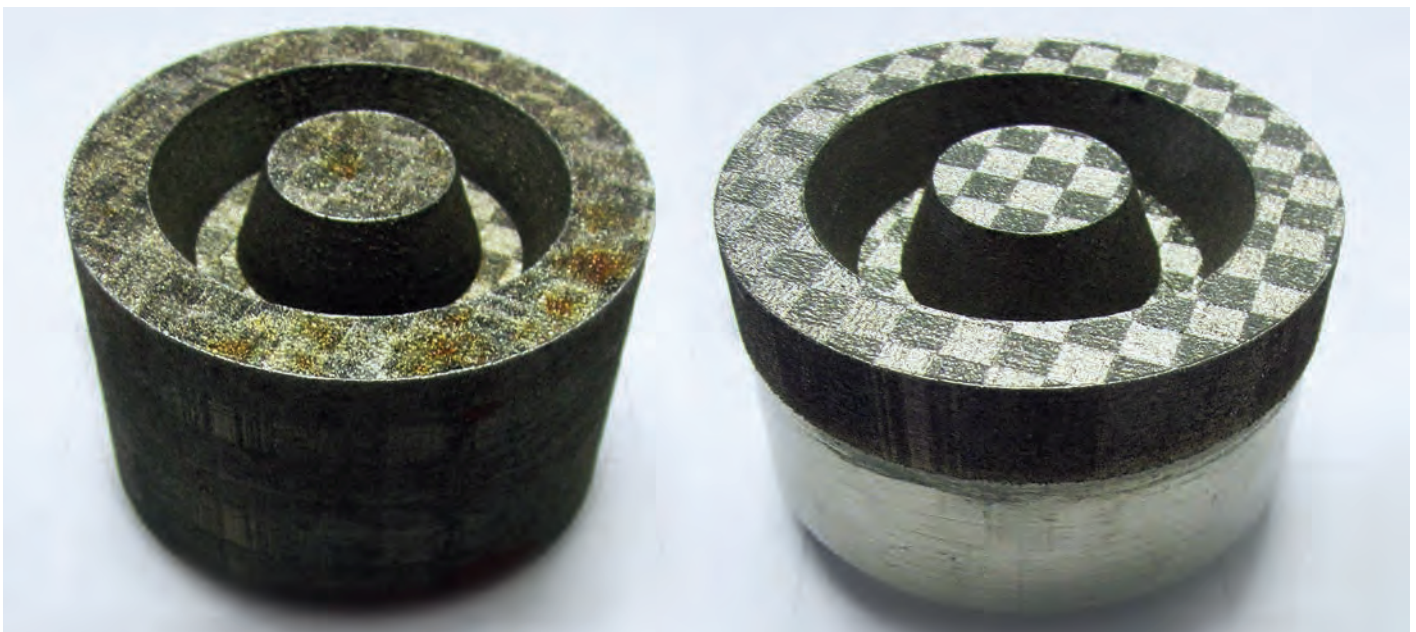


Bild 1: Bauformen der generierten Modellgesenke: Vollgesenk (links) und Hybridgesenk (rechts).

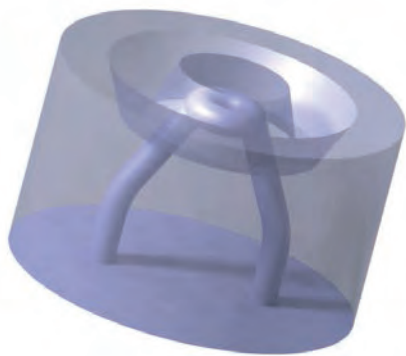


Bild 2: Auslegung der Temperierkanäle.

der Stützwirkung. Es besteht die Gefahr, dass der Kanal während des Bauprozesses in sich zusammenfällt. Allerdings ist es möglich, durch zusätzliche Generierung von Stützstrukturen auch kreisrunde Kanäle mit größerem Durchmesser herzustellen. Diese konstruktive Einschränkung muss bei der Auslegung eines Temperiersystems berücksichtigt werden.

Als Ziel der Werkzeuginnentemperierung gilt, die konventionelle Gesenkkühlung zu unterstützen und die Gesenkgrundtemperatur zu reduzieren. Zu hohe Gesenkgrundtemperaturen führen zu erhöhtem Verschleiß und Rissbildung auf der Werkzeugoberfläche. Ein weiteres Ziel der Temperierung ist, im Schmiedewerkzeug eine homogene Kerntemperatur einzustellen und größere Wärmemengen abzuführen.

Die Positionierung der Temperierkanäle erfolgt nahe der größten thermischen Belastung und führt damit die eingebrachte Schmiedewärme ab. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass diese Maßnahme das Werkzeug schwächt. Um einen vorzeitigen Ausfall zu vermeiden, ist eine Finite-Elemente-Simulation des Werkzeugs in solchen Fällen vorteilhaft. Bild 2 zeigt ein generiertes Schmiedegesenk mit integriertem Kühlring am verschleißkritischen Dorn.



degesenk mit integriertem Kühlring am verschleißkritischen Dorn.

Ergebnisse

Die industrienahen Schmiedeversuche fanden am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) in Hannover statt. Für die Versuchsdurchführung kam eine automatisierte 3,1 MN-Exzenterpresse zum Einsatz. Als Rohteile dienten zylinderförmige Rohlinge aus C45 ($\varnothing 30 \text{ mm}$, $h = 40 \text{ mm}$), die bei einer Temperatur von $1.150 \text{ }^\circ\text{C}$ umgeformt wurden.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurde eine Gesenkgeometrie mit Innen- und Außenradien gewählt. Die Verschleißuntersuchungen der Gesenke fanden an der Fachhochschule Wels/Österreich statt. Zur Vergleichsauswertung dienten ein vollständig generiertes Gesenk, ein Hybridgesenk und ein konventionell hergestelltes Referenzgesenk aus dem Warmarbeitsstahl 1.2344 (X40CrMoV 5 1). Es wurden jeweils 500 Schmiedezyklen mit Kühlschmierung (Wasser-Graphit-Suspension) pro Gesenk durchgeführt.

Das generierte Gesenk hält den Schmiedebelastungen von 500 Zyklen stand. Es sind keine nennenswerten Ausbrüche, Risse

oder Verformungen zu erkennen. Im Gegensatz zum generierten Gesenk weist die Dornoberfläche des konventionellen Gesenks aus dem Warmarbeitsstahl 1.2344 ein höheres adhäsives Verschleißverhalten auf. Es sind deutlich Materialanhaftungen erkennbar (Bild 3, links).

Die metallografische Untersuchung zeigt die entfestigte Randzone im verschleißkritischen Dornbereich der untersuchten Schmiedegesenke. Das generierte Gesenk, in Bild 4 oben dargestellt, weist durch die thermische Beanspruchung eine Gefügeänderung der Randzone auf. Neben diesem Phänomen verursacht die thermische Wechselbeanspruchung feine Risse auf der Gesenkoberfläche. Es kann ebenso bei der Betrachtung des Dornradius des konventionell hergestellten Gesenks eine Gefügeänderung im Randbereich beobachtet werden (Bild 4, unten). Im Vergleich zum generierten Gesenk weist diese Randschicht größere Ausbrüche auf der Werkzeugoberfläche auf.

Die Mikrohärtemessung gibt Aufschluss über die Härte und den Widerstand gegen thermische Entfestigung der Werkzeugrandzone. Die Mikrohärteverläufe des generierten Gesenks sowie des Referenzgesenks aus 1.2344 nach 500 Schmiedezyklen sind in Bild 4 rechts dargestellt. Diese Messung bestätigt, dass sich bei beiden Gesenken ein deutlich entfestigter Randbereich einstellt. Bei einem Abstand von $50 \mu\text{m}$ zur Oberfläche des Gesenks zeigt der generierte Werkstoff eine Härte von $410 \text{ HV } 0,1$, während der Werkstoff 1.2344 eine Härte von $370 \text{ HV } 0,1$ aufweist. Die Vergütungshärte von etwa $560 \text{ HV } 0,1$ stellt sich beim konventionellen Gesenk nach $200 \mu\text{m}$ Randabstand ein. Das generierte Gesenk erreicht die Vergütungshärte bei $250 \mu\text{m}$ Randabstand. Im direkten Vergleich der verwendeten Werkstoffe zeigen die Mikrohärteverläufe keine signifikanten Unterschiede.

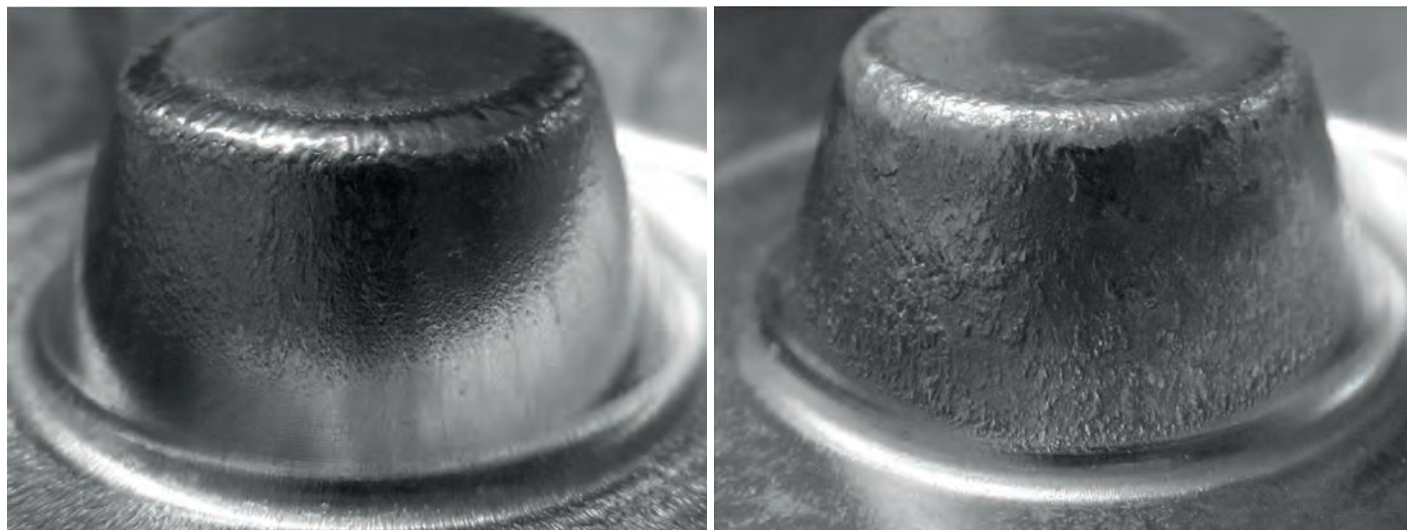


Bild 3: Optischer Vergleich des verschleißkritischen Gesenkdorns nach 500 Schmiedezyklen (links: generiertes Gesenk, rechts: konventionell hergestelltes Gesenk aus 1.2344).

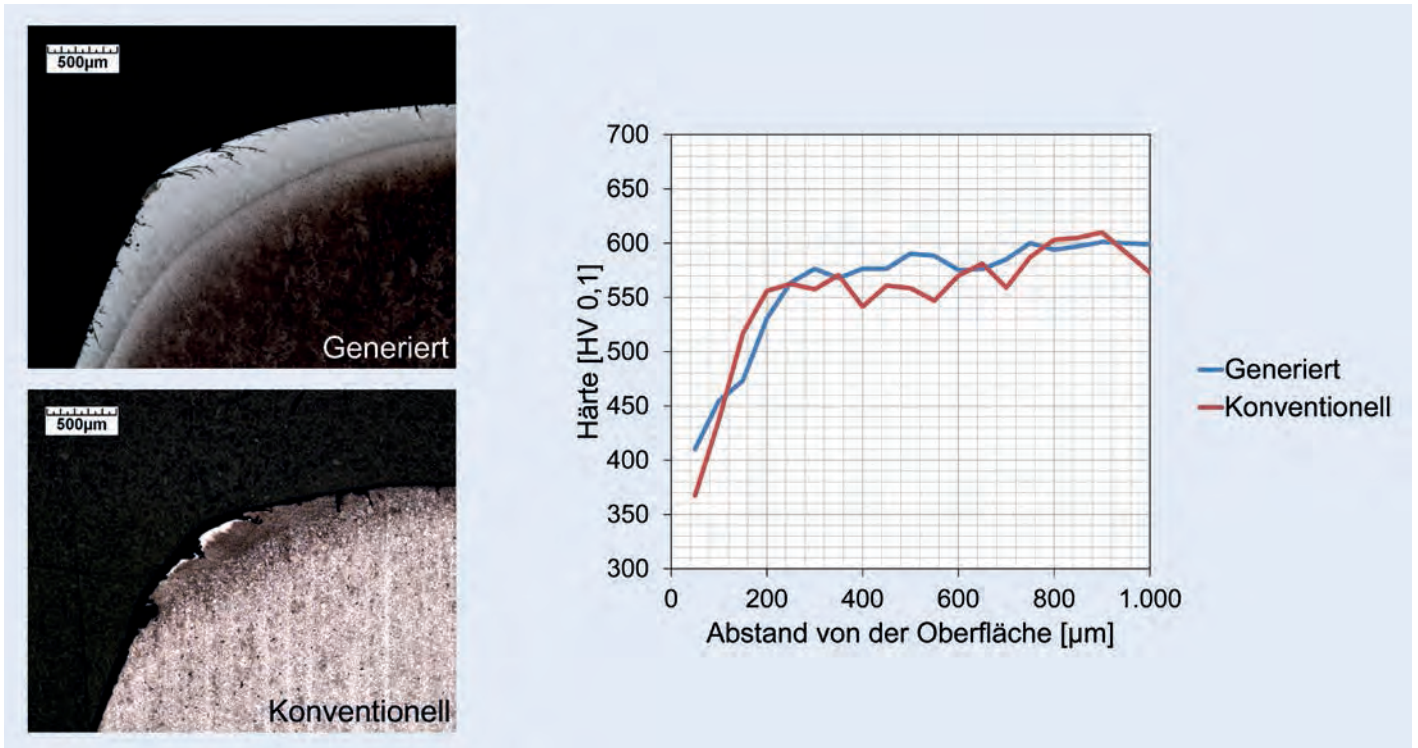


Bild 4: Gefügeänderung der Randzone am Dornradius nach 500 Schmiedezyklen (oben: generiertes Gesenk, unten: konventionell hergestelltes Gesenk aus 1.2344, rechts: Mikrohärteprofile). Bilder: Autoren

Darüber hinaus wurde ein Gesenk mit Kanälen für die Innenkühlung des verschleißkritischen Dorns mittels SLS hergestellt und unter industrienahen Bedingungen getestet. Diese Versuche wurden allerdings ohne aktive Innenkühlung durchgeführt. Bei den Versuchen sollte lediglich die Belastbarkeit des Kühlkanals unter Schmiedebedingungen untersucht werden. Nach 500 Schmiedezyklen wurden im Hinblick auf das Verschleißverhalten ähnliche Ergebnisse wie bei den beiden zuvor beschriebenen Gesenken erzielt. Die Untersuchung der Innenkanäle zeigte keine Schädigung durch Rissbildung.

Zusammenfassung und Ausblick

Die ersten industrienahen Versuche haben gezeigt, dass generierte Schmiedegesenke den Belastungen von 500 Schmiedezyklen standhielten. Der integrierte Kanal erwies sich nicht als Schwachstelle. Es konnten keine Risse im Kanal oder starke plastische Verformungen des Werkstoffs festgestellt werden. In zukünftigen Untersuchungen soll die aktive Temperierung eines generierten Schmiedegesenks durch integrierte Kanäle untersucht werden. Die Erhöhung der Stückzahl stellt ein weiteres Untersuchungsziel dar.

An der Fachhochschule Wels wird derzeit eine Pulvervorwärmheizung in der selektiven Laserschmelzanlage erprobt. Diese soll zukünftig die Möglichkeit bieten, weitere pulvermetallurgische Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt zu verarbeiten. Um einen prozesssicheren Aufbau der Werkzeuge zu gewährleisten, müssen jedoch die optimalen Parameter für die jeweiligen Pulverlegierungen ermittelt werden.

Ein weiteres Forschungsziel stellt die Steigerung der Härte durch Zulegieren des Ausgangspulvers mit metallischen und keramischen Hartstoffbestandteilen dar. Die ersten Laserschmelzversuche mit anschließender Wärmebehandlung zeigen, dass durch diese Maßnahme eine Härte von über 63 HRC erreicht wird. Ob diese Werkstoffe auch die Zähigkeitsanforderungen erfüllen, wird in kommenden Untersuchungen geprüft. ■

Danksagung

Dieses Teilprojekt wird von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) gefördert. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung. Ein besonderer Dank gilt dem Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen in Hannover für die Versuchsdurchführung.

Literatur

- [1] Bohnet J.; Puchert A.: Standzeiterhöhung durch strukturierte Werkzeuge beim Gesenkschmieden, Galvanotechnik, Eugen G. Leuze Verlag, 2006.
- [2] Doege E.; Behrens, B.-A.: Handbuch der Umformtechnik, Springer Verlag, 2007.
- [3] Behrens, B.-A.; Yilkiran, T.; Brauer, G.; Paschke, H.; Weber, M.: Potential of Duplex Plasma Deposition Processes for the Improvement of Wear Resistance of Hot Forging Dies, Key Engineering Materials Vols. 554-557, pp. 345-358, 2013.
- [4] Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2007.
- [5] Concept Laser GmbH, Datenblätter zum Werkstoff CL50WS.



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Adis Huskic



Prof. Dr.-Ing.
Bernd-Arno Behrens



Jochen Giedenbacher,
B.Sc.



Prof. (FH) Dr.-Ing.
Aziz Huskic