



Verringerung der Zunderbildung durch Verwendung einer Gasatmosphäre

Der entstehende Zunder beim Erwärmen von Stahl bewirkt einen Materialverlust und somit eine deutliche Verringerung der Gesamteffizienz des Prozesses. Zusätzlich führt er bei Ablagerung zu einer Verunreinigung des Arbeitsbereiches und erhöht den Verschleiß von Schmiedewerkzeugen deutlich. Zusammen mit den Projektpartnern LASCO Umformtechnik GmbH und der Gebrüder Steller KG hat das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) an einer Retrofit-Lösung für bestehende Pressen geforscht, um die Zunderbildung durch die Verwendung einer nachgebildeten Prozessabgasatmosphäre zu verringern.

AUTOREN



Niklas Gerke, M.Eng.

ist Gruppenleiter im Bereich Werkzeugtechnologie Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) an der Leibniz Universität Hannover



Julius Peddinghaus, M.Sc.

ist Abteilungsleiter Massivumformung am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



Dr.-Ing. Kai Brunotte

ist Oberingenieur am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) an der Leibniz Universität Hannover



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

ist Institutsleiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover

Durch hohe Materialausnutzung und einen günstigen Faser- verlauf zeichnet sich die Warmmassivumformung in modernen Industrien als unabdingbar für die Herstellung von Hoch- leistungsbauteilen aus. Trotz dieser guten Materialausnutzung ist ein Hauptproblem dieses Verfahrens die Bildung von Zunder infolge von Oxidation der auf bis zu 1.250 °C erwärmten Stahl- werkstoffe. Diese Oxidation ist sowohl von der Temperatur als auch von der Zeit abhängig, welche Oxide sich bilden (Wüstit, Magnetit und Hämatit) hängt wiederum vom Sauerstoffgehalt ab [1], [2]. Die Verzunderung kann zu einem Materialverlust von 2 bis 3 Prozent führen und vermindert damit den Materialwir- kungsgrad, da der verzundernde Werkstoff nicht mehr nutzbar ist. Zudem bewirkt Zunder aufgrund seiner hohen Härte von bis zu 1.000 HV die verwendeten Werkzeuge abrasiven Verschleiß und verringert dadurch die Lebensdauer [3]. Rückstände des abgeplatzten Zunders können zudem die Oberflächenqualität der Bauteile beeinträchtigen. Alle diese Faktoren wirken sich auf den CO₂-Footprint eines Bauteils aus, da sowohl das in Zunder umgewandelte Material als auch die Werkzeugstand- zeiten für den CO₂-Footprint berücksichtigt werden müssen.

Das mit den Industriepartnern durchgeführte BMBF-finanzierte Projekt untersuchte, wie die entstehende Zundermenge und der damit zusammenhängende Werkzeugverschleiß redu-

ziert werden können. Zunächst wurden die Auswirkungen von verschiedenen sauerstoffreduzierten Gasatmosphären auf die Zunderbildung untersucht. Die Zusammensetzung der Atmosphären bildet Prozessabgase ab, die beispielsweise aus Härteprozessen stammen. Damit sollte untersucht werden, ob eine Nachnutzung dieser Abgase denkbar ist. Durch Wiegen der Proben, vor und nach der Verzunderung, sowie nach einer strahlenden Reinigung, ließen sich hier sichtbare Unterschiede aufzeigen. Anschließend wurden Gesenkschmiederversuche unter sauerstoffarmer Atmosphäre mit ausgewählten Schutz- gasen durchgeführt (Bild 1). Die verwendeten Gesenke hatten dabei eine für den Laborversuch günstige Gravur, sie wurden nach den Versuchen optisch gemessen und analysiert, um den Einfluss des veränderten Zunderverhaltens auf das Verschleiß- verhalten zu analysieren.

AUSWIRKUNG EINER GASATMOSPHERE AUF DIE ZUNDER- BILDUNG

Für die Untersuchungen über die Auswirkungen von verschie- denen Gasatmosphären, wurde eine Temperroute entwickelt, um den Einfluss auf die Zunderbildung beim Werkstoff 42CrMo4 zu untersuchen (Bild 1). Dafür wurden Proben in einem Schutz- gasofen auf zirka 1.200 °C erwärmt. Der Werkstoff ist ein gängiger Schmiedewerkstoff und wurde im schwarzen Zustand,

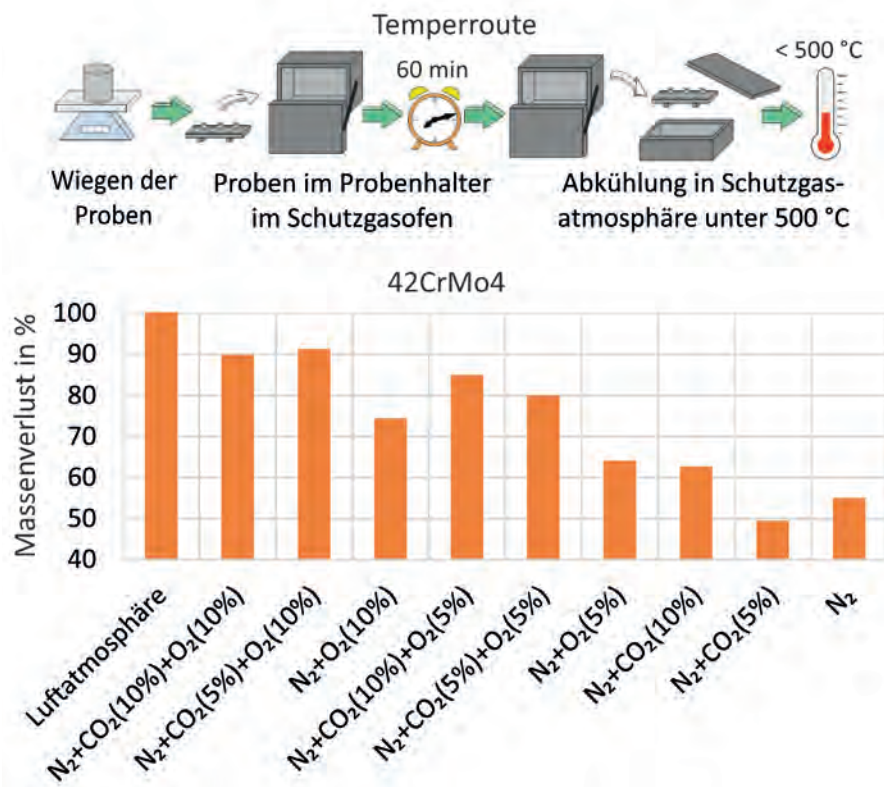


Bild 1: Temperroute und Massenverlust unter verschiedenen Gasatmosphären

eine Standardkonfiguration, untersucht. Zur statistischen Absicherung wurden für jede Variation 24 Proben untersucht. Dabei wurden die Proben vor den Versuchen und nach einer strahlenden Reinigung gewogen, um die in Zunder umgewandelte Masse zu ermitteln. Als Strahlgut kamen Walnussschalen zum Einsatz, um einen Abtrag von nicht in Zunder umgewandelten Materials zu vermeiden. Die Zusammensetzungen der Gase wurden anhand der Literatur ermittelt. Zudem wurden die Gase zusätzlich variiert, um Schwankungen in der prozentualen Zusammensetzung abzubilden.

Wie zu erwarten, war die in Zunder umgewandelte Masse unter Umgebungsluft mit etwa 21 Prozent O₂ am größten. Gasgemische mit sinkendem Sauerstoff- und Kohlendioxidgehalt führten zu einem geringeren Gewichtsverlust. Erst bei einer nahezu kompletten Substitution des Sauerstoffgehalts, wie es in Abgasen von gut eingestellten Verbrennungsprozessen in Gasöfen der Fall ist, kommt es zu einer signifikant verringerten Zunderbildung.

RETROFIT VON BESTEHENDEN ANLAGEN UND WERKZEUG-AUFBAU

Ein weiterer Bestandteil der Untersuchungen war die Entwicklung von Retrofitstrategien, welche eine Umformung in einer sauerstoffreduzierten Umgebung ermöglichen. Hierfür wurden mehrere Gehäusekonzepte konzipiert, die sich im Aufbau und der Funktionsweise unterscheiden. Als Grundlage für diese Konzepte diente die am IFUM verwendete Spindelpresse vom

Typ SPR 500 der Firma LASCO. Die Konzepte reichten von einer Volleinhausung der Schmiedeanlage samt Erwärmung und Manipulatoren bis zur lokalen Einhausung des Werkzeugs mit integrierter Erwärmung und Handhabung. Je nach betriebs- und prozessspezifischen Anforderungen variiert die optimale Lösung der Einhausung.

Unter den Gesichtspunkten der maximalen Flexibilität und der minimalen Anzahl von Schnittstellen zur bestehenden Anlagentechnik wurde zusammen mit den Industriepartnern eine Einhausung samt Werkzeug im Labormaßstab für die Spindelpresse entwickelt und in die Presse integriert mit dem Ziel, das Potenzial dieses Konzepts experimentell zu erproben. Dafür wurde eine für den Prozess und die Analysen angepasste Gesenksgravur verwendet. Die Gesenke wurden aus dem Warmarbeitsstahl 1.2343 gefertigt und auf eine Härte von 48 HRC vergütet. Die Werkzeugeinhausung umfasst eine Schleuse als Zuführeinheit für die Rohteile, die Bauteil- und Werkzeugerwärmung, den vollständig automatisierten Bauteiltransport und einen Auffangbehälter (Bild 2). Die Schnittstellen zur bestehenden Anlage waren der Pressentisch, das Kühlwasser und die elektrische Versorgung der Induktionsanlage. Zur Absicherung der Versuchsbedingungen und Überwachung des Prozesses wurden Temperaturen und Sauerstoffgehalte mit Thermoelementen und einer Lambdasonde überwacht. Um die Auswirkung eines direkten zunderfreien Kontakts zwischen Werkzeug und Werkstück zu analysieren, erfolgte der Schmiedeprozess ohne den Einsatz von Kühlschmierstoff. Aus der

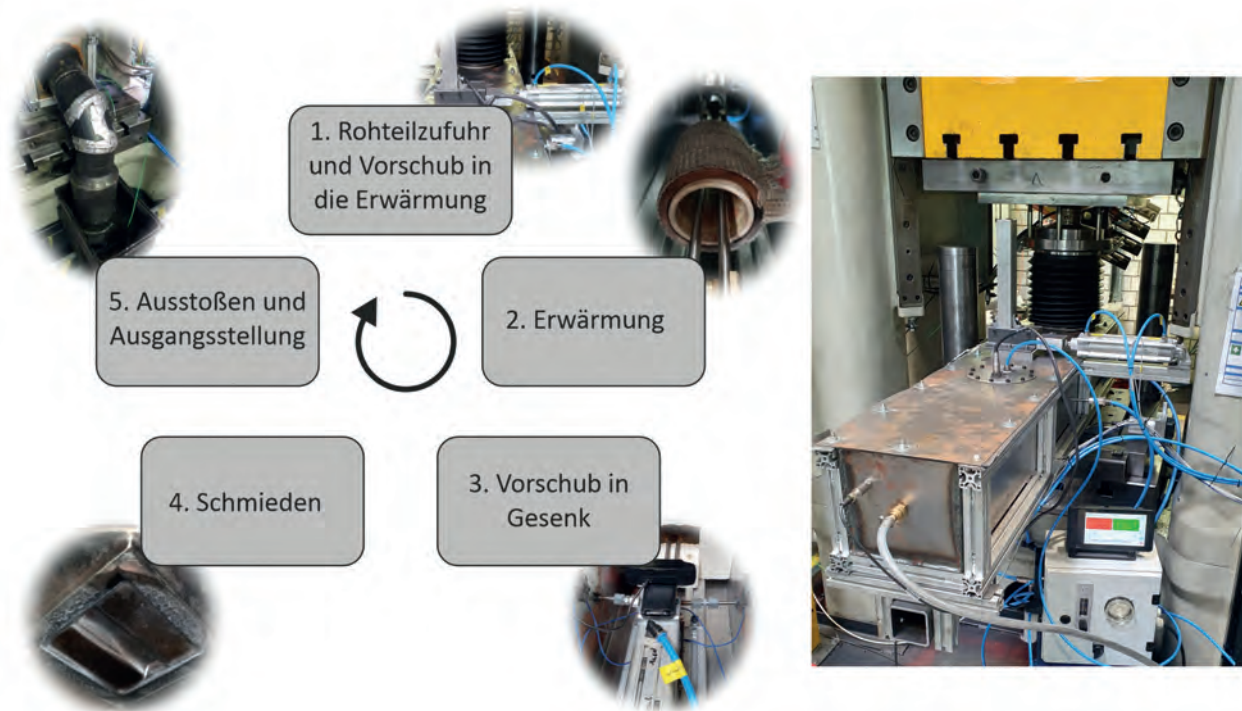


Bild 2: Werkzeugeinhausung und Prozessablauf

kompakten Bauform resultiert ein geringer Platzbedarf vor und hinter der Presse.

SERIENSCHMIEDEVERSUCHE UND AUSWIRKUNGEN AUF DIE SCHMIEDEGESENKE

In den durchgeführten Schmiedeversuchsreihen unter ausgewählten Gasatmosphären (Luft, N_2+CO_2 (10 %) + O_2 (5 %), N_2+CO_2 (5 %), N_2) wurden jeweils 100 Schmiedeteile hergestellt und die Zunderbildung analysiert. Die Taktzeit betrug im Durchschnitt zirka 40 Sekunden. In der Luftatmosphäre bildete sich eine erhebliche Zundermenge im Werkzeug, während in den Versuchsreihen mit gemischten Gasen die Zunderbildung reduziert war. In der reinen Stickstoffatmosphäre wurde kaum Zunder festgestellt. Die Umformkraft lag bei zirka 60 Kilonewton.

Die Auswertung der Gewichtsmessung der Proben vor dem Versuch und nach dem Reinigungsstrahlen zeigte deutliche Unterschiede. Dies bestätigte die Tendenz aus den Untersuchungen mit unterschiedlichen Gasen konnte hier bestätigt werden. Durch einen geringeren Sauerstoffgehalt konnte die Zunderbildung verringert werden. Das beste Ergebnis wurde unter reinem Stickstoff erzielt – mit einer Reduzierung des Werkstoffverlustes um etwa 75 Prozent im Vergleich zur Luftatmosphäre. Zudem konnte insgesamt eine geringere Zunderbildung als in den Temperversuchen erreicht werden, was auf die kürzere Erwärmungsdauer durch die induktive Erwärmung und den kontrollierten Ausschluss von Sauerstoff in den Atmo-

sphären zurückzuführen ist. Diese Ergebnisse zeigen den signifikanten Einfluss einer Gasatmosphäre auf den Materialwirkungsgrad und die bisher weitestgehend ungenutzten Potenziale bei der Herstellung von Schmiedewerkstücken durch dieses Verfahren.

Zur genauen Analyse des Einflusses der reduzierten Zunderbildung auf das tribologische Verhalten wurden die Gesenkgravurflächen näher betrachtet. Dafür wurde ein 3D-Maßmakroskop verwendet. Die gemessenen Oberflächenkonturen wurden anhand ihrer Höhenprofile vor und nach den Schmiedeversuchen verglichen und analysiert. Bei allen Gesenken konnte hauptsächlich Materialauftrag beobachtet werden, besonders an den Gratbahnen und den Bereichen mit erhöhten Flächenpressungen. Die in Bild 3 dargestellten Obergesenke weisen im Vergleich eine deutliche Reduzierung der Adhäsion auf – insbesondere im Bereich der Gratbahn. Bei den Untergesenken kam es durch den blanken Kontakt – in Zusammenhang mit den höheren Kontakttemperaturen – zu stärkerer Adhäsion, jedoch auch zu einer geringeren abrasiven Schädigung. Die Adhäsion lässt sich aber durch den Einsatz von Schmierstoff unterbinden. Durch die Verwendung einer Kühlplatte zur thermischen Entkopplung des Kraftmesskörpers am Obergesenke stellten sich dort im Betrieb ein geringeres Temperaturniveau ein.

Die Erkenntnisse aus diesem Projekt zeigen: Es ist möglich, Einhausungen so kompakt auszulegen, dass diese in vielen

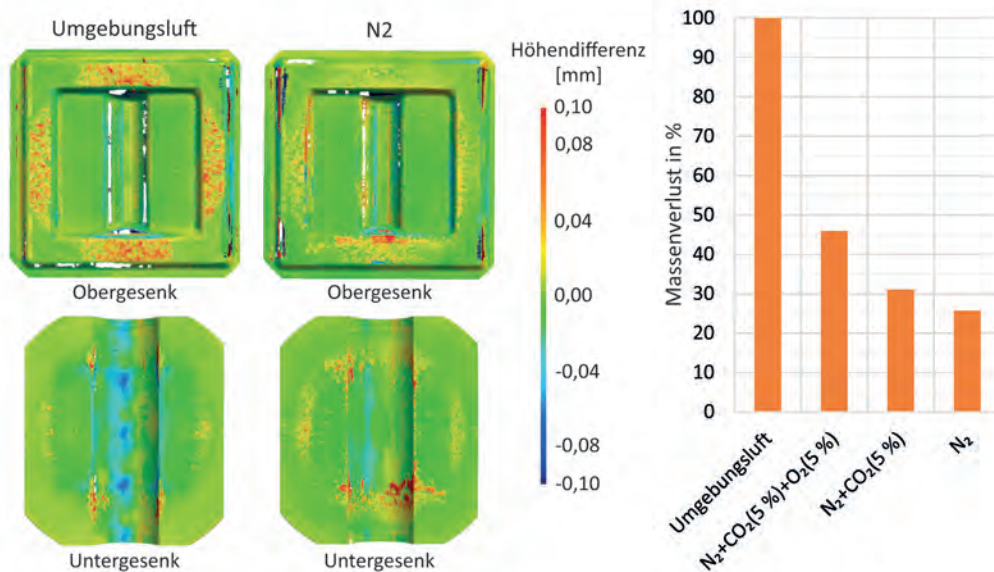


Bild 3: 3D-Konturvergleich der Gesenke und Massenverlust durch Zunder, Bilder: Autoren

bestehenden Pressen verwendet werden können. Die untersuchten Gesenke zeigten geringere adhäsive und abrasive Effekte durch eine Verringerung der Zundermenge. Bei Verwendung dieses Vorgehens reduziert sich die Ausfallwahrscheinlichkeit der Gesenke durch die genannten Effekte. Zudem konnte noch einmal bestätigt werden, dass sauerstoffarme Gasatmosphären eine positive Auswirkung auf die Vermeidung von Zunder haben. Dabei gibt es kleinere Unterschiede der Gase, jedoch ist die Verdrängung von Sauerstoff der wirksamste Faktor. Prozessabgase sind grundsätzlich gut geeignet, der Zunderentstehung entgegenzuwirken. Ihre Nutzung führt demnach zu einer höheren Werkstoffausnutzung und einem geringeren Werkzeugverschleiß sowie zu einem geringeren CO₂-Footprint der erzeugten Bauteile.

Nach den erhobenen Zahlen des Industrieverbands Massivumformung e.V. und des statistischen Bundesamts wurde in Deutschland 2023 eine Produktionsmasse von 1.344.975 Tonnen Stahlwerkstoff warmumgeformt. Davon fällt bei einem gemittelten Zundergehalt von 2 Massenprozent eine Masse von annähernd 27.000 Tonnen Zunder an. Durch eine Reduzierung um 75 Prozent können bis zu 20.000 Tonnen Material eingespart werden. In zukünftigen Untersuchungen werden die Auswirkungen von Kühlschmierstoffen in größeren Serien unter diesen Bedingungen analysiert. Dadurch sollen die adhäsiven Effekte verringert und der Verschleiß minimiert werden.



Das Forschungsprojekt NoCarb-Forging – ErProFit (Nummer: 03LB3017) wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Rahmen der Förderinitiative "Technologietransfer-Programm Leichtbau (TTP LB)" in Zusammenarbeit mit dem Projektträger Jülich (PTJ) gefördert.

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**



[1] Schulze Horn, H.: Untersuchung über die Struktur, die Bildung und die Haftfestigkeit von Zunder bei Temperaturen bis 1200 °C und Wärmung in verschiedenen Verbrennungsatmosphären, Dissertation, 1967

[2] Hirschvogel, M.: Halbwarmumformung, HFF-Bericht Nr. 1, Hannoversches Forschungsinstitut für Fertigungsfragen e. V., 1977

[3] Bartz, J.: Tribologie und Schmierung bei der Massivumformung, Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik, 1. Aufl. Renningen, Expert Verlag, 2004