

Lufthärtende duktile Schmiedestähle – Verringerung der CO₂-Emission und des Erdgasverbrauchs durch neue Stahlwerkstoffe



Bild: 207436832 ©sandsun, www.stock.adobe.com

Lufthärtende duktile Schmiedestähle sind eine neue Werkstoffklasse, welche im Industrieverband Massivumformung sowie am Institut für Eisenhüttenkunde im vergangenen Jahrzehnt maßgeblich entwickelt wurden. Diese Werkstoffe weisen nicht nur ein sehr großes Potenzial zur Reduktion von CO₂-Emissionen auf; vielmehr bietet der Werkstoff auch die Möglichkeit, große Mengen an Erdgas einzusparen, da die mehrstufige Wärmebehandlung nach dem Vergüten entfällt.

AUTOR



**Dr.-Ing.
Alexander Gramlich**

ist Kompetenzfeldleiter
Werkstoffcharakterisierung
am Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
der RWTH Aachen University

Bis vor einigen Jahren waren ausschließlich technologische und wirtschaftliche Faktoren relevant, wenn es darum ging, den richtigen Stahl für eine geschmiedete Komponente auszuwählen. Doch dies hat sich aufgrund des Pariser Klimaabkommens und des gesamtgesellschaftlichen Bestrebens, den Klimawandel zu bekämpfen, grundlegend geändert. Umwelteinflüsse, wie beispielsweise CO₂-Emissionen, kumulierter Energie- und Materialbedarf geraten mehr und mehr in den Fokus der produzierenden Unternehmen. Die Herstellung und Produktion von Spezialwerkstoffen ist jedoch nicht selten mit enormen Energie- und Stoffaufwendungen verbunden. Geschmiedete Vergütungsstähle sind in vielen Industriezweigen für hochfeste, sicherheitsrelevante Bauteile unabdingbar. Die soliden mechanischen Eigenschaften des vorliegenden Gefüges aus vorwiegend angelassenem Martensit werden jedoch durch eine mehrstufige Wärmebehandlung nach dem Schmieden erkaufte. Da eine gleichmäßige Erwärmung komplexer Bauteile nicht einfach umzusetzen ist, werden in vielen Unternehmen

erdgasbeheizte Öfen eingesetzt, um die Schmiedeprodukte zu erwärmen. Aufgrund der hohen Energiekosten war die deutsche Schmiedeindustrie als energieintensive Branche [1] insbesondere im letzten Jahr großen wirtschaftlichen Belastungen ausgesetzt [2], wie Bild 1 zeigt.

Mit der gemeinsamen nocarbFORGING-2050-Initiative zeigen Industrieverbands Massivumformung e.V. und prosimalys vielseitige Möglichkeiten auf, um die CO₂-Emissionen bis 2050 drastisch zu reduzieren [4]. Zentral sind hierbei neben CO₂-freier Elektrizität und Grundstoffen neue Werkstoffe mit verkürzter Prozesskette, wie der Verband sie im vergangenen Jahrzehnt in unterschiedlichen Ausführungen in öffentlich geförderten Projekten entwickelt hat [5, 6]. Eine neue Studie des Lehrstuhls für Anthropogene Stoffkreisläufe (ANTS) und des Instituts für Eisenhüttenkunde (IEHK) der RWTH Aachen hat kürzlich das Potenzial lufthärtender Stähle zur Einsparung von CO₂-Emissionen belegt.

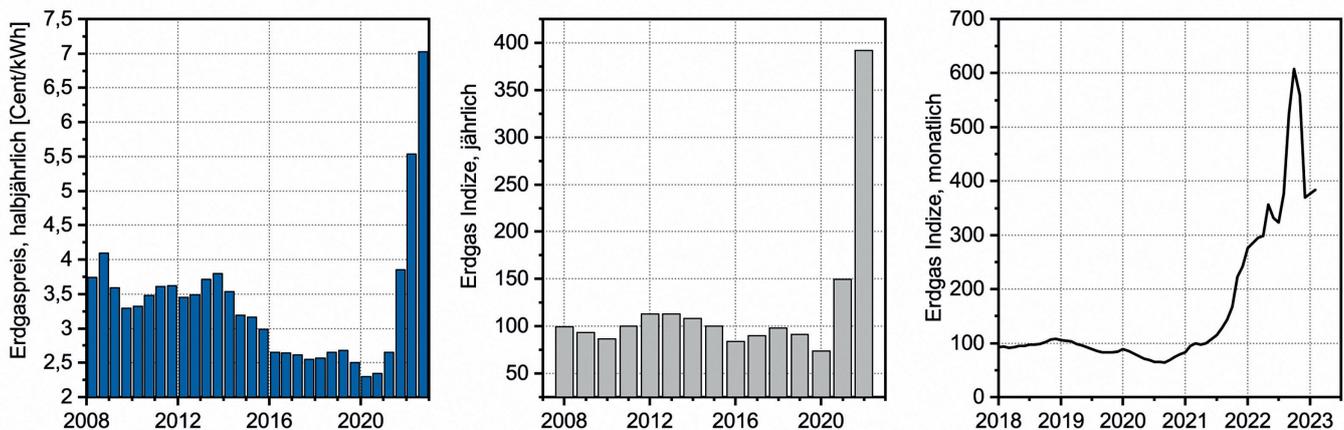


Bild 1: Volatilität des Gaspreises für industrielle Abnehmer sowie Entwicklung des Preisindex nach der Laspeyres-Methode mit Basisjahr 2015. Der Preis bezieht sich auf die Abgabe an industrielle Abnehmer mit einem Jahresverbrauch von 100.000 GJ bis unter 1.000.000 GJ, einschließlich Verbrauchssteuern, ohne Mehrwertsteuer [3].

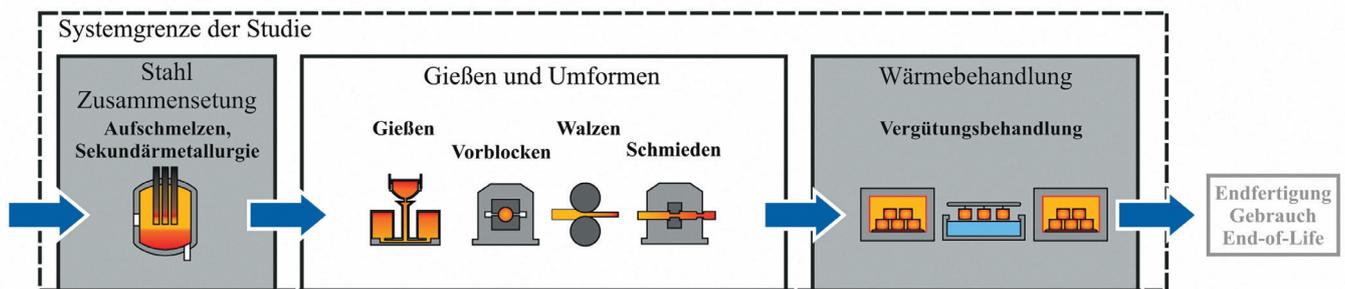


Bild 2: Systemgrenze der durchgeführten Ökobilanzierung von lufthärtenden duktilen Schmiedestählen. Im Rahmen der Studie wurde ein 2-Kilogramm-Bauteil (Federbügel) bilanziert. Für die Stahlerzeugung wurde die Produktion im Elektrolichtbogenofen mit unterschiedlichen Schrottanteilen verglichen. Die Studie endet nach der letzten Wärmebehandlung; Endfertigung, Gebrauch und End-of-Life wurden nicht betrachtet, alle Bilder: Autor

VORTEILE UND GRENZEN LUFTHÄRTENDER STÄHLE

Vergütungsstähle sind in der Massivumformung allgegenwärtig und machen den größten Anteil an verwendeten Stählen aus. Obwohl Alternativen schon seit langer Zeit erforscht werden, wie beispielsweise ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische Stähle (AFP) oder lufthärtende Bainite [8, 9], suchen Wissenschaftler und Ingenieure immer noch nach neuen Werkstoffen, die eine verkürzte Wärmebehandlung und damit Prozessroute ermöglichen.

Die kürzlich entwickelten luftgehärteten duktilen Schmiedestähle schaffen den Spagat zwischen sehr guten mechanischen Eigenschaften und einer einfachen Prozessroute, da sie durch die Abkühlung an der Luft aus der Schmiedehitze ein martensitisches Gefüge erhalten. Dies wird durch den Zusatz von 4 Prozent Mangan und anderen Legierungselementen erreicht, um die diffusionsgesteuerte Phasenumwandlung zu verzögern. Während bei Vergütungsstählen nach dem Abschrecken eine Anlassbehandlung durchgeführt werden muss, um den durch die erzwungene Kohlenstofflösung sehr spröden Martensit in einen technisch belastbaren Werkstoff mit fein ausgeschiedenen Karbiden umzuwandeln, erhalten

die lufthärtenden Stähle ihr endgültiges Gefüge direkt durch die Abkühlung aus der Schmiedehitze.

Während sowohl AFP-Stähle als auch lufthärtende bainitische Güten mittlerweile weit verbreitet sind [9], wurden die LHD-Stähle erst kürzlich mit einer Werkstoffnummer erfasst und befinden sich somit in der Eintrittsphase in den Markt. Die LHD-Stähle erreichen im luftgehärteten Zustand Streckgrenzen und Zugfestigkeiten von 900 beziehungsweise 1.300 MPa, bei Gleichmaßdehnungen größer fünf Prozent. Ein großer Erfolg des letzten Entwicklungsprojekts war das Anheben der Kerbschlagarbeit auf Werte zwischen 50 und 80 Joule [6]; bisher war die industrielle Anwendung durch Kerbschlagarbeiten kleiner 30 Joule beeinträchtigt. Neben den statischen sind auch die zyklischen Eigenschaften der neuen Stahlgüte vielversprechend. In ersten Bauteilversuchen konnte nachgewiesen werden, dass die zyklische Festigkeit mehr als doppelt so hoch ist wie bei Referenzbauteilen [6]. Nachdem die technologische Eignung der Werkstoffe nachgewiesen ist, stellt sich die Frage, wie groß die erwartbare Einsparung an CO₂-Emissionen sein wird. Zwar werden durch die wegfallende Wärmebehandlung große Mengen an Erdgas und CO₂-Emis-

sionen eingespart, allerdings beträgt der Legierungsgehalt der neuen Stähle mehr als fünf Prozent.

ÖKOBILANZIERUNG VON LHD-STÄHLEN

Um diese Frage zu beantworten, wurde eine Studie unter Leitung des ANTS für ein konkretes Schmiedebauteil durchgeführt. Die Studie zeigte auf, dass das Wegfallen der Vergütungsbehandlung einen signifikanten Einfluss auf die CO₂-Bilanz des Bauteils haben kann [10, 11]. Eine Ökobilanz (LCA) wurde an einem geschmiedeten Federbügel durchgeführt, um den Carbon-Footprint (CF) der hergestellten Schmiedestücke zu bewerten. Dabei wurden die Stahlherstellung der verschiedenen Legierungen (Werkstoffebene), die verkürzte Wärmebehandlung (Prozessebene) und das Gewichtsreduktionspotenzial (Produktebene) der LHD-Stähle betrachtet (Bild 2). Die Ergebnisse zeigen, dass Änderungen auf der Prozess- und Produktebene den CF verringern können, auch wenn Änderungen auf der Materialebene nicht direkt vorteilhaft sind. In der untersuchten Fallstudie wurden Bauteile aus den neuen LHD-Stählen mit denen aus zwei Referenz-Vergütungsstählen verglichen. Die LHD-Stähle weisen auf der Werkstoffebene keine verringerten Kohlenstoffemissionen auf, aber nach der abschließenden Wärmebehandlung weisen die LHD-Stähle deutlich geringere CO₂-Äquivalente auf (-21,6 Prozent beziehungsweise -17,1 Prozent, je nach Referenzwerkstoff).

FAZIT

Um zukünftig besser gegenüber stark fluktuierenden Kosten durch große Schwankungen im Gaspreis gewappnet zu sein, sollten Entwicklungen im Bereich Werkstoff und Prozesse mit verringertem Ressourcenverbrauch weiter vorangetrieben werden. Neben verringerten Umwelteinwirkungen sorgt dies auch für eine größere wirtschaftliche Stabilität. Lufthärtende duktile Schmiedestähle sind eine vielversprechende neue Werkstoffklasse, die eine einfache Prozessroute und große Potenziale zur Reduktion von CO₂-Emissionen und Einsparung von Erdgas bieten. Die LHD-Stähle sind sowohl im Labor als auch im industriellen Maßstab produziert und getestet worden. Wie die Vorarbeiten belegen, steht einer Serienfertigung nichts mehr im Wege.



[1]: Ade, H.: Eine energieintensive energieeffiziente Branche. *massivUMFORMUNG* Oktober 2017, S. 52 – 54

[2]: Hain, T.: Massive Ausweitung der Emissionsauflagen für Schmieden droht, *massivUMFORMUNG*, Dezember 2022, S. 24 – 26

[3]: Destatis: Daten zur Energiepreisentwicklung – Lange Reihen von Januar 2005 bis Januar 2023, 2023

[4]: Raedt, H.-W.: Klimapfad Massivumformung – Wege zu CO₂-freien Komponenten, *massivUMFORMUNG* Dezember 2022, S. 16 – 21

[5]: Stieben, A.; Bleck, W.; Schönborn S.: Lufthärtender duktiler Stahl mit mittlerem Mangangehalt für die Massivumformung. *massivUMFORMUNG*, 9 2016, S. 50 – 55

[6]: Gramlich, A.; Schönborn, S.; Schmiedl, T.; Baumgartner, J.; Krupp, U.: *massivUMFORMUNG* 14 (2021) 2, S. 64 – 69

[7]: Bleck, W.; Keul, C.; Zeismair, Barbara: Entwicklung eines härtesten mikrolegierten ausscheidungshärtenden ferritisch/perlitischen Schmiedestahls AFP-M. *SchmiedeJournal*, (2010) 1, S. 42 – 44

[8]: Keul, C.; Urban, M.; Back, A.; Hirt, G.; Bleck, W.: Entwicklung eines hochfesten duktilen bainitischen (HDB) Stahls für hochbeanspruchte Schmiedebauteile. *SchmiedeJournal* (2012) 1, S. 28 – 31

[9]: Florian, J. C.; Gervelmeyer, J.: Grüner Stahl für nachhaltige Anwendungen. *Ingenieur Forum*, 2 (2022), S. 54

[10]: Hagedorn, W.; Gramlich, A.; Greiff, K.; Krupp, U.: Alloy and process design of forging steels for better environmental performance. 34 (2022), DOI: 10.1016/j.susmat.2022.e00509

[11]: Gramlich, A.; Hagedorn, W.; Greiff, K.; Krupp, U.: Aircooling martensites – the future of carbon neutral steel forgings? *Advanced Engineering Materials*, 2023, DOI: 10.1002/adem.202201931