

Nachhaltige Tribosysteme für die Kaltmassivumformung

Das Bundes-Klimaschutzgesetz, der European Green Deal und nicht zuletzt die Beschlüsse der UN-Klimakonferenz vom November 2022 in Sharm el-Sheikh – die Vereinbarungen zu Klimaschutzzielen werden konkreter und ambitionierter. In allen Wirtschaftssektoren ist für die angestrebte Klimaneutralität eine beschleunigte Reduzierung von CO₂-Äquivalenten erforderlich. Dies gilt selbstverständlich auch für die Massivumformung. Während neben dem Umformprozess selbst vor allem die Produktion des Halbzeugmaterials sowie Wärmebehandlungen entlang der Prozessroute im Fokus stehen, dürfen auch die weiteren Prozessschritte wie die Oberflächenbehandlung der Halbzeuge nicht unberücksichtigt bleiben.

Für die Erfassung der Relevanz dieses Prozessschritts ist dabei zunächst die Datenermittlung ein wichtiger Baustein. Bei gegenwärtiger Betrachtung wird bereits klar, dass der Einsatz von Einschicht-Schmiersystemen ein sehr hohes Potenzial zur Reduzierung des Product Carbon Footprints (PCF) massivumgeformter Bauteile besitzt.

AUTOR



**Dr.-Ing.
Hendrik Venzlaff**

ist technischer Leiter R&D bei der
ZWEZ-CHEMIE GmbH in Lindlar

Jeder Wirtschaftsbereich muss sich damit auseinandersetzen, wie die Reduzierung der CO₂-Emissionen bis hin zur CO₂-Neutralität erreicht werden kann. Dies gilt nicht zuletzt auch für die energieintensive Branche der Massivumformung, weshalb 2020 die Industrieinitiative „NOCARBforging2050“ des Industrieverbands Massivumformung e.V. (IMU) ins Leben gerufen wurde [1]. Ein wesentlicher Ansatzpunkt ist dabei die Erfassung beziehungsweise Berechnung des PCF für massivumgeformte Teile. Hierzu wurde im Rahmen der ersten Phase des Projekts bereits das Forging Footprint Reduction Tool FRED als Webanwendung entwickelt [2].

PRODUCT CARBON FOOTPRINT ENTLANG DER PROZESSKETTE

Bei den Berechnungen zu den PCFs (kalt-)massivumgeformter Bauteile stellt man schnell fest, dass der Hauptteil an CO₂-Äquivalenten bei der Herstellung der Halbzeuge anfällt. Bereits in den 1980er-Jahren gab es Abschätzungen, dass der Anteil des Halbzeugs am Gesamt-Energieeinsatz zur Bauteilherstellung bei rund zwei Dritteln liegt [3]. Die aktuellen Berechnungen durch FRED bestätigen dies, tatsächlich ist der Anteil sogar eher noch höher [4], vor allem aufgrund der (oft mehrfachen) Wärmebehandlungen entlang des Fertigungsprozesses.

Die Umformung selbst hat hingegen einen vergleichsweise geringen Anteil am PCF, worin eine Stärke der Kaltumformung gegenüber anderen Verfahren liegt. Allerdings können zwischen den einzelnen Stadien auch Zwischen-Wärmebehandlungen erforderlich werden, die diesen Vorteil zum Teil relativieren. Vor allem relativiert sich dieser Vorteil bisher aber dadurch,

dass die Kaltumformung immer eine mehr oder weniger aufwendige Oberflächen-Vorbehandlung der Halbzeuge erfordert. Und „aufwendig“ bedeutet unter anderem auch einen nicht unerheblichen Energieaufwand, so dass dieser Prozessschritt schon heutzutage durchaus Relevanz besitzt. In Zukunft wird ihm im Zuge der unweigerlich anstehenden PCF-Reduktionsmaßnahmen in anderen Prozessschritten automatisch noch größeres Gewicht zukommen, bis hin zum geplanten Einsatz von grünem Stahl [5] wodurch die Oberflächenvorbehandlung zum Haupt-CO₂-Emittenten in der Prozesskette werden kann (Bild 1). Es gibt also sehr gute Gründe, weshalb sich die ZWEZ-CHEMIE schon seit Jahren intensiv mit der Entwicklung nachhaltigerer Schmierstoffsysteme auseinandersetzt.

Vor der Evaluierung dieses Reduktionspotenzials muss jedoch der Ist-Zustand erfasst werden. Hierfür findet sich in FRED eine Datenbank mit Durchschnittswerten der Branche. Eine auf die spezifische Anlage und das Bauteil-Spektrum eines Umformbetriebs bezogene vollständige Erfassung des tatsächlichen Energieverbrauchs der Halbzeug-Vorbehandlung existiert bisher jedoch noch nicht. Im Zuge der zunehmenden Zertifizierung nach ISO 50001, aber auch der Notwendigkeit zur Erstellung von Nachhaltigkeits-Reports (ESG) wird dies eher kurz- als mittelfristig eine wichtige Maßnahme in vielen Betrieben der Branche werden. Doch auch wenn die konkrete Erfassung der CO₂-Emission dieses Fertigungsabschnitts in den allermeisten Fällen erst noch ansteht, so heißt dies nicht, dass man sich nicht jetzt schon damit auseinandersetzen sollte, wie und an welchen Stellen energieeinsparende Maßnahmen umgesetzt werden können.

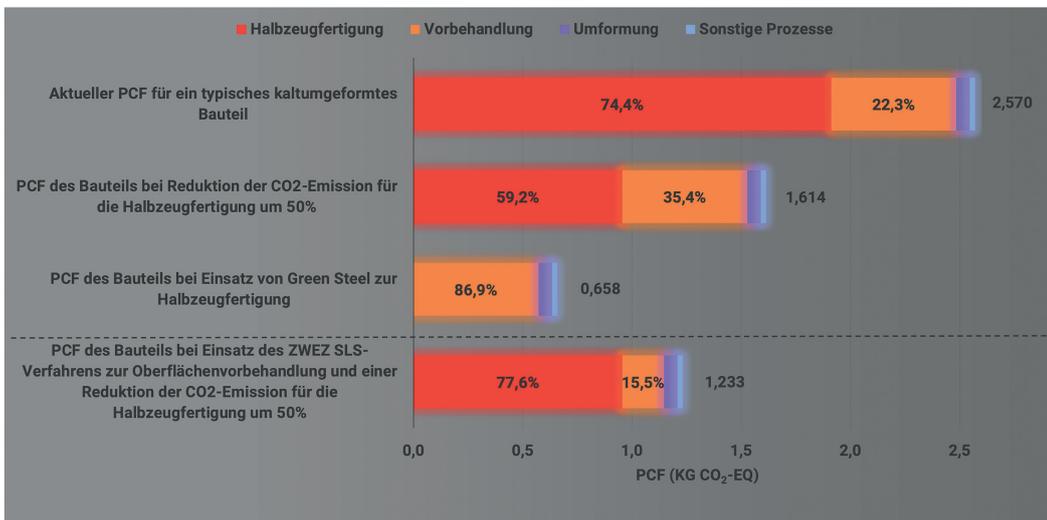


Bild 1: Es gibt gute Gründe, den Anteil der Oberflächenbehandlung am PCF schon jetzt genauer zu betrachten: Durch den Einsatz von Einschichtschmierstoffen im Rahmen des SLS-Verfahrens ist eine Senkung des PCF-Anteils um zwei Drittel realistisch

Die Fertigung von Bauteilen in der Massenproduktion durch Kaltmassivumformung bietet zwar bereits prinzipiell Vorteile in Bezug auf die Energiebilanz, allerdings ist sie meist zwingend auf den Einsatz von leistungsfähigen und auf den Prozess abgestimmten Schmierstoffsystemen angewiesen. Nach wie vor stellt im Bereich niedriglegierter Stähle das seit Jahrzehnten bewährte System aus einer anorganischen, kristallinen Konversionsschicht (Zinkphosphat) und einem Schmierstoff, meist auf Basis von Seifen oder Festschmierstoffen sowie zunehmend auch Polymeren, den Stand der Technik

dar [6], [7]. Die typische Prozessfolge für die konventionelle Behandlung von Halbzeugen aus Stahl lässt sich dabei grob in die Bereiche Reinigung, Konversionsschichtbildung und Schmierstoffbeschichtung unterteilen (Bild 2).

Zunächst naheliegende Maßnahmen zur Energieeinsparung in diesem Prozess stellen sich bei genauerer Betrachtung als kaum wirksam oder sogar kontraproduktiv heraus. So kann beispielsweise eine Senkung der Anwendungstemperatur in der Entfettung zu einer mangelhaften Halbzeugrei-

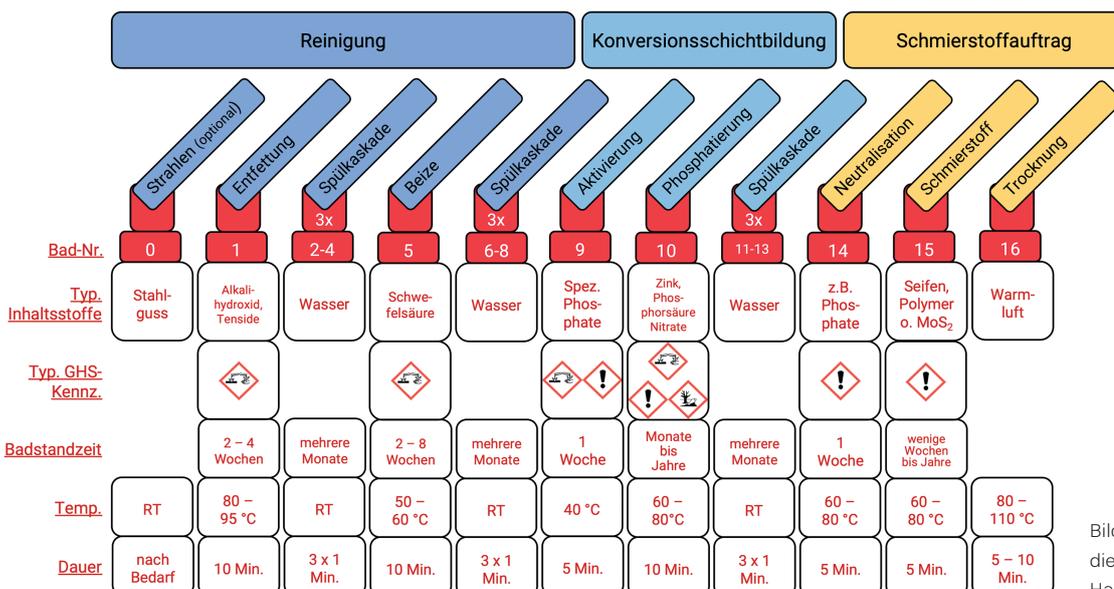


Bild 2: Typische Prozessfolge für die konventionelle Behandlung von Halbzeugen aus Stahl

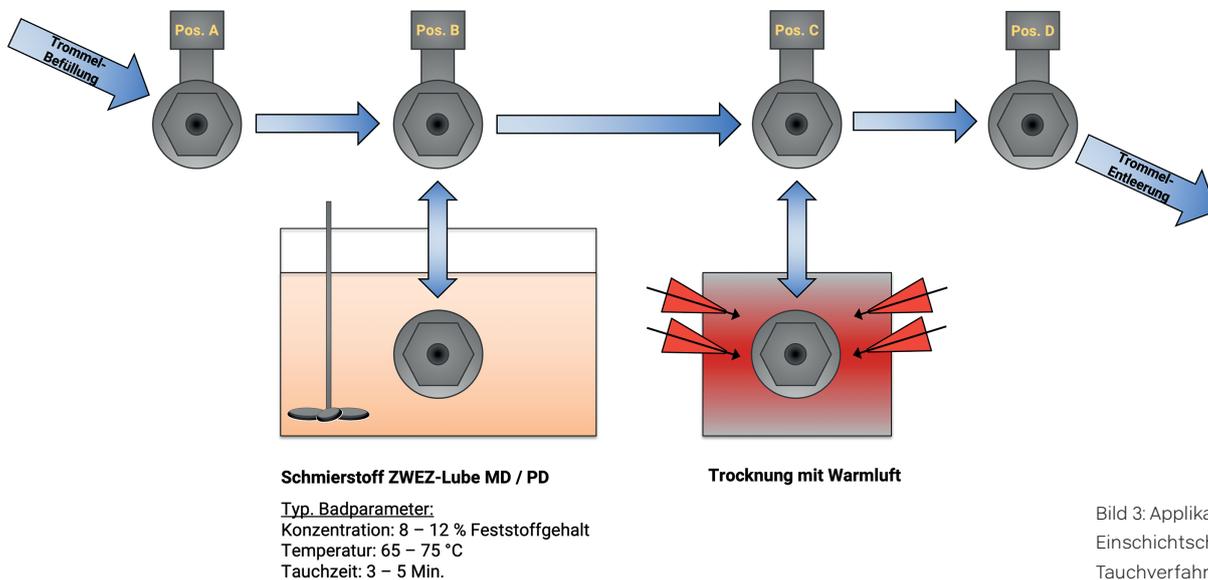


Bild 3: Applikation von Einschichtschmierstoffen im Tauchverfahren

nigung führen, die die Leistungsfähigkeit des anschließend aufgetragenen Schmierstoffsystems erheblich reduziert. Das provoziert Folgeschäden und bedingt hohe Kosten sowie einen erhöhten Energieeinsatz durch erforderliche Neubeschichtung der Halbzeuge. Zwar können bestimmte Einzelmaßnahmen bei bestehenden Anlagen beziehungsweise Prozessen wie beispielsweise eine effizientere Trocknung gewisse Einsparungen bewirken, doch im Hinblick auf eine signifikante Absenkung des PCF für die Halbzeug-Vorbehandlung ist eine umfassende Anpassung wesentlich zielführender.

Schon seit vielen Jahren wird im Rahmen diverser Forschungsprojekte [8], [9], aber auch im Zuge gezielter Optimierungsmaßnahmen im industriellen Umfeld die Zielsetzung formuliert, konventionelle Schmierstoffsysteme mit Konversionsschicht durch umweltfreundlichere Varianten zu ersetzen, die auch aus ökonomischer Sicht Vorteile bieten, zum Beispiel einen höheren Durchsatz durch kürzere Prozessfolgen sowie reduzierte Chemiekosten.

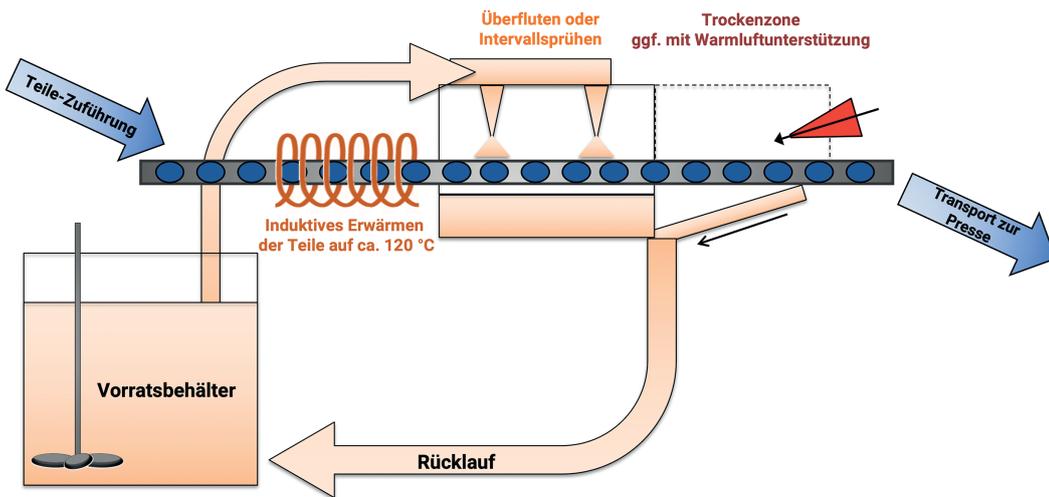
EINSCHICHT-SCHMIERSTOFFSYSTEME

Im Zuge dieser Nachfrage wurden so in den letzten Jahren hochleistungsfähige Einschicht-Schmierstoffsysteme entwickelt und auf den Markt gebracht. Diese basieren mehrheitlich auf Festschmierstoffen wie Molybdändisulfid (MoS₂) oder zunehmend auch Polymeren [10], [11]. Sie werden überwiegend in einem „Ein-Topf-Tauchverfahren“ appliziert (Bild 3). Dabei erfolgt die Reinigung mechanisch durch Strahlen statt chemisch und die Halbzeuge werden ohne weitere Vorbehandlung direkt in das Schmierstoffbad getaucht und nach der Entnahme mit Warmluft-Unterstützung getrocknet. Die in Bild 2 ersichtliche mehrfache Chargenerwärmung in den jeweiligen Aktivbädern, die prinzipbedingt einen hohen Energieeinsatz erfordert [12], entfällt damit.

Eine noch bessere Energieausnutzung und folglich einen noch niedrigeren PCF für die Halbzeugbeschichtung bietet die Inline-Applikation der Einschicht-Schmierstoffe (Bild 4). Zum einen ist eine induktive Vorwärmung der Halbzeuge energieeffizienter als die konvektive Trocknung beschichteter Halbzeuge mittels Warmluft. Zum anderen sind ein geringeres Badvolumen und eine niedrigere Badtemperatur ausreichend.

Tatsächlich haben die aktuellen Einschichtschmierstoffe auf Basis von MoS₂ und Polymeren im Rahmen des vom Unternehmen eingeführten Short Lubrication System (SLS) auch in der industriellen Praxis bereits bewiesen, dass sie konventionelle Tribosysteme bei anspruchsvollen, zum Teil mehrstufigen Umformoperationen ersetzen können. Doch trotz der diversen offensichtlichen Vorteile haben sie bisher noch keine größere Verbreitung gefunden. Ein Grund dürfte die Vorgabe bei Einführung konversionsschichtfreier Schmierstoffe sein, ausnahmslos alle im Betrieb durchgeführten Umformprozesse mit diesem alternativen System umzusetzen. So sollen bei folgenden Schritten möglichst keine oder zumindest weniger aufwendige Anpassungen vorgenommen werden müssen: im Bereich der Material-Vorbehandlung, der nachgelagerten Prozessschritte, der Werkzeuge (inklusive deren Beschichtung), der Präzision in Bezug auf Geometrie oder der Auslegung des Stadiengangs bei mehrstufigen Umformoperationen.

Diese Vorgaben sind aus Sicht des Umformbetriebs nachvollziehbar, stellen für die Einschicht-Schmierstoffsysteme aber fallweise eine Hürde dar, die nicht ohne Weiteres überwunden werden kann. Vor dem Hintergrund, dass durch den Einsatz von Einschichtschmierstoffen im Rahmen des SLS-Verfahrens eine Senkung des PCF-Anteils der Oberflächenbehandlung um zwei Drittel realistisch ist (Bild 1), müssen jedoch auch Anpassungen in den oben genannten Bereichen in Erwägung gezogen



Schmierstoff ZWEZ-Lube MD / PD

Typ. Badparameter:

Konzentration: 8 – 12 % Feststoffgehalt
 Temperatur: 25 – 60 °C

Bild 4: Applikation von Einschichtschmierstoffen im Inline-Verfahren

werden: Unter Einbeziehung der lokalen Belastung des Tribosystems als Faktor für die Auslegung des Stadiengangs bei mehrstufigen Operationen könnten beispielsweise konversionsschichtfreie Tribosysteme prozesssicher verwendet werden, die zuvor gerade nicht (oder nur mit erheblichem Verschleiß der Werkzeuge) eingesetzt werden konnten. Ist es nicht möglich, identifizierte kritische Zonen gänzlich zu eliminieren, so wäre gegebenenfalls der Einsatz einer gezielten Minimalmengenschmierung hilfreich.

Einen weiteren Ansatz zur „Unterstützung“ eines Schmierstoffsystems stellt die Optimierung der „anderen Seite“ des Tribosystems dar. So kann die Einführung eines beschichteten Werkzeugs den Einsatz eines Einschichtschmierstoffs ermöglichen – der bei unbeschichteten Werkzeugen nicht prozesssicher eingesetzt werden kann. Bei derartigen Maßnahmen können der erhöhte Aufwand sowie die Mehrkosten im Bereich der Werkzeuge mit erheblichen Energieeinsparungen in der Vorbehandlung belohnt werden.

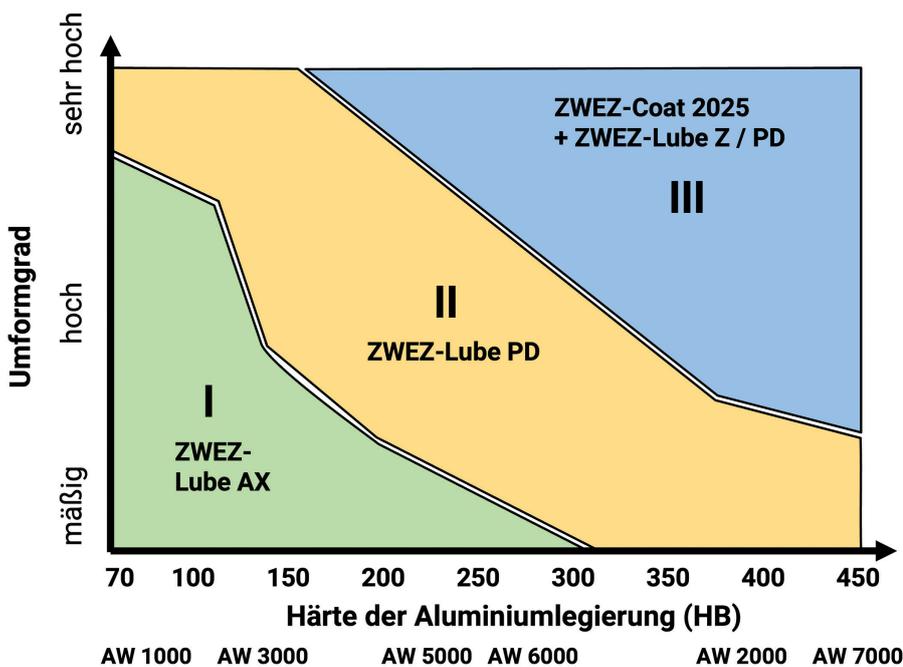


Bild 5: Auswahl geeigneter Schmierstoffsysteme für die Kaltumformung von Aluminium an Hand der Legierung und des Umformgrads

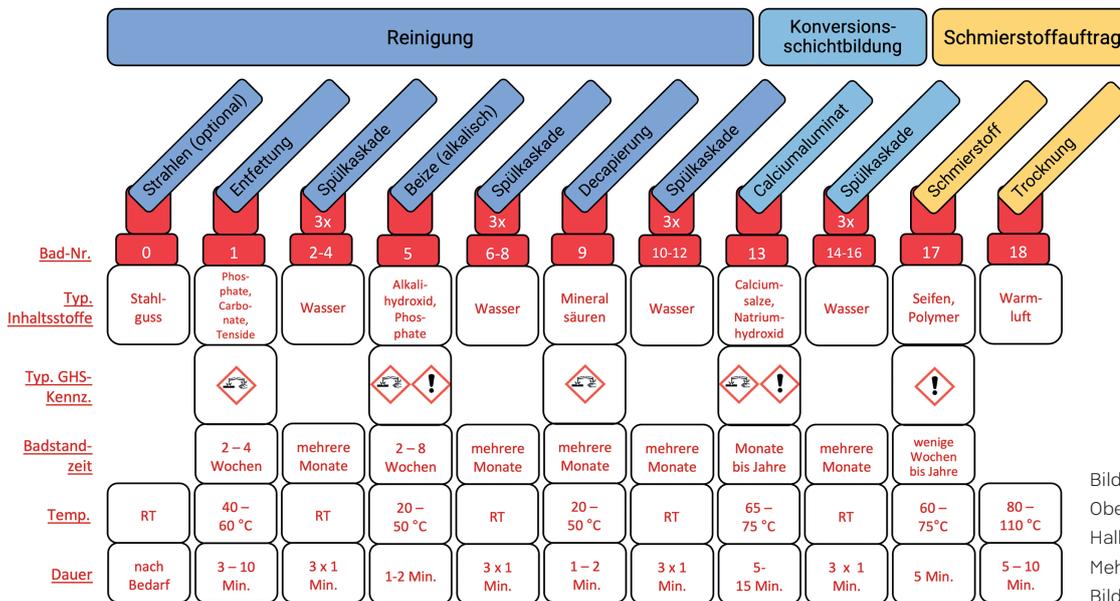


Bild 6: Prozessfolge für die Oberflächenbehandlung von Halbzeugen aus Aluminium mit einem Mehrschicht-Schmierstoffsystem, Bilder: Autor

Der Einsatz leistungsfähiger Einschicht-Schmierstoffsysteme bietet nicht nur bei Normalstahl, sondern auch bei hochlegierten Stählen und Nichteisenmetallen Vorteile: Obwohl die höheren Festigkeiten und die reduzierte Wärmeleitfähigkeit hochlegierter Stähle höhere tribologische Lasten in Form erhöhter Kontaktnormalspannungen und Umformtemperaturen mit sich bringen [13], konnten unter produktionsnahen Bedingungen sowohl mit Polymer- wie mit MoS₂-basierten Schmierstoffen auch ohne Oxalat insgesamt mehrere Hundert Teile ohne Anzeichen von Verschleiß umgeformt werden [14]. Es existieren also schon heute praxistaugliche Einschichtschmierstoffsysteme zur Kaltumformung rostfreier Stähle, wobei noch mehr als bei niedriglegierten Stählen die Faktoren Werkstoff, Umformgrad und Werkzeugbeschichtung im Einzelfall zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen sind.

ENTWICKLUNG BEI ALUMINIUM

Im Gegensatz zu hochlegierten Stählen sind die tribologischen Lasten bei Aluminiumwerkstoffen eher niedriger als bei Normalstahl. Bauteile für den Automotive-Sektor müssen dennoch eine hohe mechanische Festigkeit und statische wie dynamische Belastbarkeit aufweisen, die durch Legierungselemente wie Magnesium und Silicium erreicht werden. Damit Bauteile nach dem Umformen eine definierte Härte annehmen, werden daher bevorzugt aushärtbare Aluminiumlegierungen der Reihe EN AW 6xxx eingesetzt. Insgesamt unterscheiden sich die verschiedenen Aluminiumwerkstoffe, mehr noch als bei Stahl, in ihren mechanischen Eigenschaften, so dass bei der Wahl des geeigneten Schmierstoffsystems neben dem Umformgrad besonderes Augenmerk auf die jeweilige Aluminiumlegierung gelegt werden muss.

In den vergangenen Jahren wurden umfangreiche Untersuchungen zur Entwicklung leistungsfähiger Schmierstoffsysteme für die jeweiligen Anspruchskollektive durchgeführt [15], [16]. Dies führte im Ergebnis zu Produkten, die das gesamte

Anforderungsspektrum bezüglich Aluminiumlegierungen und Umformprozesse abdecken (Bild 5). So wurde für die Kaltumformung niedriglegierten Aluminiums (EN AW 1xxx) der pastöse wasserbasierte Schmierstoff ZWEZ-Lube AX entwickelt, als weitgehend staubfreie Alternative zu den sonst üblicherweise eingesetzten pulverförmigen Schmierstoffen wie Zinkstearat. Ein weiterer Vorteil dieses Produkts, das vollkommen analog durch Auftrommeln appliziert wird, liegt in der vergleichsweise höheren Leistungsfähigkeit aufgrund der optimierten Haftung. Diese ermöglicht es, je nach Umformgrad auch Aluminiumlegierungen der Serie EN AW 6xxx umzuformen, vorausgesetzt das Vormaterial ist weichgeglüht.

Ist die Grenze der Leistungsfähigkeit im Auftrommeln applizierbarer Schmierstoffe erreicht, war früher das Aufbringen einer Konversionsschicht vor der Applikation eines Schmierstoffs obligatorisch. Heutzutage können jedoch leistungsfähige Polymerschmierstoffe auch ohne Konversionsschicht anspruchsvolle Umformoperationen ermöglichen. Diese Polymerschmierstoffe werden analog zu Stahl-Halbzeugen im Ein-Bad-Tauchverfahren (Bild 3) oder im Inline-Verfahren (Bild 4) appliziert. Auch hier ist eine mechanische Vorbehandlung empfehlenswert, um neben dem Reinigungseffekt eine Aufrauung der Teileoberfläche und damit optimierte Schmierstoffhaftung zu bewirken. Erst wenn höherfeste Aluminiumlegierungen mit hohem Umformgrad umgeformt werden sollen, können Schmierstoffsysteme erforderlich sein, die einen Schmierstoff mit einer Konversionsschicht kombinieren. In diesem Fall hat sich für Aluminiumwerkstoffe Calciumaluminat bewährt. Dieses Verfahren umfasst in Analogie zur Phosphatierung bei Stahl eine ganze Reihe von Prozessschritten (Bild 6). Bei diesem Prozess, bei dem in der Regel eine Alkaliseife als Schmierstoff zum Einsatz kommt, müssen nicht zwangsläufig alle dargestellten Verfahrensschritte wie das alkalische Beizen und anschließende Dekapieren durchgeführt werden.

FAZIT

Vieles spricht dafür, lieber früher als später auch die Halbzeug-Vorbehandlung mit in die Nachhaltigkeitsziele aufzunehmen. Dies erweitert nicht nur kurzfristig die bislang noch recht überschaubare Datenbasis in FRED, sondern wird mittelfristig einen signifikanten Anteil der Maßnahmen auf dem Weg zur CO₂-neutralen Fertigung kaltumgeformter Bauteile ausmachen.



ZWEZ-CHEMIE GmbH
Schreinerweg 7
D-51789 Lindlar
Telefon: +49 (22 66) 90 01-0
E-Mail: info@zwez.de
Internet: www.zwez.de



- [1] N.N.: NOCARBforging 2050; <https://www.massivumformung.de/themen/trendsstrategie/nocarbforging-2050>; zuletzt abgerufen am 21.12.2022
- [2] N.N.: Carbon Footprint Calculator; <https://www.fred-footprint.de>; zuletzt abgerufen am 21.12.2022
- [3] Herlan, T.B.: Optimaler Energieeinsatz bei der Fertigung durch Massivumformung. Berichte aus dem Institut für Umformtechnik, Bd. 99. Berlin Heidelberg New York Tokyo, Springer-Verlag Berlin, 1989
- [4] Herlan, T.B.: Product Carbon Footprint and ESG-Reporting in Cold Forging. In: Proceedings of the 55th ICFG Plenary Meeting, 2022
- [5] N.N.: Green Steel – Der Weg zur Nachhaltigkeit; <https://www.dew-stahl.com/produkte/green-steel>; zuletzt abgerufen am 21.12.2022
- [6] Sankara Narayanan, T.S.N.: Surface pretreatment by phosphate conversion coatings – a review. In: Rev. Adv. Mater. Sci 9 (2005) S. 130 – 177
- [7] Tamilselvi, M.; Kamaraj, P.; Arthanareeswari, M.; Devikala, S.; Arockia Selvi, J.: Progress in Zinc Phosphate Conversion Coatings: A Review. In: International Journal of Advanced Chemical Science and Application 3 (2015) S. 25 – 41
- [8] Ludwig H.; Zang S.; Oehler O.; Holz, J.; Venzlaff H., Ostrowski J.: Umweltfreundliche Prozessketten in der Kaltmassivumformung von Abschnitten durch den Verzicht auf nasschemisch aufgetragene Konversionsschichten. DBU-Abschlussbericht Az 30738, 2016
- [9] Groche P.; Zang S.; Hayakawa K.: State of the art in phosphate-free lubrication in cold forging. In: Proceedings of the 48th ICFG Plenary Meeting, 2015
- [10] Bay N.; Azushima A., Groche P., Ishibashi I., Merklein M., Morishita M., Nakamura T., Schmid S., Yoshida M.: Environmentally benign tribo-systems for metal-forming. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 59 (2010) S. 760 – 780
- [11] Bay N.: New tribo-systems for cold forming of steel, stainless steel and aluminium alloys. Proceedings of the 46th International Cold Forging Group (ICFG) Plenary Meeting, 2013
- [12] Herlan, T.B.: Energie und Umweltaspekte bei der Oberflächenbehandlung zum Kaltmassivumformen. VDI Wissensforum (Hrsg.): 23. Jahrestreffen der Kaltmassivumformer: Ressourcen effizient nutzen, 2008
- [13] Volke P.; Groche P.: Umweltfreundliche Tribosysteme für die Kaltumformung rostfreier Stähle. VDI Wissensforum (Hrsg.): 35. Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, 2020
- [14] Volke P.: Tribologische Systeme für die Kaltmassivumformung rostfreier Stähle. Schlussbericht zum IGF-Vorhaben Nr. 19803 N, 2020
- [15] Venzlaff H.: Umweltfreundliche tribologisch wirksame Beschichtungssysteme für die Kaltmassivumformung von Stangenabschnitten (Butzen) aus hochlegierten Aluminiumwerkstoffen. DBU-Abschlussbericht Az 33347, 2019
- [16] Venzlaff H.: Environmentally Friendly Tribosystems for Cold-Forming of High-alloyed Aluminium Materials. In: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung – NEMU, 2019