

## Production of Local Requirement-Optimised Hybrid Components with Compound Forging

Efficiency enhancement is a significant technology driving force for the advancement and new development of production methods in automotive engineering. An effective production method contribution to saving energy and preserving resources is weight reduction through application of hybrid components. These

components are requirement-optimised with locally adjusted properties and additionally meet the requirements of structural lightweight design. It takes just a few process steps to produce hybrid components with the compound forging of steel and aluminium.

# Herstellung lokal anforderungs-optimierter Hybridbauteile durch Verbundschmieden

Dipl.-Ing. Klaus-Georg Kosch und Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Hannover

Im Automobilbau stellt die Effizienzsteigerung einen wesentlichen Technologietreiber für die Weiter- und Neuentwicklung von Fertigungsverfahren dar. Ein effektiver Beitrag der Fertigungstechnik zur Energieeinsparung und Ressourcenschonung liegt

in der Gewichtsminimierung durch die Verwendung von Hybridbauteilen. Diese Bauteile sind anforderungsoptimiert, weisen lokal angepasste Eigenschaften auf und entsprechen zusätzlich den Anforderungen des strukturellen Leichtbaus. Beim Verbundschmieden von Stahl und Aluminium erfolgt die Herstellung von Hybridbauteilen in wenigen Prozessschritten.

### Einleitung

Bei der Herstellung hybrider Bauteile durch Massivumformung werden die werkstoffspezifischen Vorteile der Monowerkstoffe mit den positiven, durch die Umformung eingebrachten, mechanischen Bauteileigenschaften kombiniert. Im Gegensatz zu spanenden Fertigungsverfahren, mit denen technologiebedingt keine Hybridbauteile hergestellt werden können, nutzen massiv-

umgeformte Hybridbauteile die werkstoffspezifischen Vorteile der Monowerkstoffe gezielt aus und passen die Bauteile so an die gestellten Anforderungen an. Aktuell werden in Deutschland sowohl in der Industrie als auch in der Forschung erfolgreich Ideen zum Fügen hybrider Bauteile mittels Massivumformung umgesetzt. Die Neumayer Tekfor GmbH, Hausach, fertigt eine mehrteilige Ver-

bundkonstruktion zur Gewichtsminderung bei Getriebezahnrädern [1]. Die Leiber Group GmbH & Co. KG in Emmingen hat ein Verfahren zur Herstellung von hybriden Bremscheiben, Pleueln, Antriebsflanschen und Quer- und Längslenkern mittels Hybridschmieden entwickelt [2]. Verbund-Stromkontaktrohre und Verbunddüsen für die Schweißtechnik werden von der CEP GmbH in Freiberg unter

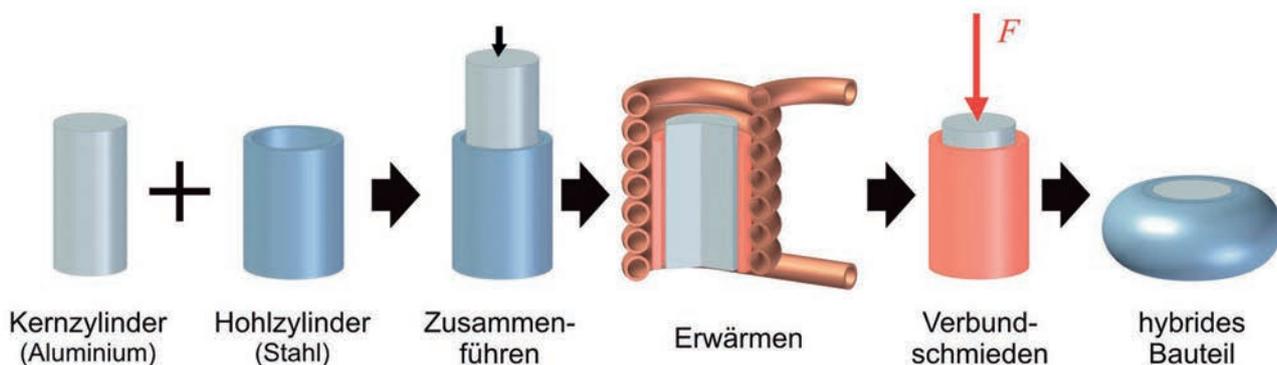


Bild 1: Prozesskette des Verbundschmiedens hybrider Stahl-Aluminium-Bauteile.

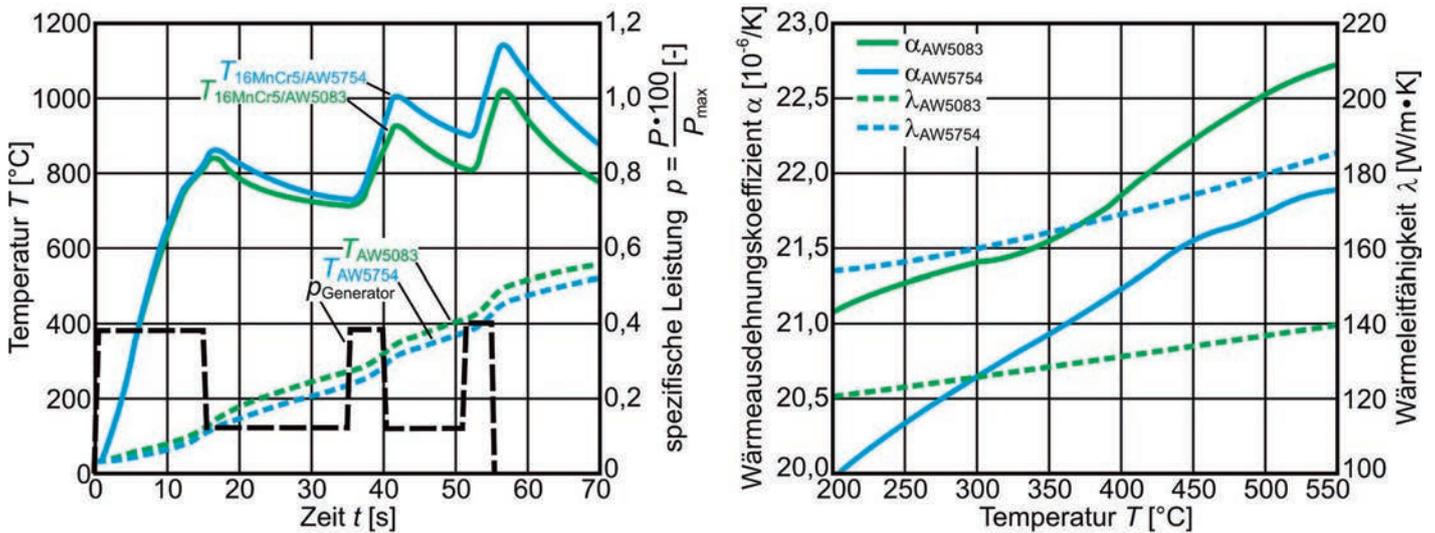


Bild 2: Erwärmungsprofile (links), Wärmeausdehnungskoeffizienten und Wärmeleitfähigkeiten (rechts) der Aluminiumlegierungen AW5083 und AW5754.

der Verwendung des hydrostatischen Verbundstrangpressens hergestellt [3]. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 692 werden das Verbundstrangpressen und das Verbundquerfließpressen von hybriden Magnesium-Aluminium-Bauteilen grundlegend untersucht [4]. Das Verbundstrangpressen von Aluminium-Titan-Verbunden wird im Rahmen eines Grundlagenprojekts untersucht [5]. Im SFB Transregio 10 werden unter anderem kontinuierlich stahlverstärkte Aluminiumhalbzeuge verbundstranggepresst [6]. Die Prozesskette „Verbundstrangpressen mit anschließendem Schmieden“ von partiell sowie kontinuierlich stahlverstärkten Aluminiumhalbzeugen wird wiederum in einem Grundlagenprojekt untersucht [7]. Im Rahmen des Graduiertenkollegs 1378 wird zum einen das Walzplattieren von Titan-Aluminium und Stahl-Aluminium erforscht [8], zum anderen erfolgt die grundlegende Erforschung der Technologie des Verbundschmiedens von artfremden Werkstoffen. Beim Verbundschmieden von Stahl-Aluminium-Bauteilen wird ein Rohteilverbund bestehend aus Stahlmantel und Aluminiumkern verwendet und im Umformprozess form- sowie kraft- und stoffschlüssig gefügt (Bild 1). Im Unterschied zum Verbundschmieden von Stahl-Stahl-Bauteilen, das unter anderem im SFB 489 untersucht wurde [9], ergeben sich hier die Herausforderungen aus den unterschiedlichen spezifischen Eigenschaften der Monowerkstoffe. Insbesondere die notwendige inhomogene Rohteilerwärmung und Charakterisierung der Fügezone stehen im Mittelpunkt der Grundlagenuntersuchungen [9, 10].

### Erwärmung für das Verbundschmieden von Stahl und Aluminium

Die Herausforderung bei der Erwärmung von Stahl-Aluminium-Rohteilen besteht darin, den Stahl-Mantelwerkstoff auf eine Umformtemperatur im oberen Halbwarmbereich zu

erwärmen, um einen ausreichend hohen Umformgrad zu realisieren und die Verzunderung des Bauteils zu reduzieren. Der Aluminiumkern darf eine Temperatur von zirka 500 °C nicht überschreiten, um ein Schmelzen des Materials vor, während und nach dem Umformprozess zu vermeiden. Der notwendige Temperaturgradient wurde am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) mittels induktiver Erwärmung durch Ausnutzung des Skin-Effekts bei hohen Arbeitsfrequenzen sowie der Einbringung eines umlaufenden Luftspalts zwischen den Einzelrohteilen realisiert [9]. Der Wärmetransfer innerhalb des hybriden Rohteils wird neben dem Luftspalt und dem Verhältnis der Werkstoffmassen

zueinander auch von der Wahl der Stahl- und Aluminiumlegierungen beeinflusst.

Im linken Diagramm in Bild 2 sind die Temperaturen der Stahlmängel und der Aluminiumkerne für die Werkstoffkombinationen 16MnCr5/AW5083 und 16MnCr5/AW5754 nach induktiver Erwärmung über der Zeit aufgetragen. Durch das wiederholende Reduzieren und Erhöhen der Generatorleistung wird so lange erwärmt, bis der gewünschte Temperaturgradient im Rohteil vorliegt und der Umformprozess starten kann. Die Ergebnisse mit unterschiedlichen Aluminiumlegierungen machen deutlich, dass diese einen Einfluss auf die Endtemperatur des hybriden Rohteils haben.

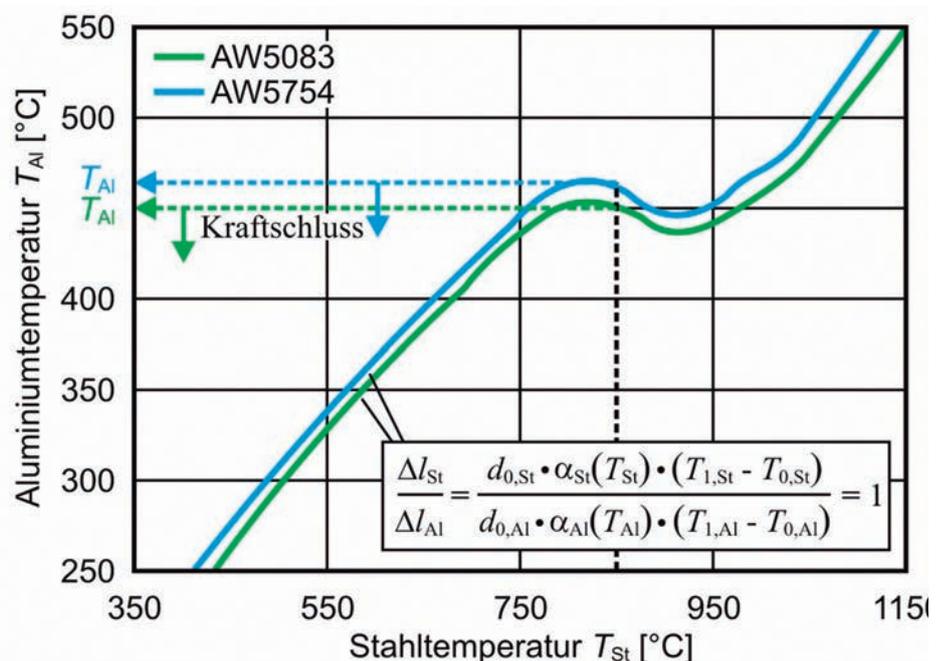


Bild 3: Prozessmodell zur Erzeugung kraftschlüssiger Verbunde für das Verbundschmieden von 16MnCr5 mit AW5083 und AW5754.

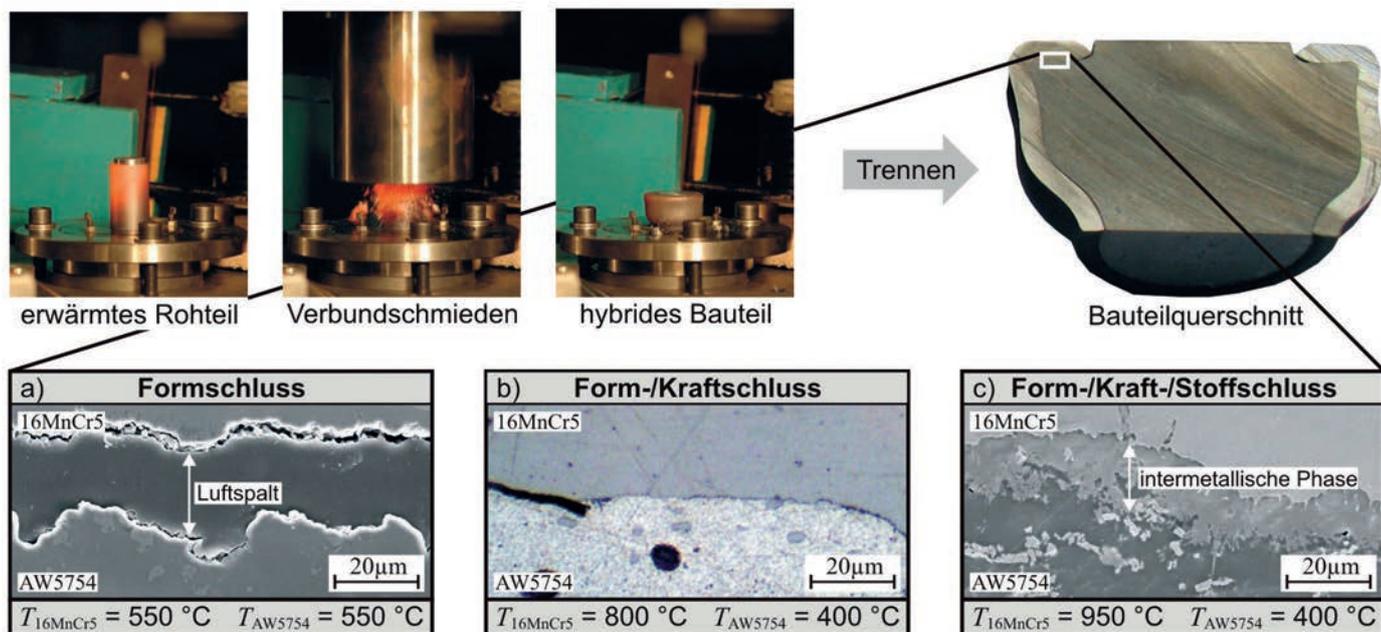


Bild 4: Verbundschmiedeprozess (oben) und Fügezonen in Abhängigkeit zur Verbundart (unten).

Bilder: Autoren

Unter identischen Versuchsbedingungen wird der Stahlmantel bei einer Kombination mit einem Aluminiumkern aus AW5754 deutlich stärker erwärmt, als bei einer Kombination mit AW5083. Da in beiden Fällen dieselbe Energie induziert wird, verhält sich der Verlauf der Aluminiumtemperatur gegensätzlich. Die legierungsspezifischen Eigenschaften, wie zum Beispiel die Wärmeleitfähigkeit (Bild 2, rechts), beeinflussen direkt den induktiven Erwärmungsprozess. Dies verdeutlicht, dass für jede Materialkombination ein eigenes Erwärmungsprofil aufgenommen werden muss. Beim umformtechnischen Fügen von Werkstoffen mit stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten (zum Beispiel Stahl:  $\alpha_{St} = 11,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ; Aluminium:  $\alpha_{Al} = 23,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ ) muss die Bildung von Luftspalten aufgrund von unterschiedlichen Schrumpfungen der Einzelwerkstoffe vermieden werden. Mittels der gezielten inhomogenen Erwärmung ist es möglich, die Wärmeausdehnungen der Einzelwerkstoffe auszugleichen. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich bereits die einzelnen Legierungen eines Werkstoffs stark in ihren Wärmeausdehnungskoeffizienten unterscheiden können (Bild 2, rechts). Die gezielte Beeinflussung der Wärmeausdehnungen bietet die Möglichkeit, neben formschlüssigen Verbindungen auch zusätzlich einen Kraftschluss innerhalb des hybriden Bauteils zu erzeugen. Hierfür wurde am IFUM, auf Basis der durchgeführten Grundlagenuntersuchungen, ein Prozessmodell für die Erwärmung entwickelt (Bild 3). Auf den hier dargestellten Verläufen sind die Wärmeausdehnungen der beiden Werkstoffe rechnerisch gleich groß. Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten besteht ebenfalls ein zu berücksichtigender

Einfluss der Legierungszusammensetzung. Bei einer Stahltemperatur von 850 °C (gestrichelter Verlauf) darf beispielsweise die Temperatur des Aluminiumkerns aus AW5754 nicht höher als 460 °C und die des Aluminiumkerns aus AW5083 nicht höher als 450 °C sein. Ist die Aluminiumtemperatur größer, zieht sich das Aluminium bei der Abkühlung stärker zusammen als der Stahl und es entsteht ein Luftspalt. Liegt die Temperatur des Aluminiumkerns unter der genannten Grenztemperatur, ist die Wärmeausdehnung des Stahls größer als die des Aluminiums und eine kraftschlüssige Verbindung durch Aufschmelzen wird erzeugt.

#### Charakterisierung der Verbundqualität geschmiedeter Stahl-Aluminium-Bauteile

Die globale Qualität hybrider Bauteile wird maßgeblich durch die Verbund- und damit durch die lokale Fügezonenqualität beeinflusst. Je nach Einstellung des Temperaturgradienten innerhalb des hybriden Rohteils kann der Aluminiumkern im Randbereich durch den Kontakt mit dem Stahlmantel während des Umformprozesses lokal aufschmelzen. Hierdurch können sich die beiden Werkstoffe stoffschlüssig durch die Bildung intermetallischer Phasen miteinander verbinden. In Bild 4 sind der Verbundschmiedeprozess sowie die Fügezonen bei unterschiedlichen Temperaturgradienten dargestellt.

In axialer Richtung entsteht aufgrund der gemeinsamen Umformung beider Werkstoffe eine formschlüssige Verbindung im Bauteil (Bild 4, oben). Durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungen bei homogener Temperaturverteilung hat sich ein Luftspalt zwischen beiden Materialien

gebildet (Bild 4 a). Die Einstellung eines Temperaturgradienten im oberen Halbwarmbereich bewirkt einen Ausgleich der Wärmeausdehnungen (Bild 3) und die beiden Werkstoffe bilden eine homogene Verbundzone aus (Bild 4 b). Neben dem Formschluss liegt hier demnach ebenfalls eine kraftschlüssige Verbindung vor. In Bild 4 c) erfolgte die Umformung im Warmbereich beider Werkstoffe. Auch hier liegen Form- und Kraftschluss vor. Zudem ist zu erkennen, dass sich ein Stoffschluss in Form einer intermetallischen Phase gebildet hat, die sich farblich von den Grundwerkstoffen unterscheidet. Die Ermittlung der Einflüsse von Legierungselementen auf die Bildung intermetallischer Phasen ist Gegenstand aktueller Untersuchungen am IFUM.

#### Zusammenfassung und Ausblick

Das Verbundschmieden ermöglicht es, anforderungsoptimierte Bauteile mit lokal angepassten Eigenschaften, die zusätzlich den Anforderungen des strukturellen Leichtbaus entsprechen, herzustellen. Die Herausforderungen beim Verbundschmieden von Stahl-Aluminium-Bauteilen ergeben sich aus den unterschiedlichen werkstoffspezifischen Eigenschaften der Monowerkstoffe. Insbesondere die notwendige inhomogene Erwärmung und die Verbundqualität sind als besondere Herausforderungen für das Verbundschmieden zu nennen. Die am IFUM durchgeführten Grundlagenuntersuchungen belegen die generelle Durchführbarkeit der Herstellung von Hybridbauteilen im Schmiedeprozess. Es ist möglich, in Abhängigkeit zum Temperaturgradienten im hybriden Rohteil gezielt form-, kraft- und stoffschlüssige Verbunde einzustellen. In zukünftigen Untersuchungen werden zur erweiterten Charakterisierung der

Verbundqualität mechanische Belastungstests der Hybridbauteile durchgeführt. Des Weiteren sind eine Erweiterung des Bauteilspektrums (zum Beispiel hybride

Stahl-Aluminium-Zahnräder [9], Ritzel-/Wellen, Ventile, Fließpressteile) und die Untersuchungen weiterer Materialkombinationen geplant. ■



Dipl.-Ing.  
Klaus-Georg Kosch



Prof. Dr.-Ing  
Bernd-Arno Behrens

### Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung innerhalb des Graduiertenkollegs „Herstellung, Bearbeitung und Qualifizierung hybrider Werkstoffsysteme (GRK 1378)“

### Literatur

- [1] A. Kucharzewski, „Massivumformung – eine Prozesskette für den Leichtbau“, Info-Reihe Massivumformung, Nr. 42, 2010.
- [2] R. Leiber, „Hybridschmieden bringt den Leichtbau voran“, Aluminium Praxis, S. 7-8, 2011.
- [3] CEP - Compound Extrusion Products GmbH, „CEP-Image-Flyer“, URL: <http://cep-freiberg.de/fileadmin/files/cep-image-flyer.pdf>, 2009.
- [4] B. Awiszus, R. Neugebauer, K. Kittner, M. Popp, „Analyse des Querfließpressens als Analogieversuch zum Strangpressen unter besonderer Berücksichtigung der Verbundbildung zwischen Aluminium und Magnesium“, UTF Science, Verlag Meisenbach GmbH Bamberg, 2009.
- [5] B. Striwe, N. Grittner, A. von Hehl, M. Hunkel, „Analyse der Grenzschicht zwischen Aluminium und Titan nach dem Verbundstrangpressen“, HTM Journal of Treatment and Materials, S. 257-262, Nr. 4, 2012.
- [6] M. Schomäcker, „Verbundstrangpressen von Aluminiumprofilen mit endlosenmetallischen Verstärkungselementen“, Dissertation, Technische Universität Dortmund, 2007.
- [7] K.-G. Kosch, I. Pfeiffer, A. Foydl, B.-A. Behrens, A.-E. Tekkaya, „Schmieden von partiell stahlverstärkten Aluminiumhalbzeugen“, UTF Science, Verlag Meisenbach GmbH Bamberg, 2012.
- [8] H. Haverkamp, „Analyse von Reibung, Temperaturentwicklung und Bindungsmechanismen beim Walzplattieren von Stahl und Leichtmetallen“, Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2011.
- [9] K.-G. Kosch, C. Frischkorn, A. Huskic, D. Odening, I. Pfeiffer, T. Prüß, N. Vahed, „Effizienter Leichtbau durch belastungsangepasste und anwendungsoptimierte Multimaterial-Schmiedebauteile“, UTF Science, Verlag Meisenbach GmbH Bamberg, 2012.
- [10] B.-A. Behrens, K.-G. Kosch, „Influence of different alloying elements on the intermetallic phase seam thickness of compound forged steel-aluminum parts“, Production Engineering – Research and Development, pp. 517-522, Nr. 5, 2011.

## SchmiedeJOURNAL

Organ des Industrieverband Massivumformung e. V., Hagen.  
ISSN 0933-8330

### Herausgeber

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

#### Redaktion

Redaktionsleitung: Dipl.-Ing. Frank Severin, V.i.S.d.P.  
Redaktionsassistentin: Friederike Schnittker  
Redaktionsbeirat: Dr.-Ing. Frank M. Springorum  
Dr.-Ing. Harald Dorth  
Dr. Theodor L. Tutmann  
Dipl.-Ing. Hans Ulrich Volz

Layout: Grafik Design Peter Kanthak, Wickede

Anschrift der Redaktion: SchmiedeJOURNAL  
Goldene Pforte 1  
58093 Hagen, Deutschland  
Telefon: +49 2331 958828  
Telefax: +49 2331 958728  
E-Mail: [schnittker@schmiede-journal.de](mailto:schnittker@schmiede-journal.de)  
Internet: [www.schmiede-journal.de](http://www.schmiede-journal.de)

### Verlag

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.  
Goldene Pforte 1, 58093 Hagen, Deutschland  
Telefon: +49 2331 958828, Telefax: +49 2331 958728  
E-Mail: [orders@schmiede-journal.de](mailto:orders@schmiede-journal.de)  
Internet: [www.schmiede-journal.de](http://www.schmiede-journal.de)

Titelbild: Simplon. Werbeagentur, St. Ingbert  
Anzeigenverwaltung: InterMediaPartners GmbH  
Gabriele Fahlbusch  
In der Fleute 46  
42389 Wuppertal, Deutschland  
Telefon: +49 202 271690  
Telefax: +49 202 2716920  
E-Mail: [fahlbusch@intermediapartners.de](mailto:fahlbusch@intermediapartners.de)

Zurzeit gilt die Anzeigenpreisliste  
Nr. 18 vom 1.1.2013

Bezugspreis: Einzelheft 10,00 Euro plus Versandkosten  
und Mehrwertsteuer  
Bestellungen nimmt der Verlag entgegen

USt-IdNr.: DE 125 127 673

Druck: Domröse Druck GmbH

Erfüllungsort  
und Gerichtsstand: Hagen

Das SchmiedeJOURNAL und die in ihm enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar.

Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in Datenbanken. Markenzeichen, Handelsnamen, Patente und Verbrauchsmuster werden nicht immer ausdrücklich erwähnt. Dies bedeutet nicht, dass die beschriebenen Produkte ohne rechtlichen Schutz sind. Redaktion und Verlag übernehmen keine Haftung für unverlangt eingesandte Manuskripte oder Fotos.