

Herstellung hybrider Hochleistungsbauteile durch Verbundschmieden

Evaluation des kombinierten Füge- und Umformprozesses

Für die Herstellung hybrider Leichtbauteile können Verfahren der Warmmassivumformung gezielt genutzt werden. Eines dieser massivumformtechnischen Verfahren ist das Verbundschmieden. Durch die Erwärmung der verschiedenen Materialien auf ihre spezifische Umformtemperatur und die anschließende gemeinsame Umformung lassen sich die Prozessschritte Umformen und Fügen effizient miteinander kombinieren und somit einsatzoptimierte Hybridbauteile herstellen.

AUTOREN



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

leitet das Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Leibniz Universität Hannover



Dipl.-Ing. Julian Diefenbach

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



Philipp Kuwert, M. Eng.

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

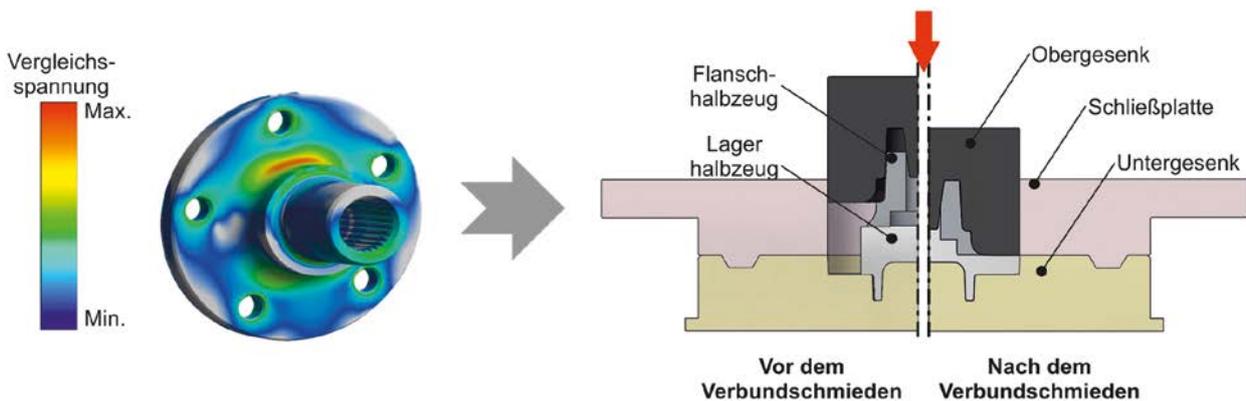


Bild 1: Belastungsangepasstes Bauteildesign für die Stahl-Aluminium- und Stahl-Stahl-Radnabe

Eine wesentliche Herausforderung in der erfolgreichen Umsetzung des Verbundschmiedens ist das Fließverhalten der unterschiedlichen Rohteile, welches maßgeblich die Einstellung hochbelastbarer Verbunde beeinflusst [1]. Im Rahmen des Forschungsverbunds „Massiver Leichtbau“ wurde das Verbundschmieden zur Herstellung von hybriden Stahl-Aluminium- und Stahl-Stahl-Bauteilen evaluiert. Als Demonstratorbauteil wurde eine Pkw-Radnabe ausgewählt.

KONZIPIERUNG EINES FÜGEVERBUNDS

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden die Werkstoffe C60 und EN AW 6182 (Stahl-Aluminium) sowie 30CrNiMo8 und C60 (Stahl-Stahl) eingesetzt und miteinander verbundgeschmiedet.

In Zusammenarbeit mit der Cotarko GmbH konzipierte das IFUM ein Design der Hybridbauteile, das maßgenau dem

Belastungskollektiv des industriellen Bauteils entspricht. Sie identifizierten den Flansch als niedrig belasteten und den Lagersitz im Radiusübergang als hoch belasteten Bereich. Daher wurden für beide Radnabenausführungen der Flansch aus dem niederfesteren Werkstoff (EN AW 6182 oder C60) und der Lagersitz aus dem höherfesten Material (C60 oder 30CrNiMo8) hergestellt.

Die konventionelle umformtechnische Fertigung von Radnaben verwendet Prozesse mit mehreren Umformstufen, bestehend aus Anstauchen, Fließpressen sowie Vor- und Fertigschmieden. Basierend auf der Formgebungsstrategie der Serienfertigung gelang es, in numerischen Untersuchungen eine zweistufige Prozesskette, optimale Halbzeuggeometrien sowie ein geeignetes Prozessfenster und Werkzeugsystem für die Herstellung der Stahl-Aluminium- und Stahl-Stahl-Radnabe zu erarbeiten.

VERBUNDSCHMIEDEN HYBRIDER RADNABEN

Im Allgemeinen stellen das temperaturabhängige unterschiedliche Fließverhalten und somit auch die Rohteilerwärmung der unterschiedlichen Halbzeuge eine wesentliche Herausforderung beim Verbundschmieden dar [2]. Aus diesem Grund legte das IFUM verschiedene Erwärmungsvarianten zur Ermittlung einer zunderfreien Rohteilerwärmung aus und überprüfte deren Auswirkungen, indem sie die hergestellten Demonstratoren hinsichtlich Formgebung, Fügequalität und Werkstoffverlauf analysierte. Dabei zeigte sich, dass die zunderfreie Erwärmung ein entscheidendes Kriterium für das erfolgreiche Fügen beim Verbundschmieden ist.

Als geeignet für das Verbundschmieden hybrider Radnaben erwiesen sich das Erwärmen und Zusammenführen im Schutzgasofen, wie die Evaluation der Bauteile belegte. Hierfür wurden die Stahl-Aluminium-Halbzeuge auf 350 beziehungsweise 950 °C und die Stahl-Stahl-Halbzeuge gemeinsam auf 1.100 °C erwärmt, in das Werkzeugsystem transferiert und verbundgeschmiedet. Um die Werkstoffverteilung und den Werkstoffverbund zu untersuchen, wurden die Bauteile getrennt und im Querschnitt bewertet (Bild 2). Für die Stahl-Aluminium-Radnabe ergab sich eine Gewichtseinsparung von 0,96 kg beziehungsweise etwa 48 Prozent. Dagegen liegt bei der Stahl-Stahl-Radnabe keine Gewichtsreduzierung vor, jedoch erlaubt die erfolgreiche Verbundbildung, das Bauteil in nachgelagerten Untersuchungen neu auszulegen und es leichtbau- oder funktionsoptimiert maßzuschneidern (beispielsweise spezifischer Härteverlauf, Funktionsintegration und Leichtbau).

EVALUATION DER HYBRIDEN RADNABEN

Im Anschluss wurden durch lichtmikroskopische Aufnahmen stoffschlüssige Verbindungen bei der Stahl-Aluminium- und Stahl-Stahl-Kombination ermittelt und durch Mikrohärtmessungen und Rasterelektronenmikroskopaufnahmen (REM-Aufnahmen) charakterisiert (Bild 2).

Bei der Stahl-Aluminium-Kombination war eine stoffschlüssige Verbindung durch intermetallische Phasen vom Typ Fe₂Al₅ nachzuweisen, welche sich im Allgemeinen durch eine Härte von 1.050 bis 1.200 HV auszeichnen [3]. Die maximale Phasensaumdicke betrug 16,33 µm. Damit wird der Grenzwert von 10 µm überschritten, bis zu dem ein negativer Einfluss des Phasensaums auf die Verbundeigenschaften zu vernachlässigen ist. Entsprechend ist eine reduzierte Bauteilfestigkeit der Stahl-Aluminium-Radnabe zu erwarten [4]. Dieser Umstand könnte durch die Wahl einer geringeren Umformtemperatur behoben werden und ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.

Beim Stahl-Stahl-Werkstoffverbund wurden die Bereiche, in denen sich stoffschlüssige Phasen bilden können, durch lichtmikroskopische Aufnahmen ermittelt und aufgrund der geringen Dicke von 0,5 µm anhand eines Rasterelektronenmikroskops verifiziert. Die chemische Zusammensetzung der Fügezone entspricht dabei einer Kombination aus den Werkstoffen C60 und 30CrNiMo8, bedingt durch ein diffusionsgestütztes Fügen während des Verbundschmiedens. Entgegen dem artfremden Materialverbund lässt sich bei einer artgleichen Materialkombination die Entstehung stoffschlüssiger Verbindungen nicht durch einen Anstieg der Härte nachweisen.

Beide Werkstoffe besitzen zum Zeitpunkt des Fügens ein kubisch-raumzentriertes Gitter mit ihrer jeweiligen Grundhärte. Während des Fügens entstehen neue Überstrukturen, welche vom Gittertyp artverwandt mit den beiden Grundgittern sind. Der daraus resultierende Härtewert liegt erwartungsgemäß zwischen den beiden Grundhärten. Dieses Verhalten konnte in den folgenden Mikrohärtmessungen bestätigt werden, sodass innerhalb dieser Zone eine stoffschlüssige Verbindung auf mikroskopischer Ebene vorliegt.

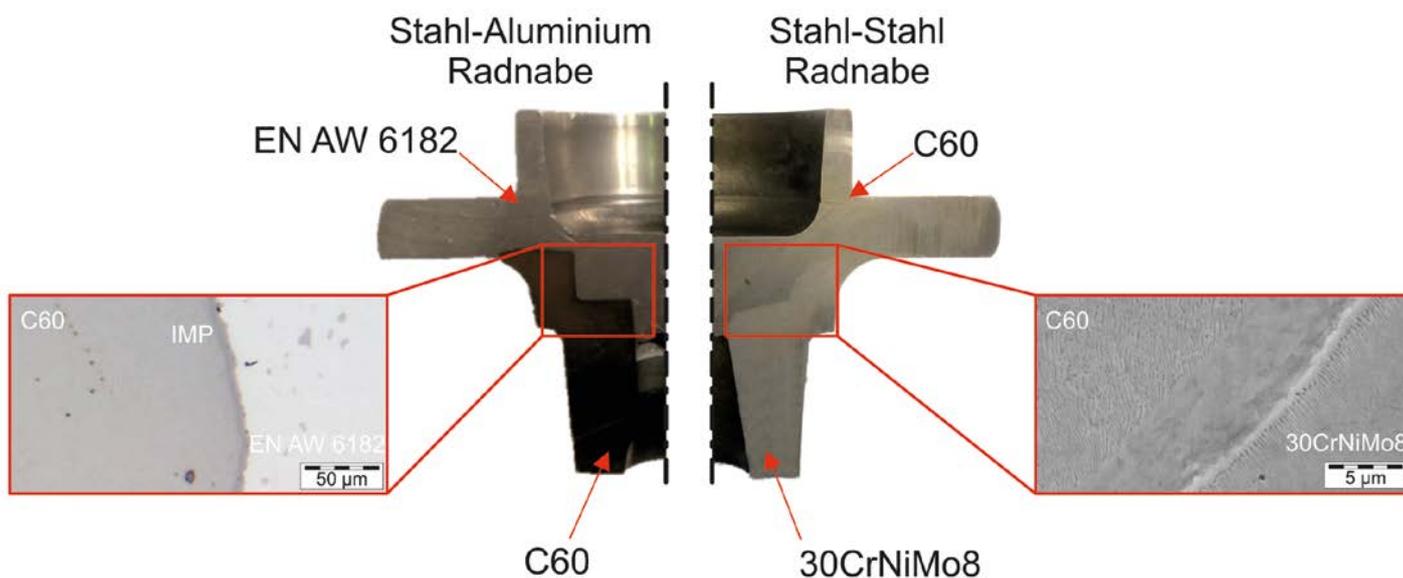


Bild 2: Metallgrafische Analyse des Werkstoffverbundes in Lichtmikroskop – und REM-Aufnahmen

Bilder: Autoren

FAZIT UND AUSBLICK

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das Verbundschmieden ein geeignetes Verfahren zur Herstellung hybrider Bauteile aus unterschiedlichen Materialkombinationen ist. Durch die numerische Prozessauslegung und die Werkzeugkonstruktion wurde ein Prozess für das Verbundschmieden zur Herstellung von Stahl-Stahl- und Stahl-Aluminium-Radnaben entwickelt. Die Schmiedeversuche identifizierten die zunderfreie Erwärmung als wichtiges Kriterium für das erfolgreiche Verbundschmieden. Dies war innerhalb des Vorhabens nur durch eine Rohteilerwärmung im Schutzgasofen umzusetzen. Weiterhin belegten die

metallografischen Untersuchungen und Mikrohärtemessungen die positiven Verbundeigenschaften der Demonstratoren. Somit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, funktionsoptimierte Hybridbauteile durch Verbundschmieden effizient herzustellen.



- [1] Behrens, B.-A.; Kosch, K.-G.: Challenges in Compound Forging of Steel-Aluminum Parts, EPD Congress 2012: The Minerals, Metals & Materials Society, 141th Annual Meeting & Exhibition, pp. 169 – 176, 2012
- [2] Goldstein, R.; Chavdar, B.; Ferguson, L.: Modeling of the Heating Sequences of Lightweight Steel/Aluminum Bimaterial Billets for Hot Forging and Hot Hydroforging, IFHTSE 2016 Savannah
- [3] Kubaschewski, O.: Binary Iron Phase Diagrams, Springer Verlag, Berlin, 1982
- [4] Yamamoto, N.; Takahashi, M.: Formation of intermetallic compounds in friction bonding of Al alloys to steel, Materials Science Forum, Vol. 539 – 543, pp. 3865 – 3871, 2007



Das IGF-Vorhaben „Untersuchungen zum Verbundschmieden unterschiedlicher artfremder und artgleicher Materialkombinationen“, IGF-Projekt 19040 N, der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) und Leitinitiative des Forschungsverbundes „Massiver Leichtbau“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert, wofür die Projektpartner ihren Dank aussprechen. Die Langfassung des Abschlussberichts kann bei der FOSTA, Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf, angefordert werden.

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

IGF
Industrielle
Gemeinschaftsforschung

aufgrund eines Beschlusses
des deutschen Bundestages