



WALZPLATTIERTE KUPFER-ALUMINIUM-VERBINDER

DIE AUFGABE

Im Zuge neuer Entwicklungen auf dem Gebiet der Elektromobilität wächst zunehmend der Bedarf an neuen und auf die jeweiligen Aufgaben zugeschnittenen Verbindungen, die die Eigenschaften verschiedener Werkstoffe vereinen. Zwar lassen sich derartige Werkstoffkombinationen mit den nicht stoffschlüssigen Klemm- oder Schraubverbindungen realisieren, hinsichtlich Produktivität, Materialeinsatz und Langzeitstabilität des Übergangswiderstandes zeigt diese Verbindungstechnik jedoch Defizite. Klassische Schmelzschweißverbindungen gehen meist mit der Bildung intermetallischer Phasensäume an den Werkstoffübergängen einher. Diese wiederum bewirken eine Erhöhung der Übergangswiderstände der Verbindungen.

Verbundhalbzeuge beispielsweise aus Kupfer und Aluminium könnten neue konstruktive Freiräume für die Umsetzung möglichst kompakter und leichter elektrischer Antriebskomponenten eröffnen. Die effektive Herstellung einer langzeitstabilen Verbindung zwischen Teilen aus Kupfer und Aluminium ist deshalb Gegenstand der Entwicklungen im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes »DeLIZ«.

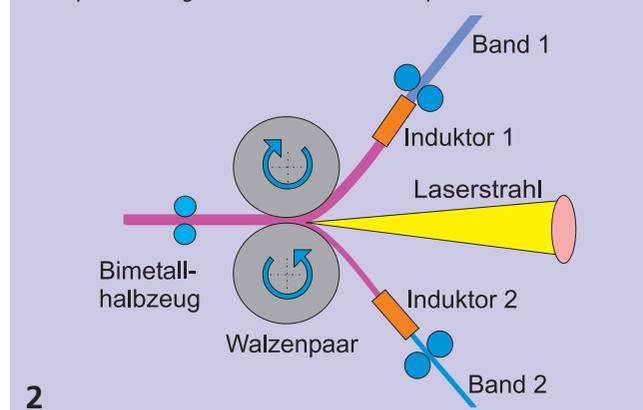
UNSERE LÖSUNG

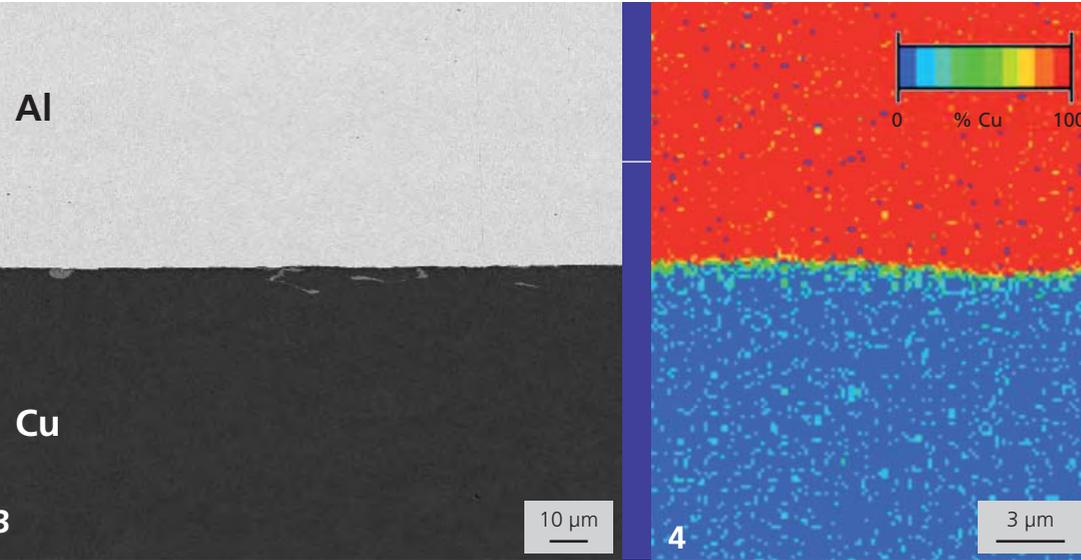
Um die Vorteile einer stoffschlüssigen Verbindung von stromführenden Komponenten aus den beiden Werkstoffen mit einem niedrigem Übergangswiderstand zu gewährleisten und gleichzeitig auch eine Langzeitstabilität der elektrischen Eigenschaften zu garantieren, sollen die Schweißverbindungen zwischen Aluminium und Kupfer durch den Einsatz geeigneter walzplattierter Bimetall-Verbinder (Transition Joints) ausgeführt werden. Hierzu werden mit einem am Fraunhofer IWS entwickelten speziellen Walzplattierverfahren, dem Laserinduktionswalzplattieren (LIWRP, Abb. 2), die geeigneten Halb-

zeuge entwickelt, hergestellt und getestet. Die Besonderheit dieses Verfahrens liegt in der Kombination aus einer sehr geringen Gesamtverformung ($< 11\%$), einem einzigen Verformungsschritt und den nur in der Fügezone sehr kurzzeitig wirkenden Spitzentemperaturen. Dieses wird möglich durch das Zusammenspiel einer induktiven Vorwärmung der zu verbindenden Halbzeuge mit der nur sehr partiell im Walzspalt wirkenden Energie eines zur Linie geformten Laserstrahls. Hierdurch können bei der Ausbildung der Fügezone sowohl verformungsinduzierte als auch temperaturgesteuerte metallurgische Reaktionen gleichzeitig wirken.

Durch das lokale Wirken der eingebrachten Prozessenergie und die Realisierung der Verbindung in nur einem Walzschritt ergibt sich ein vergleichsweise großer Freiheitsgrad bei der Kombination der zu fügenden Halbzeuge. Diese müssen nicht geometrisch deckungsgleich sein. Beispielsweise kann ein Verbund aus zwei Bändern auch als Material sparende Überlappung ausgeführt sein. Dadurch können neben einer fast beliebigen Variation der Dicken der zu fügenden Halbzeuge auch ihre Breiten in einem bestimmten Rahmen anwendungsspezifisch konfektioniert werden.

Prinzipdarstellung des Laserinduktionswalzplattier-Verfahrens





ERGEBNISSE

Analog zu den mittels Laserinduktionswalzplattieren (Abb. 2) bisher realisierten Werkstoffverbunden aus verschiedenen Stählen, aus Stahl und Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen sowie aus Stahl und Kupfer bzw. Kupferlegierungen lassen sich auch Plattierungen aus Kupfer bzw. Kupferlegierungen und Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen herstellen (Abb. 1). Bisher konnten je nach verwendeten Bandgeometrien (12 bzw. 22 mm Breite bei Banddicken zwischen 1,0 bis 2,0 mm) und eingesetzten Leistungen (Laser bis maximal 10 kW, Induktion bis maximal 45 kW) Plattiergeschwindigkeiten bis zu 8 m / min erreicht werden. Generell ist zu beobachten, dass sich der Walzplattierprozess mit höheren Plattiergeschwindigkeiten stabilisiert. Die erreichbaren Vorschubgeschwindigkeiten sind jedoch stark abhängig von den eingesetzten Halbzeugen (Maße, Werkstoff) sowie den zur Verfügung stehenden Leistungen von Laser und Induktion.

Neben der Forderung nach dem Erreichen guter elektrischer Kennwerte werden an die Bimetallhalbzeuge der Werkstoffpaarung Kupfer und Aluminium natürlich auch sehr hohe Anforderungen an ihre mechanischen Eigenschaften, wie ausreichende Festigkeit und gute Verformbarkeit, gestellt. Insbesondere die Fügezone steht hier im Fokus der Untersuchungen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass für einen Großteil der hergestellten Plattierungen keine direkten Werte zu Haft- bzw. Schälfestigkeiten ermittelt werden konnten. Das Versagen des Verbundes erfolgte überwiegend neben der Fügezone im Aluminium. Das gleiche Verhalten zeigte sich auch im Scherzugversuch. Mit Ausnahme vereinzelter Fehlstellen liegen die Scherbruchflächen innerhalb der Wärmeeinflusszone des Aluminiumbandes. Die ermittelten Scherfestigkeiten lagen je nach genutztem Parameterfeld für diese Werkstoffpaarung zwischen 32 und 52 MPa.

Obwohl auf den Innenflächen der beiden zu fügenden Bänder durch das Einwirken des Laserstrahls unmittelbar vor dem Walzspalt sehr hohe Spitzentemperaturen erreicht werden (z. T. oberhalb der Liquidustemperaturen), kann die Ausbildung eines zusammenhängenden intermetallischen Phasensaumes vermieden werden (Abb. 3 und 4). Hierdurch bildet sich eine störungsarme Fügezone aus, welche auch gleichzeitig eine wichtige Voraussetzung für das Erreichen der erforderlichen guten elektrischen Kennwerte darstellt. Deren Ermittlung sowie weiterführende Untersuchungen zur zyklischen Belastbarkeit dieser Werkstoffverbunde sind Gegenstand laufender Aktivitäten.

- 1 Plattiertes Band aus Kupfer und Aluminium
- 3 REM-Aufnahme: Fügezone eines walzplattierten Kupfer-Aluminium-Bandes, Kupfer hell, vereinzelte kupferhaltige Phasengemenge im Aluminium
- 4 EDX-Analyse des Fügezonbereiches, quantitative Verteilung des Kupfergehaltes

KONTAKT

Dipl.-Ing. Volker Fux
Telefon: +49 351 83391-3243
volker.fux@iws.fraunhofer.de

