

Gruppe

**MIKROSTRUKTUR UND EIGENSPANNUNGEN**

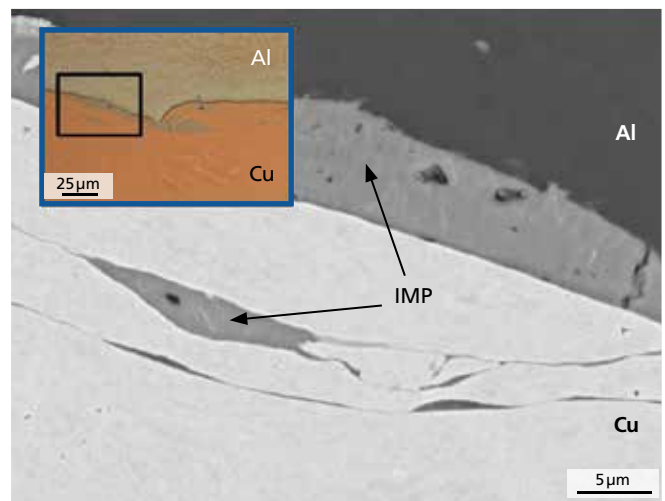
Dr. Johannes Preußner | Telefon +49 761 5142-101 | johannes.preußner@iwmm.fraunhofer.de

## MIKROSTRUKTURUNTERSUCHUNGEN MAGNETIMPULSGESCHWEISSTER CU-AL-MISCHVERBINDUNGEN

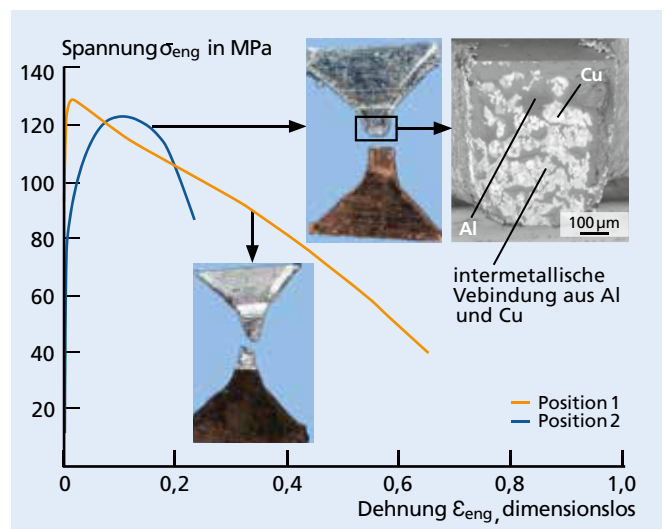
Kupfer ist aufgrund guter elektrischer Leitfähigkeit und guter Verformbarkeit das Standardmaterial für elektrische Leitungen, jedoch teurer und schwerer als Aluminium. Daher werden beide Stoffe parallel eingesetzt und müssen an entsprechenden Stellen technisch anspruchsvoll stoffschlüssig und leitfähig gefügt werden. Die damit verbundenen Fragestellungen sind insbesondere für die Elektromobilität ein wesentliches Thema.

### Magnetimpulsschweißen (MPW) von Al und Cu

Die spontane Ausbildung einer Oxidschicht auf Aluminium, die sich zwischen Aluminium und Kupfer bildenden intermetallischen Phasen und unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten erschweren thermische Fügeprozesse. Aus diesem Grund werden mechanische Fügeverfahren oder das Ultraschallschweißen eingesetzt. Ein weiteres Verfahren ist das Magnetimpulsschweißen, bei dem durch einen kurzen und hohen Stromimpuls durch eine Spule ein Flyer-Material auf eine hohe Geschwindigkeit (~ 400 m/s) beschleunigt wird und auf ein Target-Material trifft. Nach dem ersten Kontakt unter einem gewissen Kontaktwinkel deformieren die Fügepartner abhängig von der gewählten Werkstoffkombination global durch den Puls und lokal in der Kontaktzone durch die dort vorliegenden hohen Drücke. Bei optimalen Bedingungen kommt es zu einem stoffschlüssigen Verbund zwischen Flyer und Target, wobei auch prinzipiell als nicht schweißbar geltende Werkstoffkombinationen gefügt werden können. Der Fügevorgang wird als »Fügen in der kalten Phase« eingeordnet. In einem Projekt wurde durch das Fraunhofer IWM mittels Magnetimpulsschweißen ein Aluminium-Flyer (EN AW1050) mit einem Kupfer-Target (Cu-DHP) jeweils mit einer Dicke von 2 mm auf einer Breite von 100 mm gefügt und die Verbindung am Fraunhofer IWM mit verschiedenen experimentellen



1 Darstellung der Fügezone im Bereich sichtbarer intermetallischer Phasen (IMP) – das Material ist teilweise ineinander gefaltet.



2 Spannungs-Dehnungs-Kurven von Mikrozugproben entnommen aus unterschiedlichen Stellen der Fügezone: Position 1 befindet sich nahe erstem Kontaktpunkt der Fügung.

### 3 Mit hohen Aufprallgeschwindigkeiten gefügte Verbindung aus Aluminium (oben) mit Kupfer (unten).

und numerischen Methoden analysiert und bewertet. Dabei ist die Identifikation der lokalen Bindungsbereiche und die Analyse der Mikrostruktur ein wichtiger Aspekt.

#### Struktur der Fügung und lokale Festigkeit

Nach dem Fügeprozess können im Bereich der Fügezone Verwirbelungen auftreten, die ähnlich beim Explosivplattieren vorzufinden sind. Während des Magnetimpulschweißens bilden sich sowohl ebene als auch wellige Fügezonen aus. Wird Kupfer mit Aluminium gefügt, so kann sich in thermischen Prozessen ein breiter Saum intermetallischer Phasen ausbilden. Dies ist ungünstig, da entlang dieses Saums schnell Risse wachsen und die Verbindung schädigen beziehungsweise trennen können. Bei den hier vorliegenden Fügepartnern wird die ungünstige Kombination unterschiedlicher mechanischer Eigenschaften schnell deutlich: Im Vergleich zu den weichen Grundwerkstoffen mit Härtewerten von etwa 40 HV1 (Aluminium) beziehungsweise 100 HV1 (Kupfer) können die intermetallischen Phasen Härtewerte bis über 1000 HV aufweisen ( $\text{Cu}_9\text{Al}_4$ ). Nach dem Hochgeschwindigkeitsfügen sind in den Fügezonen intermetallische Phasensäume zu erkennen, die hier allerdings nur abschnittsweise auftreten und maximal eine Dicke von etwa 10  $\mu\text{m}$  aufweisen (Abbildung 1). Bei den Verbindungen wurden lokal Mikrohärtewerte bis über 600 HV gemessen.

Anhand einer Vielzahl von aus der Fügezone entnommenen Mikroproben mit einer Gesamtlänge von 3,5 mm und einem Prüfquerschnitt von rund 0,8 x 0,5 mm<sup>2</sup> wurde die Festigkeit der Verbindung auch bei unterschiedlichen Prozessparametern an unterschiedlichen Entnahmestellen lokal untersucht. Die gemessenen technischen Spannungs-Dehnungs-Kurven zweier ausgewählter Proben sind in Abbildung 2 dargestellt. Zum Vergleich: Die einzelnen Grundwerkstoffe weisen eine Dehn-

grenze ( $R_{p0,2}$ ) von 180 MPa (Cu-DHP) beziehungsweise 110 MPa (Al-Legierung) auf. Die maximal erreichbare Zugspannung der hier ausgewählten Positionen in der Fügung unterscheidet sich nur geringfügig, jedoch ist die Bruchdehnung der Probe von Position 1 (nahe erstem Kontaktpunkt beider Bleche) deutlich erhöht. Hier versagt die Verbindung im Aluminium. Die Probe von Position 2 (weiter vom ersten Kontaktpunkt beider Bleche entfernt) weist eine niedrigere Bruchdehnung auf. Eine fraktographische Analyse zeigt, dass diese Probe in der Fügezone gebrochen ist. An noch weiter entfernten Stellen zum ersten Kontaktpunkt des Flyers auf dem Target ist schließlich keine Festigkeit, das heißt keine Verbindung mehr vorhanden. Bei geringerer Prozessenergie wird eine reduzierte Verbindungsfläche beobachtet, wobei die jeweiligen Fügezonen vergleichbare lokale Eigenschaften zeigen. Gleiche Fügezonen zeigen lediglich etwas geringere Maximalspannungen in Mikrozugversuchen, die an mit geringerer Prozessenergie gefügten Proben durchgeführt wurden.

#### Prozessdynamik simulieren

Im Projekt wird neben der Untersuchung der Fügezone über die Mikrozugproben auch eine makroskopische Modellierung der dynamischen Verformungsvorgänge durchgeführt. Diese Modellierung basiert auf einer detaillierten Charakterisierung der Fügepartner. Eine mikroskopische, partikelbasierte Prozessmodellierung macht Einflüsse der Fügeparameter auf das Prozessergebnis verständlich. Desweiteren werden hochauflösende mikroskopische Analysen angewendet, um die Fügezone eingehend zu charakterisieren und Bindemechanismen zu verstehen.

Dr. Johannes Preußner, Frank Huberth