

HOCHAUFLÖSENDE CHARAKTERISIERUNG DER FÜGEGRENZFLÄCHEN METALLISCHER MISCHVERBINDUNGEN

DIE AUFGABE

Der mit dem Begriff Multi-Material-Design verbundene Leitgedanke, den richtigen Werkstoff am richtigen Ort einzusetzen und damit eine konsequente Mischbauweise umzusetzen, stellt neue werkstoff- und verfahrenstechnische Anforderungen an die Fügechnik. Zu den größten werkstofftechnischen Herausforderungen zählt die Vermeidung von spröden intermetallischen Phasen in der Fügezone, die zu einer beträchtlichen Eigenschaftsdegradation führt. Deshalb werden im Fraunhofer IWS Dresden mit dem Laserinduktionswalzplattieren, dem elektromagnetischen Pulsfügen und dem Rührreibschweißen parallel zum Laserstrahlschweißen sehr vielversprechende Technologien für die Realisierung von metallischen Mischbauweisen entwickelt.

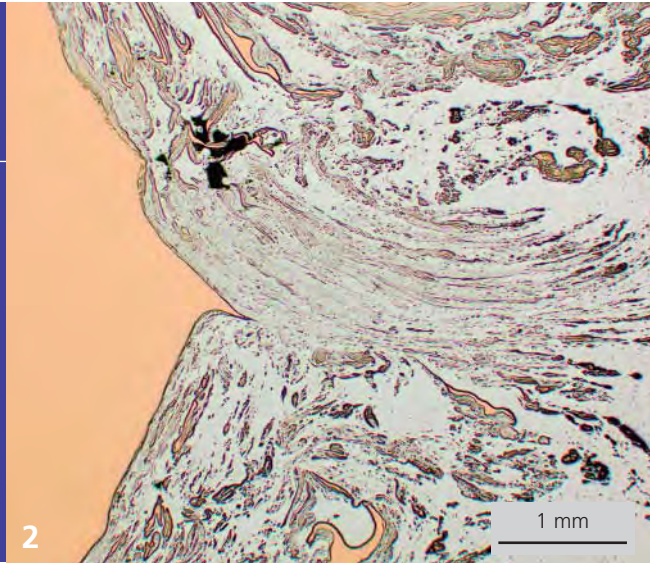
Ein erhebliches Hemmnis für die Entwicklung dieser neuen Fügetechnologien sind jedoch die großen Erkenntnislücken, die hinsichtlich der wirksamen Fügemechanismen bestehen. Die Überwindung dieser Defizite wird erschwert, weil die heterogenen Materialsysteme in den Fügezonen mit konventionellen metallographischen Präparationstechniken und Charakterisierungsmethoden nur unzureichend strukturanalytisch untersucht werden können. Ziel ist es daher, geeignete Präparationsverfahren und hochauflösende Charakterisierungsmethoden weiterzuentwickeln und anzuwenden, um die strukturellen Vorgänge in den Fügegrenzflächen umfassend aufzuklären.

UNSERE LÖSUNG

Im IWS Dresden werden zur umfassenden Charakterisierung der Fügezone metallischer Mischverbindungen Methoden der Metallographie, der Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie (REM, TEM) und der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDX) eingesetzt, die sich gegenseitig ergänzen. Alle in der Elektronenmikroskopie zur Verfügung stehenden Abbildungsverfahren werden dabei ausgenutzt. Um den Anforderungen nach Kantenschärfe und weitgehender Freiheit von Präparationsartefakten nachzukommen, werden in vielen Fällen ionenstrahlgestützte Präparationstechniken eingesetzt. Für verschiedenste Materialkombinationen und Bauteile stehen Prozeduren für die zielgenaue Herstellung von Präparaten zur Verfügung.

ERGEBNISSE

Im IWS wurden metallische Mischverbindungen verschiedener Materialkombinationen (Al-Cu, Al-Stahl, Stahl-Cu) erfolgreich mittels Laserinduktionswalzplattieren, elektromagnetischem Pulsfügen und Rührreibschweißen erzeugt. Obwohl die bei den einzelnen Fügetechnologien vorherrschenden und zum Teil sehr unterschiedlichen Prozess- und Umgebungsbedingungen (z. B. Druck, Temperatur, Einwirkzeiten, Umformgrade) sich signifikant auf die strukturelle Ausbildung der Fügezone auswirken, bestehen zum Teil überraschende Analogien hinsichtlich der wirksamen Füge- und Verbindungsmechanismen. Am Beispiel der Mischverbindung Al-Cu sollen die gewonnenen Erkenntnisse im Folgenden dargestellt werden.



Selbst beim Einsatz von brillanten Lasern im kW-Bereich und sehr hohen Schweißgeschwindigkeiten lässt sich die Phasensaumdicke beim Laserstrahlschweißen nicht wesentlich unter $10\ \mu\text{m}$ absenken. Dies führt dazu, dass die Festigkeit der geschweißten Mischverbindung immer unterhalb der Festigkeit des Al-Grundmaterials liegt.

Im Gegensatz dazu kann mit den im IWS entwickelten Technologien des Laserinduktionswalzplattierens und des elektromagnetischen Pulsfügens die intermetallische Phasensaumdicke auf ein unkritisches Maß von deutlich weniger als $1\ \mu\text{m}$ reduziert werden (Abb. 1a u. 1b). In den mechanischen Tests kann dadurch der Versagensort von der Fügezone in das Al-Grundmaterial verschoben werden. Somit wird in der Fügezone mindestens die Festigkeit des schwächeren Partners erreicht.

Im Unterschied zu den anderen Fügeverfahren kommt es beim Rührreibschweißen zu einer deutlichen Durchmischung von Kupfer und Aluminium (Abb. 2). Begünstigt durch die relativ langen Einwirkzeiten lässt sich die intermetallische Phasenbildung nicht so effektiv unterdrücken wie beim Laserinduktionswalzplattieren oder elektromagnetischen Pulsfügen.

Die bisher durchgeführten Analysen führen zu der Hypothese, dass zur Realisierung von Al-Cu-Mischverbindungen mit einer hohen Verbindungsfestigkeit ein sehr dünner aber durchgehender Phasensaum förderlich ist. Dagegen kann allein durch mechanische Verklammerung, d.h. ohne das Vorhandensein einer Verbindungsschicht, bei den untersuchten Fügeverfahren keine ausreichende Haftfestigkeit zwischen Aluminium und Kupfer erreicht werden.

Die detaillierten strukturanalytischen Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass die Verbindungseigenschaften der Mischverbindungen auch durch thermisch und mechanisch induzierte Strukturänderungen, wie zum Beispiel Rekristallisation, Phasenumwandlungen, Verformungsverfestigung sowie Ausscheidungsaflösung bzw. -neubildung, in oder in der näheren Umgebung der Fügezone maßgeblich bestimmt werden.

Die Aufklärung dieser Struktur- / Eigenschaftsbeziehungen für unterschiedliche metallische Multimaterialsysteme ist Gegenstand laufender Untersuchungen. Mit diesen Arbeiten werden die Grundlagen zur Verfahrensoptimierung bei der industriellen Realisierung von Multimaterialsystemen im Automobil-, Schienenfahrzeug- und Flugzeugbau gelegt.

- 1 *TEM-Aufnahmen der Grenzfläche einer Al-Cu-Mischverbindung hergestellt durch Laser-Induktions-Walzplattieren (LIWP) zur Identifizierung des submikroskopischen Phasensaums*
 - a) *TEM-Hellfeldaufnahme*
 - b) *Al-Elementverteilung (EDX-Mapping)*
- 2 *Querschnitt durch eine rührreibgeschweißte Al-Cu-Stumpfnah (lichtmikroskopische Übersicht)*

KONTAKT

Dr. Jörg Kaspar
 Telefon: +49 351 83391-3216
joerg.kaspar@iws.fraunhofer.de

