



# ELEKTROMAGNETISCHES PULSFÜGEN ZUM HERSTELLEN VON MISCHVERBINDUNGEN

## DIE AUFGABE

Schmelzschweißverfahren sind aus modernen Fertigungsketten nicht wegzudenken und gerade moderne Fügeverfahren wie etwa das Laserstrahlschweißen gelten als Mittel der Wahl, wenn Fügepartner schnell und qualitativ hochwertig gefügt werden sollen. Bestehen die Partner jedoch aus deutlich verschiedenen Metallwerkstoffen, beispielsweise Kupfer und Aluminium, treffen Schmelzschweißverfahren auf erhebliche Probleme, da die in diesen Mischverbindungen unvermeidlichen intermetallischen Phasen die erreichbare Festigkeit der Naht stark einschränken können. Ähnliche Herausforderungen ergeben sich bei stark heißbrisanfälligen Legierungen. Hier entstehen durch Aufschmelzen und Erstarren oft bereits rissbehaftete Gefüge, die Naht ist dann ebenfalls nur gering belastbar.

Ziel ist es daher, alternative Fügeverfahren für die industrielle Anwendung zu etablieren, die eine stoffliche Verbindung ohne Umweg über eine lokale Schmelze erzeugen können und damit auch bei kritischen Mischverbindungen hoch belastbare Nähte erzeugen.

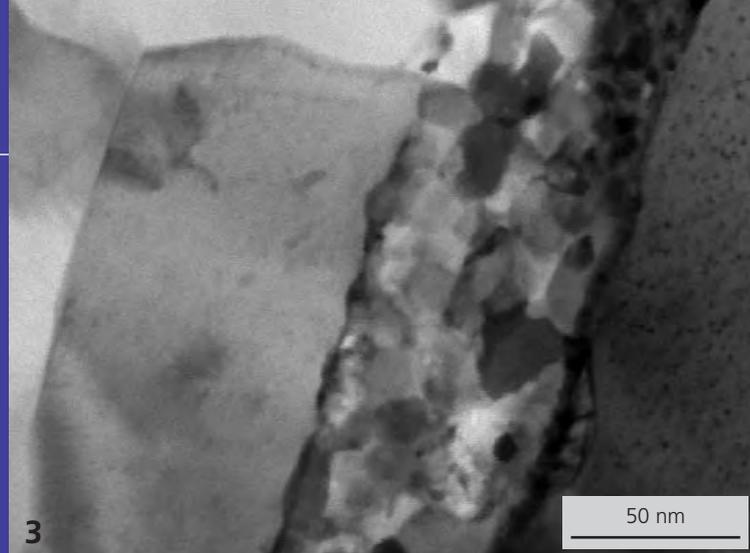
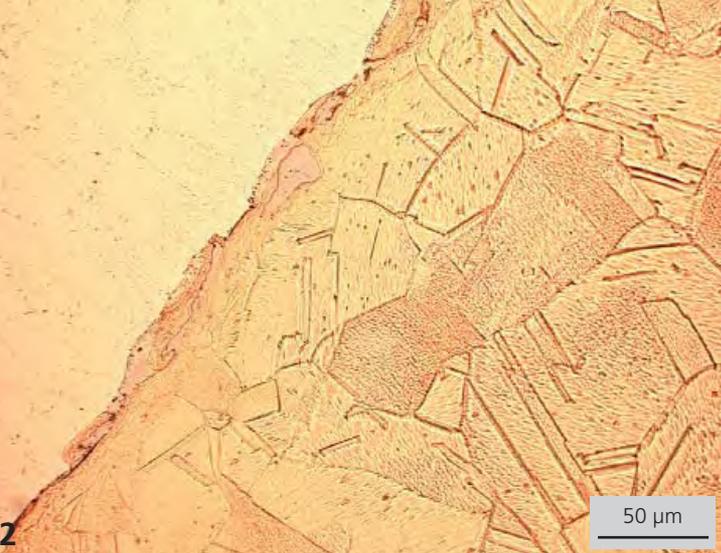
## UNSERE LÖSUNG

Vom Explosivschweißen ist bekannt, dass durch Erzeugen extremer lokaler Drücke ein quasi schmelzefreies Schweißen nahezu beliebiger metallischer Fügepartner möglich ist. Nachteilig sind jedoch der hohe materielle und zeitliche Aufwand und die geometrischen Einschränkungen dieses Verfahrens. Das gleiche physikalische Prinzip lässt sich jedoch deutlich einfacher beim sogenannten elektromagnetischen

Pulsfügen ausnutzen: Hier wird der lokale Druckimpuls durch berührungsloses Einwirken eines Magnetfeld-Pulses im Bauteil selbst erzeugt. Die Technologie ist vor allem für die Möglichkeit bekannt, Metalle berührungslos umzuformen, und formschlüssige Verbindungen herzustellen. Bei entsprechender Wahl der Parameter ist aber auch eine atomare Schweißverbindung möglich (»Electro-Magnetic Pulse Welding«, EMPW).

Das am IWS angewendete Verfahren nutzt eine stromdurchflossene Werkzeugspule, die, etwa an einem Rohrende, mittels ihres Magnetfelds Wirbelströme in ein Bauteil einkoppelt. Die Überlagerung von Feld und Strom führt zu Lorentzkräften, die das Rohr schlagartig komprimieren. Prallt das Rohr dabei auf ein Gegenstück, etwa eine Welle, ergibt sich bei geeigneter Anordnung und ausreichender Geschwindigkeit eine flächige stoffschlüssige Verbindung mit extrem geringem Wärmeeintrag und ohne Wärmeeinflusszone.

Die für die Umsetzung des Verfahrens erforderliche Anlagentechnik wurde in Kooperation mit dem Hochfeldlabor des Forschungszentrums Dresden-Rossendorf entwickelt. Daran werden durch das IWS sowohl Grundlagenuntersuchungen zur Weiterentwicklung des Verfahrens betrieben, als auch industriennahe Aufgaben zum Fügen von Mischverbindungen oder zur Verfahrensoptimierung durchgeführt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Analyse der Ausbildung der Grenzfläche zwischen den Materialien, da diese eine Schlüsselstellung für die Belastbarkeit einer Verbindung einnimmt. Die Untersuchungen helfen, das Verfahren nicht nur besser zu verstehen, sondern es auch gezielt auf gewünschte Eigenschaften hin zu optimieren.



## ERGEBNISSE

Mischverbindungen verschiedener Materialkombinationen (Abb. 1) wurden in einem breiten Parameterfeld auf ihre Eigenschaften hin untersucht. Die Fähigkeit des Verfahrens, stark unterschiedliche Metalle atomar verschweißen zu können, wurde bestätigt. Durch die metallographische Charakterisierung (Abb. 2) sowie REM- und TEM-Analysen (Abb. 3) konnte dabei erstmals gezeigt werden, dass an den untersuchten Materialkombinationen Al / Cu und Al / Stahl auch in scheinbar übergangszonenlos geschweißten Mischverbindungen nanoskalige intermetallische Phasen an den Grenzflächen auftreten. Dabei war nicht nur die Phasensaumdicke abhängig von der eingebrachten Pulsenergie, sondern auch der auftretende Phasentyp. Erst durch höchstauflösende TEM-Aufnahmen wurde ersichtlich, dass derartige Säume quasi durchgehend auftreten, wenn auch abschnittsweise mit sehr geringen Schichtdicken im Bereich von 50 nm – 200 nm. Die Analysen zeigten weiterhin, dass in den Säumen ab einer Dicke von 5 µm Risse auftreten können.

Durch Optimierung der Fügeparameter, speziell der Minimierung der Pulsenergie, konnte an allen untersuchten Materialkombinationen die Ausbildung der intermetallischen Phasen stark reduziert und eine hohe Nahtqualität der axialsymmetrisch gefügten Bauteile erreicht werden. Relevant für das Verständnis der Nahteigenschaften ist auch die Kenntnis der Veränderungen in der nahen Umgebung der Grenzfläche. Hier wurden in Kupfer-Aluminium-Nähten druck- bzw. verformungsinduzierte Rekristallisationszonen mit Ultra-Feinkorngefüge in der direkten Umgebung der Grenzfläche festgestellt. Diese sind ein Nebeneffekt des physikalischen Prinzips und tragen ebenfalls positiv zur Erhöhung der Belastbarkeit der Verbindungen bei.

- 1 *Rohr-Zapfen Verbindungen, Mischverbindungen aus Aluminium / Kupfer bzw. Aluminium / Stahl*
- 2 *Lichtmikroskopische Detailaufnahme atomar verschweißter Aluminium-Kupfer-Grenzfläche*
- 3 *Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme einer Grenzschicht zwischen Aluminium und Kupfer mit nanoskaligem Feinkorngefüge*



## KONTAKT

Dr. Gunther Göbel  
 Telefon: +49 351 83391-3211  
 gunther.goebel@iws.fraunhofer.de

