

Magnetimpulsschweißen von Kupferlegierungen

Rebensdorf, A.; Böhm, S. (1)

Die stetig fortschreitende Entwicklung bei der effizienteren Energieausnutzung spiegelt sich branchenübergreifend, insbesondere durch Mischbaukonzepte wieder. Dabei steht die technisch optimale und wirtschaftliche Ausnutzung der Materialien im Fokus. Innovative Konzepte durch Materialsubstitution erschließen neue Möglichkeiten der Ressourcennutzung, wobei das Augenmerk auf die Erneuerung bzw. Optimierung der Fügeverfahren fällt, welche die gewünschten technisch vorteilhaften Materialkombinationen ermöglichen sollen.

schlüssige Verbindungen zu schaffen, welche die Festigkeiten der verwendeten Grundmaterialien übersteigen können. Das Verfahren bietet alternativ aber auch die Möglichkeiten einen kalten Schweißprozess auszuführen, dessen Nachfrage, besonders bei stoffschlüssigen Verbindungen, kontinuierlich ansteigt. Die Wirkenergie des Verfahrens ist der durch das elektromagnetische Feld erzeugte magnetische Druck, welcher die Umformung einleitet. Dabei wird der impulsartige Strom durch eine Werkzeugspule entladen, wobei sich im darüber befindlichen Flyer (z.B. Aluminium oder Kupfer) ein Wirbelstrom bildet. Dies ist auf die Induktionskräfte zurückzuführen,

So bietet die zunehmende Nachfrage nach kalten Fügeverfahren besonders der Magnetimpulstechnologie die Möglichkeit, ihre Potentiale auszuschöpfen. Dies spiegelt sich besonders bei Mischverbindungen wider (z.B. Kupfer-Aluminium-Verbindungen oder Kupfer-Stahl-Verbindungen). Durch das Verfahren wird die Möglichkeit der Integration von Kupferlegierungen als artgleiche als auch artungleiche Materialkombination in unterschiedlichen Anwendungsgebieten (z.B. E-Mobilität, elektromechanische Verbindungen) erhöht. So können rotationssymmetrische als auch flache Schweißungen realisiert werden. Dabei werden im Bereich der Schweißtechnik üblicherweise thermische Fügeverfahren für das Verschweißen von Mischverbindungen eingesetzt. Grundsätzlich kann zwischen zwei Verfahren differenziert werden, den Schmelzschweiß(löt-)prozessen und den Reibschweißprozessen. Die Schmelzschweiß(löt-)prozesse bringen viel Wärme in das Bauteil ein und haben zudem die Notwendigkeit einer sauberen Prozessführung, um möglichst kleine intermetallische Phase zu erreichen. Intermetallische Phasen sind harte Zwischenschichten bzw. homogene chemische Verbindungen der

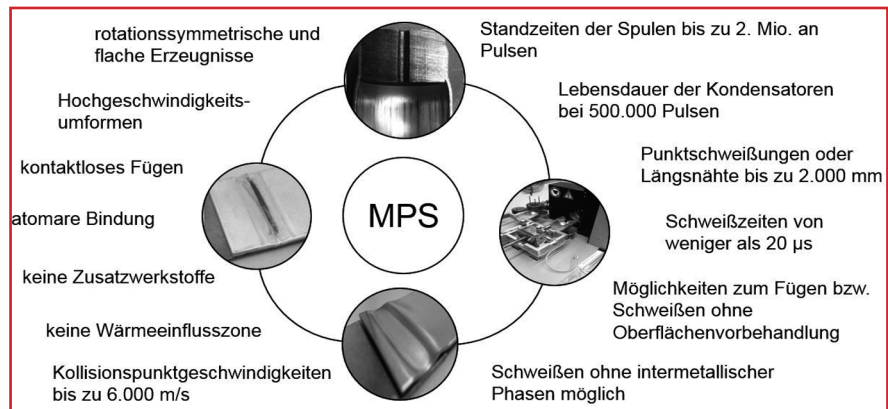


Bild 2: Potentiale und Eigenschaften der Magnetimpulstechnologie

gefügten Metalle und zeigen ein sprödes Verhalten innerhalb der Fügeverbindung auf. Die in ihrer Anwendung begrenzten Reibschweißprozesse erfordern häufig eine aufwendige Spanntechnik, um die entstehenden Reaktionskräfte aufzunehmen und sind auch hinsichtlich der Prozesszeiten nicht effizient genug. Demzufolge sind effiziente Fügeverfahren, welche Mischverbindungen herstellen können, von hohem Interesse.

Stand der Technik

Die Magnetimpulstechnik ist eine Technologie, die für mehrere Fertigungsverfahren eingesetzt werden kann. Dazu zählt neben dem Umformen, Formen, Trennen und dem Pressen auch das erwähnte Schweißen. Wegen den extrem kurzen Prozesszeiten und Umformgeschwindigkeiten von mehr als 10^4 s^{-1} können die Bauteile bis zum Überschallbereich der Luft beschleunigt werden, sodass diese Technik zu den Hochgeschwindigkeitsverfahren zählt. Die Magnetimpulstechnologie (MPT) wird häufig eingesetzt, um ideale form-

welche ein Gegenfeld zum Stromimpuls in der Spule bilden. Hierdurch wird der Flyer beschleunigt und schlägt auf das Target (z.B. Kupfer) auf (Bild 1). Das MPS ermöglicht aufgrund der Prozessmerkmale beide Verfahrensvarianten, Formen und Schweißen, zu vereinen. Eine Schweißung bzw. ein Stoffschluss ist nur dann realisierbar, wenn eine Relativbewegung zwischen beschleunigtem Flyer und Target besteht. Dies bedeutet für das MPS, dass ein Abstand von wenigen Millimetern zu Beginn des Schweißprozesses zwischen den Fügepartnern existieren muss. Liegt dieser nicht vor, so wird ein Formen bzw. Crimpen realisiert. Daraus ergibt sich eine Vielzahl an Möglichkeiten (Bild 2).

Magnetimpulsschweißen von artgleichen und artungleichen Verbindungen

Die MPT ermöglicht nicht nur das Fügen von rotationssymmetrischen Bauteilen, sondern eignet sich ebenfalls für das Fügen von flachen Komponenten. Dabei

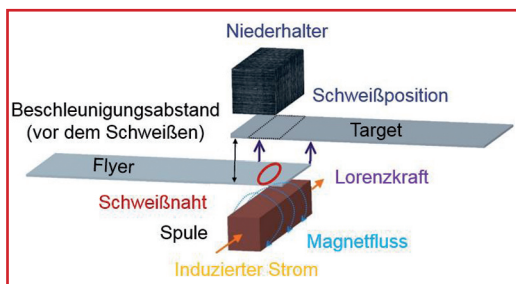


Bild 1: Prinzipskizze des Magnetimpulsschweißens (MPS)

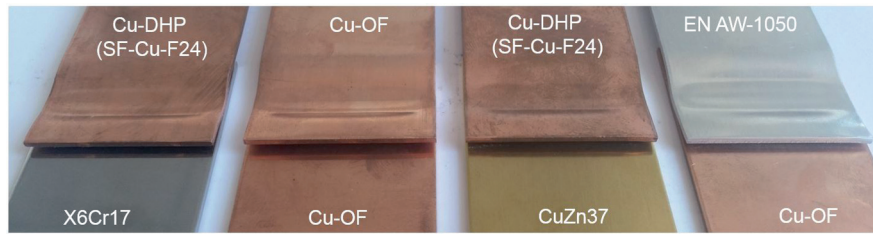


Bild 3: Magnetimpulsschweißen von Mischverbindungen

können sowohl artgleiche als auch artungleiche Materialkombinationen reproduzierbar gefügt bzw. verschweißt werden. Bei artgleichen Verbindungen werden Aluminium und Kupfer [5,6,7], Aluminium und Stahl [1,2,8,9,13-16], Aluminium und Magnesium [10], Aluminium und Messing [11], Aluminium und Nickel [12], Aluminium und metallisches Glas [4] sowie beschichtete Stähle und Aluminiumlegierungen [2,3,13,14] realisiert. Bei artgleichen Verbindungen werden Aluminium und Aluminium, Kupfer und Kupfer usw. verschweißt.

Die Möglichkeit unterschiedliche Materialkombinationen mittels der Magnetimpulstechnik zu verschweißen resultiert aus den Bindungsmechanismen der Aufschlagschweißverfahren. Demnach wird

technologischen Besonderheiten konventioneller Schmelzschweißverfahren (z.B. MIG, WIG) in Form von z.B. Vorwärmen, Schweißzusatzwerkstoffen oder Schutzgas sind beim MPS nicht erforderlich. Das gleiche betrifft auch die konventionellen Pressschweißverfahren (z.B. Reibschweißen, Ultraschallschweißen, usw.) bei denen hohe Anforderungen an die Fügefläche gestellt sind. Das MPS profitiert hier durch die Vorgänge der Verbindungsbildung. Aufgrund hoher Aufschlaggeschwindigkeiten und des daraus resultierenden hohen Drucks im Kollisionspunkt werden die Grenzschichten der Fügepartner aufgebrochen und durch den entstehenden Massestrom (Jet) die Fügefläche für die Verbindungsbildung vorbereitet. So liegen insbesondere bei Werkstoffen

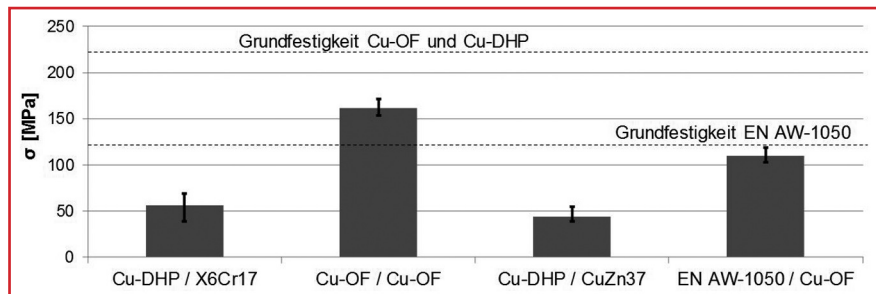


Bild 4: Quasistatische Festigkeit der magnetimpulsgeschweißten Mischverbindungen bei gleichen technologischen Prozessparametern

die kinetische Energie der beschleunigten und kollidierenden Bleche genutzt, um den Elektronenaustausch der beiden Fügepartner zu gewährleisten. Dabei erfährt die Grenzschicht des Targets eine plastische Deformation. Exemplarisch zeigt Bild 3 die Möglichkeiten von magnetimpulsgeschweißten Mischverbindungen.

Die resultierenden Mechanismen der Verbindungsbildung beim MPS ermöglichen selbst bedingt bzw. nicht schweißgeeignete Legierungen (z.B. Cu-Zn) zu verschweißen. Dabei werden neben den Festigkeiten des schwächeren Grundwerkstoffes ideale Bedingungen für den Einsatz in der Elektrotechnik, Kälte- und Wärmetechnik sowie E-Mobilität geschaffen. Die

wie bspw. Aluminium- oder Kupferlegierungen geringe Anforderungen an die Fügeoberfläche vor. Exemplarisch sind die unterschiedlichen Materialkombinationen mit den gleichen Prozessparametern geschweißt worden ($I=330$ kA, $f=19,7$ kHz, $h=1,5$ mm, Flachspule B80/5) und anschlie-

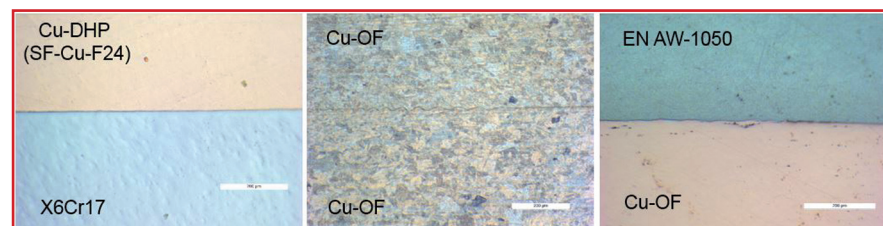


Bild 5: Mikroschliffe (quer zur Kollisionsrichtung) der Mischverbindungen

ßend zerstörend geprüft (Bild 4). Für die Schweißversuche wurde die fachgebiets-eigene Magnetimpulsanlage „BlueWave 48-16“ der Firma PSTProducts verwendet. Die unterschiedlichen Festigkeitswerte resultieren aus den Bindungsmechanismen des Magnetimpulsschweißens. Demnach müssen für höherfeste Legierungen höhere Kollisionspunktgeschwindigkeiten gewählt werden, um die kritische Energie der plastischen Deformation der jeweiligen Materialkombinationen zu überwinden. So können unterschiedliche Materialkombinationen nach unterschiedlichen Anforderungen verschweißt werden (z.B. hohe Anforderungen an die elektrische Leitfähigkeit mit geringen Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der Verbindung).

Die Ergebnisse der Kurzstudie zeigen in Verknüpfung mit den Mikroschliffen (Bild 5) das hohe Potential des Verfahrens. So können Mischverbindungen mit kleinsten intermetallischen Phasen hergestellt werden, welche bei optimaler Einhaltung der Prozessparameter sogar komplett vermieden werden können.

Aus den technologisch-wirtschaftlichen Vorteilen der Magnetimpulstechnik ergeben sich branchenübergreifend die Anwendungsgebiete und können kategorisiert werden in:

- W** Fahrzeugbau (z.B. Karosserie, Antriebsstrang, Bodengruppe), Transportwesen (z.B. Anhänger und Behälterbau, Leichtbauachsen, leichte Behälter, um das Leergewicht zu reduzieren)
- W** Schiffsbau (z.B. direktes Fügen der Schiffsaufbauten ohne STJs), Schienenfahrzeugbau (z.B. Außenhaut-Bepflankungen), Bauwesen (z.B. Fassadenbau, Geländerbau, Klimatechnik)
- W** Tieftemperaturtechnik (z.B. Übergang von Stahl- auf Aluminium-Rohre, z.B. für Wärmetauscher)
- W** Luft- und Raumfahrt (z.B. Verbindung von Aluminium- und Titan-Bauteilen, Vakuumtechnik)
- W** Elektrotechnik (z.B. Electrical-Transition-Joints (ETJ)),

