

Löten als Schlüssel zum ressourcen- und energieeffizienten Fügen

Die fortschreitende Entwicklung neuer Werkstoffe stellt die Fügetechnik vor die Herausforderung, geeignete Verfahren und Methoden für deren Bearbeitung zur Verfügung zu stellen. Nicht nur im Automobilbau kommt bei der Entwicklung neuer Produkte immer öfter die Material-Mix-Bauweise zur Anwendung. Als ressourcen- und energieeffiziente Alternative bietet sich das Fügen mittels Lötverfahren an.

Für Verbindungen, die eine hohe Festigkeit bei geringem spezifischem Gewicht erfordern, ist das Schweißen die erste Wahl. Je nach Werkstoffkombination können beim Ausbilden einer gemeinsamen Schmelze mit anschließender Erstarrung intermetallische Phasen entstehen, die in vielen Fällen für die Anwendung untaugliche Eigenschaften aufweisen. Ein weiterer entscheidender Nachteil des Schweißens ist die fehlende Lösbarkeit für Reparatur- oder Recyclingzwecke. Neben der Möglichkeit der Anwendung anderer, beispielsweise form- oder kraftschlüssiger Fügeverfahren besteht großes Potenzial durch den Einsatz von Lötverfahren. Da hier artfremde niedrigschmelzende Zusatzwerkstoffe eingesetzt werden, können deren Schmelzbereiche deutlich unterhalb der Solidustemperatur der zu fügenden Bauteile liegen. Als Lötzusatzwerkstoffe kommen zum Beispiel Legierungen auf Fe-, Cu-, Ag-, Ni-, Zn- oder Sn-Basis zum Einsatz. Damit steht eine Vielzahl an Legierungen mit einem weiten Spektrum an Eigenschaf-

ten zum Löten zur Verfügung. Durch Weiterentwicklungen nimmt sie stetig zu. Der Anwender kann je nach den Anforderungen an den Schmelzbereich, wie die benötigte Festigkeit und Duktilität oder die Verarbeitungseigenschaften, den geeigneten Werkstoff auswählen. Der in der Literatur oft beschriebene Nachteil der geringen Festigkeit von Lotwerkstoffen trifft auf neu entwickelte Legierungen nicht mehr zu. So sind zum Beispiel Zusatzwerkstoffe auf Kupfer-Basis mit einer Festigkeit von nahezu 1000 N/mm² verfügbar. Das Einsatzspektrum des Lötens wird auch durch die in der Entwicklung befindlichen niedrigschmelzenden Zusatzwerkstoffe auf Eisen-Basis ergänzt und ausgebaut werden.

Waren in der Vergangenheit Machbarkeit und Produktivität entscheidende Kriterien für die Auslegung von Fertigungsprozessen, so ist durch die zunehmende Verknappung der Rohstoffe, die steigenden Energiepreisen, die wachsende Energienachfrage bei sinkenden Energiereserven,

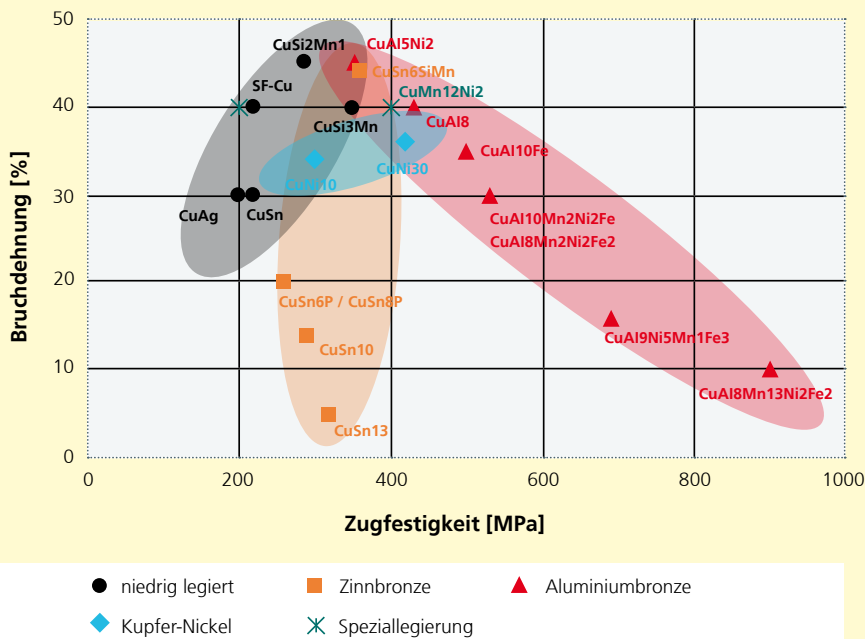
aber auch zur Reduzierung der CO₂-Emissionen und durch Restriktionen der Politik eine Integration der Anforderungen an Energieeffizienz und Nachhaltigkeit dringend erforderlich. Die Steigerung der Effizienz eines thermischen Fügeverfahrens wird davon bestimmt, wie viel Energie für die Verbindung aufgebracht werden muss. Diese Energiemenge hängt zum einen davon ab, wie viel Energie erforderlich ist um den Werkstoff aufzuschmelzen und wie viel Energie in das Bauteil, die Spannvorrichtung und dergleichen dissipiert wird.

Daraus ergeben sich mehrere Ansätze zur Erhöhung der Energieeffizienz. Der erste Ansatz ist die Verringerung der benötigten Energie durch Absenkung der Schmelztemperatur des Zusatzwerkstoffes, wodurch die aufzubringende Gesamtenergiemenge reduziert wird. Ein weiterer Ansatz beruht darauf, die Fügezone zu verkleinern. Erreicht werden kann dies zum Beispiel durch den Einsatz eines geregelten Lichtbogenprozesses. Dadurch

Beispielrechnung für Kostenvorteile durch Löten verzinkter Halbzeuge

Konventionell Schweißen + Verzinken		Löten verzinkter Halbzeuge mit Kupferlegierung	
Stahlprofil, 40 kg	40,00 €	44,00 €	Verzinktes Stahlprofil, 40 kg
Stahlblech, 40 kg	40,00 €	44,00 €	Verzinktes Stahlblech, 40 kg
SG2, 80m, Ø1mm, 500g, 3 €/kg	1,50 €	17,00 €	CuSi3, 80m, Ø1mm, 560g, 30 €/kg
externe Verzinkungskosten 1 €/kg	80,00 €		
Logistik und Transport zum Verzinken	10,00 €		
Summe Material- und Zinkkosten	171,50 €	105,00 €	Summe Material- und Zinkkosten
Der anlagen- und prozesstechnische Aufwand zum MIG-Schweißen und Löten ist vergleichbar.			

Mechanische Eigenschaften der Füge-naht für kommerziell verfügbare Kupferzusatzwerkstoffe



sind deutlich geringere Flankenwinkel möglich, wodurch wiederum ein geringeres Löt-nahtvolumen und somit eine Energieersparnis ermöglicht wird. Um die Energieeffizienz weiter zu erhöhen, müssen auch die Energieverluste beim Fügevorgang minimiert werden. Mit steigender Vorschubgeschwindigkeit steigt der Energieanteil (P_{diff}), der ungenutzt in das Bauteil abgeleitet wird, weniger stark an als die Energiemenge (P_{konv}), die zum Erwärmen des Werkstoffes notwendig ist. Der thermische Wirkungsgrad (η) nimmt deutlich zu. Werden die beschriebenen Ansätze konsequent weiterentwickelt, ergibt sich für das Löten ein Energieeinsparpotenzial von über 20 Prozent.

Neben den reinen Energiekosten, welche durch eine Verringerung der Füge-temperatur reduziert werden können, ergeben sich durch das Löten weitere Kostenvorteile. Durch die geringeren Verarbeitungstemperaturen tritt in vielen Fällen auch ein geringerer Bauteilverzug auf, was zu einer Reduzierung der Nacharbeit und damit verbundener Kosten beziehungs-

weise zu einer höheren Produktqualität führt. Bei Schweißkonstruktionen, welche zum Korrosionsschutz verzinkt werden, eröffnen sich durch niedrige Füge-temperaturen neue Möglichkeiten. Statt nach dem Schweißen die gesamte Konstruktion zu verzinken, können auch verzinkte Halbzeuge eingesetzt werden, wenn beim Fügen die Zinkbeschichtung nicht zerstört wird.

Löten in Kombination mit niedrigschmelzenden und hochfesten Zusatzwerkstoffen bietet für eine Vielzahl von Fügeaufgaben und über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg die Möglichkeit der deutlichen Steigerung der Energie- und Ressourceneffizienz. Zusätzlich bietet das Löten klare Kostenvorteile, ohne dass Investitionen in neue Anlagen und Ausrüstung notwendig sind. Jedoch sind konventionelle Prozessketten zu überdenken, wie beispielsweise verzinkte Halbzeuge zu löten, anstatt geschweißte Baugruppen als kostenintensives Stückgut nach dem Fügen zu verzinken.

Brazing – Key Technology for Resource- and Energy-Efficient Joining of Materials

Energy considerations for welding processes show that only a small percentage of 10 to 20 percent of the energy used for the actual process is required to join materials. A significant reduction of energy is possible by means of brazing processes and new concepts for filler materials. The impact of new concepts can lead to an energy saving of up to 50 percent. This also allows for considerable cost savings. This can be achieved by modifying the whole process chain, for example to braze zinc-coated steel profiles instead of galvanizing welded assemblies made of uncoated steel. Today, Cu-based low melting filler materials with a high strength of up to 1000 MPa are commercially available.

Ihr Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. habil. Johannes Wilden
Tel.: +49 30 314-28247
E-Mail: johannes.wilden@tu-berlin.de