



Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV München - Niederlassung der GSI mbH

Bericht 5145/08

AiF-Nr. 14.537 N

DVS-Nr. 5.033

Untersuchungen zum plastischen Fügen von Mischverbindungen mit speziell konturierter Kegelgeometrie

Der Bericht darf nur ungekürzt und unter Nennung der Urheberschaft der SLV München, NL der GSI mbH, veröffentlicht werden. Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV München.

Der Bericht enthält 123 Seiten.

Mai 2008

Zusammenfassung

Das plastische Fügen mit speziell konturierter Fügegeometrie ist ein Fügeprozess für Mischverbindungen, der unter Anwendung der Reibschweißstechnik mehrere Bindungsmechanismen kombiniert. Im Vergleich zum herkömmlichen Reibschweißen von Stumpfverbindungen mit ebenen Reibstirnflächen wird eine kegelförmige Fügezone mit zusätzlicher Konturierung verwendet, die gerundet, scharfkantig, grob- oder feingliedrig ausgeführt ist - vergleichbar einer Kegelschraube, nur ohne Steigung. Aufgrund der bei Mischverbindungen unterschiedlichen Warmverformbarkeit beider Werkstoffe verformt sich nur der weichere Werkstoff und passt sich so der Kontur des härteren Werkstoffes an, die unverformt bleibt. Durch die Rotation und Reibungswärme entsteht eine warmplastische Verschraubung ohne Steigung. Bei der Abkühlung der Verbindung entsteht durch definierte unterschiedliche Schrumpfung beider Werkstoffe ein überlagerter Schrumpfsitz. So werden für die Mischverbindung insgesamt drei Verbindungsmechanismen genutzt: Die plastische mechanische Verklammerung in Hinterschneidungen (Formschluss), die zusätzliche Überlagerung von Schrumpfspannungen, und eine metallische Reibschweißverbindung, die vollflächig oder nur partiell abhängig von der "Schweißbeignung" der Werkstoffe und der Oberflächenreinheit entsteht.

Unterschiedlich konturierte Fügeflächen wurden konzipiert, in einem Konturenkatalog zusammengestellt und bezüglich ihrem Verhalten beim plastischen Fügen von Mischverbindungen untersucht. Geeignete Arbeitsbedingungen zeigen sich vor allem bei einer Konturteilung von 15° - sowohl mit feingliedrig scharfkantiger "Gewinde"-Kontur als auch mit kerbarm gerundeter Kontur. Plastisch gefügte Verbindungen von C45 $\varnothing 12$ bzw. 20 mm mit dem warm- und verschleißfesten PM-Aluminiumwerkstoff AlSi20Fe5Ni2 erzielten Zugfestigkeitswerte nahe oder über der des PMAI-Grundwerkstoffes. Bei zyklisch-mechanischer Beanspruchung (Biegung wechselnd und Zug schwellend) tritt der Bruch im Konturansatz durch die Stahlwelle (erste Kerbe) auf - vergleichbar dem Bruch einer Verschraubung im Gewindeansatz. Die Verbindung entlang der Fügekontur bleibt unzerstört. Partielle unterbrochene Konturen durch zusätzliche Längsnuten verbessern die Plastifizierung bei reduzierter Einreibtiefe und steigern die Torsionsfestigkeit (C45/PMAI, $\varnothing 12$ mm, >130 Nm, Abscherung im Stahl). Das plastische Fügen erschließt neue Anwendungen für Mischverbindungen hoher Tragfähigkeit, die mit bisherigen Füge-technologien nicht geeignet herzustellen sind. Aufgrund innerer Verformung ohne Außenwulstbildung ist eine wirtschaftliche Fertigung ohne unmittelbare Vor- und Nachbearbeitung möglich. Untersuchte Applikationsbeispiele von Stahlbolzen in Aluminiumguss ($\varnothing 12$ mm, Auszugkraft 35 kN), von Stahl-Hohlstützen in Al-MMC-Blech (6061+15%Al₂O₃, t = 4 mm) bis hin zu Metall/Kunststoff-Verbindungen ($\varnothing 12$ mm C45-Bolzen in PP, Auszugkraft 4,2 kN) zeigen das hohe Innovationspotential, das durch die Untersuchungsergebnisse für viele Arten von Mischverbindungen neu erschlossen wird.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Untersuchungen zum plastischen Fügen von Mischverbindungen mit speziell konturierter Kegelgeometrie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
---	-----------------	---

1 Einleitung

Mit zunehmenden Anstrengungen zur Recourceneinsparung sind Leichtbau und Mischbauweise in den letzten Jahren zu einem zentralen Thema bei innovativen Fertigungsprozessen und Produkten avanciert. Füge-technologien für Mischverbindungen werden als essentielles Werkzeug der Fertigungstechnik gefordert, weil sie u.a. ausgezeichnete Chancen für Produktinnovationen bieten. Da ein einzelner Werkstoff die Vielzahl gleichzeitiger Anforderungen nicht erfüllen kann, müssen mehrere Werkstoffe in einem Bauteil kombiniert werden, um eine applikationsorientierte maximale Werkstoffausnutzung zu erreichen. Beim Fügen von Mischverbindungen mit unterschiedlichen Werkstoffen konkurrieren verschiedene Technologien:

Die herkömmliche mechanische Verbindung mittels Verschraubung oder Presssitz lässt sich für Mischverbindungen einsetzen, z.B. um Stahl-Gewindesteubolzen in Aluminiummotorblöcken zu befestigen oder um Stahlwellen für Elektromotoren in Aluminiumgussgehäuse einzupressen. Unter erhöhten mechanischen, thermischen oder betriebsdynamischen Belastungen kann die Anwendbarkeit dieser Verbindungen eingeschränkt sein. Zudem sind zusätzliche Vorarbeiten (Zerspanung, Reinigung) und ggf. zusätzliche Hilfsmittel (Kleber) erforderlich.

Verfahren zum mechanischen Fügen sind meist geometrisch auf typische Dünoblechverbindungen spezialisiert. Für Wellenverbindungen oder Welle/Blech-Verbindungen sind diese Verfahren i.d.R. nicht einzusetzen.

Herkömmliche Schmelzschweißverfahren sind für Mischverbindungen aufgrund der unterschiedlichen Schmelztemperaturen meist nicht einsetzbar. Demgegenüber gibt es eine Reihe von Pressschweißverfahren (z.B. Diffusionsschweißen, Reibschweißen, Ultraschallschweißen, etc.) mit denen Mischverbindungen gut herstellbar sind; bei maximalen Füge-temperaturen unterhalb der Schmelztemperatur und unter zusätzlicher Krafteinwirkung. Die Verbindungsmechanismen der Diffusion und Adhäsion ermöglichen hierbei die Verbindung unterschiedlicher Metalle als Mischverbindung.

Das Reibschweißen eignet sich grundsätzlich zur Herstellung vieler Mischverbindungen, die mit anderen Schweißverfahren nicht geeignet herstellbar sind. Konventionell werden Mischverbindungen beim Reibschweißen als Stumpfverbindung mit ebenen Stirnflächen (plan) ausgeführt. Die Reibschweißbeignung kann dennoch für bestimmte Werkstoffpaarungen, z.B. für Mischverbindungen aus Stahl/Al-Guss, Stahl/Hartmetall, Stahl mit NE-MMCs, u.s.w. in Verbindung mit unterschiedlichen Dimensionen oder Querschnittsverhältnissen an der Fügestelle eingeschränkt sein.

Eine neuartige Verbindungsgeometrie für das Reibschweißen, eine speziell konturierte Kegelgeometrie mit Hinterschneidungen (Bild 1), bietet die Möglichkeit zum plastischen Fügen artfremder Werkstoffe, die bisher nicht reibgeschweißt oder auf andere Weise qualitativ hochwertig und wirtschaftlich gefügt werden können. Dieser Bericht gibt einen Überblick über die Anwendungsbedingungen und die Verbindungseigenschaften beim plastischen Fügen mit unterschiedlichen geometrischen Konturen und Werkstoffkombinationen. Mit Einsatz dieser Verbindungskonturen zum

plastischen Fügen eröffnet sich eine wesentliche Erweiterung der Reibschweißtechnik zum Fügen von Werkstoffkombinationen.