AiF-Nr. 13.783 N / DVS-Nr. 03.056 – Zwischenbericht zum 03.04.2006

1 Forschungsthema

Qualifizierung und Nutzung der Hybrid-Synergieeffekte zum Hochleistungsschweißen von Leichtmetallwerkstoffen

2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Wachsende Bestrebungen zur umweltverträglichen Leistungssteigerung technischer Produkte und Prozesse fordern die Entwicklung und Umsetzung innovativer energie- und rohstoffsparender Gestaltungskonzepte. Dies impliziert einerseits die Qualifizierung und Integration neuartiger verarbeitungs- und recyclingfreundlicher Werkstoffsysteme mit anwendungsspezifisch optimierten technologischen Eigenschaften und zum anderen die Verfügbarkeit werkstoffgerechter Fertigungstechnologien. Aluminium- und Magnesiumlegierungen erfüllen in zunehmendem Maße alle Voraussetzungen für die Verwirklichung von neuartigen Leichtbaukonstruktionen. Gründe hierfür sind vor allem ein niedriges spezifisches Gewicht in Verbindung mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften.

Die Umsetzung moderner Leichtbaukonzepte erfordert allerdings die Entwicklung geeigneter Fügekonzepte, denn verbesserte Werkstoffeigenschaften können nur wirksam werden, wenn die Verbindungstechnik die Übertragung der Eigenschaften auf die gesamte Struktur erlaubt. Die Verbindungen sind Bestandteil der tragenden Konstruktion und müssen daher die notwendigen Festigkeitswerte erfüllen. Eine gute Ausnutzung der Werkstoffeigenschaften lässt sich meist durch Schweißen erreichen. Allerdings sind bei Aluminium- und Magnesiumlegierungen im Vergleich zur Fertigung von Stahlkonstruktionen einige Besonderheiten zu berücksichtigen.

Das MSG-Schweißen hat sich als eines der wichtigsten Schmelzschweißverfahren zum Fügen von Leichtmetallen herausgestellt. Seine hohe Wirtschaftlichkeit, die große Flexibilität des Prozesses hinsichtlich wechselnder Bauteilformen und -abmessungen und die erreichbaren verfahrenstechnischen Vorteile sind einige der Faktoren, die für den Einsatz dieses Verfahrens sprechen. Vorangetrieben durch die in den letzten Jahren erreichten gerätetechnischen Entwicklungen wurde angestrebt, die Abschmelzleistung und die Schweißgeschwindigkeit dieses Verfahrens auch bei der Verarbeitung von Leichtmetallen weiter zu erhöhen. Derzeit erscheint aber auch auf diesem Gebiet eine gewisse Prozessgrenze erreicht zu sein.

Das Laserstrahlschweißen von Leichtmetallen wird bereits industriell eingesetzt. Trotz der hohen Schweißgeschwindigkeiten, Leistungsdichte und Einschweißtiefe ist jedoch der Wirkungsgrad sehr gering und die Anforderung an die Fugentoleranzen (Spaltüberbrückbarkeit, Versatz) sehr hoch. Die Anwendung von Verfahrenskombinationen (Strahl- und Lichtbogenverfahren) zielt daher darauf ab, durch die Verknüpfung der Eigenschaften der jeweiligen Fügeverfahren eine prozesssichere und wirtschaftliche Verfahrensvariante zu gewährleisten.

3 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

Die Gesamtzielsetzung des Projektes beinhaltet eine Erweiterung technologischer Grundvoraussetzungen für eine werkstoffgerechte Fertigung von Bauteilen aus Leichtmetalllegierungen mithilfe der strahlgestützten MSG-Verfahren. Hierbei soll im Rahmen eines ganzheitlichen, sowohl Werkstoff-, Fertigungs- als auch Konstruktionsaspekte gleichermaßen integrierenden Ansatzes, das Potenzial der Laserstrahlverfahren aufgezeigt und zur vollen Entfaltung gebracht werden. Die Arbeitsergebnisse sollen ermöglichen, Aluminium- und Magnesiumlegierungen

durch Hybridschweißverfahren qualitätsgerecht zu fügen und die Vorteile dieser Technik hinsichtlich der Anwendbarkeit in Leichtbaukonzepten auszunutzen.

Neben Untersuchungen zum MSG-Laser-Hybridschweißen im Dickblechbereich, bis zu 20 mm Blechdicke bei den Aluminiumwerkstoffen, wurden Untersuchungen zur Parameterbestimmung im Dünnblechbereich (2 mm) durchgeführt. Im Dickblechbereich gelang es durch Reduktion der Plasmafackel, die Verfahrgeschwindigkeit drastisch zu erhöhen.

Des Weiteren zeigten die EDX-Analysen im Dickblechbereich, bei denen der Siliziumgehalt als Bezugswert herangezogen wurde, dass ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Nahtvorbereitung in Y-Form und einer gleichmäßigen Durchmischungen besteht. Es konnte festgestellt werden, dass eine optimierte Spaltform eine gleichmäßige Verteilung des Schmelzbades positiv beeinflusst.

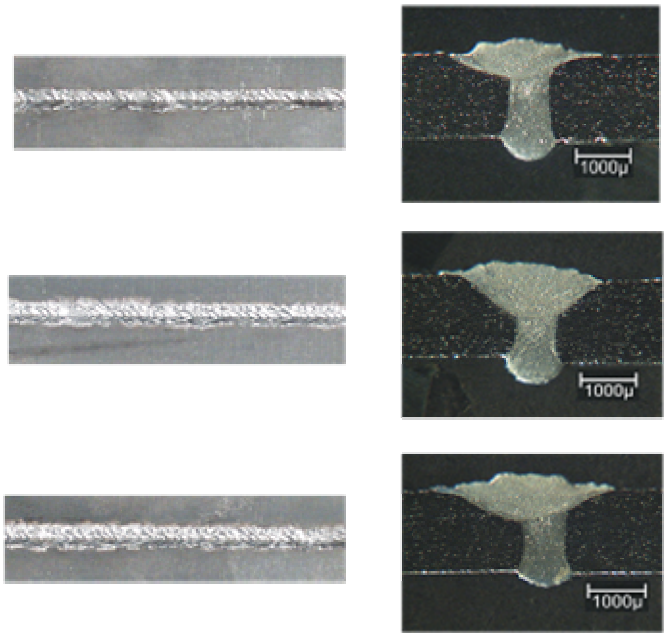
Da auf dem Gebiet des MSG-Laser-Hybridschweißens noch keine Untersuchungen zur Anwendbarkeit bei Magnesiumlegierungen durchgeführt worden waren, wurden zuerst grundlegende Versuche durchgeführt. Für diese Versuche stand ein 2,2 kW Nd:YAG-Laser der Firma Rofin-Sinar zur Verfügung. Die Versuche wurden an 2 mm dicken Magnesiumblechen, Magnesium-Knetlegierung AZ31 (MgAl3Zn), durchgeführt. Als Zusatzwerkstoff wurde die Magnesium-Knetlegierung AZ61 (MgAl6Zn) verwendet.

Aufbauend auf die grundlegenden Studien zur Parameterfindung wurden weiterführende Untersuchungen zu den Einflüssen der Schweißspannung, der Drahtvorschubgeschwindigkeit, sowie der Schutzgaszusammensetzung und der Flankendynamik durchgeführt. Der Schweißprozess konnte bei einer Schweißgeschwindigkeit von v_S= 5,0 m/min und einer Schweißspannung im Bereich von 17,5 bis 18,5 V, sowie einer Laserleistung von PL= 2,2 kW optimiert werden.

Weiterhin wurde die Nahtgeometrie untersucht. Hierzu gehörten Versuchsreihen zur Abstützung der Schmelze durch Formiergas ebenso wie eine Badsicherung durch Schienen aus verschiedenartigen Werkstoffen. Zudem konnte mit dem Überlappstoß ein Parameterfenster ermittelt werden, dass eine unproblematische Schweißung ermöglicht. Bei einer auf 4,0 m/min abgesenkten Schweißgeschwindigkeit und ansonsten nur leicht veränderten Parametern zeigte sich, dass der Prozess auch auf Bleche größerer Dicke übertragbar ist.

Nach den verschieden Untersuchungen zur Etablierung eines stabilen Prozessfensters zum Laser-MIG-Hybridschweißen von Magnesiumlegierungen, wurden Versuche zur Spaltüberbrückbarkeit durchgeführt. Für die Untersuchungen der Schweißungen mit definierten Luftspalten wurden die Schweißspannung und die Drahtgeschwindigkeit so angepasst, dass sich das zusätzliche Volumen optimal füllen lässt und sich optisch einwandfreie Nähte ergeben. Es konnten Luftspalte bis zu einer Breite von 0,2 mm ohne Probleme gefügt werden, siehe Bild 3.1. Bei Luftspalten einer Breite von 0,3 mm traten aufgrund der unter den Probeblechen eingeschlossenen Luft Strömungseffekte auf, die eine vollständige Durchschweißung der Bleche ab ca. 50 % Schweißnahtlänge nicht mehr zuließen. So stellt ein Spalt von 0,3 mm die Grenze für einen stabilen Schweißprozess dar.

Die Schweißproben zur Untersuchung der Spaltüberbrückbarkeit wurden vor den zerstörenden Werkstoffprüfungen einer Röntgendurchleuchtung unterzogen. Die Röntgenuntersuchungen bestätigen die Ergebnisse aus den Makroschliffen der Schweißproben. Sie lassen keine messbare Porosität erkennen, so dass ein Einfluss auf die Festigkeitswerte der Schweißnähte ausgeschlossen werden kann. Bei allen Proben mit einem Spalt bis 2 mm bleibt die Prüfung ohne negativen Befund.



Spalt: 0,0 mm
U_P= 17,7 V
v_D= 3,9 m/min
U_{ist}= 16,8 V
I_{ist}= 40,0 A

Spalt: 0,1 mm
U_P= 17,8 V
v_D= 4,0 m/min
U_{ist}= 16,4 V
I_{ist}= 44,0 A

Spalt: 0,2 mm
U_P= 17,9 V
v_D= 4,1 m/min
U_{ist}= 16,4 V
I_{ist}= 52,0 A

Bild 3.1: Versuche mit definiertem Luftspalt

Die mechanisch technologischen Untersuchungen ergaben durchweg positive Befunde. Die mit Querzugversuchen ermittelten Festigkeitswerte erreichen 85 bis 90 % des unverschweißten Grundwerkstoffes. Die erstellten Vickers-Härtelinien ergaben einen größtenteils homogenen Verlauf vom Grundwerkstoff in das Schweißnahtgefüge. Die Werte liegen dabei zwischen 60 und 80 HV.

Ebenso wurde mit freundlicher Unterstützung der Firma Peter Meier Leichtbau GmbH ein Demonstratorbauteil aus einer Aluminiumknetlegierung gefertigt, siehe Bild 3.2. Hierbei gelang es, das Potenzial des Laser-MSG-Hybridprozesses aufzuzeigen.

Bild 3.2: Aluminium-Demonstratorbauteil

4 Wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (kmU)

Der Einsatz von Leichtmetallen nimmt einen immer wichtigeren Platz in der heutigen Industrie ein. Dabei stellt die Fügetechnik eine Schlüsseltechnologie dar. Aus diesem Grund kann die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und Qualität von Schweißverfahren in weiten Bereichen der Industrie zu einer Kostensenkung, Erschließung neuer Marktsegmente und damit ganz allgemein zu einer Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit führen.

Potenzielle Anwendungsbereiche sind u.a. der Behälter- und Apparatebau, die Automobilindustrie, der Schienenfahrzeugbau, die Handhabungsmaschinen (Fertigungsroboter, Textil- und Papierindustrie), Metallbau, etc.

Auf dem Gebiet des Leichtmetallschweißens besteht eine große Nachfrage von Seiten der Industrie an wirtschaftlichen und qualitativ hochwertigen Verfahren, so dass eine hohe Bereitschaft für eine industrielle Umsetzung gegeben ist. Wie aus den Gesprächen mit kmU deutlich wurde, fehlt es derzeit jedoch an aussagekräftigen Ergebnissen, auf deren Basis die Unternehmen eine Abschätzung des Nutzens einer Einführung der strahlgestützten MSG-Schweißung vornehmen können. Diese Basis soll das vorliegende Forschungsvorhaben schaffen. Durch Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse können in kmU Kosten in der Fertigung gesenkt werden, da der Aufwand für die Bauteilvorbereitung gesenkt, die Schweißgeschwindigkeit erhöht und die verarbeitbare Materialart, -dicke und -paarung erweitert werden kann. Ferner ist oftmals eine Verringerung der Leistungen der Strahlanlagen möglich, was die Investitionskosten senkt.

5 Beabsichtigte Umsetzung der angestrebten Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse werden auf Fachvorträgen und Messen, Fachtagungen und Vortragsveranstaltungen sowie in Veröffentlichungen in Fachorganen und im Internet publiziert und abschließend in einem Abschlussbericht übersichtlich dargestellt. Weiterhin werden die Ergebnisse durch den Erfahrungsaustausch über die schon bestehenden intensiven Kontakte zu kleinen und mittelständischen Unternehmen der Allgemeinheit bekannt gemacht. Darüber hinaus werden über die Mitarbeiter des Instituts in Einzelgesprächen mit Anwendern konkrete Lösungsansätze erarbeitet oder Interesse geweckt. Ebenso werden die Erkenntnisse durch einen Personaltransfer von der Universität in die Industrie weitertransportiert so wie auch ein direkter Wissenstransfer und die unmittelbare Nutzung in Unternehmen des projektbegleitenden Ausschuss erfolgt.

6 Durchführende Forschungsstellen

6.1 Forschungsstelle 1:

Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik
RWTH Aachen (ISF)
Pontstraße 49
52062 Aachen
Tel.: 02 41/80-93 870
Fax: 02 41/80-92 170

6.2.1 Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. U. Dilthey
6.2.2 Projektleiter: Dipl.-Ing. N. Wagner