Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV München

GSI SLV
München

Bericht 5158/12

Schlussbericht

IBS 3621b/175/2-IGF 0811-0002

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Entwicklung einer seriellen Kopplung des Plasma- und MSG-Prozesses zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Prozesssicherheit beim Schweißen im Anlagen- und Behälterbau

Der Bericht darf nur ungekürzt und unter Nennung der Urheberschaft der GSI mbH, NL SLV München, veröffentlicht werden. Die gekürzte oder auszugsweise Veröffentlichung bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung der GSI - Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV München.

Der Bericht enthält 87 Seiten.

Juni 2013

GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
Niederlassung SLV München
Schachenmeierstraße 37, 80636 München
Niederlassungsleiterin: Prof. Dr.-Ing. Heidi Cramer

Tel.: + 49 89 12 68 02-0
Fax: + 49 89 18 16 43
Fax: + 49 89 12 39 39 11 (Ausbildung)
Fax: + 49 89 12 68 02-848 (ZfP)
E-Mail: slv@slv-muenchen.de
Internet: www.slv-muenchen.de

Deutsche Bank
Konto-Nr. 752 047 100, BLZ 700 700 24

Postbank München
Konto-Nr. 76 644 802, BLZ 700 100 80

BIC: DEUT DED BMUC
IBAN: DE76 7007 0024 0752 0471 00

USt.-Id.-Nr.: DE 813 013 727
St.-Nr.: 106/5772/0212

GSI- Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, HRB 37719 Düsseldorf, Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Keitel, Aufsichtsrat: Prof. Dr.-Ing. Heinrich Flegel, Vorsitz

DVS

Hinweis:

Das Forschungsvorhaben, Förderkennzeichen IBS-3621b/175/2-IGF0811-0002, wurde aus Haushaltsmitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert.

Die GSI Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV München, übernimmt keine Haftung für Schäden, die aufgrund weiterführender oder fehlerhafter Anwendung der in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse entstehen.

An dieser Stelle möchten wir uns bei den im Rahmen der Durchführung des Vorhabens beteiligten Industrieunternehmen für die gute Zusammenarbeit und die materielle Unterstützung bedanken.

München, den 28.06.2013

Entwicklung einer seriellen Kopplung des Plasma- und MSG-Prozesses zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Prozesssicherheit beim Schweißen im Anlagen- und Behälterbau

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
2 Anlass für das Projekt 2
2.1 Aufgaben und Problembeschreibung 2
2.2 Forschungsschwerpunkte und Projektziele 3
3 Stand der Technik / Theorie 4
4 Experimentelle Randbedingungen 5
4.1 Versuchsaufbau in der ersten Hälfte des Forschungsprojektes 5
4.1.1 Plasma- und MSG-Stromquellentechnik 5
4.1.2 Prozesssteuerung 5
4.2 Versuchsaufbau in der zweiten Hälfte des Forschungsprojektes 6
4.2.1 Plasma- und MSG-Stromquellentechnik 6
4.3 Der Plasma-MSG-Hybridbrenner „Super-MIG® “ 7
4.3.1 Brenneraufbau 7
4.4 Hochgeschwindigkeitsaufnahme- und Messtechnik zur Prozessanalyse 10
4.5 Simulation des PMH-Prozesses 10
4.5.1 Simulationsobjekt 11
4.5.2 Physikalisches Modell 12
4.5.3 Mathematisches Modell und Lösungsmethode 12
4.5.4 Implementierung 13
4.5.5 Prozessparameter 17
4.6 Spannvorrichtungen 17
5 Erprobung und Weiterentwicklung des seriellen Plasma-MSG-Brenners und der Schweißprozesssteuerungen 18
5.1 Grundlagenuntersuchungen zur Erarbeitung geeigneter Schweißparameterbereiche und Randbedingungen beim PMH-Schweißen 18
5.1.1 Schweißparameter 18
5.1.2 Brennerabstände und Schutzgasmengen beim PMH-Schweißen 19
5.1.3 Einfluss der magnetischen Lichtbogenablenkung auf den Schweißprozess 20
5.1.4 Einfluss der Plasmastromstärke und -gasmenge auf das Schweißnahtprofil 21

5.2 Ergebnisse der Lichtbogenuntersuchungen mit moderner HG-Aufnahmetechnik ... 22
5.3 Standzeit unterschiedlicher Brennerentwicklungsstufen ... 23
5.4 Erkenntnisse aus der Prozesssimulation ... 25
6 Technologische Untersuchungen für den Anlagen- und Behälterbau ... 30
6.1 Plasma-MSG-Schweißen von unlegierten Stählen (PA) ... 30
6.1.1 Nahtvorbereitung I-Naht und Hauptschweißparameter ... 30
6.1.2 Nahtvorbereitung V-Naht und Hauptschweißparameter ... 32
6.2 Plasma-MSG-Schweißen von unlegierten Stählen (PC) ... 36
6.3 Plasma-MSG-Schweißen von nichtrostenden Stählen (PA) ... 37
6.3.1 Plasmastichloch Nahtvorbereitung I-Naht und Y-Naht ... 37
6.3.2 Nahtvorbereitung I-Naht mit Badsicherung ... 38
6.3.3 Nahtvorbereitung V-Naht ... 39
6.4 Plasma-MSG-Schweißen von nichtrostenden Stählen (PC) ... 41
6.5 Plasma-MSG-Schweißen von Nickelbasiswerkstoffen ... 42
6.6 Übertragung auf ein praxisrelevantes Applikationsbeispiel ... 42
7 Diskussion ... 43
8 Zusammenfassung ... 44
9 Schrifttum ... 47
10 Anhang ... 49
10.1 Tabellen ... 49
10.2 Bilder ... 58

1 Zusammenfassung

Beim untersuchten Plasma-MSG-Prozess werden zwei Lichtbogenverfahren – das Plasma- und das MSG-Schweißen - in einem Brenner durch eine serielle Anordnung gekoppelt. Um mit dieser neuen und innovativen Schweißtechnologie in der Fertigung wirtschaftliche Vorteile für kleine und mittelständige Betriebe in Bayern zu schaffen, ist eine sichere Funktion der Gerätetechnik Voraussetzung.
In diesem Projekt wurde der Plasma-MSG-Prozess in serieller Kopplung sowie die Schweißprozesssteuerung systematisch untersucht und für einen wirtschaftlichen und qualitativ hochwertigen Einsatz im Anlagen- und Behälterbau weiterentwickelt.
Mit Hilfe der Prozesssimulation sind physikalische Zusammenhänge der seriellen Prozesse, die gegenseitige Beeinflussung der beiden Lichtbögen (Plasma und MSG), die magnetische Ablenkung und die Gasströmungen im Lichtbogenbereich analysiert worden. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Entwicklung einer neuen Brennergeneration ein und stehen in der Zukunft für die Anwender zu Verfügung.

Weiterentwicklung des Hybridbrenners

Die gewonnen Erkenntnisse in der ersten Projekthälfte führten zu einer ständigen Verbesserung des Hybridbrenners. Im Rahmen der Projektlaufzeit wurde der Plasma-MSG Brenner in Zusammenarbeit mit dem Brennerhersteller signifikante Veränderungen an dem Hybridbrenner vorgenommen. So wurde der Hybridbrenner der 2. Generation. mit einem größeren Kühlkreislauf für den MSG- und Plasmaprozess. ausgestattet, wodurch sich die Standzeit des Hybridbrenners deutlich steigerte.
Die Zuführung des MSG Drahtes und die Zuleitung der Schutzgase wurden durch den Einbau eines Schlauchpaketes (Robactadrive) von der Fa. Fronius verbessert. Die Maßnahmen äußerten sich in einer zuverlässigen Drahtförderung und einem daraus resultierenden ruhigeren Lichtbogen.
Bei der 2. Hybridbrennergeneration konnte durch zusätzliche Keramikeinsätze, durch optimierte Schutzgaszuführung und geänderte Plasmadüse eine höhere thermische Belastbarkeit erreicht werden.

Prozesssimulation der Lichtbögen, Schutzgasabdeckung und strömung

Die Prozesssimulation trägt zu einem besseren Verständnis der komplexen physikalischen Vorgänge der kombinierten Prozesse und deren gegenseitige Beeinflussung erheblich bei.
Mit umfangreichen Untersuchungen zum Strömungsverhalten der Schutzgase und zur magnetischen Beeinflussung der Lichtbögen wurden gleichzeitig die Ergebnisse der Prozesssimulationen verifiziert. Bis zu einer Magnetfeldstärke von $B<5mT$ des externen Magnetfeldes zeigten die praktischen wie auch die numerischen Untersuchungen einen nur geringen Einfluss auf die Lichtbögen des Hybridprozesses. Erst beim Anlegen einer Feldstärke $B > 5$ mT konnten die Lichtbögen signifikant beeinflusst werden. Ein Einfluss auf die beiden Lichtbögen ist durch Metallverdampfungen am Draht gegeben. Es wurde nachgewiesen, dass niedrigaktive Schutzgase die Neigung zur Metalldampfbildung und die Querentladung stark reduzieren.
Ebenso zeigt die Prozesssimulation, dass es zu starken Verwirbelungen des Schutzgases in der gemeinsamen Gasdüse kommt. Diese Wirbel verursachen ein ungleichmäßiges Ausströmen der Prozessgase aus der Schutzgasdüse. Am MSG-Gasverteiler werden hohe Strömungsgeschwindigkeiten im oberen Bereich der Schutzgasdüse erreicht, die zur schnellen Vermischung der Prozessgase führen. Im vorderen Bereich des Brenners bewirkten die

hohen Gasgeschwindigkeiten eine ungeeignete Schutzgasabdeckung infolge von Lufteinwirbelungen. Im Bereich des MSG-Lichtbogens wird aufgrund des transienten Strömungsverhaltens keine stabile Prozessgaszusammensetzung erreicht, wodurch ein definierter Tropfenübergang schwierig werden kann.

Experimentelle Schweißversuche

Schweißversuche an Stumpfnähten von unlegierten Stahl S355 werden in der Horizontalposition (PA) an I-, Y und V-Nähten durchgeführt. Am I-Stoß mit 6mm Wandstärke und 0mm Spalt wird eine gleichmäßige und einlagige Schweißnaht erreicht.
Aufgrund der begrenzten thermischen Belastbarkeit konnten bei größeren Blechdicken (mit und ohne Spalt) keine zufriedenstellenden Schweißnähte erzeugt werden. Mit dem Ziel der größeren Tiefenwirkung wurden Versuche mit Y-Nähten (Öffnungswinkel 40°) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein sicheres Durchschweißen der Wurzel mit 2 und 4 mm Steghöhe bei 0mm Spalt möglich ist. Dies wird jedoch erst im Bereich der max. Belastbarkeit des Hybridbrenners erreicht (450 bis 500A MSG-Schweißstrom). Mit einem größeren Öffnungswinkel (50°) und einer Steghöhe von 2mm kann mit einer reduzierten Leistung ein sicheres Durchschweißen erreicht werden. Resultierend aus diesen Ergebnissen wurden weitere Versuche mit Blechdicken von 8 und 10mm als V-Naht mit einem Öffnungswinkel von 40°-30°, Steghöhe 2mm, Spalt 2mm zweilagig durchgeführt. Einlagig war es nicht möglich das Nahtvolumen zu füllen. Es wird eine sichere Durchschweißung erreicht. Die Decklage bindet sich gleichmäßig ohne innere und äußere Schweißnahtunregelmäßigkeiten an die Wurzellage an. Das Vorwärmen der Nahtflanken durch den Plasmalichtbogen stellt einen sehr guten Seiteneinbrand sicher und Flankenbindefehler können sicher vermieden werden.

Bei nichtrostenden Stahlwerkstoffen können Blechdicken bis 10mm, ohne Luftspalt bei Schweißgeschwindigkeiten bis 0,25m/min mit dem Plasmastichlochverfahren geschweißt werden (I-, Y- und V-Nähte, Öffnungswinkel 20-40°). Einlagige Schweißungen sind bis 8mm Wandstärke möglich. Darüber hinaus muss mit zwei oder mehr Lagen (Hybrid) geschweißt werden. Wie auch bei dem Schweißen der niedriglegierten Stahlwerkstoffen muss bei diesen Nahtvorbereitungen mit Spalt geschweißt werden.

Mit dem Impulslichtbogen wurden zweilagige Schweißungen an V-Nähten, 2mm Steghöhe, 2mm Stegabstand ohne Badsicherung mit Schweißgeschwindigkeiten von bis 0,7m/min durchgeführt. Die mit dem Plasma-Hybrid Prozess geschweißten Bleche weisen hohe Nahtgüte auf und können reproduzierbar geschweißt werden.

Für die Untersuchungen an Quernähten (PC) wurden eine HV-Naht (Flankenwinkel 30°, 20° Stegabstand 1mm, Steghöhe 4mm) als Nahtvorbereitung gewählt. Bis zu einer Wandstärke von 8mm kann einlagig der gesamte Schweißquerschnitt aufgefüllt werden. Bei Blechen mit Wandstärken größer als 8mm muss stattdessen zweilagig geschweißt werden. Sowohl auf der Blechoberseite als auch auf der Blechunterseite ist ein kerbfreier Übergang der Schweißnaht gewährleistet. Die Wurzel bildet sich konkav und gleichmäßig aus. Es können unlegierte Stähle in den Wandstärken 8-10mm zuverlässig und reproduzierbar mit einer hohen Nahtgüte geschweißt werden.
Das Schweißen von CrNi-Blechen in der Querposition mit einer Wandstärke von 10mm erweist sich ein kleiner Flankenwinkel von 15° mit der Folge eines geringen Schweißnahtquerschnittes als gut geeignet. Durch das Vorwärmen mit dem Plasmalichtbogen und das

Schweißen mit dem Impulslichtbogen (MSG-Prozess) kann ein gleichmäßiges Schweißnahtprofil ausgebildet werden. Bei Schweißgeschwindigkeiten von 0,5 bis 0,6m/min lassen sich einlagige qualitativ hochwertige Schweißnähte produzieren. Die Schweißnaht weist im ganzen Verlauf keinerlei Poren auf, und die Wurzel ist aufgrund der Formierung mit Stickstoff/Wasserstoff 90/10 ohne Anlauffarben.

Applikation aus der Praxis am Beispiel einer Flossenwand

Flossenwände sind typische Konstruktionselemente im Anlagen- und Behälterbau. Sie bilden die Verbindung zwischen Rohr und Stegblech. Dies wird in der Regel konventionell mit dem MSG-Verfahren geschweißt. Die Nahtvorbereitung wird nach EN 22553 als Halbsteilflankennaht mit einem Flankenwinkel von 15° mit 2,0 mm Steg und 0 mm Spalt ausgeführt. Geschweißt wird einlagig mit einer Badsicherung aus Kupfer zur Wurzelausprägung. Das Plasma-MSG-Schweißen zeigt hier aufgrund der hohen Schweißgeschwindigkeiten, dem sehr guten Seiteneinbrand und dem gut einstellbaren Nahtanfangsbedingungen technische und wirtschaftliche Vorteile gegenüber dem konventionellen MSG-Schweißen auf.
Das Anwendungsbeispiel zeigt, dass die gewonnenen Untersuchungsergebnisse und Erkenntnisse der Forschungsarbeit direkt auf praktische Aufgabenstellungen übertragbar sind. Die Projektergebnisse weisen der weiterentwickelten Gerätetechnik des Plasma-Hybrid Brennersystems ein erhebliches Anwendungspotential nach. Im Anlagen und Behälterbau werden diese von klein und mittelständigen Unternehmen Bayerns umgesetzt, die qualitativ hochwertige und wiederholbare Schweißnahtverbindungen in die Praxis einsetzen müssen.

Die GSI mbH, NL SLV München unterstützt interessierte Anwenderbetriebe bei der Einführung dieser innovativen Fügetechnologie durch Kooperation mit Anlagenherstellern, sowie durch Beratung und Anwendungsentwicklung auf einer eigenen Plasma-MSG-Anlage.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Die Untersuchungen wurden aus Haushaltsmitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert (Förderkennzeichen IBS 3621b/175/2-IGF0811-0002).

Wir bedanken uns für die Förderung dieser Forschungsarbeit. Der Schlussbericht zum Forschungsvorhaben ist von der GSI - Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV München, zu beziehen.

Unser Dank richtet sich auch an folgende Firmen, für die Unterstützung der Forschungsarbeit: PLT Ltd Israel, Technische Universität Dresden, Cloos Schweißtechnik GmbH (Cloos), SBI Produktion techn. Anlagen GmbH & Co KG (SBI), H. BUTTING GmbH & Co. KG, MEYER WERFT GmbH sowie an die Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses.

München, den 28.06.2013

Dipl.-Ing. (FH) M. Müller