

# Schlussbericht

der Forschungsstellen

Technische Universität Braunschweig, Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs)

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Werkstoff- und Fügetechnik (IWF)

zu dem über die



im Rahmen des Programms zur  
Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF)

vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie  
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

geförderten Vorhaben **16.277 BG**

***Metallkundlich-technologische Untersuchungen zum EB-Schweißen mit kombinierter  
Mehrprozesstechnik von austenitisch-ferritischen Stählen ohne Schweißzusatz***

(Bewilligungszeitraum: 01.12.2009 - 31.05.2012)

der AiF-Forschungsvereinigung

Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.

Braunschweig und Magdeburg,

24.09.2012

Ort, Datum

Dr.-Ing. Helge Pries

Name und Unterschrift der Projektleiter an den Forschungsstellen

Dr.-Ing. Manuela Zinke

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Zusammenfassung

Das Ziel des Forschungsvorhabens bestand in der qualitätssicheren Herstellung von EB-Schweißnähten an dickwandigen Bauteilen aus Lean- und Standard-Duplexstählen in Walz- und Gussqualität ohne Schweißzusatz und Lösungsglügen durch die Entwicklung einer an die metallurgischen Besonderheiten dieser Werkstoffgruppe angepassten innovativen Mehrstrahltechnologie. Als Versuchswerkstoffe fanden daher industriell relevante Standard- und Lean-Duplexstähle (gewalzt: 1.4462 und 1.4362 sowie gegossen: 1.4470 und 1.4392) in einem Blechdickenbereich von 15 bis 17 mm Anwendung.

Im ersten Schritt erfolgten umfassende Untersuchungen zur Ermittlung optimaler Abkühlbedingungen für das EB-Schweißen mit Mehrbadtechnik. Hierbei sind wichtige Erkenntnisse zur Kurzzeitmetallurgie beim EB-Schweißen von Duplex-Stählen ohne Zusatzwerkstoff gewonnen und Möglichkeiten zur Beeinflussung des Austenit/Ferrit-Verhältnisses ermittelt worden. Aufbauend auf diesen Untersuchungsergebnissen gelang es, unterschiedliche EB-Mehrbadtechniken zu entwickeln und zum Schweißen von Blindnähten anzuwenden. Die Bewertung der Blindnähte erfolgte mit Hilfe verschiedener metallkundlich-technologischer Analysen, wie metallographische Bestimmung der Ferritgehalte, Schmelzextraktion zur Messung der Stickstoffanteile und Kerbschlagbiegeversuche bei  $T = -40\text{ °C}$ . Der Parametersatz der Mehrbadtechnik, der die geringsten Ferritanteile in der EB-Schweißnaht zur Folge hatte, bildete die Basis zum Schweißen von I-Nähten.

Einen Ferrit-Gehalt unter 65-70 %, der laut mehrerer Spezifikationen und Angaben der Fachliteratur als maximal zulässiger Ferrit-Gehalt im Duplex-Schweißgut genannt wird, ließ sich nur beim EB-Schweißen der Lean-Duplex-Gusslegierung 1.4392 erzielen. Trotz der erhöhten Ferritwerte bewirkte der Einsatz der entwickelten EB-Mehrbadtechnik an den drei verwendeten Versuchswerkstoffen (1.4362, 1.4462, 1.4470) I-Nähte mit sehr guten mechanisch-technologischen Eigenschaften (Kerbschlagbiege- und statischer Zugversuch) und sehr guter Lochkorrosionsbeständigkeit. Beim 1.4362 fielen die Werte etwas geringer aus, was jedoch schon aus den geringeren Gütewerten im Anlieferungszustand heraus resultierte.

Bei den anderen drei Duplexstählen traten höhere Ferritanteile auf. Im Ergebnis der Untersuchungen war festzustellen, dass bei Anwendung der entwickelten Mehrbadtechnik zur Absicherung des o.g. Ferrit-Gehaltes, über die Norm EN 10088 hinausgehende Anforderungen an den Gehalt der austenitbildenden Legierungselemente Stickstoff und Nickel im Grundwerkstoff gestellt werden müssen. Bei einem  $\text{Cr}_{\text{Äq}}/\text{Ni}_{\text{Äq}}$  von  $\leq 2,4$  kann die entwickelte Mehrbadtechnik zusammen mit einer Vorwärmtemperatur von mind.  $250\text{ °C}$  erfolgreich eingesetzt werden, um ein Schweißgut mit dem geforderten Ferrit-Gehalt zu erzeugen. Bei niedrigeren Werten des  $\text{Cr}_{\text{Äq}}/\text{Ni}_{\text{Äq}}$  kann sogar eine niedrigere Vorwärmtemperatur genutzt werden.

Alle EB-Schweißungen sind durch Spritzeranhaftungen und Nahteinfall gekennzeichnet. Daher erfüllen sie im Hinblick auf die äußeren Nahtunregelmäßigkeiten nicht die Anforderungen der Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 13919-1. Allerdings ist der starke Nahteinfall auf die horizontale Position der eingesetzten EB-Schweißanlage zurückzuführen. Diese äußeren Unregelmäßigkeiten wären bei einer technischen Anwendung durch das Schweißen in PC-Position bzw. weiterer Anpassung der Schweißparameter zu vermeiden.

**Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.**

## **Danksagung**

Das IGF-Vorhaben (IGF-Nr. 16.277 BG / DVS-Nr. 01.066) der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Für diese Unterstützung sei gedankt

Außerdem sei an dieser Stelle allen Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses (PA) für die materielle Unterstützung und die wertvollen fachlichen Hinweise gedankt.

Unser spezieller Dank gilt hierbei den folgenden Personen:

Herr Dipl.-Ing. Tropschug BMA AG, Braunschweig  
Herr Dr.-Ing. Simon Klaus Kuhn Edelmetallgießerei GmbH, Radevormwald  
Herr Dr.-Ing. Heßing ehemals Klaus Kuhn Edelmetallgießerei GmbH, Radevormwald  
Herr Dipl.-Ing. Overbeck Schmidt + Clemens GmbH + Co. KG, Lindlar  
Herr Dipl.-Ing. Sölch H. Butting GmbH & Co. KG, Knesebeck  
Herr Dipl.-Ing. Hoffmann H. Butting GmbH & Co. KG, Knesebeck  
Herr Dr.-Ing. Krüssel ehemals pro-beam technologies GmbH, Burg  
Herr Dipl.-Ing. Richter pro-beam technologies GmbH, Burg

**Der Schlussbericht ist über die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS verfügbar!**