

Bericht 5168 / 2015

Schlussbericht

AiF-Nr. 17.750 N

DVS-Nr. 05.052

Untersuchung zum reibbasierten Schließen des Endloches beim Rührreibschweißen (FSW)

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 mbH, NL SLV München

Der Bericht enthält 94 Seiten.

Juli 2015

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

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

Deutsche Bank AG
Konto Nr.: 7 520 471 (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

Schlussbericht

zu dem IGF-Vorhaben

***Untersuchung zum reibbasierten Schließen des Endloches
beim Rührreibschweißen (FSW)***

der Forschungsstelle(n)

GSI mbH, NL SLV München

Das IGF-Vorhaben 17.750 N
der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS
wurde über die



im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

München, 27.07.2015

Ort, Datum

Dipl.-Ing (FH) Marc Müller

Name und Unterschrift des/der Projektleiter(s)
an der/den Forschungsstelle(n)

Hinweis:

Das IGF-Vorhaben Nr.: 17.750 N / DVS-Nr.: 05.052 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Aachener Str. 172, 40023 Düsseldorf, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

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 Kooperationspartnern und Industrieunternehmen für die gute Zusammenarbeit und die materielle Unterstützung bedanken: Harms & Wende GmbH & Co. KG - Hamburg, MT Aerospace AG - Augsburg, GSI mbH NL SLV Berlin-Brandenburg - Berlin, Audi AG - Ingolstadt, Hammerer Aluminium Industries Extrusion GmbH - Ranshofen/Austria, Jointventure GmbH & Co. KG - Garching, und den weiteren Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses.

Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses PA

15.10.2013, 15.05.2014, 22.10.2014, 22.03.2015

Arbeitsplanänderungen des projektbegleitenden Ausschusses

Um die Lochschlussverfahren untereinander vergleichen zu können wurde der Blechdickenbereich auf einen gemeinsamen Anwendungsbereich von 3 - 5 mm eingegrenzt.

Für die Schwingungsprüfung (Zug-Schwell) wurden folgende Vergleichsvarianten an 3 mm-Blechen festgelegt:

- FSW-Naht,
- FSW-Naht mit Reibpunkt-Lochschluss,
- FSW-Naht mit Reibbolzen-Lochschluss,
- FSW-Naht mit MSG-Lochschluss.

Durch diese insgesamt kostenneutralen Änderungen im Arbeitsprogramm und Zeitplan wurde der veranschlagte Personal- und Zeitaufwand nicht beeinflusst. Die beantragten Mittel waren somit angemessen und entsprachen den Erfordernissen.

Zusammenfassung

Für den FSW-Endlochschluss oder als Reparaturverfahren für Schweißnaht- oder Werkstofffehlstellen werden Lochschlussverfahren benötigt, die eine dem Rührreißschweißen adäquate Schweißbeignung für Aluminium- oder Kupferlegierungen aufweisen. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden deshalb reibbasierte Verfahren, das Reibpunktschweißen und das Rotations-/Reibbolzenschweißen hinsichtlich ihrer modifizierten Anwendung als Lochschlussverfahren an Aluminium- und Kupferwerkstoffen im Blechdickenbereich 3 - 5 mm untersucht, geeignete Arbeitsrandbedingungen und Prozessparameter ermittelt, sowie metallografische Untersuchungen und vergleichende Festigkeitsprüfungen durchgeführt.

Zum Reibpunktlochschluss wurde eine Schweißmaschine in Zangenausführung des Typs Harms&Wende RPS100 verwendet, die über ein dreiteiliges Reibwerkzeug für Punktschweißungen ohne Werkzeugeindruck verfügt. Für den Lochschluss einer FSW-Naht an 3 mm-Blechen wurde das Endloch des $\varnothing 5$ mm-FSW-Pins als Durchgangsbohrung oder als Sackloch mit Lochbodendicke 0,2 mm ausgebohrt. Als Zusatzwerkstoff zum Füllen des Loches wurden sog. Plugs (Stopfen) verwendet, die aus artgleichem oder artähnlichen Werkstoff hergestellt, in die vorbereitete Bohrung spaltfrei eingepresst und mit dem Blechwerkstoff plastisch verrieben werden. Eine zusätzliche Überhöhung des Plugs als „Blechauflage“ ermöglicht bei höheren Qualitätsanforderungen eine blechebene Oberflächennachbearbeitung ohne Nachsetzabdruck des Reibwerkzeuges.

Zum Reibbolzenlochschluss wurden zwei Rotationreibschweißmaschinen mit kontinuierlichem Antrieb eingesetzt (HuW RSM401, KUKA RS4E). Eine Lochschweißung mit Durchgangs- oder Sacklochgeometrien, die bei Stahlwerkstoffen angewendet werden, konnten für Aluminiumwerkstoffe nicht verwendet werden, weil es bei kleinen Loch- und Bolzendimensionen bis $\varnothing 10$ mm zur schnellen Entfestigung und Abscherung des Reibbolzens kommt. Daher wurde der Lochschluss mit einer muldenförmigen Lochgeometrie und gerundeten Bolzenform entwickelt und unter Anwendung eines Kurzzeit-Reibschweißprozesses ($t < 0,7$ s) und erfolgreich ausgeführt. Unter schneller Plastifizierung und kurzer Reibzeit kann die Lochschluss-Verbindung erzeugt werden, bevor der Bolzen entfestigt.

der Lochschluss durch Reibpunktschweißen, Reibbolzenschweißen, aber auch durch MSG-Schmelzschweißen (MIG-CMT) wurde an einer FSW-Naht ausgeführt und den Festigkeitskennwerten des FSW-Naht gegenübergestellt. Sowohl bei der statischen Zugfestigkeit als auch bei der Schwingprüfung unter Zugschwell-Beanspruchung liegen die Festigkeitswerte der reibbasierten Lochschlussverfahren nur wenig unter der FSW-Naht, während der MSG-Lochschluss die schlechtesten Vergleichswerte liefert.

Als Sonderanwendung wurde das Reibpunkt-Steppnahtschweißen mit überlappenden Reibpunkten für die Rissreparatur an Aluminiumguss AlSi9MnMoZr (Castasil-37) ausgeführt. Das Reibpunkt-Steppnahtschweißen ist vergleichbar für die Reparatur länglicher Fehlstellen einsetzbar, z. B. Flankenbindefehler von schmelz- oder FSW-geschweißten Nähten.

Eine Anwendungserprobung und Prozessvalidierung erfolgte in Zusammenarbeit mit einem Industrieunternehmen der Luft- und Raumfahrtindustrie an einer FSW-Rundnaht an einem Aluminiumbehälters aus einer hochfesten Al-Legierung (2019), Wanddicke 4 mm. Dabei konnte die Ausführung des FSW-Endlochschlusses mit Eignungsnachweis für die hohen Anforderungen einer Luft- und Raumfahrtanwendung erfolgreich realisiert werden.

Die Ziele des Vorhabens wurden erreicht.

Untersuchung zum reibbasierten Schließen des Endloches beim Rührreißschweißen (FSW)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1 Einleitung.....	9
2 Stand der Technik.....	9
2.1 Problemstellung und Lösungsansätze.....	9
2.2 Stand der Forschung.....	13
3 Zielstellung und Vorgehensweise.....	20
3.1 Zielstellung.....	20
3.2 Vorgehensweise, Versuchsprogramm.....	21
4 Lochschluss durch Reibpunktschweißen RPS.....	23
4.1 Experimentelle Randbedingungen.....	23
4.1.1 Reibpunktschweißmaschine.....	23
4.1.2 Fügegeometrie - Varianten.....	25
4.2 Ermittlung von Arbeitsrandbedingungen und Schweißparametern.....	25
4.2.1 Vorbereitung von Fügestelle, Zusatzwerkstoff.....	26
4.2.2 Steuerung und Überwachung des Prozessablaufs.....	27
4.2.3 Temperaturverlauf.....	30
4.2.4 Prozessüberwachung und Qualitätssicherung.....	31
4.2.5 Volumenkonstanz, Spaltverluste.....	32
4.3 Lochschluss ohne/mit Blechauflage.....	33
4.4 FSW-Endlochschluss.....	36
4.5 Anwendungserprobungen.....	42
4.5.1 Schmelzschweißnaht mit punktueller Reparaturstelle.....	42
4.5.2 RPS-Steppnaht als Reparaturverfahren an Aluminium-Blech und -Gusswerkstoffen.....	43
4.5.3 Ausgebohrte Fehlstelle mit beidseitig ausgeführter Reibpunktschweißung.....	48
4.5.4 RPS-Endlochschluss an einem FSW-geschweißter Behälter-Rundnaht.....	50
5 Lochschluss durch Rotationsreißschweißen RRS (Reißbolzenschweißen).....	51
5.1.1 Experimentelle Randbedingungen.....	51
5.1.1.1 Rotationsreißschweißmaschinen.....	51
5.1.1.2 Fügegeometrie - Varianten.....	51
5.1.2 Lochschluss an Aluminiumblechen mit Durchgangsbohrung.....	52
5.1.3 Lochschluss an Aluminiumblechen mit Sackloch.....	53
5.1.4 Lochschluss an Kupferblechen mit Sackloch.....	59
5.1.5 Zusammenfassung Lochschluss Reißbolzenschweißen.....	61
6 Vergleichende Untersuchungen.....	62
6.1 Lochschluss durch Schutzgasschweißen.....	62
6.2 Härteverläufe verschiedener Lochschlussvarianten im Vergleich.....	65
6.3 Wöhlerlinien und Querzugfestigkeit von Lochschlussverfahren im Vergleich.....	66
6.4 Matrix mit Anwendungskriterien und Kennwerten.....	70
7 Diskussion.....	72

8	Darstellung: Forschungsziel - angestrebte Forschungsergebnisse - erzielte Forschungsergebnisse, Verwendung der Zuwendung	75
9	Zusammenfassung.....	77
10	Schrifttum	81
11	Anhang	84
11.1	Bildverzeichnis	93