Schweißtechnische
Lehr- und Versuchsanstalt

SLV München

Niederlassung
der GSI mbH

Gesellschaft für Schweißtechnik
International mbH

Bericht 5127/03

AiF-Nr. 12.936 N

DVS-Nr. 5.025

Reibschweißen mit zusätzlicher Wärmequelle

(Hybrid-Reibschweißen mit prozessintegrierter Induktionserwärmung)

Erfahrungsaustausch Reibschweißen
Dienstag, 09.03.2004

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 143 Seiten.

Oktober 2003

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt
SLV München, Niederlassung der GSI mbH
HRB 135491 München
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dieter Böhme
Schachenmeierstr. 37 · D-80636 München

Tel. 089 / 12 68 02 -0
Fax 089 / 18 16 43
Fax Ausbildung 089 / 12 39 39 11
e-mail: slv@slv-muenchen.de
Internet: www.slv-muenchen.de

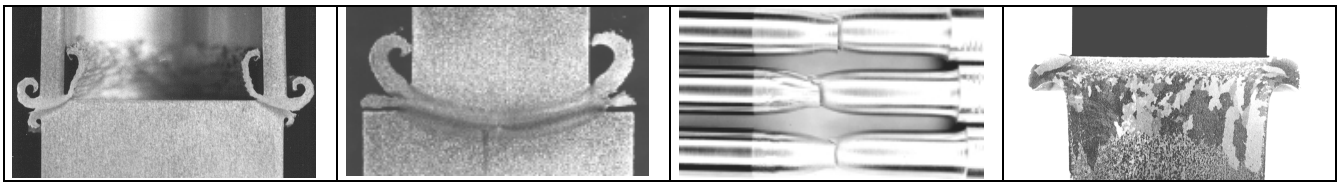
Deutsche Bank München
Konto Nr. 7 520 471(700 700 10)
Postbank München
Konto Nr. 766 44-802 (700 100 80)

Akkreditiert und anerkannt als
Ausbildungs-, Überwachungs-,
Prüf- und Zertifizierungsstelle
durch DVS Pers Zert ®, Land
Bayern,DAP, EBA und ZLS.
Schweißtechnische
Lehrwerkstätte
der Handwerkskammer für
München und Oberbayern

GSI · Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH · HRB 37719 Düsseldorf · Aufsichtsrat: Dr.-Ing. Adolf Gärtner, Vorsitz;
Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. Hermann Thier, Vorsitz; Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dieter Böhme; Dr.-Ing. Steffen Keitel;
Prof. Dr.-Ing Heinrich Köstermann; Hans-Jürgen Moutarde

Reibschweißen

. . . über 25 Jahre Erfahrung mit Reibschweißverfahren !



Die SLV München bietet an:

- neue konstruktive Lösungen
- Verbindungen vieler Werkstoffe und Werkstoffkombinationen
- Prozessentwicklung mit Optimierung von Schweißparametern
- Untersuchung geeigneter Randbedingungen zum RS (Werkstoffauswahl, Bauteilgeometrie, Spanntechnik)
- Zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen
- Metallografische Untersuchungen
- Verfahrensprüfungen, Schadensfalluntersuchungen
- Bestimmung der z-Güte für den Stahlbau (Zugversuch in Blechdickenrichtung)
- Kooperation mit Maschinenherstellern, Lohnschweißbetrieben und Anwendern
- Schulungen, Erfahrungsaustausch
- Information und Beratung: neutral, unabhängig, alternative Verfahren und Anwendungen

Ihr Ansprechpartner zum Thema "Reibschweißen":

Dipl.-Ing. L. Appel
Tel.: 089 / 126802-76
Fax: 089 / 18 16 43
appel@slv-muenchen.de

Bitte vormerken:

*Der nächste **Erfahrungsaustausch Reibschweißen** findet am **Di 9. März 2004** in der SLV München statt.*

Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt SLV München
Niederlassung der GSI mbH
Direktor:
Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dieter Böhme
Schachenmeierstr. 37
D-80636 München

Tel. 089 / 12 68 02 -0
Fax 089 / 18 16 43
Fax Ausbildung 089 / 12 39 39 11
e-mail: slv@slv-muenchen.de
Internet: www.slv-muenchen.de

Deutsche Bank München
Konto Nr. 7 520 471(700 700 10)
Postbank München
Konto Nr. 766 44-802 (700 100 80)

Akkreditiert und anerkannt als Ausbildungs-, Überwachungs-, Prüf- und Zertifizierungsstelle durch DVS Pers Zert ®, Land Bayern,DAP, EBA und ZLS.
Schweißtechnische Lehrwerkstätte
der Handwerkskammer für München und Oberbayern

GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH · Aufsichtsrat: Dr.-Ing. Adolf Gärtner ·HRB 37719 Düsseldorf
Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. Hermann Thier, Vorsitz; Prof. Dr.-Ing. Dieter Böhme; Dr.-Ing. Steffen Keitel

SLV München,
Niederlassung der GSI mbH
Name der Forschungsstelle(n)

AiF-Nr. 12.936/IV
AiF-Vorhaben-Nr. / GAG

01.07.2001 bis 30.06.2003
Bewilligungszeitraum

Schlussbericht für den Zeitraum: 01.07.2001 bis 30.06.2003

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die

AiF
Otto von Guericke

geförderten Forschungsvorhaben

Forschungsthema: Reibschweißen mit zusätzlicher Wärmequelle

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

München, 16.10.2003
Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters

Zusammenfassung

Das Reibschweißen mit prozessintegrierter Induktionserwärmung ist ein Hybridverfahren, bei dem zwei Wärmequellen genutzt werden: Reibungswärme und Induktionswärme. Die zum Schweissen optimale Wärmemenge, -dosierung und -verteilung kann dabei nicht nur als Reibungswärme, sondern zeitlich und lokal unabhängig auch als Induktionswärme eingebracht werden. Die Schweißanlagenerweiterung ist dann sinnvoll, wenn die Optimierung der Reibschweißung und ihrer Verbindungseigenschaften mit herkömmlichen Mitteln der Prozessvariation nicht hinreichend erzielt werden kann. Beispiele dafür sind exotische Werkstoffkombinationen (Hartmetall/Stahl, TiAl/Stahl) oder artgleiche Verbindungen mit aufhärtenden Stahlwerkstoffen bei unterschiedlich großen Verbindungsquerschnitten (z.B. Kolbenstangen).
Die prozessintegrierte Induktionserwärmung lässt sich variabel zum Vorwärmen, zum Nachwärmen oder zum kombinierten Vor- und Nachwärmen einsetzen. Die Induktionserwärmung erfolgt parallel zum mechanisiert ablaufenden Reibschweißprozess. So ist in vielen Fällen eine Taktzeitverlängerung nicht erforderlich.
Die untersuchten Verbindungen aus C45 artgleich und in Werkstoffkombination mit 42CrMo4 stehen stellvertretend für viele Reibschweißanwendungen mit Stahlwerkstoffen, die stark aufhärten können. Speziell bei unterschiedlich großen Querschnitten zeigt sich der enorme Nutzen zusätzlicher Induktionserwärmung. Die Wärme kann gezielt am großen Querschnitt zugeführt werden, ohne den kleinen Querschnitt beim Reiben zu überhitzen. Die Schweißnahtausbildung wird verbessert und gleichzeitig die Entstehung von Zwischenschichten (Sekundärwulst) gemindert. Aufgrund besserer Durchwärmung am großen Querschnitt verringern sich Abkühlgeschwindigkeit und Aufhärtung (z.B. C45: 500 HV $\rightarrow$ 300 HV). Die hohe Zugfestigkeit wird geringfügig reduziert, die sonst geringe Verformungsfähigkeit aber wesentlich gesteigert (Biegewinkel 5° $\rightarrow$ 40°). Die oftmals kritische Riss- oder Bruchgefahr ist damit beseitigt. Die verringerte Verkürzung und Wulstbildung vereinfacht die Nachbearbeitung.
Beim Reibschweißen von Mischverbindungen (Hartmetall/Stahl, TiAl/Stahl) wird eine Festigkeitssteigerung durch verringerte Eigenspannungen bei langsamerer Abkühlung erzielt. Auch die Aufhärtung kann abhängig vom Stahlwerkstoff reduziert werden. Ggf. ist aber eine ergänzende, externe Wärmenachbehandlung günstiger anstelle zu langer prozessintegrierter Nachwärmung - besonders bei sehr kleinen oder dünnwandigen Querschnitten mit kurzen Reibprozesszeiten. Gegenüber optimierten Hartmetall/Stahl-Reibschweißverbindungen konnte die Biegefestigkeit mit Induktionserwärmung nochmals um 35% gesteigert werden (DK460UF ∅10 mm: 40 $\rightarrow$ 55 Nm).
Die Untersuchungsergebnisse zeigen eine grundsätzliche Erweiterung der Reibschweißeignung bei schwierigen geometrischen und werkstofflichen Randbedingungen durch die prozessintegrierte, zusätzliche Fremderwärmung. Damit lässt sich eine deutliche Steigerung der Qualität, der Produktivität und der Wirtschaftlichkeit für ein erweitertes Anwendungsspektrum beim Reibschweißen realisieren.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Reibschweißen mit zusätzlicher Wärmequelle

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Vorgehensweise 5

3 Stand der Technik / Theorie 6

4 Experimentelle Randbedingungen 9

4.1 Reibschweißmaschine 9

4.2 Induktionsanlage und Sonderspannmittel 9

4.3 Temperaturmessung 12

4.3.1 Temperaturmessmethoden beim Reibschweißen 12

4.3.2 Temperaturmessung und -regelung mittels Pyrometer 13

4.3.3 Festlegung des Messortes 13

4.3.4 Ermittlung des Emissionsgrades 14

4.4 Werkstoffe und Abmessungen 15

5 Ergebnisse zum Reibschweißen ohne/mit Induktionserwärmung 17

5.1 Allgemeine Betrachtungen 17

5.1.1 Induktive Vorwärmung 18

5.1.2 Induktive Nachwärmung 20

5.2 Reibschweißen von C45 artgleich und mit 42CrMo4 21

5.2.1 C45/C45 mit gleichgroßen Querschnitten ∅16/∅16 mm 22

5.2.2 C45/C45 mit unterschiedlich großen Querschnitten ∅16/∅25 mm 24

5.2.2.1 Induktive Vorwärmung 25

5.2.2.2 Induktive Nachwärmung 27

5.2.2.3 Induktive Vor- und Nachwärmung 28

5.2.3 C45/42CrMo4 mit gleichgroßen Querschnitten ∅15 mm 30

5.2.3.1 Reibschweißen ohne Fremdwärme 31

5.2.3.2 Reibschweißen mit geringer Induktionswärme 32

5.2.3.3 Reibschweißen mit starker Induktionserwärmung 32

5.2.4 Zusammenfassung 36

5.3 Reibschweißen von Hartmetall mit Stahl 38
5.3.1 DK460UF / 56NiCrMoV7, Vollquerschnitt ∅10 mm 39
5.3.1.1 Reibschweißen ohne Induktionserwärmung 39
5.3.1.2 Induktive Vor- und Nachwärmung 40
5.3.2 THR-S / 16MnCr5, Hohlquerschnitt ∅16 mm 42
5.3.2.1 Reibschweißen ohne Induktionserwärmung 43
5.3.2.2 Induktive Vor- und Nachwärmung 44
5.3.3 Zusammenfassung 47
5.4 Reibschweißen des intermetallischen Werkstoffes TiAl mit Stahl 49
5.4.1 TiAl/Stahl-Verbindungen, Hohlquerschnitt ∅16 x 2,5 mm 49
5.4.1.1 Vorbereitung der TiAl-Reibflächen 49
5.4.1.2 Reibschweißen ohne Induktionserwärmung 50
5.4.1.3 Induktive Vorwärmung oberhalb des spröd/duktil-Übergangs 51
5.4.1.4 Induktive Vor- und Nachwärmung 52
5.4.2 TiAl/Stahl-Verbindungen, Vollquerschnitt ∅7,5 mm 54
5.4.2.1 Prozessintegrierte induktive Nachwärmung 54
5.4.2.2 Externe Wärmenachbehandlung im Ofen 54
5.4.3 Zusammenfassung 56
6 Diskussion 57
7 Zusammenfassung 62
8 Schrifttum 66
9 Anhang 69
9.1 Tabellen 69
9.2 Bilder 79