

Bericht 5162/13

IGF-Nr. 40 EN (CORNET)
DVS-Nr. 05.045

Weiterentwicklung des Magnetimpuls-Crimpens von rohrförmigen Überlappverbindungen mit und ohne Zusatzwerkstoff

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 111 Seiten.

Juli 2013

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

SB-5162-PULSCRIMP.docx

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 3333
IBAN: DE76 7007 0024 0752 0471 00
USt.-Id.-Nr.: DE 813 013 727
St.-Nr.: 106/5772/0212

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde das Hochgeschwindigkeits-Magnetpuls-krimmen zum Fügen von rohrförmigen Überlappverbindungen mit Kleb-/Dicht- und Lotzusatzwerkstoffen sowie metallisch beschichteter Bauteile weiterentwickelt. Die Herstellung und Fertigung der Versuchsrohlinge für Crimpverbindungen Al/Al (EN-AW 6060 T6) und unlegiertem Stahl (S235, E235+N, C45) für Crimpverbindungen mit Rohrdimensionen $\varnothing 16$ bis 25 mm und Wanddicken von 1 - 2 mm erfolgte nach Vorentwicklung und Design der Crimpgeometrien: Crimpgeometrien mit Ringnuten für axiale Beanspruchung, mit Axialnuten für Torsionsbeanspruchung sowie mit kombinierten Ring- und Axialnuten für kombinierte Bauteilbelastungen. Die Crimpversuche wurden auf der MP-Anlage der SLV München des Typs PULSAR MPW 25/9 (max. 25kJ/9 kV) durchgeführt. Zur bereits vorhandenen Kapazitäts- und Energieverdopplung (50 kJ/9kV) durch einen zusätzlich gekoppelten Kondensatorschrank wurde zum vorhandenen Spulensystem ein neues, alternatives Spulensystem mit Feldformer ergänzt. Aufgrund der halbierten Induktivität des alternativen Spulensystems wird eine Frequenzkompensation bei Verwendung hoher Leistungen mit doppelter Kapazität erreicht. Die Spulenapplikation, die Auswahl der Zusatzwerkstoffe und Bewertung der damit erzielten Verbindungseigenschaften erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Kooperationspartner IFF GmbH, Ismaning. Unter Verwendung eines 2-Komponenten Epoxid-Klebzusatzwerkstoffes konnte eine dichte Verbindung hergestellt und die Tragfähigkeit im elastischen Verformungsbereich erhöht werden. Die flächige Lastverteilung über die geklebte Fläche zusätzlich zur mechanischen Verklammerung in einer Ringnut verzögert das Setzen unter zunehmender axialer Last. Um diese Eigenschaften zu erzielen, darf der Zusatzwerkstoff nicht in der Crimnut eingebracht werden, sondern funktional getrennt, einseitig neben der Crimnut im Überlappungsrohrspalt. Die unverklebte andere Nutseite lässt die Entlüftung der komprimierten Ringnut zu und verhindert das Durchblasen der geklebten Seite. Eine vergleichbar spezielle Handhabung und Aufbringung ist auch für den untersuchten Dicht- und mikrogekapselten 2K-Acrylatwerkstoff erforderlich. Bei Verwendung von metallischen Lotdraht- und Lotpaste-Zusatzwerkstoffen konnten zwar partielle Anschmelzungen aber keine ausreichend großflächige Benetzung der Trägerwerkstoffe erzeugt werden. Die Verlustwärme des MP-Prozesses ist zu gering und zu kurzzeitig wirksam um eine ausreichende Verteilung und flächige Benetzung des Lotes zu erzielen. Die fehlende Wärme kann auch nicht durch die mechanische Energie teil-kompensiert werden. Als Entwicklungsalternative bietet sich für Stahlwerkstoffe ggf. die Anwendung niedrigerer Entladefrequenzen an, oder schnelle Impulsfolgen mit variabler Frequenz (Vorwärmen/Crimpen/Nachwärmen). Alternativ ist auch das nachgeschaltete konventionelle Löten im Ofen oder durch Induktion möglich. Damit konnten umlaufend dichte und metallisch verbundene Lötungen in Kombination mit einer MP-Crimpverbindung hergestellt werden. Der Lotwerkstoff ist zweckmäßig in einer Reservoirnut neben der Crimnut einzubringen. Anhand einer Anwendungserprobung mit flamspritz-zinkbeschichteten Stahlbauteilen mit Rohr $\varnothing 25 \times 1$ mm, E235+N, wurde die Dichtheit der Crimpverbindung hergestellt, die Tragfähigkeit gesteigert und zudem die elektrische Leitfähigkeit verbessert. Mit den Versuchsergebnissen zum Magnetpulsschweißen mit Zusatzwerkstoffen, der Charakterisierung verschiedener Zusatzwerkstoffe und der damit erzielbaren Verbindungseigenschaften, konnte eine wesentliche Erweiterung des Eigenschaftsprofils und der Anwendungspotenziale für dieses innovative Hochgeschwindigkeits-Fügeverfahren geschaffen werden.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Weiterentwicklung des Magnetimpuls-Crimpens von rohrförmigen Überlappverbindungen mit und ohne Zusatzwerkstoff

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Vorgehensweise	7
3	Stand der Technik / Theorie	9
4	Experimentelle Randbedingungen	10
4.1	Magnetpulsanlage PULSAR MPW25/9-50/9	10
4.2	Messtechnik	11
4.3	Feldformer, Positionierung der Fügeteile	13
4.4	Versuchswerkstoffe und Basisgeometrien	13
4.4.1	Bauteilwerkstoffe	13
4.4.2	Kleb- und Dicht-Zusatzwerkstoffe	14
4.4.3	Metallische Zusatzwerkstoffe	14
4.5	Prüftechnik und Analysemethoden	15
4.5.1	Sichtprüfung	15
4.5.2	Dichtheitsprüfung	15
4.5.3	Metallographische Prüfung	15
4.5.4	Abschälversuch	16
4.5.5	Zugversuch	16
4.5.6	Messung des Übergangswiderstands	16
5	Ergebnisse	17
5.1	Entwicklung eines modifizierten Magnetpulensystems	17
5.2	Erprobung eines modifizierten Feldformers	20
5.3	MP-Crimpen ohne Zusatzwerkstoff – Untersuchung geeigneter Nutgeometrien	21
5.3.1	Crimpgeometrien mit Ringnuten, Längsnuten, sowie kombinierte Ring- und Längsnuten	21
5.3.2	Bestimmung des Verformungsverhaltens	23
5.3.3	Simulation des MP-Crimpens	23
5.3.4	Vorbewertung und Auswahl der Geometrien hinsichtlich ihres Einsatzes zum MP-Crimpen mit Zusatzwerkstoffen	25
5.4	MP-Crimpen mit Kleb-/Dichtzusatzwerkstoffen	26
5.4.1	Klebwerkstoffe und ihre prognostizierte Eignung zum Hochgeschwindigkeits-Crimpen	26
5.4.2	Verwendete Kleb-Zusatzwerkstoffe	28
5.4.3	MP-Crimpen mit Zweikomponenten-Epoxid-Klebzusatzwerkstoffen	28
5.4.4	MP-Crimpen mit mikrogekapseltem Klebzusatzwerkstoff	33
5.4.5	Zusammenfassung: MP-Crimpen mit Kleb-/Dichtzusatzwerkstoff	35
5.5	MP-Crimpen mit Lotzusatzwerkstoffen	36
5.5.1	Lotwerkstoffe und ihre prognostizierte Eignung zum Hochgeschwindigkeits-Crimpen	36
5.5.2	Verwendete Lot-Zusatzwerkstoffe	36
5.5.3	MP-Crimpen mit Lotdraht	37
5.5.4	MP-Crimpen mit Lotpaste	37
5.5.5	Zusammenfassung: MP-Crimpen mit Lotzusatzwerkstoff	38
5.6	Anwendungserprobung: MP-Crimpen mit spritzverzinkten Demonstratorteilen	38
6	Prüfergebnisse der MP-Crimpverbindungen im Vergleich	41
6.1	Dichtheitsprüfung	41
6.1.1	Farbeindringprüfung	41
6.1.2	Druckluft-Lecktest	42
6.2	Zugversuche	42
6.3	Elektrische Leitfähigkeit - Übergangswiderstand	44
6.4	Zusammenfassung der Prüfergebnisse	45
7	Darstellung zu Forschungsziel, -ergebnisse, Mittelverwendung und Ergebnistransfer	47
8	Diskussion	49
9	Zusammenfassung	53
10	Schrifttum	57
11	Anhang	60
11.1	Verzeichnis der Tabellen und Bilder	60
11.2	Tabellen	63
11.3	Bilder	64