

Bericht 5163 / 13

Schlussbericht

VIII/7-3621b/2012/2-IGF-1103-0002

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie

Modifizierte Werkstoffübergänge auf Basis des Sprüh- und Impulslichtbogens zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit beim MAG-Schweißen – Untersuchung, Bewertung und Hinweise für den praktischen Einsatz im Stahl- und Maschinenbau

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 58 Seiten.

März 2014

GSI Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH
Niederlassung SLV München
Schachenmeisterstraße 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 3333 BMUC
IBAN: DE76 7007 0024 0752 0471 00

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

Hinweis:

Das Forschungsvorhaben, Förderkennzeichen VIII/7-3621b/2012/2-IGF-1103-0002, 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 24.03.2014

**Modifizierte Werkstoffübergänge auf Basis des Sprüh- und Impulslichtbogens
zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit beim MAG-Schweißen –
Untersuchung, Bewertung und Hinweise für den praktischen Einsatz im
Stahl- und Maschinenbau**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Zielstellung	6
3	Vorgehensweise.....	7
3.1	Aufgabenstellung	7
3.2	Mess- und Aufzeichnungssysteme.....	9
3.3	Prüfung und Bewertung	9
4	Experimentelle Randbedingungen.....	13
4.1	Grundwerkstoffe.....	13
4.2	Zusatzwerkstoffe.....	14
4.3	Schutzgas	14
4.4	Versuchsstand	14
4.5	Probengeometrie	15
5	Ergebnisse	17
5.1	Allgemeine Betrachtungen zur Gerätetechnik	17
5.1.1	Firma Lorch (SpeedPulse®)	17
5.1.2	Firma Lorch (SpeedArc®).....	18
5.1.3	Firma EWM und MBM (ForceArc®)	19
5.1.4	Firma Merkle (DeepArc®).....	20
5.1.5	Firma Fronius (Deflact).....	21
5.1.6	Firma Fronius (Steel Dynamic®)	21
5.1.7	Firma Fronius (Puls).....	22
5.1.8	Firma ESAB (SuperPuls).....	23
5.1.9	Firma Cloos (Rapid Weld)	24
5.1.10	Firma Hermann (Shark®)	25
5.2	Prozessanalyse der Werkstoffübergänge durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen und Schweißparameterverläufe.....	26
5.2.1	Sprühlichtbogen	26
5.2.2	Sprühlichtbogen mit welligem Schweißstromverlauf mit kleiner Frequenz	27
5.2.3	Impulslichtbogen	28
5.2.4	Sprüh- und Impulslichtbogen im Wechsel.....	29
5.3	T-Stoß, Kehlnaht (1. Aufgabe).....	31
5.4	T-Stoß, HV- Naht (2. Aufgabe)	37
5.5	Stumpfstoß, V-Naht (3. Aufgabe)	41
5.6	Veränderte Brennerstellung	48
6	Diskussion.....	50
7	Wirtschaftliche Bedeutung.....	53
8	Zusammenfassung.....	54
9	Schrifttum.....	58

8 Zusammenfassung

Im Rahmen des durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie geförderten Projektes wurden Versuche mit neuen modifizierten Werkstoffübergängen auf Basis des Sprüh- und Impulslichtbogens zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit beim MSG-Schweißen durchgeführt. Diese modifizierten Prozessvarianten, die durch moderne elektronische Stromquellen mit innovativen Steuerungs- und Regelungskonzepten ermöglicht werden, bieten auf Grund eines druckvollen und stabilen Lichtbogens die Möglichkeit eines sehr tiefen und sicheren Einbrandes. Es besteht dadurch die Möglichkeit, die nach Stand der Technik konventionelle Nahtvorbereitung leicht zu verändern. Diesbezüglich wurden an drei für die Industrie typischen Schweißaufgaben Schweißversuche durchgeführt. Dabei wurden die Nahtgeometrien so ausgelegt, dass signifikante Einsparungen bei der schweißtechnischen Fertigung durch eine erhebliche Reduktion des Schweißnahtvolumens und der Anzahl der erforderlichen Schweißlagen und –raupen zu erreichen ist. Durch diese möglichen Einsparungen sind die kmUs in Bayern in der Lage durch eine wirtschaftlicher Fertigung konkurrenzfähig gegenüber Mitbewerbern aus den nahen Ausland zu sein und den Fertigungsstandpunkt Bayern zu sichern.

An ein- und beidseitig geschweißten Kehlnähten am T-Stoß mit 12 mm Blechdicke aus S355J2+N konnte der tiefe Einbrand der neuen modifizierten Werkstoffübergänge realisiert werden. Durch einen kurzgehaltenen und dadurch druckvollen Lichtbogen dieser Prozessvarianten ist es möglich einen Einbrand von bis zu 6 mm in Richtung des Fügespaltes am Stegblech zu erreichen und somit die wirksame Nahtdicke zu erhöhen. Bei einer beidseitigen Schweißung konnte nahezu ein Vollanschluss realisiert werden.

Nachteilig sind Nahtüberhöhung, Asymmetrie der Schweißnaht sowie ein schroffer Nahtübergang zu erwähnen, die auf Grund des benötigten flacheren Brenneranstellwinkels bei der Brennerpositionierung nicht sicher vermieden werden können. Besonders bei schwingender Beanspruchung kann dies kritisch sein, auch wenn durch den tiefen Einbrand eine Erhöhung der wirksamen Nahtdicke erreicht wird. In diesen Fall muss die Naht durch Schleifen bearbeitet werden um einen weichen kerbfreien Übergang zu erzielen. Bei nicht schwingender Belastung kann durch den tiefen Einbrand eine zusätzliche Sicherheit erzielt werden. Der tiefe Einbrand kann bei der statischen Auslegung in die Berechnung mit einbezogen werden. Voraussetzung dafür ist jedoch eine vollmechanisiert ausgeführte Schweißung. Bei Handschweißungen ist dies nicht zulässig, weil ein gleichbleibender tiefer Einbrand nicht sichergestellt ist.

Vergleichbare Ergebnisse wurden bei den Schweißversuchen an HV-Nähten von 35° am T-Stoß mit reduziertem Nahtwinkel an 8 mm dicken Bleche erzielt. Bei einer Nahtvorbereitung ohne Spalt und einem Steg von 1 mm wurde mit den modifizierten Werkstoffübergängen einlagig ein Vollanschluss erzielt, indem die Wurzel mit Hilfe eines druckvollen Lichtbogens durchgedrückt werden konnte. Auch bei diesen Versuchen sind der schroffe Nahtübergang, die Asymmetrie der Naht sowie die Wurzelüberhöhungen und die daraus resultierende Kerbwirkung kritisch zu sehen. Bei den Versuchen mit dem S690QL waren Härteabfälle in der WEZ auf Grund der hohen eingebrachten Streckenenergie nicht zu vermeiden. Diese werden durch eine Entfestigung des Gefüges sowie einer Versprödung durch Grobkornbildung begleitet.

Beim Schweißen ist durch den reduzierten Öffnungswinkel eine visuelle Bestätigung, ob die Wurzel ausreichend durchgedrückt wird, nicht immer gegeben. Des Weiteren müssen Position des Brenners und Schweißgeschwindigkeit sehr genau eingehalten werden, da das Tole-

ranzfenster klein ist. Toleranzen bei der Brenneranstellung wirken sich nur marginal auf das Einbrandprofil aus. Dagegen wirken sich schon kleine Abweichungen von 2 bis 4 mm vertikalen Versatz gravierend auf das Schweißergebnis aus und führen zu Bindefehlern.

Bei den Schweißungen V-Naht am Stumpfstoß ($t = 8 \text{ mm}$), konnte mittels der druckvollen Lichtbögen eine Durchschweißung mit sicheren Seiteneinbrand bei einem reduzierten Öffnungswinkel von 30° erreicht werden.

Mittels der Schweißversuche der V-Naht am Stumpfstoß wurden die mechanisch technologischen Werte der Schweißverbindung aus S355J2+N und S690QL ermittelt. Die Werte für den S355J2+N waren bei allen Schweißungen unauffällig womit die Prüfungen und Bewertungen für eine Verfahrensprüfung bestanden wurden. Beim S690QL dagegen war die eingebrachte Streckenenergie zu hoch und führte zu Härteabfällen, Entfestigung und Grobkornbildung in der WEZ. Die Entfestigung war bei dem vorliegenden S690QL ausreichend hoch um die geforderten Zugfestigkeiten nicht zu erreichen, was zum Nichtbestehen einer Verfahrensprüfung führen würde. Die Auswirkungen der Grobkornbildung auf die Kerbschlagarbeit und der damit verbundenen Zähigkeitsverluste durch Versprödung sind in Werten der Kerbschlagprüfung zu erkennen, sind aber noch innerhalb der zulässigen Grenzen.

Die metallografischen Untersuchungen konnten die befürchtete Rissproblematik im Kristallstoß des erstarrenden Schweißgutes bei schmalen und tiefen Nähten und stark behinderten Schrumpfungsbedingungen nicht bestätigen. Es wird trotzdem empfohlen besonders bei dickeren Bauteilen diese Problematik nicht zu unterschätzen.

Im Großen und Ganzen lässt sich sagen, dass man mit den neuen modifizierten Lichtbögen ein gutes Werkzeug an die Hand gelegt bekommt, bei dem der Lichtbogen schnell geregelt wird. Durch diese kurzen aber sehr stabilen und druckvollen Lichtbögen lassen sich unter den gegebenen Bedingungen schmalere Nahtgeometrien ohne Seitenbindefehler umsetzen. Die mögliche Einsparung von Nahtvolumen, Schweißzusatzwerkstoff, Schutzgas und Schweißzeit versetzt besonders die bayerischen kmUs in die Lage wirtschaftlicher zu fertigen. Trotz allem darf man auf keinen Fall die metallurgischen Gesetze der Werkstoffe (z.B. Entfestigung) sowie die physikalischen Regeln für eine schweißtechnische Auslegung hinsichtlich Nahtübergang und Kerbwirkung missachten.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

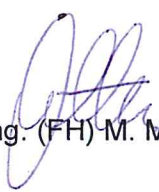
Wir bedanken uns für die Förderung dieser Forschungsarbeit. Die Untersuchungen wurden aus Haushaltsmitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gefördert (Förderkennzeichen VIII/7-3621b/2012/2-IGF-1103-0002).

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:

Carl Cloos Schweißtechnik GmbH (Haiger)
Fronius International GmbH (Wels)
H.W. Hermann Welding GmbH (Asslar)
Lorch Schweißtechnik GmbH (Auenwald-Mittelbrüden)
ESAB GmbH (Solingen)
EWM AG (Mündersbach)
Merkle Schweißanlagen-Technik GmbH (Kötz)
MBM Maschinenbau Mühldorf (Mühldorf am Inn)
Liebherr – Werk Biberach GmbH (Biberach / Riss)
Voestalpine Stahl GmbH (Linz, Austria)

München, den 24.03.2014


Dipl. Ing. (FH) M. Müller