

Teilprojekt A7 2017

Titel

Nutzung der partiellen metallurgischen Injektion zur Steuerung der Erstarrungskräfte bei Schmelzschweißprozessen

Projektleitung/-bearbeitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Reisgen,
Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF)

Aufgabenstellung

Im ersten Jahr lag der Fokus der Arbeiten primär auf der „Befähigung“, insbesondere der Aufbau der Messtechnik und Prüfstände im Vordergrund der Arbeiten. Im zweiten Jahr wurden diese genutzt um durch Prozessbeobachtung der Entstehung von Eigenspannungen sowie der Analyse der Erstarrung- und Umwandlungsvorgänge sowie Temperaturen der metallurgischen Deposition einen Erkenntnisgewinn auf diesen Bereichen zu erzielen. Im dritten Jahr stand der Nachweis des LTT-Effektes, also der lokalen martensitisch Umwandlung und die daraus resultierende Druckspannungseinleitung im Zentrum der Forschung.

Vorgehensweise und Ergebnisse

1) *Aufbau einer Messtechnik zur Bestimmung des Wirkungsgrades sowie des tatsächlichen Energieeintrages*

Die Energieumwandlung erfolgt beim Elektronenstrahlschweißen nicht vollständig, es treten bspw. Leistungsverluste in Form von rückgestreuten Elektronen auf. Bei einer vollständigen Durchdringung der Kapillaren durch das Werkstück treten Strahlelektronen als Überschussleistung auf der Rückseite aus (Durchtrittselektronen). Die Bestimmung des tatsächlichen Energieeintrages sowie des Prozess-Wirkungsgrades des Elektronenstrahlschweißprozesses ist eine qualitätsbestimmende Eingangsgröße der in der zweiten Phase geplanten numerischen Simulation zur Bestimmung der Eigenspannungsformation. Es wurde eine Messmethodik zur Bestimmung von Prozesswirkungsgrad durch Messung des Rückstreu- sowie des Durchtrittselektronenstroms entwickelt. Je nach Parameterwahl wurden Wirkungsgrade im Bereich zwischen 90% und 98% gemessen.

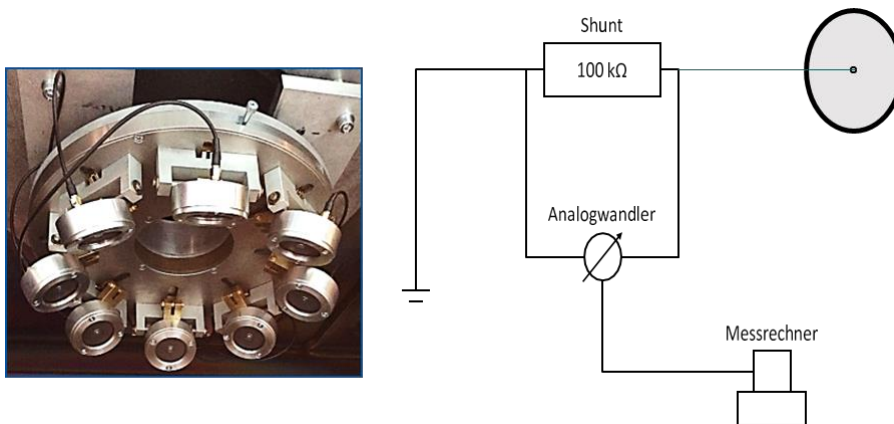


Abbildung 1: Im Rahmen des Projektverlaufs entwickelter Rückstreuelektronendetektor. Die Detektorplatten, bestehend aus Graphit, werden über einen definierten Messwiderstand (Shunt) an Masse abgeleitet, durch den Spannungsabfall am Widerstand ist der Rückstreustrom auf den einzelnen Messplatten quantifizierbar.

2) Bestimmung der oberflächennahen Spannungen im Bauteil infolge von Volumenänderung durch partielle Phasenumwandlung - Nachweis des LTT-Effekts beim Strahlschweißen

Zum Nachweis der Eigenspannungsbeeinflussung durch LTT-Schweißzusatz wurde ein Eigenspannungsmessgerät nach dem Prinzip der Bohrlochmethode mit optischer Auswertung über Electronic Speckle Pattern Interferometrie (ESPI) beschafft.

Zum Nachweis des LTT-Effekts beim Elektronenstrahlschweißen wurden Schweißnähte mit LTT-Zusatzwerkstoff sowie konventionellem Schweißzusatz miteinander verglichen. Der Nachweis der vollständigen martensitischen Umwandlung im Falle des LTT-Schweißzusatzes erfolgte im Rahmen der Kooperation zusammen mit TP A6 mittels Elektronenrückstreubeugung (EBSD). Durch die hohen Abkühlgradienten des Elektronenstrahlschweißprozesses verbleibt im Gegensatz zu den bisher veröffentlichten Arbeiten mittels Lichtbogenschweißen kein Restaustenit im Schweißgut.

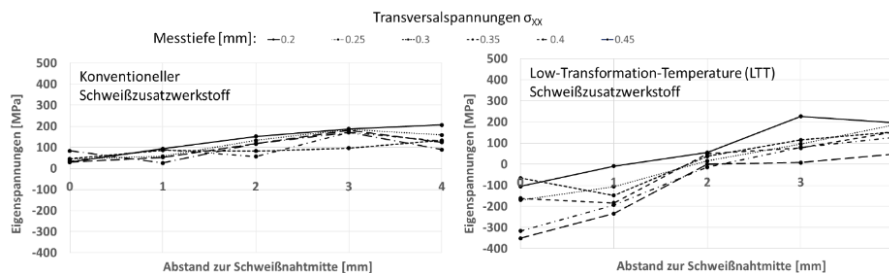


Abbildung 2: Nachweis des LTT-Effekts beim Strahlschweißen – Druckspannungsinduzierung durch den Einsatz von LTT-Zusatzdraht im qualitativen

Vergleich zu konventionellem Schweißdraht G3Si1 durch Eigenspannungsmessung mittels Bohrlochmethode. Ausgewertet werden Messtiefen von 0,2 bis 0,45 mm Tiefe

Der Nachweis des positiven Effektes durch die Druckspannungsinduzierung zeigt Abbildung 2. Exemplarisch werden hier nur die Transversalspannungen dargestellt. Bei Einsatz des LTT-Werkstoffs (links) liegen die Spannungswerte für alle Messtiefen (0,20 bis 0,45 mm) wie postuliert in der Schweißnaht deutlich im negativen Bereich, während der konventionelle Zusatzdraht (rechts) zugspannungsdominiert ist. Das ISF wurde hierbei durch den Gastwissenschaftler Dr. John Francis von der Universität Manchester, ein Spezialist auf dem Gebiet der Eigenspannungen, unterstützt.

3) *In-situ-Prozessbeobachtung der Erstarrungsvorgänge und Temperaturen von metallurgischer Deposition aus LTT-Legierung – Infrarot-Thermografie*

LTT-Werkstoffe durchlaufen die Phasenumwandlung von Austenit zu Martensit in Abhängigkeit der Legierungselemente Chrom, Nickel und Mangan im Schweißgut bei unterschiedlichen Temperaturen. Für die Applikation von Wärmefeldern, die lokal die Abkühlgradienten und folglich die Spannungsformation beeinflussen, sind genaue Kenntnisse über die Temperaturverteilung und eine thermische Identifikation der Phasenumwandlung im Prozess notwendig. Entsprechende Informationen sind mittels hochauflösender Infrarot-Thermografie detektierbar, Abbildung 3. Dazu wird im Laserstrahlschweißprozess eine Infrarotkamera implementiert, die den Strahlauftreffpunkt und seine direkte Umgebung analysiert. Zur Interpretation der örtlichen Ausdehnung der Isothermen sind im Abstand von 5 mm orthogonal zur Schweißrichtung Markierungen auf der Oberfläche angebracht. Durch das Freisetzen der latenten Wärme während der martensitischen Phasenumwandlung bildet sich beim Einsatz des LTT-Werkstoffes ein wesentlich längerer Isothermenscheitfel als beim Einsatz eines konventionellen Werkstoffes (G3Si1).

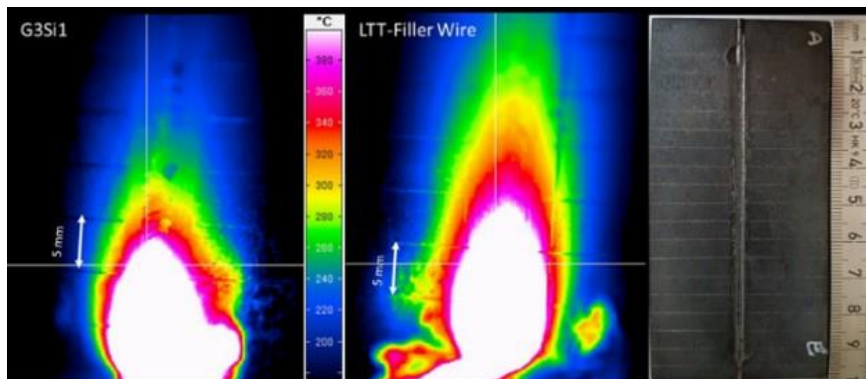


Abbildung 3: Hochauflösende Thermografiemessung - Vergleich von unlegiertem Zusatzwerkstoff G3Si1 (links) und LTT Zusatzmaterial im Laserstrahlschweißprozess (Mitte) – Nahtvorbereitung mit Maßstab und Markierung (rechts).

Zusammenfassung und Ausblick

Der grundsätzliche Nachweis der Anwendbarkeit von LTT-Legierung zur Erzeugung von lokalen Druckspannungen in Schweißnähten zur Minderung des Gesamtspannungszustands wurde für das Strahlschweißen erfolgreich erbracht. Somit eröffnet die Anwendung der metallurgischen Injektion das Potential zur Kompensation von Schweißverzügen gemäß der Zielvorgabe des SFB 1120. Der Nachweis einer erfolgreichen Verzugskompensation muss im weiteren Projektverlauf erbracht werden.

In-Situ Messmethoden, wie Infrarot-Thermografie erlauben eine Detektion von Phasenumwandlungen aufgelöst nach Temperatur und Ort. Würden diese ergänzt mit Analytik zur Bestimmung und Propagation des Bauteilverzugs, stellen sie das Handwerkszeug zur Verfügung, welches den Einsatz von martensitisch umwandelnden LTT-Legierungen zur Minderung des Bauteilverzugs ermöglicht. Eine Überprüfung der ermittelten Spannungen soll ex-situ durch die Bohrlochmethode mit optischer Auswertung durch Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI), Röntgenbeugungsmessungen (A12) bzw. Elektronenbeugung im Transmissionselektronenmikroskop (A6) erfolgen.

Veröffentlichungen

Geben Sie einen Überblick über Ihre Publikationen im laufenden Jahr.

a) Referierte Veröffentlichungen:

- 1) Gach, S., Schwedt, A., Olschok, S., Reisgen, U. and Mayer, J., 2017. Confirmation of tensile residual stress reduction in electron beam welding using low transformation temperature materials (LTT) as localized metallurgical injection – Part 1: Metallographic analysis; *Materials Testing* 59, 2017, S. 148-154, Verfügbar unter: DOI: 10.3139/120.110957
- 2) Gach, S., Olschok, S. Francis, J.A., Reisgen, U., 2017. Confirmation of tensile residual stress reduction in electron beam welding by use of low transformation temperature materials (LTT) as localised metallurgical injection – Part 2: Residual stress measurement, *Materials Testing* 59, 2017, S. 618-624. Verfügbar unter: DOI: 10.3139/120.111046
- 3) Francis, J. Gach, S., Olschok, S., Haeusler, A., Gillner, A., Poprawe, R., Reisgen, U., 2017. Characterisation of Quasi-Stationary Temperature Fields in Laser Welding by Infrared Thermography, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2017, 48 (Heft 12)
- 4) Reisgen, U., Olschok, S., Sharma, R., Gach, S., 2017. Influence on Martensite-start-temperature and volume expansion of Low-Transformation-Temperature (LTT) materials used for residual stress relief in beam welding, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2017, 48 (Heft 12)
- 5) Reisgen, U., Sharma, R., Gach, S., Olschok, S., Francis, J.A., Bobzin, K., Oete, M., Wiesner, S., Knoch, M. Schmidt A., 2017. Residual stress measurement in AISi alloys, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2017, 48 (Heft 12)

b) Andere Veröffentlichungen - Konferenz Beiträge/ Veröffentlichung in Tagungsbänden:

- 1) Reisgen, U., Olschok, S., Gach, S., 2017. Residual stress reduction by low-transformation-temperature (LTT) filler materials for stress reduction in electron beam welding -Electron Beam Welding. In: *DVS Berichte*, Band 334, DVS Media GmbH, Düsseldorf, 2017



- 2) Reisgen, U., Olschok, S., Mokrov, O., Gach, S., Akyel, F., 2017. Simulation des thermischen Einflusses auf Verzug und Eigenspannungen in Kohlenstoff-Mangan-Stählen im Elektronenstrahlschweißprozess. In DVS-Berichte Band 337, 2017, S.96-101 ISBN 978-3-96144-008-5