

## Teilprojekt A7

### **Titel**

Nutzung der partiellen metallurgischen Injektion zur Steuerung der Erstarrungskräfte beim Schmelzschweißen

### **Projektleitung/-bearbeitung**

Reisgen, Uwe

Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF)

### **Aufgabenstellung**

*Beschreiben Sie die Aufgabenstellung im laufenden Jahr Ihres Teilprojekts bzw. Ihrer Arbeitskreisgruppe.*

Nachdem im ersten Jahr die „Befähigung“, insbesondere der Aufbau der Messtechnik und Prüfstände im Vordergrund der Arbeiten standen, lag der Fokus im zweiten Jahr auf der Prozessbeobachtung der Entstehung von Eigenspannungen sowie der Analyse der Erstarrung- und Umwandlungsvorgänge sowie Temperaturen der metallurgischen Deposition.

### **Vorgehensweise**

*Erläutern Sie die Vorgehensweise die Sie angewandt haben, um die Aufgabenstellung umzusetzen.*

- **Analyse der Werkstoffeigenschaften unterschiedlicher LTT-Legierungen:** Zur Analyse der Phasenumwandlungsvorgänge wurden 25 LTT-Legierungen anhand des Schöffler Diagramms ausgewählt und erschmolzen. Diese wurden mittels Dilatometrie hinsichtlich Umwandlungstemperatur und Volumenausdehnung untersucht sowie gefügetechnisch analysiert. Ziel war es die Abhängigkeit des Volumenexpansionspotential und Umwandlungstemperatur von unterschiedlicher Legierungszusammensetzungen zu untersuchen. Diese Erkenntnisse erlauben eine Optimierung der im Schweißprozess als metallurgische Injektion eingesetzten LTT-Werkstoffe hinsichtlich maximierter Druckspannungsinduzierung.
- **Applikation im Schweißprozess/Prozessbeobachtung:**
  - Eine aus dem Lichtbogenschweißen bekannte LTT-Legierung (Eisenbasis mit 10% Cr und 10 % Ni) wurde in Drahtform im Elektronenstrahl- und auch Laserstrahlschweißprozess appliziert. Der Einfluss unterschiedlicher Schweißparameter auf die geometrische

Form sowie die chemischer Zusammensetzung des Schweißgutes und dessen Homogenität wurden untersucht. Ebenso der Einfluss der Diffusion während der Abkühlung aus der Schmelzwärme.

- Der Nachweis der Druckspannungsinduzierung durch den LTT-Zusatzwerkstoff erfolgte durch Eigenspannungsmessungen mittels Bohrlochmethode (ex situ).
- **In-situ-Prozessbeobachtung:** Die latente Wärme, ein Indiz für die Phasenumwandlung, wurde in-Situ einerseits taktil, andererseits optische mittels Wärmebildkamera dokumentiert. Ebenso wurden erste Versuche mittels Bildkorrelation zur Dokumentation der Entstehung und Beeinflussung von Eigenspannungen in der Abkühlphase erstellt.

### Ergebnisse

*Nennen Sie Ihre erzielten Ergebnisse im Hinblick auf die Aufgabenstellung.*

- **Werkstoffeigenschaften:** Die Analyse der Werkstoffeigenschaften erlaubt eine Beurteilung der Werkstoffeigenschaften unterschiedlicher Schweißgüter und erlaubt somit die Festlegung eines Zielgebietes, welches hinsichtlich der Druckspannungseinleitung bei definierter Temperatur optimiert ist. Es wird deutlich, dass der Austenitstabilisator Nickel einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Volumendehnung sowie die Absenkung der Umwandlungstemperatur besitzt als das Legierungselement Chrom.
- **Einfluss der Strahlparameter:**
  - Die geometrische Form der metallurgischen Injektion lässt sich durch eine Variation der Parameter von flachen breiten Nähten zu schmalen, tieferen Injektionen verändern. Somit lässt sich auch der Ort/die Höhenlage der Druckspannungsinduzierung im Werkstoff verändern.
  - Eine Erhöhung der Strahlenergie vergrößert das Gesamtvolumen des Schweißbades und dadurch der Anteil des Grundwerkstoffs im Schweißgut (bei konstanter LTT-Zusatzwerkstoffzugabe). Somit kommt es zu einer Ablegierung der Legierungselemente des LTT-Werkstoffs in Schweißgut. Dies hat Auswirkung auf Umwandlungszeitpunkt sowie Volumendehnung der metallurgischen Injektion
  -

- **Nachweis des LTT-Effektes im Elektronenstrahlschweißprozess:** Durch metallographische sowie elektro-optische Analysen konnte im Schweißgut ein vollständig martensitisches Gefüge ohne Anteil an Restaustenit nachgewiesen werden. In Kombination mit dem Nachweis der Druckspannungsinduzierung im Nahtbereich kann der LTT-Effekt erstmalig in einem Strahlschweißprozess nachgewiesen werden.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

*Schreiben Sie eine kurze abschließende Zusammenfassung und geben Sie einen Ausblick über die nächsten Schritte in Ihrem Teilprojekt bzw. Ihrer Arbeitsgruppe.*

**Werkstoffanalyse:** Die Untersuchungen erlauben in einem ersten Ansatz eine gezielte Auswahl und Einstellung der Hauptlegierungselemente im Strahlschweißprozess. Neben dem Einfluss der Legierungselemente Chrom und Nickel soll im Weiteren die Eigenschaften der Austenitbildner Kohlenstoff und Mangan hinsichtlich der relevanten Werkstoffeigenschaften untersucht werden.

**Applikation im Schweißprozess:** Die Zuführung von LTT-Werkstoff in Drahtform als eine „Stellgröße“ erlaubt eine Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung in größeren Volumina und unterschiedlichen Nahtgeometrien und somit der Eigenschaften der metallurgischen Injektion. Dieser Einfluss wird aktuell untersucht. Dabei soll die metallurgische Injektion erstmals auch bei Verbindungsnahten eingesetzt werden.

**Prozessbeobachtung und Messtechnik:** Die Anwendung der in-situ-Messtechniken Thermographie und Bildkorrelation ermöglichen eine dezidierte Prozessanalyse hinsichtlich lokalen Temperaturgradienten, Eigenspannungsinittierung und Verzügen. Die positiven Ergebnisse aus dem Laserprozess sollen im Weiteren durch eine Applikation in einer Druckkammer im Arbeitsvakuum des EB-Prozess übertragen werden.

Die bereitstehende Messtechnik zur Bestimmung des tatsächlichen Energieeintrages und des Prozesswirkungsgrad (im ersten Projektjahr entwickelt) steht zur Verfügung und bedarf intensiver Tests, welche aktuell erfolgen. Dadurch kann das Potential der variablen Wärmefelder des EB-Prozesses hinsichtlich der gezielten Wärmeeinbringung ausgeschöpft werden.

**Zusammenspiel:** Die Untersuchung unterschiedlicher Werkstoffeigenschaften erlaubt die Definition eines Zielgebietes ge-

wünschter Eigenschaften (Volumendehnung, Umwandlungstemperatur, Härte, etc.) welches durch eine Variation der Schweißparameter im Strahlprozess gezielt eingestellt werden soll. Die Prozessanalyse dient als Informationsquelle für die aktive Beeinflussung der Erstarrungsvorgänge und Phasenumwandlungsprozesse.

### Veröffentlichungen

*Geben Sie einen Überblick über Ihre Publikationen im laufenden Jahr.*

Im Laufe des Jahres sind zwei peer-reviewed Veröffentlichungen sowie ein internationaler Konferenzbeitrag entstanden:

- Vortrag und Veröffentlichung im Tagungsband auf der „*Twelfth International Conference on Electron Beam Technologies*“ (EBT 2016) in Varna, Bulgarien mit dem Titel: *Application of Low-Transformation-Temperature-Materials in Electron Beam Welding* - U.Reisgen, S.Olschok, S. Gach
- Journal-Veröffentlichung in *Materialwissenschaften und Werkstofftechnik* 07/16: „Nutzung von Low-Transformation-Temperature-Werkstoffen (LTT) zur Eigenspannungsreduzierung im Elektronenstrahlschweißprozess“ -U.Reisgen, S.Olschok, S. Gach
- Journal-Veröffentlichung gemeinsam mit GFE in *Materials Testing, angenommen und terminiert auf 01/17* :“Confirmation of tensile residual stress reduction in electron beam welding by use of low transformation temperature materials (LTT) as localised metallurgical injection – Part 1: Metallographic analysis“ - S.Gach, A. Schwedt, S. Olschok, U. Reisgen, J. Meyer
- Part 2: „*Residual Stress measurement*“ der Veröffentlichung wird im ersten Halbjahr 2017 erfolgen.