

## Teilprojekt A7

### 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

Der Fokus lag in den Untersuchungen der Eigenspannungsverteilung durch in-situ Legieren. Die erzeugten Gefüge wurden untersucht und ein Zusammenhang zwischen der Legierungszusammensetzung und der Kompensation von Eigenspannungen hergestellt.

### Vorgehensweise

Schweißversuche am Laser und Elektronenstrahl wurden durchgeführt. Die im Elektronenstrahl verschweißte Probe war ein 1.4301 mit den Ausmaßen 100 x 50 x 2 mm. Als artgleichen Werkstoff wurde der G19 9 und als artfremder Werkstoff ein G3Si1 verwendet.

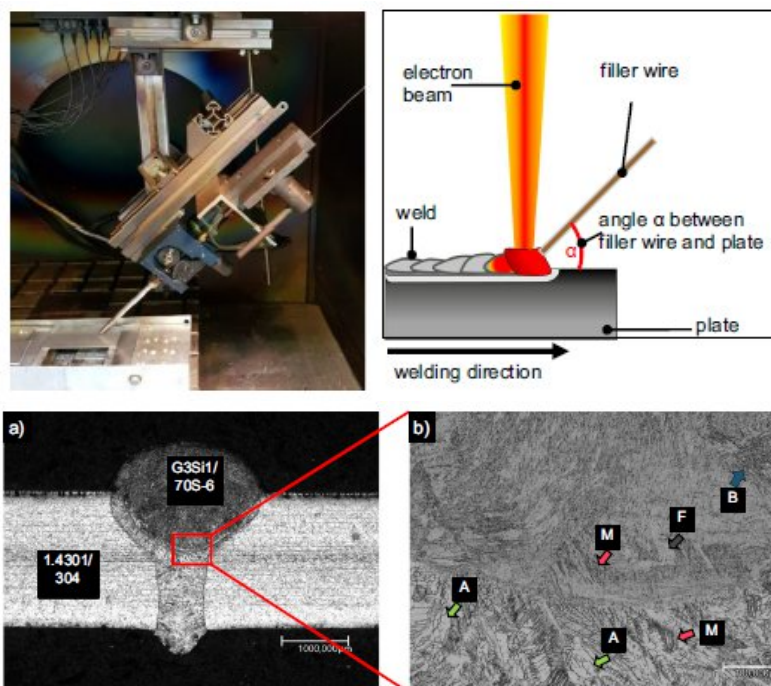


Abbildung 1: Elektronenstrahl Schweißaufbau und Makro- sowie Mikroschliffe der Schweißnaht

Mit der Verwendung eines artfremden Zusatzwerkstoffes kann die Legierungszusammensetzung innerhalb der Schweißnaht beeinflusst werden. Dadurch können die auftretenden Phasen beeinflusst werden. Insbesondere in einem austenitischen Grundwerkstoff, bei dem im Normalfall keine Phasenumwandlungen stattfinden, kann ein martensitisches Gefüge erzeugt werden. Weiterhin kann der Zeitpunkt der stattfindenden Phasenumwandlung durch die Legierungszusammensetzung manipuliert werden. Mit einer reduzierten Phasenumwandlungstemperatur (bzw. verzögerten Phasenumwandlung) können Druckspannungen im Schweißgut erzeugt werden, nachdem sich die thermisch bedingten Zugspannungen größtenteils schon aufgebaut haben. Somit können die hohen Längszugspannungen, die typisch für Strahlschweißverfahren sind, reduziert werden. Weiterhin wurden Schweißversuche mit demselben Grundwerkstoff am Laser durchgeführt. Auch hier wurden dieselben Zusatzwerkstoffe verwendet (G19 9 als artgleicher und G3Si1 als artfremder Zusatzwerkstoff). Die Ausmaße betragen hierbei 100 x 50 x 5 mm.

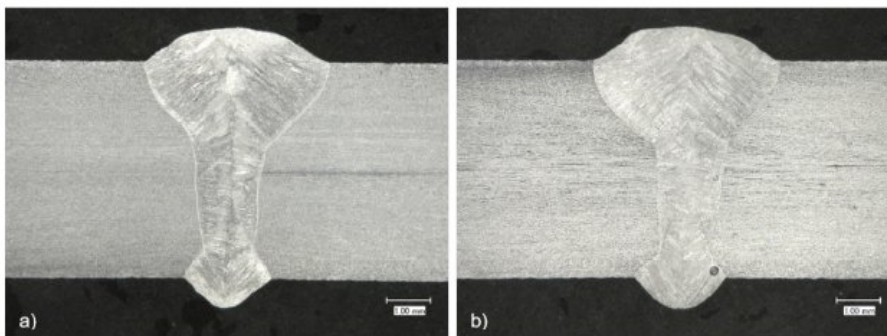


Abbildung 2: Vergleich der Makroschliffe einer artgleichen (a) und artfremden (b) Schweißung

Zur Darstellung der Eigenspannungen und auftretenden Phasen im Schweißprozess, wird eine Simulation durchgeführt. Ein transientes Modell mit Einbezug einer Wärmequelle und daraus folgenden Phasenumwandlungen wird erstellt. Aus dem resultierenden thermischen Verzug sowie der Gitterdehnungen aufgrund von Phasenumwandlung entsteht eine resultierende Eigenspannungsverteilung. Hierdurch kann ein Verständnis über die Wirkung einzelner Phasen auf den Spannungszustand im Bauteil abgeleitet werden. Das Modell wird für den Grundwerkstoff S235JR aufgebaut und zunächst ohne die

Einbindung eines Zusatzdrahtes (bzw. variablem Legierungszustand in der Schweißnaht) aufgebaut.

### Ergebnisse

Neben Mikroschliffen und Härtemessungen wurden Eigenspannungsmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass durch das Verwenden eines artfremden Zusatzwerkstoffes die Eigenspannungen insbesondere in Längsrichtung innerhalb der Schweißnaht reduziert werden konnten. Diese Reduzierung konnte sowohl mit dem Laser, als auch mit dem Elektronenstrahl erreicht werden.

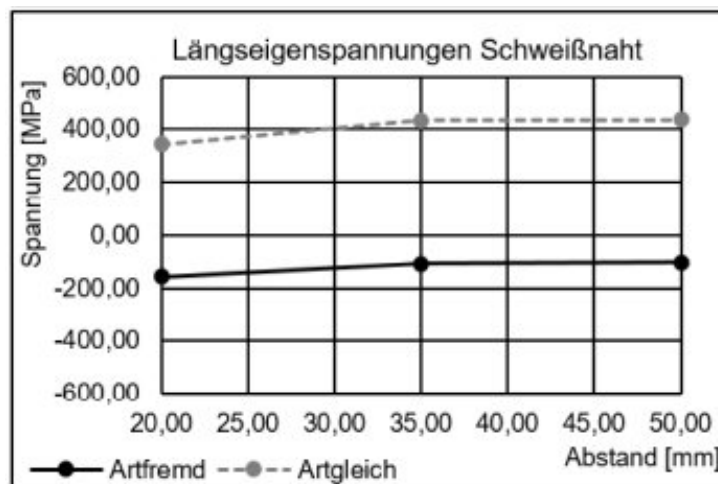


Abbildung 3: Längseigenspannungen in der Schweißnaht am Beispiel der laserstrahlgeschweißten Probe

Mit der Simulation konnte die Eigenspannungsverteilung im gesamten Bauteil abgebildet werden. Insbesondere die Längsspannungen in der Schweißnaht weisen eine relativ hohe Übereinstimmung mit experimentellen Messungen. Hierbei wurden die Phasenumwandlungen mit einbezogen, sodass der Einfluss einzelner Gefüge ebenfalls mit betrachtet wurden. Der Vorteil hierbei ist, dass durch separate Simulationen die Eigenspannungen mit und ohne Betrachtung einzelner Phasen bzw. Gefüge erfolgen kann. Somit kann ein Verständnis über den Einfluss des Gefüges auf die Eigenspannungen aufgebaut werden und die thermisch sowie gefügebedingten Phänomene unabhängig voneinander betrachtet werden.

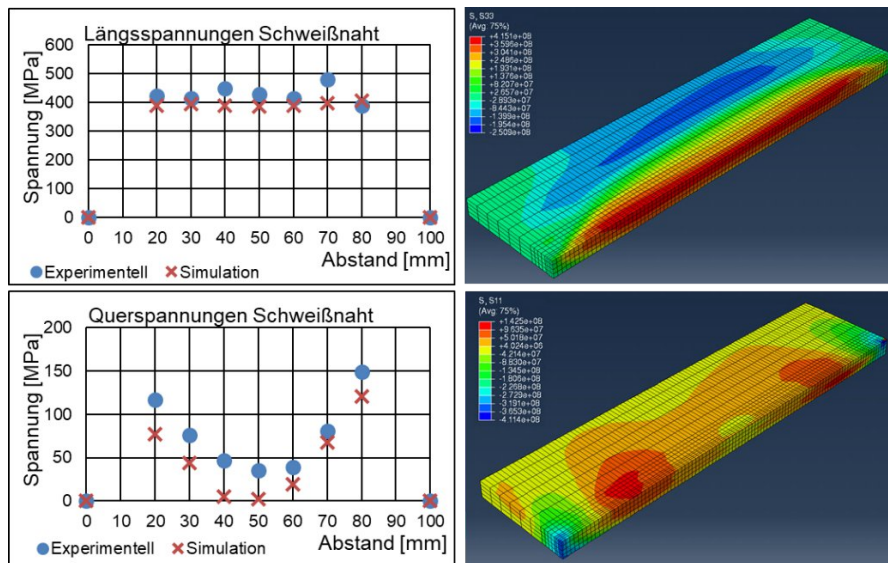


Abbildung 4: Vergleich experimentell gemessener und simulierter Eigenspannungen entlang der Schweißnaht bei 0,25 mm Tiefe (Phasenumwandlungen mitbetrachtet)

### Zusammenfassung und Ausblick

In den Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass durch eine gezielte Manipulation der Legierungszusammensetzung die Eigenspannungen in Längsrichtung reduziert werden können. Die Eigenspannungsverteilung konnte auch in einer Simulation mit Einbindung von Phasenumwandlungen durchgeführt werden. Weitere Untersuchungen bezüglich der Legierungszusammensetzung und dem Potential der Kompensation sollen durchgeführt werden. Hierbei sollen durch verschiedene Aufmischungsgrade die Möglichkeiten weiterer Reduktion der Eigenspannungen analysiert werden. Des Weiteren soll das Simulationsmodell durch die Einbindung des Zusatzwerkstoffes erweitert werden. Dies bedingt allerdings genaue Kenntnisse über die temperaturabhängigen Werkstoffeigenschaften. Die Ermittlung dieser soll in Zukunft bearbeitet werden.

### Veröffentlichungen

Akyel, F., Olschok, S., Reisgen, U., Reduction of distortion by using the low transformation temperature effect for high alloy steels in electron beam welding. Weld World (2020).

<https://doi.org/10.1007/s40194-020-00993-1>

Akyel, F., Olschok, S., Reisgen, U., Analyse der Eigenspannungsverteilung von artfremd geschweißtem Stahl im Strahlschweißverfahren. DVS-Berichte, Band 365: DVS Congress, 707-716 (2020)

Akyel F., Oster L., Olschok S., et al., Investigating plasma keyhole welding with multiple wires for fusion welding with chemically graded weld seams, Journal of Advanced Joining Processes 1 (2020)

<https://doi.org/10.1016/j.jajp.2020.100024>

Komerla K., Gach S., Akyel F. et al., Finite Element Simulation of Residual Stress Induced by High Energy Beam Welding in Dual Phase Steel, Lasers in Manufacturing and Materials Processing 7, 154-176 (2020)

<https://doi.org/10.1007/s40516-020-00112-4>

Akyel, F., Olschok, S., Reisgen, U., Dissimilar material combination in laser beam welding: reduction of distortion and residual stress, Proceedings Volume 11273, High-Power Laser Materials Processing: Applications, Diagnostics, and Systems IX; 112730B (2020)

<https://doi.org/10.1117/12.2543866>