

Abbildung 1: Abnehmerbranchen für deutsche Stahlrohrproduktion 2012, Wirtschaftsvereinigung Stahlrohre e.V.

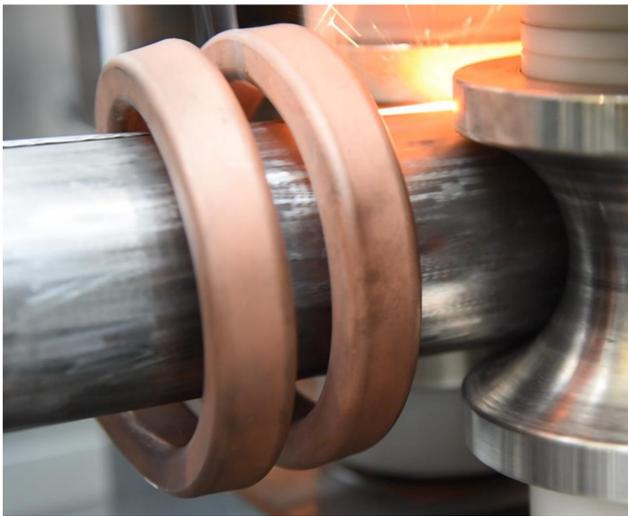


Abbildung 2: Induktiver Rohrlängsnahtschweißprozess

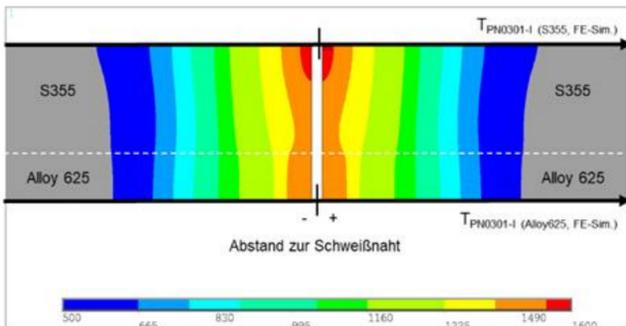


Abbildung 3: Wärmeverteilung für eine S355/Alloy 625 – Schweißung über den Fugstellenquerschnitt entsprechend FE-Simulation

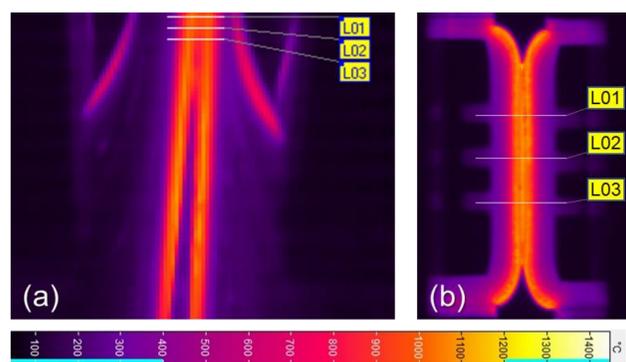


Abbildung 4: Aufnahme des IR-Thermografiesystems von (a) Referenz-Rohrschweißprozess und (b) entsprechender ETM-Simulation

## Induktives Schweißen von metallurgisch plattierten Rohren / Induction Welding of Cladded Pipes (InduClap)

### Abstract

Ziel des Projektes ist das induktive Längsnahtschweißen von metallurgisch plattierten Blechen zur Herstellung von mehrlagigen Stahlrohren für verschiedene Anwendungen (Abbildung 1). Die Möglichkeit plattierte Vor-materialien mit hochwirtschaftlichen induktiven Rohrschweißverfahren verarbeiten zu können, bietet enormes Kostensenkungspotential in bestehenden Anwendungen wie Leitungsrohren. Weiterhin ergeben sich neue Anwendungen für plattierte Rohre, z. B. korrosionsbeständige Rauchgasrohre oder in der Lebensmittelverarbeitung.

Für eine vollständige Anbindung des Fügequerschnittes und zur Einstellung der Legierungsverteilung über die Fügezone müssen einzelne Werkstoffe des Lagenverbundes gezielt erwärmt und deren Vermischung in der Wärmeeinflusszone kontrolliert werden. Hierzu wird auf einen numerischen und experimentellen Mehrfachsimulationsansatz zur Untersuchung des Prozesses sowie auf die simultane Mehrfrequenztechnologie zur selektiven Erwärmung einzelner Materialien zurückgegriffen. Der Mehrfachsimulationsansatz vereint numerische FE-Simulation sowie konduktive und induktive Versuchsschweißungen.

### Experimentelle Rohrschweißuntersuchungen

In einer experimentellen Rohrversuchsschweißanlage konnten induktiv längsnahtgeschweißte Rohre hergestellt werden (Abbildung 2), welche hinsichtlich Temperaturverteilung, Kompression, Geometrie sowie Schweißnahtausprägung, Mikrostruktur und Härteverteilung die Referenz für die Folgeuntersuchungen bildeten.

### FE-Simulation des Rohrschweißprozesses und der ETM-Simulation

Mit Hilfe der numerischen FEM-Analyse des Rohrschweißprozesses (Abbildung 3) konnten die experimentellen Rohrschweißungen abgebildet, die Durchführbarkeit des induktiven Längsnahtschweißens von plattierten Rohren theoretisch untersucht und Lösungsansätze für die technische Realisierung abgeleitet werden. Der Nachweis erfolgte mit metallischen Legierungen stark unterschiedlicher Zusammensetzungen und Gefügestrukturen für die Werkstoffe S355 und S235 als Trägerwerkstoff und Alloy 625 oder AISI 316L als Auflagewerkstoff. Die Untersuchungen wurden für die Wanddicken  $s_1 = 3$  mm Gesamtstärke und  $s_2 = 9$  mm durchgeführt.

Die genannten Lösungsansätze eignen sich um das Schweißen von weiteren ferritisch-austenitischen Materialkombinationen abzubilden. Bei der Lösungsfindung konnte mit Hilfe elektrischer und geometrischer Parameter eine erwünschte Leistungs- und Temperaturverteilung in der Bandkante eingestellt werden.

Für die Analyse der Anwendbarkeit des induktiven Längsnahtschweißens auf weitere Materialkombinationen sind die temperatur-abhängigen Materialeigenschaften für diese Materialien zu bestimmen und weitere Analysen für dickere Rohrwände erforderlich. Bei dickwandigen Geometrien ist davon auszugehen, dass der Sanduhreffekt deutlich zunimmt und die Temperaturverteilung im Bandkantenquerschnitt stark beeinflusst. Ebenfalls sind Einflüsse durch den Induktor und Impeder zu erwarten, welche im Rahmen des Projektes nicht untersucht wurden.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

### Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. habil. Verena Kräusel  
Tel.: 0371 531-32195

verena.kraeusel@mb.tu-chemnitz.de

Dipl. Wi.-Ing. MSc. Martin Kroll  
Tel.: 0371 531-36239

martin.kroll@mb.tu-chemnitz.de

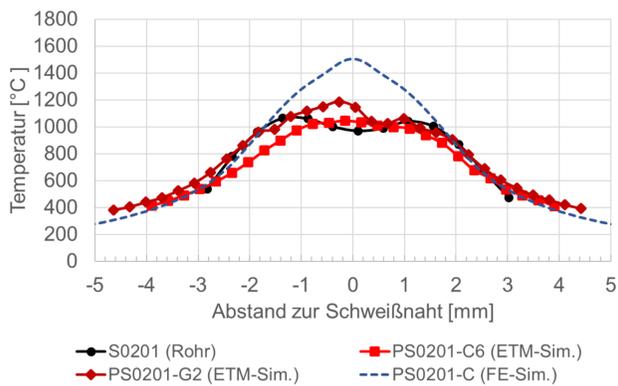


Abbildung 5: Wärmeverteilung an Blechoberfläche senkrecht zur Schweißnaht, ermittelt durch IR-Thermografie und FE-Simulation

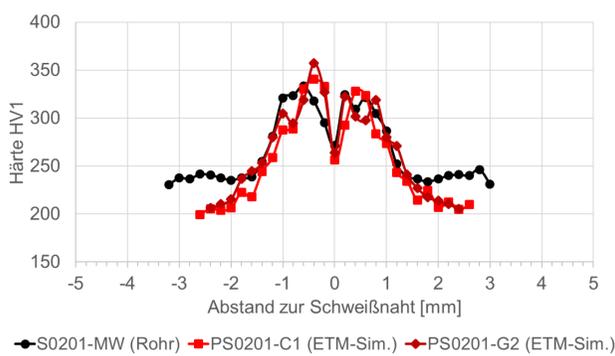


Abbildung 6: Härteverlauf in der Blechmitte senkrecht zur Schweißnaht

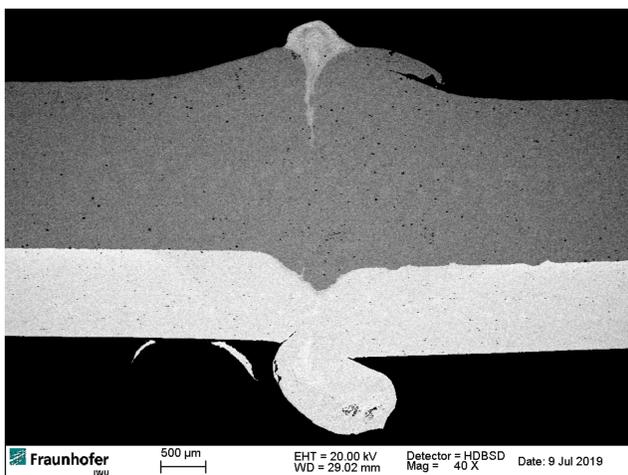


Abbildung 7: REM-Aufnahme des Fügequerschnitts einer S355/Alloy 625 - Schweißnaht

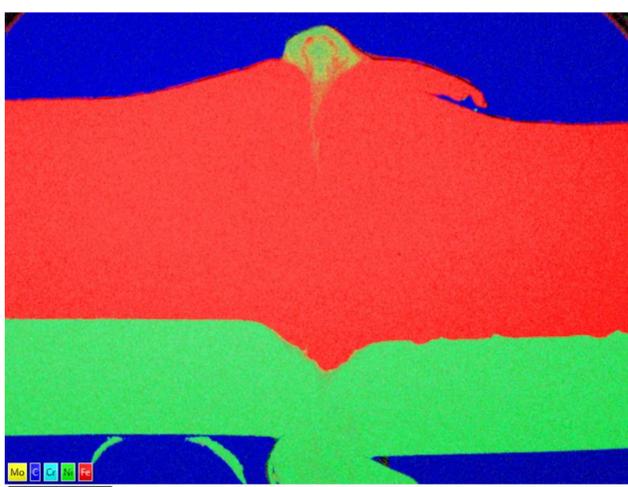


Abbildung 8: Verteilung der Elemente Fe und Ni gemessen mittels EDX in einer S355/Alloy 625 - Schweißnaht

### ETM-Simulation des Rohrschweißprozesses mit einem Werkstoff

Im Rahmen des Projektes wurde ein elektro-thermomechanischer (ETM) Rohrschweißsimulator realisiert, welcher die wesentlichen Parameter und Teilprozesse des Rohrschweißprozesses (Tabelle 1) gestattet. Der Abgleich der Simulationsprozesse und -ergebnisse erfolgte mit Blechen aus dem Werkstoff S355J2+N, mit einer Dicke von 3 mm, bei einer simulierten Rohrschweißgeschwindigkeit von  $v_s = 16$  m/min. Hierbei zeigten sich in der Wärmeeinflusszone hohe Übereinstimmungen zwischen Rohrschweißprozess und ETM-Simulation hinsichtlich der Temperaturverteilung (Abbildung 4 und 5) bis ca. 1.050 °C, der resultierenden Mikrostruktur (Gefüge und Verteilung) sowie der Härte (Abbildung 6).

Tabelle 1: Übertragbarkeit der Parameter von der ETM-Simulation auf den Rohrschweißprozess

identisch	direkt übertragbar	indirekt übertragbar
Werkstoffzusammensetzung	elektrische Leistung	Stauchkraft
Wanddicke	Schweißgeschwindigkeit	Spreizrollenposition
Frequenz(en)	Einlaufwinkel	Impederabmessungen*
Stauchung	Erwärmungsdauer	Impederposition*
	Induktortyp (Induktorlänge)*	Impederwerkstoff*
	Induktorposition*	

\* im Rahmen des Projektes nicht untersucht

Der Einfluss unterschiedlicher Ausgangszustände der Probenwerkstoffe, wie der Umformgrad und die Wärmebehandlung, wurden nicht untersucht. Die Schmelzbewegungen, der Impedereinfluss und nicht-lineare Deformationen der Bandkanten bis zum Schweißpunkt sowie der Einfluss der Nacherwärmung der Schweißnaht nach dem Schweißpunkt durch Teilströme waren ebenfalls nicht Teil der Untersuchungen.

### ETM-Simulation mit plattierten metallischen Werkstoffkombinationen

Basierend auf den positiven Ergebnissen aus den FE-Simulationen mit den Werkstoffkombinationen S355 (Trägerwerkstoff) / Alloy 625 (Auflagewerkstoff), der Wanddickenkombination  $s_{S355} = 2$  mm /  $s_{Alloy 625} = 1$  mm und zwei Frequenzen, wurden entsprechende ETM-Simulationen durchgeführt. Hierbei konnte eine Anbindung beider Lagen erreicht werden (Abbildung 7). Weiterhin war eine durchgehende Lage – bestehend aus dem Aufagewerkstoff – entstanden (Abbildung 8). Deren hoher Nickelanteil lässt auf eine hohe Korrosionsbeständigkeit schließen. Aus diesen erfolgreichen Untersuchungen kann in Kombination mit der erfolgreichen ETM-Simulation eines Referenzschweißprozesses geschlossen werden, dass es mit einem Zweifrequenz-Rohrschweißprozess möglich ist, plattierte Rohre der Werkstoffkombination S355/Alloy 625 herzustellen.

### Ausblick

Zur Herstellung plattierter, induktiv längsnahtgeschweißte Rohre ist es erforderlich, entsprechendes Vormaterial als Coil zur Verfügung zu haben. Dies ist bisher lediglich im Kaltwalzplattierprozess mit geringen Blechdicken und Bandbreiten möglich. Im Warmwalzprozess ist die unterschiedliche Wärmedehnung der ferritischen und austenitischen Plattierpartner in bestehenden Walzstraßen eine der Herausforderungen. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich. Mit dem Vorliegen des Bandmaterials sind experimentelle Rohrschweißuntersuchungen in Vorbereitung des industriellen Einsatzes mit der bestehenden Rohrversuchsschweißanlage möglich. Für die industrielle Anwendung sind darüber hinaus normungsseitige Voraussetzungen zu schaffen.

Der Schlussbericht wird der Öffentlichkeit durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA) zur Verfügung gestellt

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages