

› **Machbarkeitsstudie**

# Induktionsschweißen von PE-Rohren

Die induktive Erwärmung findet vor allem im Bereich der Metallverarbeitung breite Anwendung, aber auch in der Kunststoffverarbeitung kann die induktive Erwärmung eingesetzt werden, zum Beispiel zum Schweißen. Nachfolgend werden die Ergebnisse einer erfolgreichen Machbarkeitsstudie zum Thema Induktionsschweißen von PE100-Rohren vorgestellt.

› **Prof. Dr. Pierre Jousset<sup>1</sup>, Lukas Grab<sup>1</sup>, Nico Lipp<sup>1</sup>, Dirk Petry<sup>2</sup>, Stefan Schöller<sup>2</sup>, Oliver Trefz<sup>2</sup>**

Die induktive Erwärmung gehört zu den direkten elektrothermischen Verfahren. Bei diesen Verfahren wird die Wärme direkt im zu erwärmenden Gut erzeugt. Bei der induktiven Erwärmung wird mit einer wechselstromdurchflossenen Spule ein ebenfalls wechselndes Magnetfeld erzeugt. Dieses Magnetfeld erzeugt mittels Induktion Wirbelströme in einem elektrisch leitfähigen Material. Die induktive Erwärmung kann sowohl für gut leitfähige Materialien wie Metalle, aber auch für Halbleitermaterialien wie Graphit oder weniger gut leitfähige Materialien wie Gläser verwendet werden.

Die induktive Erwärmung besitzt heute ein breites Spektrum von klassischen leistungsintensiven Anwendungen wie in der Eisen- und Stahlindustrie, bis zu modernen Anwendungen wie z.B. Karosseriekleben im Automobilbereich oder bei der Prozessierung von Einkristallen in der Halbleiterindustrie. [1]

Zu den weiteren Anwendungen der induktiven Erwärmung zählt auch das Kunststoffschweißen, da durch die Wärmeerzeugung direkt im Material diverse Vorteile wie z.B. hohe Erwärmungsgeschwindigkeiten, gezielte lokale Leistungseinbringung und dadurch keine Schädigung der nicht zu verbindenden Bereiche und sehr gute Steuerbarkeit der Leistungseinbringung entstehen. Da Kunststoffe aber nicht elek-

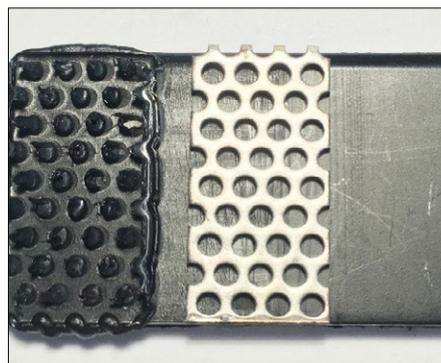


Bild 1: Aufgeschmolzene PE-Platte und metallisches Lochblech.

trisch leitfähig sind, wird für die induktive Erwärmung ein Zusatzmaterial benötigt, in welchem die Wärme erzeugt wird. Dieses Zusatzmaterial kann von elektrisch leitfähigen Partikeln, die direkt beim Urformen in die Bauteile gebracht werden, bis zu metallischem Vollmaterial, das während dem Fügeprozess zwischen die zu fügenden Bauteile gebracht wird, reichen.

Da durch die Magnetisierungsverluste bei der induktiven Erwärmung eines ferromagnetischen Materials mehr Wärme erzeugt wird als in einem nicht ferromagnetischen Material, ist es effizienter Eisen bzw. Stahl als Zusatzmaterial zu verwenden. Da dies aber unter Umständen für die Trinkwassertauglichkeit nicht zulässig ist, kann zum Beispiel auch Aluminium eingesetzt werden.

In der getätigten Machbarkeitsstudie war das Ziel die Verschweißung von einem PE100-Rohr mit einem Stopfen mittels induktiver Erwärmung. Zur Abklärung geeigneter elektrisch leitfähiger Zusatzstoffe wurden im Rahmen einer Vorstudie umfassende Erwärmungsversuche diverser Zusatzstoffe, mit anschließender Herstellung von Zugscherproben, durchgeführt. Die Zusatzstoffe mit dem geeignetsten



Bild 2: Versagen im Grundwerkstoff einer induktionsgeschweißten Zugscherprobe.

Erwärmungsverhalten wurden zwischen zwei Platten aus PE 100 eingebettet und mittels Induktionsverfahren geschweisst. Als Zusatzstoffe wurden sowohl Eisenpulver, beigemischt im Kunststoff, als auch Stahl sowie Aluminium Lochblech und Drähte verwendet.

## Im besten Fall versagt das Kunststoffrohr

Die Festigkeit der Zugscherproben wurde mithilfe einer Zugprüfmaschine ausgewertet. Die Proben, welche mit einem Lochblech als Zusatzstoff verschweisst waren, zeigten die höchsten Festigkeiten (Bild 1). Im besten Fall versagt nicht die Schweissverbindung, sondern das PE100 Substrat (Bild 2). Ein optimales Schweissverfahren mit einem Lochblech resultiert in einem adhäsiven Stoffschluss zwischen Metallblech und Kunststoff und in einem kohäsiven Stoffschluss des Kunststoffs in den Löchern, wo der geschmolzene Kunststoff von den beiden Seiten des Lochblechs in Kontakt kommt und beim Abkühlen eine reine Schweissverbindung bildet (Bild 1). Hierbei scheint die Schweissverbindung in den Löchern für eine hohe Festigkeit der

<sup>1</sup> Prof. Dr. Pierre Jousset, IWK, Leiter Fachbereich Verbindungstechnik, Lukas Grab, Nico Lipp, IWK, Rapperswil  
<sup>2</sup> Co-Autoren Dirk Petry, Stefan Schöller, Oliver Trefz, GF Piping Systems, Schaffhausen

Zugscherprobe entscheidend zu sein. Die Anzahl und Abmessungen der Löcher sowie die Dicke des Lochblechs sind wichtige Parameter, denn das Lochverhältnis bestimmt das Verhältnis von erwärmender Fläche zu verbindender und somit belastbarer Fläche. Die Materialdicke beeinflusst die Distanz, welche durch das geschmolzene Material überwunden werden muss und zugleich wie viel Masse zur induktiven Leistungseinbringung verfügbar ist. Diese beiden Verhältnisse müssen – je nach Randbedingungen des Fügeprozesses und Anforderungen an die mechanische Belastbarkeit der gefügten Bauteile – angepasst werden.

Mit den Erfahrungen aus den Zugscherprüfungen konnte das Konzept zur Verschweissung des Rohres mit dem Stopfen entwickelt werden (Bild 3). Mit einem Stahlring, in den Löcher – ähnlich wie in einem Lochblech – eingebracht sind, wird das Verhältnis von Lochfläche zu wärmeübertragender Fläche wie gewünscht eingestellt und die Flächen für eine optimale Temperaturverteilung entsprechend verteilt. Durch die erhebliche Materialdicke des Rings von bis zu einem Millimeter (ca. 6 % des Radius) muss ein gewisser Fügedruck aufgebracht werden, damit sich das aufgeschmolzene Material überhaupt verbindet. Bei den flachen Zugscherproben war dieser Fügedruck durch externe Krafteinwirkung einfach zu erreichen. Bei der zylindrischen Schweissfläche ist das Sicherstellen eines genügenden Fügedrucks eine Herausforderung, da eine externe ringförmige Krafteinwirkung nötig wäre. Es

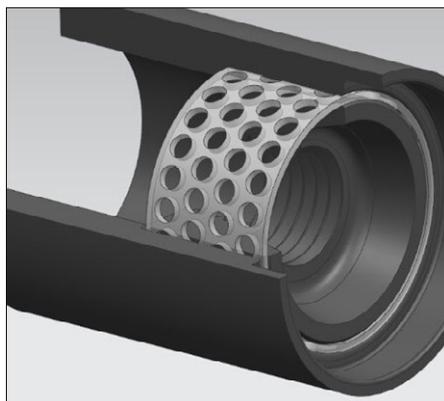


Bild 3: Schnitt des Entwurfs der Induktionsschweissschelle bestehend aus Stopfen, Stahlring mit Löchern und Rohr.

hat sich herausgestellt, dass durch eine leichte Übermasspassung der beiden Fügeteile genügend Fügedruck erreicht werden kann, um eine gute Verschweissung zu ermöglichen. Die Rohr-Stopfen-Probekörper wurden anhand der Erfahrungen der Vorstudie verschweisst. Die Qualität der Verschweissung wurde anhand eines Schnittes durch die Schweissstelle überprüft (Bild 4). Als Validierung wurde wiederum die Festigkeit der Probekörper mithilfe einer Zugprüfmaschine geprüft. Es konnte gezeigt werden, dass die Konfigurationen von Verschweissverbindungen am besten den Belastungen standhalten, bei denen das Kunststoffrohr versagt. Um die Dichtheit und die Zeitbeständigkeit der Verbindung zu beweisen, wurden Dauertests durchgeführt. Dabei werden die Rohr-Stopfen-Probekörper 1000 Stunden mit einem Innendruck von 11 bar bei einer Temperatur von 80 °C belastet, wobei die



Bild 4: Längsschnitt der realen Schweissstelle.

Schweisverbindungen diesen Test intakt überstehen müssen.

#### Literatur

[1] Baake, Egbert. (2014). Induktives Erwärmen: Wärmen, Härten, Glühen, Löten, Schweißen. Essen: Vulkan-Verlag

#### Kontakte

IWK Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung an der HSR  
Prof. Dr. Pierre Jousset  
Oberseestrasse 10  
CH-8640 Rapperswil  
+41 55 222 40 53  
pierre.jousset@hsr.ch  
www.iwk.hsr.ch

GF Piping Systems  
Ebnatstrasse 111  
CH-8201 Schaffhausen  
www.georgfischer.com

# IHRE LÖSUNG HEISST



Der Spezialist für Ihre Aufgaben  
mit individuellen «à la carte»-Lösungen

Mit **KOCH-TECHNIK** Zentralförder- und  
Trocknungsanlagen sowie Dosiersystemen

Zusammen mit **KOCH-TECHNIK** bieten wir  
Ihnen vielfach bewährte Lösungen an

**HATAG**<sup>®</sup>  
Handel und Technik AG

HATAG Handel und Technik AG  
Rörswilstrasse 59 ■ CH-3065 Bolligen  
Telefon +41 (0)31 924 39 39  
hatag@hatag.ch ■ www.hatag.ch