

Thermografieuntersuchung an Muffenverbindingssystemen von Kunststoffmantelrohren

Michael PFEIFFER*, Jörg FINNBERG*,
Jens RIDZEWSKI*

* IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH
(Wilhelmine-Reichard-Ring 4, 01109 Dresden)

In der Fernwärmetechnik werden nach dem derzeitigen Stand der Technik Kunststoffmantelrohre im Rohrleitungsnetz eingesetzt. Das Materialverbundsystem Kunststoffmantelrohr besteht aus einem Medienrohr aus Stahl, einer Isolierungsschicht aus Polyurethan und einem Kunststoffmantel aus Polyethylen (PE). Die Muffenverbindung hat die Funktionen der Wärmeisolierung des Medienrohresbereiches, in dem zwei Kunststoffmantelrohrenden zusammengefügt werden. Zusätzlich wird durch den PE-Mantel und spezifische Dichtsysteme der Muffenverbindung vermieden, dass Luftsauerstoff und Wasser in den PUR-Schaum bzw. im ungünstigsten Fall zum Medienrohr vordringen kann.

Es gibt derzeit keine Untersuchungsmethoden, die die Fertigungsqualität und damit die Produkteigenschaft der Muffenverbindung nach der Montage zerstörungsfrei charakterisieren kann. Bisher wurden die Bauteileigenschaften der Muffenverbindung im ausgebauten Zustand und anhand aufgetretener Schadensfälle am Bauteil grundsätzlich durch zerstörende Prüfverfahren untersucht. Eine Qualitätskontrolle direkt nach dem Einbau und während der Einsatzdauer ist sinnvoll, um Verarbeitungs- und Materialfehler im Anfangsstadium sowie Schädigungen während der Einsatzdauer zu analysieren und damit unvorhergesehene Ausfälle des Bauteils zu vermeiden.

In einer Machbarkeitsstudie der IMA GmbH Dresden konnte gezeigt werden, dass zerstörungsfreie Untersuchungen am Bauteil Muffenverbindung grundsätzlich möglich sind. Das Bauteil kann damit hinsichtlich seines Aufbaus und der ordnungsgemäßen Verarbeitung charakterisiert werden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde die zerstörungsfreie Untersuchung an Muffenverbindungen weitergeführt. Ziel ist dabei die Verifizierung des zerstörungsfreien Prüfverfahrens „Lock-In Thermografie“ zur Untersuchung von Muffenverbindingssystemen.

Das Prüfkonzept umfasst drei unterschiedliche Muffensysteme mit jeweils drei Prüfkörpern, die von unterschiedlichen Herstellern zur Verfügung gestellt werden. Ein Prüfkörper ist mit zwei Abdichtungsbereichen (links u. rechts) und in Abhängigkeit des Muffensystems mit zwei Stopfen versehen. Pro Muffensystem ist als Referenz ein Abdichtungsbereich und mindestens ein Stopfen nach den geltenden Verarbeitungsanweisungen „möglichst fehlerfrei“ montiert worden. Die restlichen Abdichtbereiche und Stopfen sind mit gezielt eingebrachten Material- u. Verarbeitungsfehlern manipuliert worden. Diese praxisrelevanten Fehler wurden vor der Montage im Rahmen einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus Ingenieurbüros, Fachgutachtern, Herstellern und der IMA GmbH Dresden definiert. Die Prüfkörper wurden

von einem unabhängigen, zertifizierten Muffenmonteur unter Anwesenheit der Hersteller montiert. Für die Untersuchung der Abdichtbereiche wird ein aktives Verfahren der Thermografie, die optisch angeregte Lock-In Thermografie (OLT) genutzt. Die Abdichtbereiche der Prüfkörper werden zyklisch mit einem Halogenstrahler angeregt und mit einer Infrarotkamera detektiert. Die elektromagnetische Strahlung wird von der Prüfkörperoberfläche absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die Wärme diffundiert in Abhängigkeit der Wärmeleiteigenschaften des Prüfkörpers durch das Prüfobjekt und wird an der Prüfkörperoberfläche wieder als elektromagnetische Strahlung emittiert. Diese Strahlung wird mit Hilfe der Infrarotkamera detektiert. Inhomogenitäten, Fehlstellen, Veränderung im Schichtaufbau oder der Materialdicke beeinflussen das Diffusionsverhalten, was zu einer Veränderung der Strahlungsverteilung auf der Prüfkörperoberfläche führt und erfasst werden kann.

Am Beispiel eines ausgewählten Prüfkörpers wird die zerstörungsfreie Untersuchung des Abdichtbereiches mit der optischen Lock-In Thermografie erläutert. Dieser Prüfkörper wurde mit einem fehlerhaften Abdichtband manipuliert, das nicht im vollen Umfang appliziert wurde. In der Abb. 1 sind die Messergebnisse der optischen Lock-In Thermografie dargestellt. Um die Messung vollumfänglich durchführen zu können, muss der Abdichtbereich aufgrund der zylindrischen Geometrie der Prüfkörper in drei Bereiche (4 Uhr, 12 Uhr und 8 Uhr) aufgeteilt werden. Im unmittelbaren Randbereich des Muffen-PE-Mantels (obere Bildabschnitte) ist das Dichtband als schmaler und im Vergleich zur Umgebung hellerer Streifen erkennbar. In der 12 Uhr Darstellung des Prüfkörpers ist dieser helle Streifen gut sichtbar unterbrochen. An diesem Bereich ist das Dichtband partiell unterbrochen worden. In vertikaler Richtung schließt sich nach unten ablaufender Folge ein Hohlraum an (schmal dunkler schattiert), gefolgt von einem breiten Streifen (heller schattiert), der zur Verklebung des Abdichtbereiches dient. Anschließend folgt wieder ein etwas schmalerer Streifen (dunkler schattiert), der ebenfalls auf einen Hohlraum zurück zuführen ist. Darunter setzt die Schrumpffolie (weißlich) im Bereich des Muffenschaums ein (unterer Bildrand).

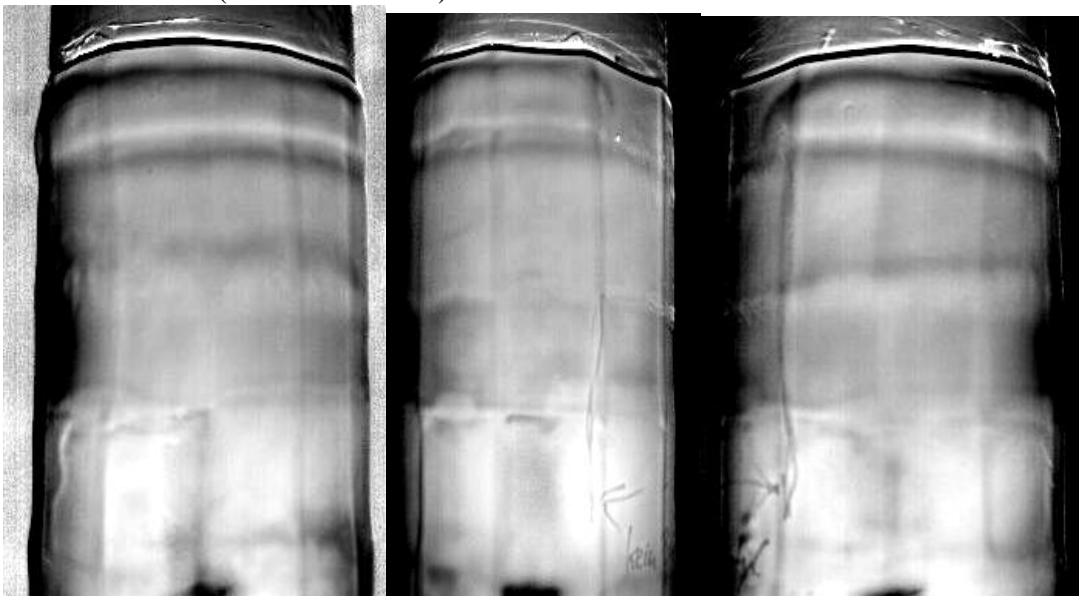


Abb. 1: Prüfkörper 2.2AR optische Lock-In Thermografie, Darstellungsbereiche 4 Uhr (links), 12 Uhr (Mitte) und 8 Uhr (rechts)

Die Messergebnisse der OLT konnten mit einer Ultraschallanalyse (UT) und der Röntgentomografie (XCT) bestätigt werden. Für die Ultraschallanalyse wurde das Impuls-Echo Verfahren eingesetzt. In der Abb. 2 (links) ist das Resultat der Ultraschallprüfung im Bereich des partiell fehlenden Dichtbandes am Signal der Ultraschallwelle (A-Scan) dargestellt. In diesem Prüfbereich wird ein Rückwandecho (von der Rückseite des Muffen-

PE-Mantels) detektiert. Die Ultraschalluntersuchung an einer Referenzstelle im Dichtbandbereich zeigt, dass die Anwesenheit des Dichtbandes eine totale Schallabsorption verursacht. Es wird kein Rückwandecho detektiert (siehe Abb. 2 (Mitte)). Im Aufschumpfbereich in dem das Muffen-PE mit dem PE-Mantel des Kunststoffmantelrohres (KMR) verklebt ist, werden zwei Rückwandechos detektiert (siehe Abb. 2 (rechts)). Das erste Rückwandecho wird wie schon im vorherigen Prüfbereich von der Rückseite des Muffen-PE-Mantels ausgelöst. Das zweite Rückwandecho wird von der Rückseite des KMR-PE-Mantels verursacht.



Abb. 2: Prüfkörper 2.2 AR Ultraschallprüfung (A-Scan) im Bereich partiell ohne Dichtband (links), im Bereich mit Dichtband (Mitte) und im Bereich der Muffenverklebung (rechts)

Die Ergebnisse der XCT-Untersuchung an dem gewählten Prüfkörper sind in Abb. 3 und Abb. 4 dargestellt. In der Längsschnittdarstellung (Abb. 3) ist der Schichtaufbau des Abdichtbereiches zu erkennen. Der untere graue Streifen, der von links in das Bild einläuft, ist der PE-Mantel des KMR's. Der obere hellere Streifen, der von rechts in das Bild einläuft, ist der PE-X-Mantel der Muffe. Dazwischen befinden sich die Verbindungs- bzw. Abdichtsysteme in den markierten Bereichen 1 - 4. Im Bereich 1 ist das Dichtband detektierbar, im Bereich 2 die Verklebung zwischen KMR und Muffe und im Bereich 4 die Schumpffolie. Im Bereich 3 deutet sich ein Hohlraum an, der durch die lokale Aufdickung entsteht und nicht durch die Muffe kompensiert werden kann. Ergänzend zum Längsschnitt wird mit Hilfe der virtuellen Abwicklung des Abdichtbereiches des Prüfkörpers (siehe Abb. 4) das Dichtband im oberen Bildbereich als helles Band visualisiert und der partiell nicht applizierte Bereich wird deutlich.

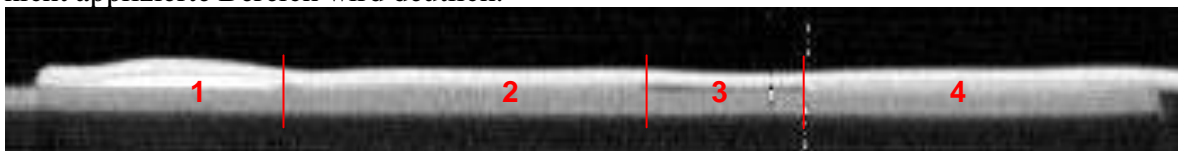


Abb. 3: Prüfkörper 2.2 AR, Röntgentomographie Ausschnitt, Längsschnitt durch den Abdichtbereich

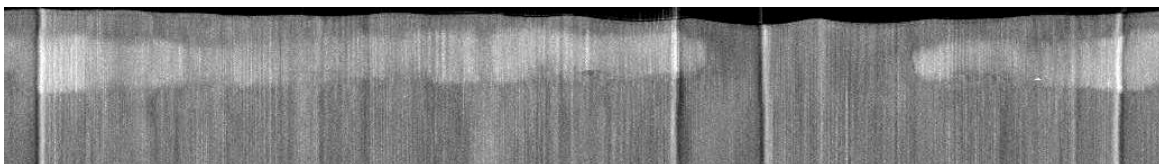


Abb. 4: Prüfkörper 2.2 AR, Röntgentomographie Ausschnitt, Abwicklung im Bereich des Dichtbandes

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die optisch angeregte Lock-In Thermografie in der Lage ist, den grundlegenden Aufbau der Abdichtbereiche der untersuchten Prüfkörper zu detektieren und zu prüfen. Es lassen sich fehlerhafte Abdichtungen oder Verklebungen feststellen. Herausforderung der Thermografieuntersuchung an Kunststoffmantelrohrsystemen und deren Muffenverbindungen ist die geringe Wärmeleiteigenschaft aufgrund des isolierenden Charakters des PUR-Schaumes. Mit den Referenzverfahren Ultraschall und Röntgentomografie konnten die Messergebnisse der OLT verifiziert werden.

Für weitere Untersuchungen sind Thermografieverfahren anzustreben die auf anderen Techniken beruhen. Ein Beispiel dafür wäre, eine Erwärmung von innen heraus zu realisieren und die Temperaturverteilung auf Rohroberfläche mit der Infrarotkamera zu untersuchen. Damit können gegebenenfalls Rückschlüsse auf Defekte oder Inhomogenitäten im Kunststoffmantelrohrsystem geschlossen werden. Des Weiteren ist die Untersuchung der Stopfen für die Beurteilung des gesamten Systems essentiell. Die in Ansätzen erzielten Ergebnisse der optisch angeregten Lock-In Thermografie müssen noch weiter verifiziert werden. Für eine abschließende Bewertung aller Prüfergebnisse ist eine zerstörende Untersuchung aller Prüfkörper vorgesehen.