

## Zusammenfassung

Der vorliegende Abschlussbericht stellt die erreichten Ergebnisse des Forschungsvorhabens „ThermoFSW-Entwicklung einer fertigungsintegrierbaren zerstörungsfreien Prüftechnik für punkt- und linienförmig rührreibgeschweißte Strukturbauteile mittels thermografischer Methoden“ (01.01.2013 – 31.12.2014 / Kostenneutrale Verlängerung bis zum 30.04.2015) zusammenfassend dar.

Durch die Analyse des Rührreibschweißprozesses und das definierte Einbringen von Unregelmäßigkeiten in Rührreibschweißnähte konnten die Möglichkeiten und Grenzen thermografischer Methoden zur Detektion von Schweißfehlern herausgearbeitet werden. So ist die Detektion von oberflächennahen Fehlstellen und unvollständigen Durchschweißungen mittels passiver sowie aktiver Thermografieverfahren möglich, während innenliegende, abnahmekritische Poren aufgrund physikalischer und verfahrenstechnischer Einschränkungen nicht mit hinreichender Genauigkeit detektierbar sind.

Zunächst wurde dazu intensiv die gezielte Einbringung realitätsnaher Unregelmäßigkeiten in Kooperation mit dem Projektbegleitenden Ausschuss durchgeführt. Es wurden globale und lokale Schweißnahtunregelmäßigkeiten definiert und gezielt in Schweißproben eingebracht. Die Ausprägung dieser Unregelmäßigkeiten wurde sowohl durch zerstörende als auch durch zerstörungsfreie Prüfmethoden evaluiert.

Im Rahmen der vorgestellten Arbeit konnte gezeigt werden, dass die passive Thermografie beim Rührreibschweißen eingesetzt werden kann, um das Aufheiz- bzw. das Abkühlverhalten von Schweißnähten zu analysieren. Es wurde gezeigt, dass die erzeugten Thermografiedaten eine hohe Reproduzierbarkeit haben. Zudem wurde erläutert, dass zur Erkennung von globalen Unregelmäßigkeiten Referenzdatensätze benötigt werden.

Zur Reduzierung von Störungen bei der passiven Thermografie hat sich eine gute Abschirmung von Umgebungs-, Prozessstörgrößen sowie dem Werkzeug als empfehlenswert herausgestellt. Der Einsatz von eloxierten Oberflächen, wie sonst bei passiver Thermografie üblich, bot im vorliegenden Fall keine Vorteile. Eine starke Wärmeabstrahlung erschwerte zudem eine passive thermografische Messung um das Werkzeug herum.

Unregelmäßigkeiten, die an der Nahtoberfläche lagen, wie Grat und aufbrechende Schlauchporen, ließen sich sehr gut mittels passiver Thermografie online erkennen. Zur Erkennung innerer Unregelmäßigkeiten wurden verschiedene Auswerteverfahren analysiert. Anhand der vorgestellten Methode der kontinuierlichen Durchlaufprüfung wurde eine Auswertemethode präsentiert, mit der die Auswertung der gesamten Schweißnaht in einer Darstellung möglich war. Mit diesem Verfahren ließen sich lokale sowie globale Unregelmäßigkeiten detektieren.

Anzumerken ist allerdings, dass Oberflächenmerkmale wie Gratabbildung durch höhere Wärmestrahlung die Thermografiemessung überlagerten und dadurch die Detektion darunterliegender Unregelmäßigkeiten erschwerten. Es konnte nicht festgestellt werden, ob unter einer rauen Oberfläche Unregelmäßigkeiten vorlagen, oder nicht. Zudem ließen sich Unregelmäßigkeiten mit zunehmendem Abstand zur Oberfläche schlechter detektieren.

Bei den Untersuchungen zur Eignung der aktiven thermografischen Verfahren zur Detektion von Fehlern in Rührreibschweißungen wurde festgestellt, dass zur Prüfung der Proben eine Oberflächenmodifizierung der Proben vorteilhaft ist. Durch den hohen Reflexionsgrad und den niedrigen Emissionskoeffizienten des walzblanken Aluminiums ist eine Prüfung der Proben nur

eingeschränkt möglich und erfordert eine komplette Abschirmung der Prüfkörper von allen Störeinflüssen. Ein Einfluss der unterschiedlichen Aluminiumlegierung auf die Prüfergebnisse konnte in den Untersuchungen nicht festgestellt werden.

Die Ultraschall angeregte Lockin Thermografie zeigte sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der Detektion von unvollständigen Durchschweißungen und versetzten Schweißnähten. Durch die bei diesen Fehlern in Folge der Ultraschallanregung auftretenden Reibeffekten und der daraus resultierenden Wärmeentwicklung können diese Defekte sicher detektiert werden.

Nachteilig ist dabei jedoch, dass sowohl die Eigensteifigkeit der Proben als auch die Einspannung und Anregung entscheidenden Einfluss auf die Prüfergebnisse haben. Weisen die Proben eine zu geringe Eigensteifigkeit auf, sind die Reibeffekte zu gering um Fehlstellen nachweisen zu können und es kommt zum Schwingen des Prüfkörpers, was die Prüfergebnisse verfälscht. Zudem kann es durch Einspannungs- und Anregungseffekte zur Überlagerung des Messsignals kommen, sodass die Defekterkennung erschwert wird.

Auch die induktiv angeregte Puls-Phasen-Thermografie ist zur Detektion unvollständiger Durchschweißungen und versetzter Schweißnähte mit Materialtrennungen geeignet. Entscheidend für die Detektion der Fehlstellen ist die Auswahl von an die Prüfaufgabe angepassten Induktoren und passender Prüfparameter.

Zudem konnte die Eignung beider Verfahren zur Detektion von Trennungen in Überlappstößen nachgewiesen werden.

Die Detektion von abnahmekritischen Schlauchporen konnte nicht nachgewiesen werden. Infolge der hohen Temperaturleitfähigkeit der Aluminiumlegierungen war ein Nachweis durch die induktiv angeregte Thermografie nicht möglich. Auch durch die Ultraschall angeregte Thermografie konnten diese Fehlstellen nicht nachgewiesen werden, da keine ausreichende Wärmeerzeugung durch Reibungseffekte erfolgte, die die Grundlage dieses defektselektiven Verfahrens bildet.

Somit konnten im Projekt die aktiven und passiven thermografischen Verfahren zur Prüfung bestimmter Schweißunregelmäßigkeiten beim RRS qualifiziert werden. Auf Basis dieser Qualifikation können die Verfahren zur Detektion der oben beschriebenen Unregelmäßigkeiten in der Produktion eingesetzt werden.

Werden die erreichten Ergebnisse den vorgegebenen Zielen des Forschungsvorhabens gegenübergestellt, so kann festgestellt werden:

**Die Ziele des Vorhabens wurden erreicht.**