

Möglichkeiten und Grenzen aktiver Thermografieverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung rührreibgeschweißter Aluminiumbleche

Malte MUND¹, Stefan KRELING¹, Klaus DILGER¹, Igor KRYUKOV²,
Sven SCHÜDDEKOPF², Stefan BÖHM²

¹ Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs), TU Braunschweig

² Fachgebiet für Trennende und Fügende Fertigungsverfahren (tff), Universität Kassel

Kurzfassung. Die aktive Thermografie mit induktiver Anregung hat sich in den vergangenen Jahren in einer Vielzahl von Anwendungsfällen als zerstörungsfreies Prüfverfahren etabliert. Vor allem im Bereich der ferromagnetischen Werkstoffe erlaubt die Prüfung mittels der induktiv angeregten Puls-Phasen-Thermografie (PPT) die gezielte, schnelle Einbringung des zur Fehlstellendetektion benötigten Wärmeimpulses. Für Werkstoffe, die nicht ferromagnetisch sind, ergeben sich bei der Prüfung Herausforderungen, da aufgrund der physikalischen Eigenschaften die Erwärmung wesentlich schwieriger ist. Dies wird besonders bei der Prüfung von Aluminiumlegierungen deutlich. Neben der vergleichsweise schlechten Erwärmbarkeit begrenzt die hohe Temperaturleitfähigkeit (Diffusivität) die Möglichkeiten zur Detektion der Fehler.

Ein praxisrelevantes Beispiel für die Schwierigkeiten, die bei der zerstörungsfreien Prüfung entstehen, tritt bei der Prüfung rührreibgeschweißter Aluminiumlegierungen auf. Obwohl das Rührreibschweißen ein sehr robuster Prozess ist, kann es infolge von Schwankungen der Prozessparameter zu Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht kommen. Die wesentlichen makroskopischen Fehler, die sowohl die statische als auch die dynamische Festigkeit der Schweißverbindung beeinträchtigen, sind zum einen unvollständige Durchschweißungen und zum anderen innenliegende Poren. Insbesondere die innenliegenden Poren stellen eine prüftechnische Herausforderung dar.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten und Grenzen der induktiven PPT zur Detektion von Fehlern in rührreibgeschweißten Aluminiumblechen. Dazu werden anwendungsrelevante Unregelmäßigkeiten in unterschiedlichen Ausprägungen in Rührreibschweißungen eingebracht. Zum einen werden die Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens zur Prüfung von Stumpfstoßen und Überlappschweißungen vorgestellt. Zum anderen werden Blindnähte, in die Poren eingebracht wurden, betrachtet. Die Validierung der Ergebnisse erfolgt sowohl über Schlifffbilder als auch über μ CT-Messungen.

1. Einführung

Das Rührreibschweißen ist ein Schweißverfahren, das besonders zum Fügen von Aluminiumlegierungen an Bedeutung gewinnt. Bei diesem Verfahren werden die Fügepartner plastifiziert und im selben Schritt verrührt, sodass eine stoffschlüssige



Verbindung entsteht. Dazu wird ein rotierendes Werkzeug entlang der Fügezone geführt und durch die dabei entstehende Reibungswärme die Verbindung erzeugt. Das Verfahren ist in Abbildung 1 dargestellt.

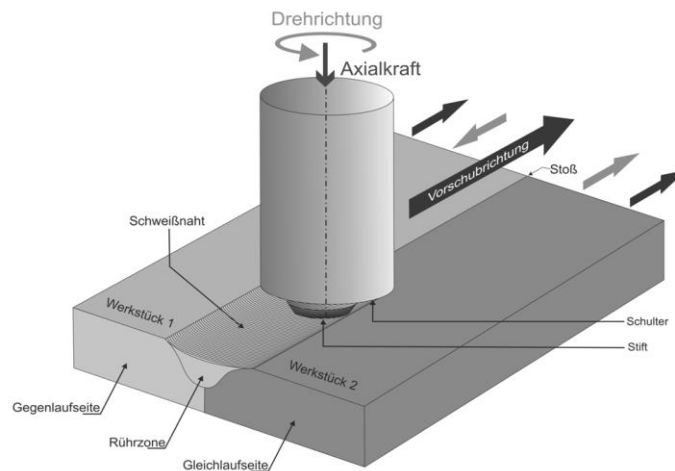


Abb. 1. Schematische Darstellung des Rührreibschweißens [Quelle: tff Kassel]

Das verwendete Werkzeug besteht aus einer Schulter und einem Stift, wobei lediglich der Stift in die Fugestelle eintaucht. Dieser Stift erzeugt einen Großteil der Reibungswärme und verrührt das Material. Zudem wird durch die Wahl der Stifflänge die Schweißtiefe bestimmt. Die Schulter führt durch den Kontakt zur Werkstückoberfläche zusätzliche Reibungswärme zu und ebnet die Schweißnaht ein [1]. Das Verfahren ist automatisiert, und durch eine Prozesskontrolle lassen sich viele Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht direkt identifizieren. Trotzdem kann es zu Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht kommen, deren Detektion passende zerstörungsfreie Prüfverfahren erfordert.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen dieser Arbeit das Potenzial der induktiven Puls-Phasen-Thermografie anhand praxisrelevanter Unregelmäßigkeiten erfasst. Ziel der Untersuchungen war es, die Möglichkeiten und Grenzen thermografischer Verfahren zur Erfassung praxisrelevanter Unregelmäßigkeiten zu untersuchen. Dazu wurden diese gezielt in Schweißnähte eingebracht, die dann thermografisch mit der induktiven Puls-Phasen-Thermografie (PPT) untersucht wurden. Die Validierung der Prüfergebnisse und deren Bewertung erfolgte anhand von Schliften, μ CT-Messungen und, für unvollständig durchgeschweißte Stumpfstöße, durch die Farbeindringprüfung.

2. Stand der Technik

2.1 Unregelmäßigkeiten beim Rührreibschweißen

In der DIN EN ISO 25239 [2] sind mögliche Unregelmäßigkeiten sowie die Verfahren zur Detektion dieser Unregelmäßigkeiten zusammengefasst. Diese lassen sich in Form- und Lageabweichungen, die durch visuelle Prüfungen oder durch Makroschliffe erfasst werden, und Unregelmäßigkeiten, die zwingend durch Makroschliffe ausgeschlossen werden müssen, einteilen. Dabei sind besonders unvollständige Durchschweißungen und (Schlauch)Poren von Interesse, die zu starken Festigkeitseinbußen führen. Zudem können bei Überlappverbindungen unzureichende Durchschweißungen auftreten, die aufgrund mangelnder Zugänglichkeit nicht direkt detektiert und lediglich in Schliffbildern sichtbar gemacht werden können. Die in dieser Studie betrachteten Unregelmäßigkeiten sind in Abbildung 2 zusammengefasst.

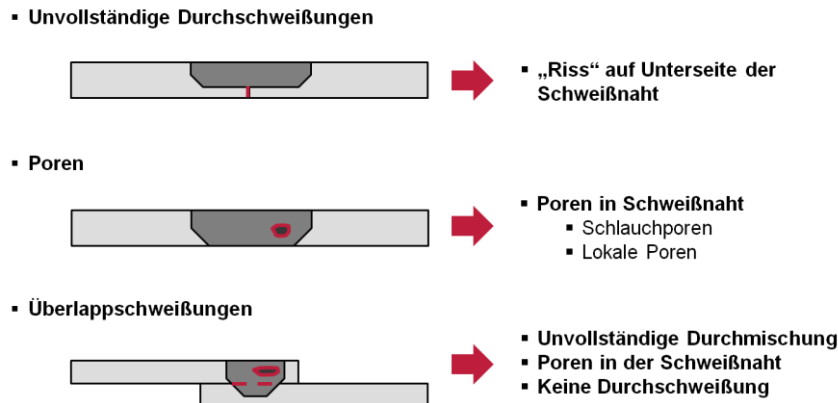


Abb. 2. Betrachtete Unregelmäßigkeiten beim Rührreißschweißen

2.1 Detektion von Unregelmäßigkeiten

Standardmäßig werden die Unregelmäßigkeiten beim Rührreißschweißen durch eine gezielte Prozessüberwachung anhand der Prozesskräfte detektiert [3]. Abweichungen deuten auf Unregelmäßigkeiten hin, die gemäß den Vorgaben der DIN EN ISO 25239 zu prüfen sind. Neben den in der Norm beschriebenen Verfahren zur Detektion der Unregelmäßigkeiten wurden in den vergangenen Jahren verschiedene zerstörungsfreie Prüfverfahren evaluiert. Besondere Schwerpunkte lagen dabei auf dem Einsatz von Ultraschallverfahren [4-8] und auf Wirbelstromverfahren [9]. Weitere Ansätze beziehen sich auf die Anwendung der Radiographie [12]. Die ultraschallangeregte Lock-in-Thermografie zur Detektion unvollständiger Durchschweißungen wird in [13] beschrieben.

Die Möglichkeiten und Grenzen der induktiv angeregten Puls-Phasen-Thermografie zur Prüfung von Rührreißschweißungen, deren Eignung für zahlreiche Fügstellen in [14] beschrieben wird, wurden noch nicht erfasst und stellen den Inhalt dieser Arbeit dar.

3. Thermografische Untersuchung von Rührreißschweißungen

Nachfolgend sind die Ergebnisse der thermografischen Messungen zusammengefasst. Ausgehend von Stumpfstößen mit unvollständigen Durchschweißungen wurden Überlappstöße mit unterschiedlichen Schweißnahtqualitäten betrachtet. Zur Detektion innerer Fehlstellen wurden Blindnähte mit definierten Fehlerausprägungen und -lagen erzeugt und deren Prüfbarkeit bewertet.

3.1 Anlagentechnik und Prüfaufbau

Alle Schweißnähte wurden mit dem Prüfsystem „ITvis“ der Fa. Edevis GmbH geprüft. Zur Energieeinkopplung wurde der Induktionsgenerator EW50W der Fa. IFF GmbH eingesetzt. Die unvollständigen Durchschweißungen wurden mit einem speziellen Rissprüfungsinduktor in einer Reflektionsanordnung geprüft. Zur Prüfung der Blindnähte und der Überlappstöße wurde der Induktor direkt auf der Vorderseite der zu prüfenden Schweißnähte positioniert. In diesen Fällen erfolgte die Messung in einer Transmissionsanordnung. Im Rahmen der Untersuchungen wurden sowohl die Anregungsdauer, die Pulsweitenmodulation sowie die Induktionsfrequenz variiert. Die Induktoren zur Anregung wurden den erwarteten Unregelmäßigkeiten entsprechend gewählt und die Induktionsparameter angepasst. In Tabelle 1 sind die in dieser Arbeit

eingesetzten Anregungsparameter und Induktoren zusammengefasst. Die Parameterermittlung erfolgte dabei experimentell.

Tabelle 1: Übersicht der Anregungsparameter

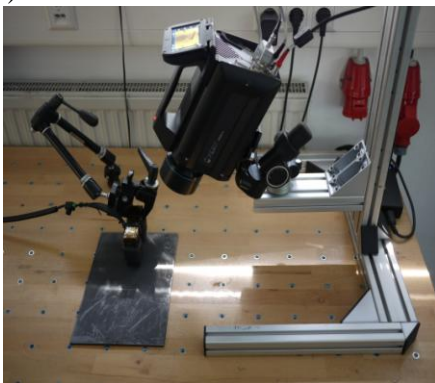
Prüfaufgabe	Induktor	Impulsdauer [ms]	Frequenz [kHz]	PWM [%]	Auswertefrequenz [Hz]
Unvollständige Durchschweißung	Rissprüfungs-induktor	100	22,5	100	5
Überlappstoß	Wassergekühlter Induktor KT104	300	12	60	2
Blindnaht mit Poren	Wassergekühlter Induktor KT104	100-1000	12-22	75	-

Für die Datenerfassung zur Prüfung der unvollständigen Durchschweißungen wurde eine Infrarotkamera der Fa. Flir (FLIR X6500 SC) eingesetzt. Die Framerate betrug 400 Hz. Zur Prüfung der Überlappstöße und der Blindnähte wurde eine gekühlte IR-Kamera (Jade III MWIR) mit einem InSb-Hybrid-FPA Detektor und einer Auflösung von 320x240 px bei einer Framerate von 170 Hz eingesetzt. Sämtliche Proben wurden für die Prüfung geschwärzt.

3.2 Nachweis unvollständiger Durchschweißungen

Der Nachweis unvollständiger Durchschweißungen erfolgt an Musterschweißnähten, bei denen durch eine Variation der Schweißparameter eine sich über die Schweißnahtlänge ändernde Durchschweißung erzielt wurde. Die Detektion dieser Schweißfehler stellt eine der Rissprüfung ähnliche Prüfaufgabe dar. Wie auch bei der Rissprüfung, die bei der Anwendung entsprechender Prüfhardware sehr gut umsetzbar ist [14], wurde daher ein zur Rissprüfung optimierter Induktor eingesetzt. Dieser erzeugt ein Magnetfeld, das die zur Erwärmung des Bauteils nötigen Wirbelströme induziert. Der Fluss dieser Ströme wird an den unvollständigen Durchschweißungen analog zu Rissen behindert, wodurch eine Umleitung der Wirbelströme und eine damit verbundene Erhöhung der Stromdichte an der unvollständigen Durchschweißung folgen. Dies führt zu einer detektierbaren Änderung des Wärmeflusses im Bauteil. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3a.) dargestellt. Die Ergebnisse einer Messung an einem Stumpfstoß zwischen zwei 5°mm dicken Aluminiumblechen sind in Abbildung 3b.) zusammengefasst. Die Probe wurde schrittweise geprüft (Felder 1-5), die Gesamtlänge der Schweißnaht beträgt 30 cm.

a.)



b.)

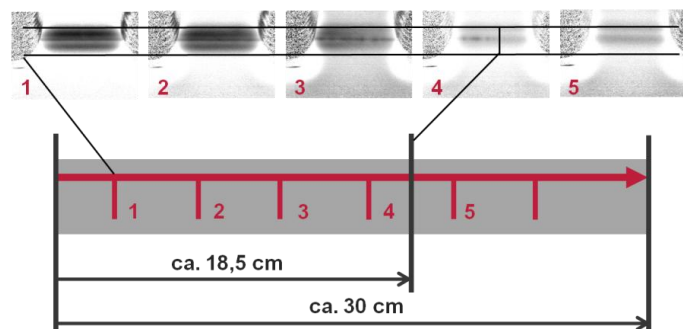


Abb. 3. Prüfung unvollständiger Durchschweißungen: a.) Versuchsaufbau, b.) Ergebnis zur Detektion unvollständiger Durchschweißungen

Die Messungen zeigen, dass sich die unvollständige Durchschweißung über eine Länge von 18,5 mm entlang der Schweißnaht zieht und somit ca. 2/3 der Schweißnaht von dieser Schädigung betroffen sind. Diese Ergebnisse korrelieren sehr gut mit den Resultaten, die durch den Einsatz der ultraschallangeregten Lock-in-Thermografie ermittelt wurden (vgl. [12]). Bei der hier dargestellten Probe konnte in diesen Versuchen eine Länge der Unregelmäßigkeit von 18,8 mm festgestellt werden. Mittels Farbeindringprüfungen war es möglich, dieses Ergebnis zu validieren.

3.3 Prüfung von Überlappschweißungen

Überlappschweißungen sind neben den Stumpfstößen die wichtigste Stoßgeometrie. Im Gegensatz zu den Stumpfstößen sind bei dieser Geometrie jedoch keine rissähnlichen unvollständigen Durchschweißungen aufgetreten. Von Relevanz ist in diesem Fall die Durchmischung zwischen den beiden Blechen. Da eine visuelle Prüfung nicht möglich ist, lässt sich die Qualität der Schweißverbindungen lediglich über makroskopische Prüfungen garantieren.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden dazu Schweißproben hergestellt und untersucht, bei denen zum einen lokale Unregelmäßigkeiten durch das Einbringen von Papierstreifen bzw. Maschinenfett in die Schweißzone erzeugt wurden. Zum anderen wurden globale Unregelmäßigkeiten entlang der gesamten Schweißnaht durch den Einsatz verkürzter Stifte am Rührreibwerkzeug erzeugt. Die Auswirkungen dieser Prozessbeeinflussungen wurden visuell anhand der in Abbildung 4 dargestellten Schliffbilder ermittelt.

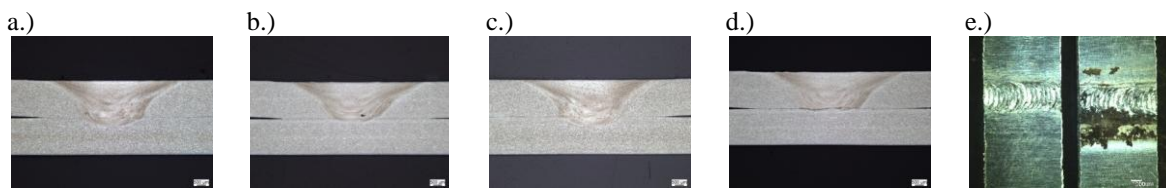


Abb. 4. Validierung der Einbringung von Unregelmäßigkeiten beim Schweißen von Stumpfstößen: a.) i.O.-Naht; b.) verkürzter Schweißstift; c.) Maschinenfett in Schweißzone; d.) Maschinenfett in Schweißzone und verkürzter Pin; e.) Papier in Schweißzone

Bei der i.O.-Naht (Abbildung 2a.) sind weder Poren noch Oxidlinien im Schweißbereich zu erkennen. Die Schweißung wurde mit einer Stiftlänge von 2,29 mm durchgeführt. Die Schweißung stellt eine durchgehende Verbindung zwischen dem oberen und dem unteren Blech her. Im Vergleich dazu wirkt sich die in Abbildung 2b.) dargestellte Verkürzung des Schweißstifts auf 2,1 mm sehr stark aus. Zum einen ist die Einschweißtiefe wesentlich geringer, wodurch die Vermischung des Materials aus den beiden Blechen nicht ausreichend ist. Infolge der mangelhaften Durchmischung werden die Oxidschichten in der Schweißzone nicht aufgebrochen und verbleiben in der Fügeebene. Dies kann eine deutliche Senkung der Tragfähigkeit nach sich ziehen. Zudem bilden sich Poren aus. Im Gegensatz dazu wirkt sich das Einbringen von Maschinenfett (Abbildung 2c.) nahezu nicht auf das Schweißergebnis aus. Die Einschweißtiefe sowie die Ausbildung der Schweißzone entsprechen der i.O.-Schweißung. Abbildung 2d.) zeigt eine Kombination dieser beiden Prozessbeeinflussungen. Die Stiftlänge wurde abermals auf 1,93 mm reduziert. Auswirkungen des Maschinenfetts sind wiederum nicht erkennbar, jedoch zeigt sich der Einfluss der Stiftlänge, da die Oxidschichten wiederum nicht aufgebrochen werden. Die deutlichsten Auswirkungen ergeben sich jedoch aus dem Einbringen von Papier in die Fügezone, da kein Verrühren der beiden Bleche zustande kommt. An den Stellen, an denen das Papier eingebracht wurde, verbleiben somit Trennungen im Material.

Ausgehend von den validierten Unregelmäßigkeiten wurden zunächst i.O.-Nähte untersucht und anschließend mit den Ergebnissen der gezielt eingebrachten Unregelmäßigkeiten verglichen. Repräsentative Ergebnisse dieser Untersuchungen sowie eine Skizze des Versuchsaufbaus sind in Abbildung 5 zusammengefasst.

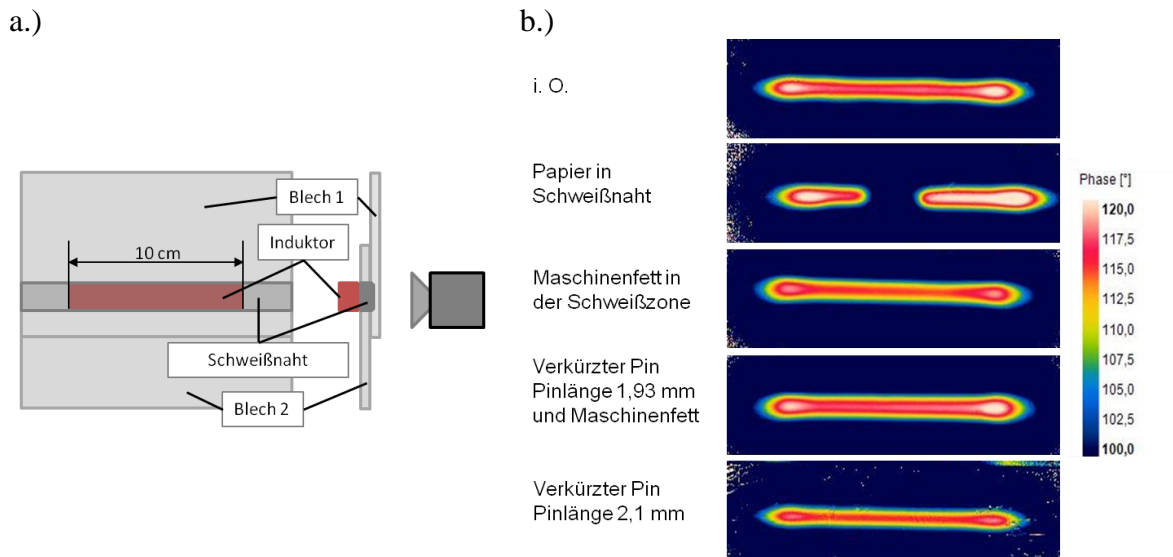


Abb. 5. Prüfung von Überlappstößen: a.) Versuchsaufbau; b.) Ergebnisse der thermografischen Prüfung von Stumpfstoßen mit gezielt erzeugten Unregelmäßigkeiten

Im Rahmen der Untersuchungen zeigte sich, dass die meisten Prozessbeeinflussungen sich nicht auf die Ergebnisse der Puls-Phasen-Thermografie auswirken. Lediglich das Einbringen von Papier lässt sich aus den Prüfergebnissen klar detektieren. Da die Durchmischung der beiden Bleche verhindert wird, liegt in diesem Fall kein Stoffschluss vor, und es ergibt sich ein thermischer Widerstand, der den Wärmefluss behindert und zu der in Abbildung 2 dargestellten Abweichung im Phasenbild führt. Demgegenüber bilden sich durch die weiteren Prozessbeeinflussungen keine Trennungen in der Fügezone aus. Zwar ist die Durchmischung, wie aus den Schliffbildern zu erkennen ist, nicht optimal, dennoch wird eine Vermengung des Materials erreicht. Die Abweichungen in den Phasenbildern im Vergleich zur i.O.-Naht sind zu gering und bewegen sich innerhalb der Streubreite der Messungen, sodass keine fundierte Aussage hinsichtlich möglicher Unregelmäßigkeiten getroffen werden kann. Auch die kleinen Poren, die infolge des verkürzten Schweißstiftes in Abbildung 4b.) auftreten, sind nicht detektierbar. Somit muss festgehalten werden, dass lediglich komplette Trennungen in Stumpfstoßen nachgewiesen werden können.

3.3 Prüfung von Blindnähten

Besonders kritische Fehlstellen, die im Schweißprozess auftreten können, sind Poren oder Schlauchporen, die sich entlang der Schweißnaht ziehen. Für die Größe dieser Poren sind in der DIN EN ISO 25239 in Abhängigkeit von der Blechdicke Maximalgrößen angegeben. Die Poren dürfen einen Durchmesser, der 20 % der Blechdicke beträgt, nicht überschreiten. Die Maximalgröße des Porendurchmessers ist auf 4 mm begrenzt. Im Rahmen der Arbeiten wurden Blindnähte erzeugt, in die gezielt Poren eingebracht wurden. Es wurden die in Abbildung 6 dargestellten Porengrößen erzeugt. Die Blechdicke der Probenkörper betrug 3 mm, woraus sich eine maximale Porengröße von 0,6 mm ergibt.

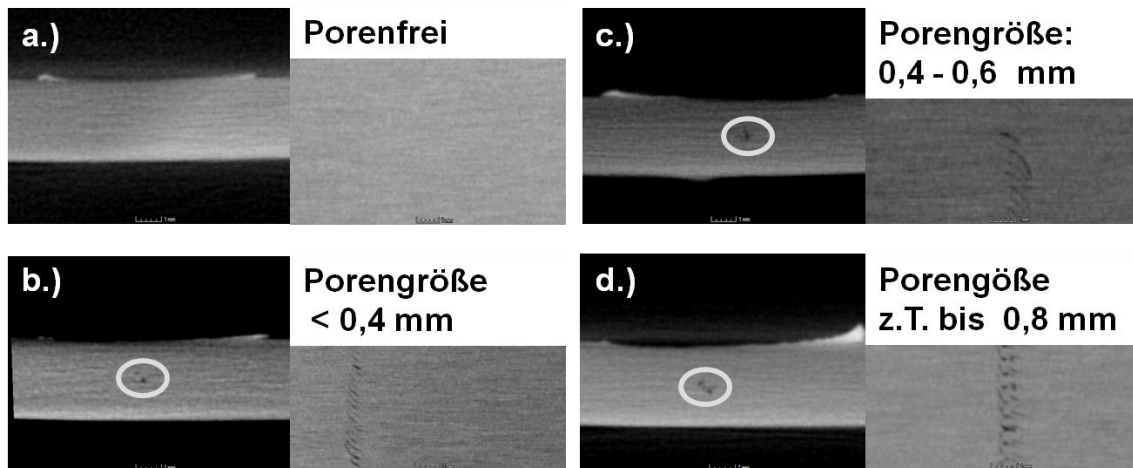


Abb. 6. Erfassung der Porenausprägung an Blindnähten

Ausgehend von der in Abbildung 6a.) dargestellten Blindnaht ohne Poren wurde die Porengröße durch eine Variation von Prozessparametern systematisch gesteigert. Die kritische Porengröße wird bei der Ausprägung c.) erreicht, sodass sich als Mindestanforderung an die PPT der Nachweis dieser Porengröße ergibt. Diese liegt jedoch weit außerhalb der Detektionsgrenzen der PPT, da auch die größten Poren (Abbildung 6d.)) trotz der Prüfung mit einem breiten Spektrum an Anregungsparametern (vgl. Tabelle 1) nicht detektiert werden konnten. Auch ein Abtragen der Bleche und somit einer Verringerung des Abstandes der Poren zur Detektionsebene bis auf 0,2 mm ermöglichte nicht die Detektion der Poren. Es konnten keine Unterschiede zwischen den Referenzmessungen an den Blindnähten ohne Poren und den porenbehafteten Proben nachgewiesen werden, sodass festgehalten werden muss, dass der in dieser Arbeit betrachtete Aufbau der Puls-Phasen-Thermografie nicht zur Detektion praxisrelevanter Poren in Rührreibschweißungen geeignet ist. Dies ist auf die geringe Größe der Poren und deren Lage in den Probenkörpern zurückzuführen. In Kombination mit der hohen thermischen Diffusivität von Aluminium und dessen Legierungen, die die physikalischen Grenzen der detektierbaren Fehlergröße vorgibt, ist eine Detektion der Fehlstellen nicht möglich.

4. Zusammenfassung

Im Rahmen der Arbeiten konnten sowohl Möglichkeiten als auch Grenzen der induktiven Puls-Phasen-Thermografie zur Prüfung von Rührreibschweißungen an praxisnahen Unregelmäßigkeiten demonstriert werden. Potenziale bietet die Prüftechnik besonders bei der Detektion von unvollständigen Durchschweißungen, die sich sehr gut nachweisen lassen. Dies konnte anhand von vergleichenden Messungen mittels anderer Prüfverfahren (Farbeindringprüfung, Schliffbilder) sehr gut nachgewiesen werden. Zur Prüfung von Stumpfstoßen ist das Verfahren nur bedingt geeignet. Zwar lassen sich komplette Trennungen zwischen den Blechen detektieren, ungenügende Durchmischungen, die durch das Vorhandensein von Oxidlinien gekennzeichnet sind, lassen sich jedoch nicht nachweisen. Auch praxisrelevante Poren, die in unterschiedlichen Ausprägungen in Blindnähte eingebracht wurden, lassen sich derzeit nicht nachweisen.

5. Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17617 N der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e.V. des DVS, Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

6. Referenzen

- [1] DIN EN ISO 25239-5:2012-03, Rührreißschweißen - Aluminium - Teil 5: Qualitäts- und Prüfungsanforderungen (ISO 25239-5:2011)
- [2] Ostermann, F.: Anwendungstechnologie Aluminium. ISBN 9783540694519; 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2007.
- [3] Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Erarbeitung von Konzepten zur Bewertung der Eignung von Anlagen für das Rührreißschweißen sowie zur Übertragbarkeit von Schweißparametern“, AiF-Nr. 15.688 N / DVS-Nr.: 05.002, 1.7.2008-31.12.2010.
- [4] Liu, F., Liu, S., Guo, E., Li, L.: Ultrasonic evaluation of friction stir welding. WCNDT, World Conference on NDT, 17. Shanghai: Chinese Society for Non-destructive Testing, S. 1–6.
- [5] Bird, C.R.: Ultrasonic phased array inspection technology for the evaluation of friction stir welds. Insight-Non Destructive Testing and Condition Monitoring, 46 (1), 2004, S.31-35.
- [6] Lamarre, A., Moles, M.: Ultrasound phased array inspection technology for the evaluation of friction stir welds, Annual British Conference on NDT, 39. Northampton: British Institute of Non-Destructive Testing, S. 63–68.
- [7] Hirata, S., Sugiura, T.: Detection of closed crack by nonlinear acoustic using ultrasonic transducers; Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 32. Melville: American Institute of Physics, S. 277–282.
- [8] Lévesque, D., Toubal, L., Cao, X., Dubourg, L.: Ultrasonic evaluation of friction stir welds and dissimilar intermixing using synthetic aperture focusing technique. NDT in Canada 2009 National Conference, Aug 25-27, 2009 London, Ontario, Canada.
- [9] Santos, T.G., Vilaca, P., Santos, J. d., Quintino, L., Rosado, L.: Innovative eddy current probe for micro defects. Innovative Wirbelstromsonde für Mikrofehler: QNDE, Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 36. Melville: American Institute of Physics, S. 377–384.
- [10] Conrad, C., Dobmann, G., Wolter, B.: Neue Ansätze zur Überwachung und Optimierung des Rührreißschweißens mit ZFP. DGZfP-Jahrestagung 2013.
- [11] Rosado, L.; Santos, T.; Piedade, M.; Ramos, P. M.; Vilaca, P.: New Non-Destructive Test Technique on Metal Inspection. Imeko 19th World Congress, 6.-11. September, Lissabon, Portugal.
- [12] Mund, M., Fischer, F., Dilger, K., Kryukov, I., Hartmann, M., Böhm, S.: Einsatz der aktiven Thermografie zur Detektion von Schweißfehlern beim Rührreißschweißen. DGZfP-Jahrestagung 2014.
- [13] Šrajbr, C.: Zerstörungsfreie Prüfung von Fügeverbindungen mit Induktions-Puls-Phasen-Thermografie. ISBN 9783844030235; Shaker Verlag; Dissertation TU Braunschweig 2014.
- [14] Šrajbr, C.; Mehler, S.: Induktionsthermografie zur automatisierten Rissprüfung von Flugzeugstrukturen aus Aluminium. Thermographie-Kolloquium 2013.