

Passive Thermografie als zerstörungsfreies online-Prüfverfahren im Rührreibschweißprozess

Igor KRYUKOV¹, Sven SCHÜDDEKOPF¹, Stefan BÖHM¹, Malte MUND²,
Stefan KRELING², Klaus DILGER²

¹ Fachgebiet für Trennende und Fügende Fertigungsverfahren (tff), Universität Kassel

² Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs), TU Braunschweig

Kurzfassung

Das Rührreibschweißen (RRS) ist ein Pressschweißverfahren, bei dem ein rotierendes Werkzeug durch die Fügepartner geführt wird und diese durch Reibung erwärmt. Anschließend werden die zu fügenden Werkstoffe miteinander verrührt. Es entsteht eine metallische Verbindung mit hohen Nahtfestigkeiten. Dabei wird der RRS-Prozess von vielen sich gegenseitig bedingenden Parametern beeinflusst. Abweichungen von bekannten Einstellungen können zu Unregelmäßigkeiten in der Schweißnaht führen. Diese Abweichungen reduzieren die mechanisch-technologischen Eigenschaften der rührreibgeschweißten Naht. Um das Versagen von Schweißverbindungen zu verhindern und eine gleichbleibende Nahtqualität sicherzustellen, ist es notwendig, kritische Fehler zerstörungsfrei zu detektieren.

Als Mittel zur Zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) bietet sich für das RRS die IR-Thermografie an. Dabei wird die Infrarotabstrahlung der untersuchten Schweißnaht berührungsfrei gemessen. Im Prozess auftauchende Unregelmäßigkeiten lassen sich aufgrund von geringen Temperaturdifferenzen an der Oberfläche, online, passiv erkennen. Signifikante Unregelmäßigkeiten im Rührreibschweißprozess nach DIN EN ISO 25239-5 sind die „Schlauchporen“ und die „Unvollständige Durchschweißung“. Diese Fehler sind durch Sichtprüfung nicht erkennbar, mindern aber die Festigkeiten der Schweißnaht erheblich. Neben der Thermografie existiert momentan keine andere Prüfmethode, die in der Lage ist, diese Unregelmäßigkeiten in Echtzeit zu erkennen.

Im Vortrag werden neben der Umsetzung eines prozessnahen Prüfaufbaus verschiedene Auswertelgorithmen zur Online-Auswertung erörtert. Ausgewertet wird dabei der Abkühlprozess der Schweißnaht. Schwerpunkt liegt hierbei auf den beim RRS hauptsächlich eingesetzten Stoßart Stumpfstoß. Als Werkstoffe werden die in der Automobilindustrie häufig eingesetzten Aluminiumlegierungen EN AW 5754 und EN AW 6082 untersucht. Die Aufgabe der ZfP ist besonders die Erkennung der kritischen Unregelmäßigkeiten sowie die zeitnahe Auswertung. Es werden verschiedene Konzepte zur Erkennung von Unregelmäßigkeiten im Prozess dargestellt und diskutiert. Das Vorhandensein der genannten Unregelmäßigkeiten wird durch zerstörende Prüfung nachgewiesen.



Passive Thermografie als zerstörungsfreies online-Prüfverfahren im Rührreißschweißprozess

Igor Kryukov¹, Sven Schüddekopf¹, Stefan Böhm¹, Malte Mund², Stefan Kreling², Klaus Dilger²

¹ Fachgebiet für Trennende und Fügende Fertigungsverfahren (tff)

Universität Kassel

Kurt-Wolters-Str. 3
34125 Kassel

Tel.: +49 561-804-2821
Fax: +49 561-804-2045

<http://www.tff-kassel.de>

² Institut für Füge- und Schweißtechnik (ifs)

TU Braunschweig

Langer Kamp 8
38106 Braunschweig

Tel.: +49 531-391-7821
Fax: +49 531-391-5834

<http://www.ifs.tu-braunschweig.de>



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T



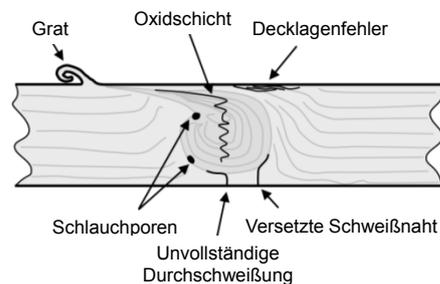
Grundlagen Motivation

■ Merkmale und Unregelmäßigkeiten beim Rührreißschweißen (RRS) haben Einfluss auf:

- Mechanische Eigenschaften
- Dynamische Eigenschaften
- Widerstand gegen Korrosion
- Verformbarkeit und Zähigkeit

Ziel:

- ▶ Einsatz der Thermografie zur Sicherstellung gleichbleibender Schweißnahtqualität durch eine prozessbegleitende online-Überwachung im Produktionsalltag



Quelle: Völlner, Rührreißschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern, 2010

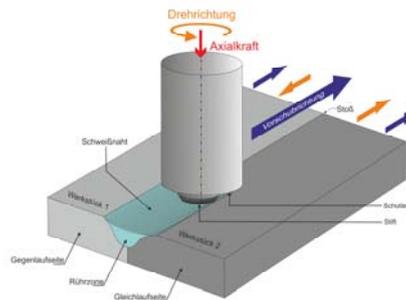
U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015



Grundlagen Stand der Technik - Rührreibschweißen (RRS)

- Rotierendes, zylindrisches Werkzeug mit einem speziell geformten Stift erzeugt Wärme zwischen den beiden Fügepartnern
- Werkstoffe werden im Nahtbereich in einen teigigen Zustand versetzt und verrührt
- Schweißungen von artgleichen und artfremden Legierungen (z.B. Al/Al, Al/Cu, Al/St)



- ▶ Aktuell sind etablierte ZfP-Verfahren nur bedingt in der Lage, alle kritische Unregelmäßigkeiten online zu detektieren

Versuchsaufbau Verwendete Thermografiekamera

Aktiv gekühlte Thermografiekamera:

FLIR SC5600-M

- Auflösung: 640 x 512 Pixel
- Wellenlängenbereich: 2.5 – 5.1µm
- Bildrate (Vollbild): 100 Hz
- Messgenauigkeit: $\pm 1^\circ\text{C}$ oder $\pm 1\%$
- NETD: < 20 mK



Kameraeinstellungen:

- Auflösung: 240 x 370 Pixel
- Bildrate: 200 Hz
- Integrationszeit: 0,3 ms

Versuchsaufbau Werkstoffe, Aufbau und thermische Isolierung

Probenmaterial & Nahtgeometrie:

- EN-AW 6082-T6; EN AW 5754-H22
- 500x120x2 mm
- Stumpfstoß, Blindnaht

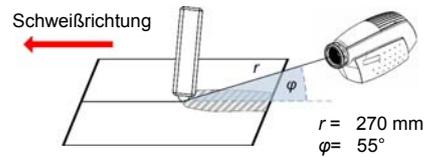
chemische Zusammensetzung der verwendeten Aluminiumlegierungen

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
EN AW 6082-T6	1,00	0,38	0,10	0,52	0,70	0,04	0,05	0,03
EN AW 5754-H22	0,19	0,31	0,02	0,23	2,87	0,02	0,02	0,02

physikalische Eigenschaften der verwendeten Aluminiumlegierungen

	Dichte [g/cm ³]	E-Modul [Mpa]	Wärmeleitfähigkeit [W/m K]	Wärmeausdehnung (20-100°C) [10 ⁻⁶ /K]
EN AW 5754-H22	2,66	70500	140-160	23,9
EN AW 6082-T6	2,7	70000	170-220	23,4

- ortsfeste Positionierung der IR-Kamera
- Messfenster: ca. 90 x 100 mm²
- Maßnahmen zur thermischen Isolation:
 - Einhausung des Arbeitsbereiches mit Plexiglas
 - Lackierung (schwarz matt) der Spannvorrichtungen
 - Kapselung des Werkzeugs durch Hohlzylinder



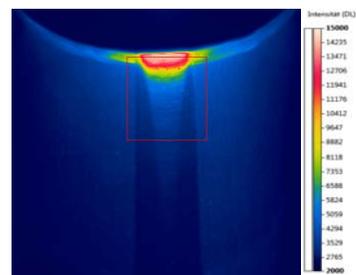
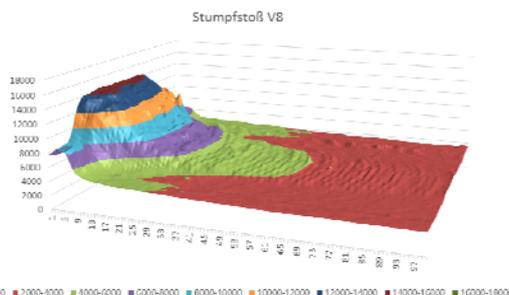
U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015



Untersuchung zur Reproduzierbarkeit Vollflächige Auswertung des Messbereiches

- Darstellung der vollflächigen Intensitätsverteilung der Naht
- Auswertung:
 - Darstellung der Intensitäten über der Nahtfläche
 - Rechteckiges Messprofil
 - Größe: 80 x 100 Pixel
≈ 14 x 18 mm



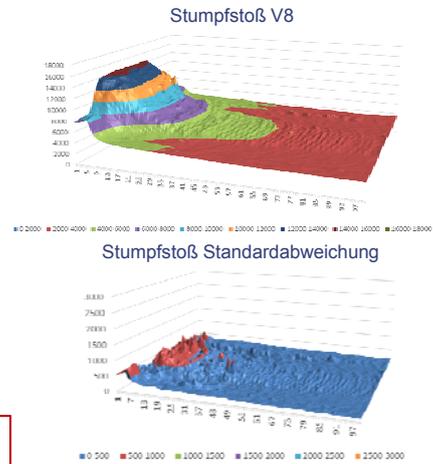
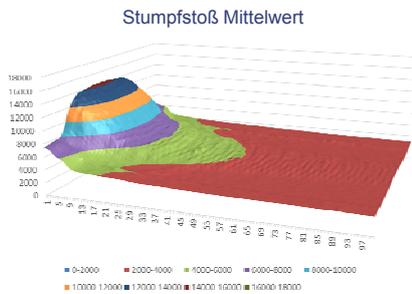
U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015



Untersuchung zur Reproduzierbarkeit Statistische Auswertung

6 Schweißungen, Stumpfstoß



► Reproduzierbarkeit der Thermografiedaten
ist gegeben

UNIKASSEL
VERSITÄT

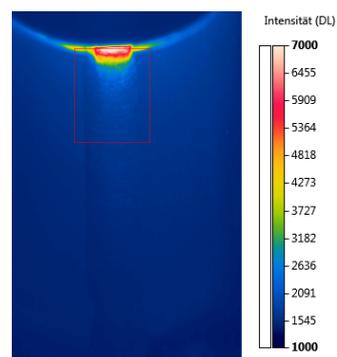
Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015

tff
trennen, fügen, fertig

Übersicht der Messung

Parameter i.O.- Nähte:

- Nahtlänge 430 mm
- Vorschub 600 mm/min
- Drehzahl 2000 1/min
- Kraft 2400 N (EN AW 6082)
2700 N (EN AW 5754)
- Pinlänge 1,82 mm



UNIKASSEL
VERSITÄT

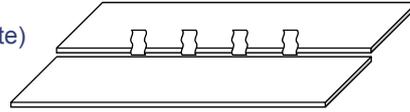
Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015

tff
trennen, fügen, fertig

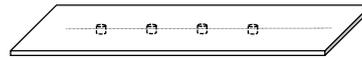
Erzeugung von Unregelmäßigkeiten

■ Lokale Unregelmäßigkeiten

- Papiereinschluss entlang der Stoßkante
(kleiner werdend von 20mm bis 5mm Breite)
➤ Verhinderte Materialdurchmischung

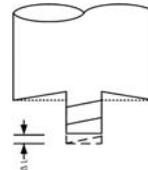


- Bohrungen im Material auf der Unterseite
(kleiner werdend von Ø4,5mm bis Ø1,5mm)
➤ Bindefehler an der Mantelfläche der Bohrung



■ Globale Unregelmäßigkeiten

- Verkürzung des Stiftes um 0,6mm
➤ Unvollständige Durchschweißung



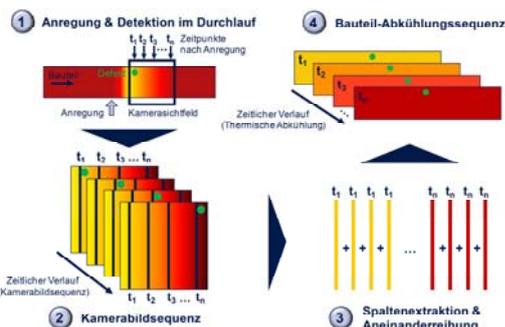
Auswertung durch den Algorithmus der kontinuierlichen Durchlaufprüfung

■ Ergebnis:

- Darstellung der gesamten Schweißnaht zu verschiedenen Zeitpunkten

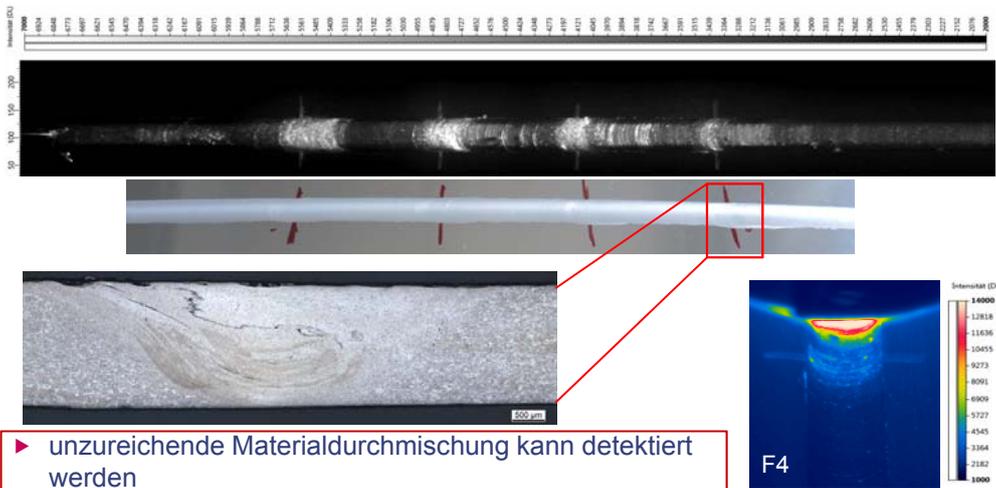
■ Vorteile der Auswertung:

- Auswertung einer Schweißnaht über einer einzigen bildhaften Darstellung
- Erkennung der Unregelmäßigkeiten am unterschiedlichen Abkühlverhalten
- Identifikation von Lage und Größe der Unregelmäßigkeit



Quelle: Thiemann, Zah: Zerstörungsfreie Prüfung durch aktive Thermografie im kontinuierlichen Bauteildurchlauf, 2011

Auswertung: Lokale Unregelmäßigkeiten durch Papiereinschluss entlang der Stoßkante (EN AW 6082)



UNIKASSEL
VERSITÄT

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015

tff
trennen, fügen, fertigt

Auswertung: Lokale Unregelmäßigkeiten durch Bohrungen im Material (EN AW 6082)

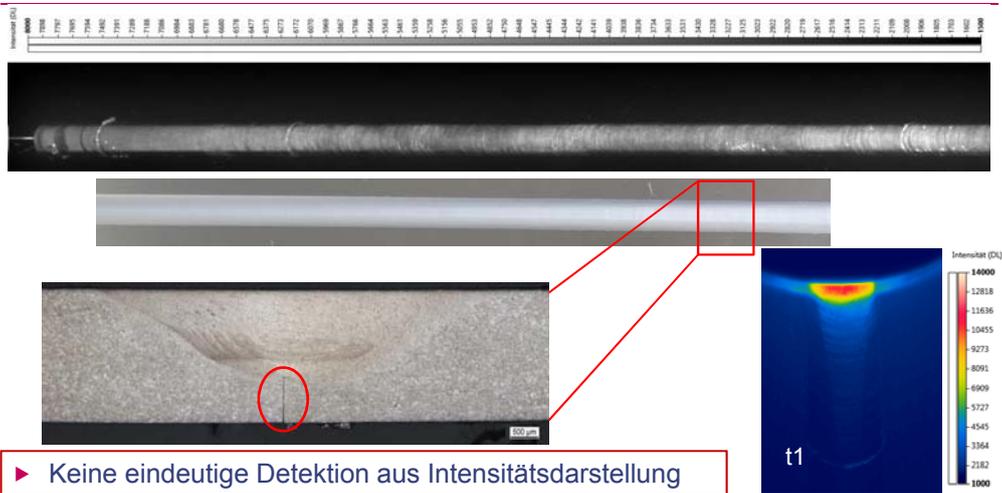


UNIKASSEL
VERSITÄT

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015

tff
trennen, fügen, fertigt

Auswertung: Unvollständige Durchschweißung durch verkürztes Werkzeug (EN AW 6082)

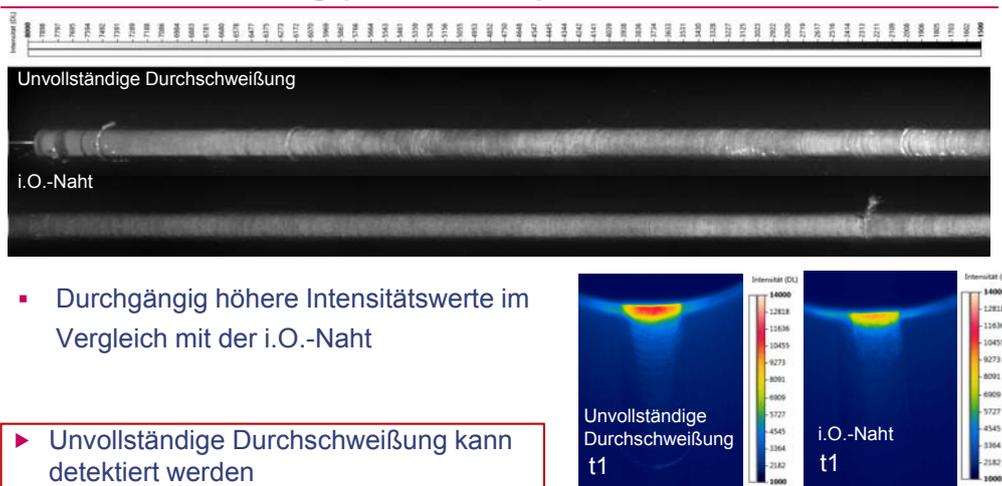


UNIKASSEL
VERSITÄT

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015

tff
trennen, fügen, fertigm

Auswertung: Unvollständige Durchschweißung durch verkürztes Werkzeug (EN AW 6082)

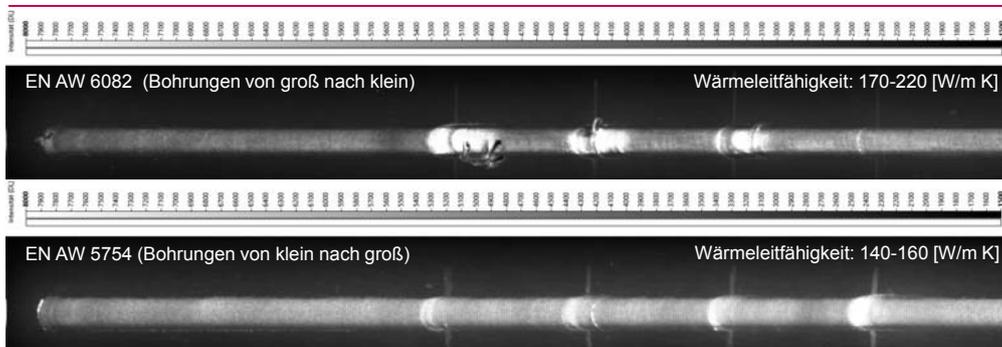


UNIKASSEL
VERSITÄT

Thermographie-Kolloquium 2015
1. - 2. Oktober 2015

tff
trennen, fügen, fertigm

Auswertung: Vergleich verschiedener Legierungen am Beispiel Bohrungen im Material



- ▶ Hohe Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe erhöht den Signalkontrast zur Detektion von Unregelmäßigkeiten

Zusammenfassung

- Die **passive Thermografie** kann beim Rührreißschweißen eingesetzt werden, um das **Abkühlverhalten** von Schweißnähten zu untersuchen
- **Hohe Wärmeleitfähigkeit** erleichtert die Detektion von Unregelmäßigkeiten durch einen **höheren Signalkontrast**
- Zur Reduzierung von Störungen ist für die Thermografie eine **gute Abschirmung** von Umgebungs-, Prozessstörgrößen sowie dem Werkzeug **sehr empfehlenswert**
- Die Thermografiedaten zeigen eine **gute Reproduzierbarkeit**
- **Oberflächenmerkmale** wie Gratbildung verfälschen durch höhere Wärmestrahlung die Thermografiemessung und **verhindern** dadurch die **Detektion darunterliegender Unregelmäßigkeiten**
- Anhand vom Algorithmus der kontinuierlichen Durchlaufprüfung lassen sich **lokale, innere Unregelmäßigkeiten wie Schlauchporen und durchgehende Unregelmäßigkeiten wie unzureichende Durchschweißung erkennen**

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie als Mittelgeber sowie dem Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V. und der AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. als Projektträger.

Weiterhin bedanken wir uns bei unseren Verbundpartnern!



Quellenangaben

- (1) Völlner, G.: Rührreibschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern, Forschungsberichte / IWB Volume 235, München 2010
- (2) An American National Standard, AWS D17.3/D17.3M:2010, American Welding Society Specification for friction stir welding of aluminum alloys for aerospace applications
- (3) DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO 25239-5: Rührreibschweißen - Aluminium - Teil 5: Qualitäts- und Prüfungsanforderungen
- (4) Thiemann, C.; Zäh, M. F.: Zerstörungsfreie Prüfung durch aktive Thermografie im kontinuierlichen Bauteildurchlauf. In Thermographie-Kolloquium, 2011.