

Quantitative Fehlstellencharakterisierung mit Puls- und Lock-in-Thermografie mit optischer Erwärmung

Christiane MAIERHOFER¹, Rainer KRANKENHAGEN¹, Mathias RÖLLIG¹,
Philipp MYRACH¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Kontakt E-Mail: rainer.kranchenhagen@bam.de

Kurzfassung

Seit dem Beginn der Anwendung der aktiven Thermografie für die zerstörungsfreie Prüfung werden für die optische Anregung zwei alternative Anregungstechniken eingesetzt: die Puls- oder Blitzthermografie und die Lock-in-Thermografie.

Bei der Puls-Thermografie ist der Anregungspuls wesentlich kürzer als die Zeit, die für die Wärmediffusion in das Bauteil hinein benötigt wird. Die Auswertung der erfassten Abkühlsequenzen wird zurzeit im Wesentlichen mit zwei Verfahren durchgeführt. Für die Auswertung im Zeitbereich werden verschiedene Auswertungsmodi des TSR-Verfahrens (TSR: thermal signal reconstruction) und Verfahren zur möglichst frühzeitigen Detektion des Intensitäts- oder Temperaturkontrastes der Fehlstellen herangezogen. Alternativ kann die Auswertung im Frequenzbereich nach dem Verfahren der Puls-Phasen-Thermografie (PPT) erfolgen. Dabei wird die Abkühlsequenz als Überlagerung vieler Einzelschwingungen betrachtet (Fouriersynthese). Die entsprechenden Phasenkontraste können unter bestimmten Umständen zur Abschätzung der Fehlstellentiefe genutzt werden.

Bei der Lock-in Anregung wird das zu untersuchende Prüfobjekt periodisch mit einer bestimmten Frequenz erwärmt und die Wärmestrahlung von der Oberfläche zeitgleich mit der Infrarotkamera erfasst. Für jede Anregungsfrequenz ist daher eine Einzelmessung erforderlich. Die Auswertung bezieht sich in den meisten Fällen allein auf die Berechnung des Phasen- und Amplitudenbildes bei der Anregungsfrequenz. Diese Berechnung kann bereits während der Messung (on-line) oder erst nach der Erfassung der Thermogrammsequenz (off-line) erfolgen.

Gemäß dem Superpositionsprinzip, das wegen des linearen Charakters der Wärmeleitungsgleichung für alle Lösungen der Differentialgleichung gilt, besteht Äquivalenz zwischen einer monofrequenten Anregung bei der Lock-in-Thermografie und einer entsprechenden Komponente gleicher Frequenz bei der Puls-Thermografie. Daher sollten die Puls-Thermografie und die Lock-in-Thermografie in den Phasenbildern für die gleichen Fehlstellen die gleichen Phasenkontraste ergeben. Die experimentelle Bestätigung dieser Äquivalenz für unterschiedliche Fehlstellenarten ist der Schwerpunkt dieses Beitrages. Mögliche Gründe für Abweichungen werden benannt und sind Grundlage für weitere Diskussionen.



Quantitative Fehlstellencharakterisierung mit Puls- und Lock-in-Thermografie

C. Maierhofer, R. Krankenhagen, M. Röllig, P. Myrach
FB 8.7 Thermografische Verfahren

Motivation und Experimentelles

- Puls- oder Blitzthermografie und Lock-in-Thermografie beruhen auf dem Modell der thermischen Wellen
- Phasendifferenzen werden bei verschiedenen Frequenzen ausgewertet
- Gleiche Physik (Superpositionsprinzip der Wellen) → gleiche Ergebnisse?
- Ergebnisvergleich beider Techniken für ausgewählte Frequenzen an zwei verschiedenen Materialien bei gleicher Geometrie¹

Probekörper aus Stahl und CFK mit FBB

- Durchmesser D: 8, 16 und 24 mm
- Tiefen (RWD d): 0.2 mm ... 3.7 mm

Blitzthermografie:

- Sequenz für Stahl: 200 Hz für 10 s
- Sequenz für CFK: 10 Hz für 300 s
- Nullbildabzug
- Sequenz beginnt nach dem Blitz

	Stahl1.4034	CFK QI
Lock-in Frequenz in Hz	0.1, 0.2, 0.5, 1.0	0.01, 0.02, 0.05, 0.1
Periodenanzahl	100	30 bis 40
Periodenanzahl für FFT	letzte 80	letzte 20
Startphase für FFT	0°	0°
Bilder pro Periode	20	20

Tabelle 1. Mess- und Auswertungsparameter der Lock-in-Anregung

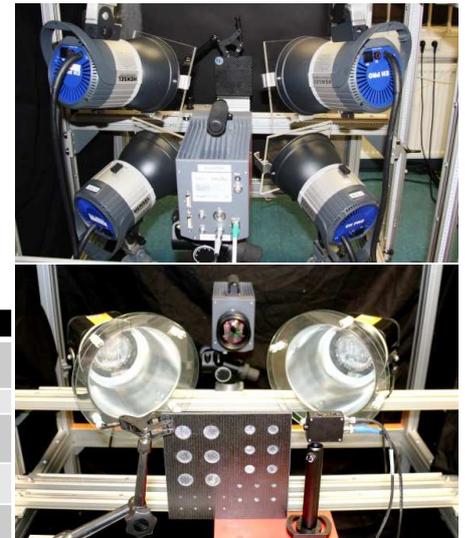
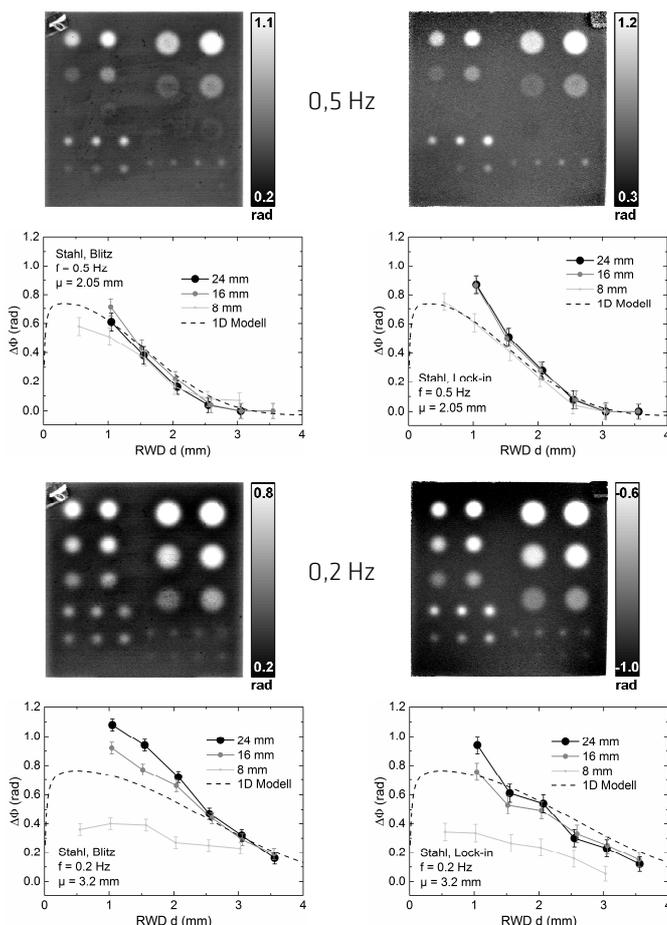
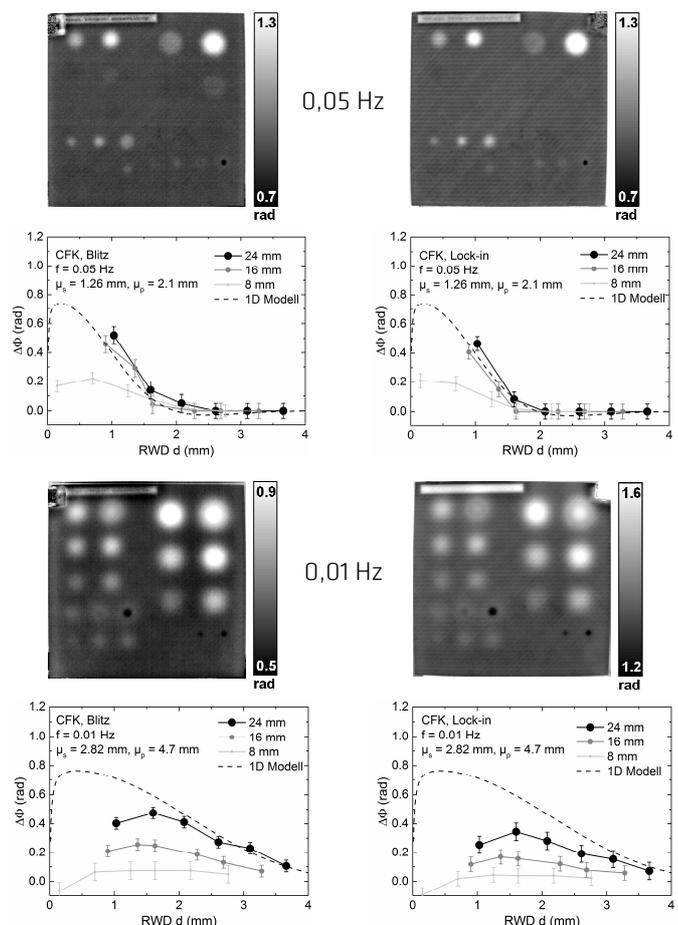


Bild 1. Aufbauten zur Blitzthermografie (oben) und Lock-in-Thermografie (unten) in Reflexion

Stahl, Phasenbilder und Phasenkontrast Blitz Lock-in



CFK, Phasenbilder und Phasenkontrast Blitz Lock-in



Danksagung

Diese Untersuchungen wurden in den DIN TNS Projekten BMWi 01FS1201 und BMWi 01FS11002 mit Unterstützung vom DIN e. V. und vom DLR erzielt. Die Finanzierung erfolgte über das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Referenz

¹ C. Maierhofer, M. Röllig, R. Krankenhagen, P. Myrach, Applied Optics 55(34), D76-D86, 2016

Ergebnisse

Blitz- und Lock-in-Thermografie sind in etwa vergleichbar. Mögliche Ursachen für Abweichungen:

- Einschwingphase bei Lock-in-Anregung noch nicht beendet
- Keine echte sinusförmige Anregung bei Lock-in (Abkühlung langsamer als Erwärmung)
- Festlegung des Startzeitpunkts bei Blitzanregung (insbesondere bei niedriger Bildwiederholrate)
- Länge der ausgewerteten Thermografiesequenzen bei der Blitzanregung