

USBIRT3

UltraSchall-Bildgebung aus aktiver InfraRot Thermografie zur Zerstörungsfreien Prüfung von Leichtbau-Werkstoffen

Programm / Ausschreibung	KS 24/26, KS 24/26, Bridge 2024/02	Status	laufend
Projektstart	01.10.2025	Projektende	30.09.2028
Zeitraum	2025 - 2028	Projektlaufzeit	36 Monate
Keywords	Aktive Thermografie, Ultraschall, Bildgebung, Leichtbau, NDT		

Projektbeschreibung

Aktive Thermografie nutzt die Beleuchtung eines Werkstückes, z.B. mit einer Blitzlampe oder einem Laser-Puls, um Fehler unter der Oberfläche zu detektieren. Dabei wird mit einer Infrarot-Kamera berührungslos die Temperaturentwicklung auf der Oberfläche nach der Beleuchtung gemessen. Aus der gemessene Temperaturentwicklung werden Lage, Größe oder Form der Fehler rekonstruiert. Für die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) von Leichtbau-Werkstoffen, z.B. von Kohlefaser-Epoxyd-Verbundwerkstoffen(CFK) für den Flugzeugbau, wird neben Ultraschall mit Wasserankopplung die viel schnellere aktive Thermographie verwendet. Dieses Projekt verbindet die Vorteile von thermografischer Messung und Ultraschall-Rekonstruktion.

Thermografie funktioniert gut für Fehler, deren Tiefe unter der Oberfläche etwa gleich groß ist wie der Durchmesser des Fehlers. Um Fehler auch in etwas größerer Tiefe zuverlässig detektieren zu können haben wir aus dem gemessenen thermischen Signal eine virtuelle Ultraschallwelle errechnet (Virtual Wave Concept - VWC), aus der mit Ultraschall - Rekonstruktionsalgorithmen oder mit Deep Learning Algorithmen die Lage, Größe und Form der Fehler rekonstruiert werden kann. Übliche thermografische Rekonstruktionen arbeiten meist nur in einer Dimension (1D) senkrecht zur Oberfläche (axial). Durch das VWC werden auch Wärmeströme parallel zu Oberfläche (lateral - 2D oder 3D) berücksichtigt. Dadurch wird der gleiche Fehlerpunkt im Inneren der Probe aus vielen verschiedenen Richtungen durch viele Pixel der Infrarot-Kamera an der Oberfläche detektiert, was sich in der Rekonstruktion als eine Art Mittelung auswirkt und dadurch das Signal-zu-Rauschverhältnis (SNR) verbessert, z.B. bei 100relevante Pixel um einen Faktor 10. Damit kann die maximale Rekonstruktionstiefe für Fehler einer bestimmten Größe erhöht werden.

In diesem Projekt wird das virtuelle Wellenkonzept (VWC) wesentlich erweitert. So konnten bisher nur homogene isotrope oder anisotrope Werkstoffe mit einer planaren Oberfläche damit untersucht werden, und auch nur mit einzelnen kurzen Pulsen zur Beleuchtung (Pulsthermographie). Nun soll das VWC auf für die Praxis wichtige 2-Komponenten-Systeme, z.B. Schaumkern mit einer CFK Deckschicht, erweitert werden. Durch die Anregung mit mehreren Pulsen (kodierte Multipuls-Anregung) soll der mögliche Tiefenbereich erweitert und für die Fehlersuche in einer bestimmten Tiefe optimiert werden. Diese Optimierung der Puls-Signalform soll probenspezifisch mit "Reinforcement Learning" erfolgen. Damit sollen auch Signale von unterhalb thermisch stark reflektierenden Schichten gemessen werden können - z.B. in einem Schaumkern

unterhalb einer Karbon-Faser-Deckschicht. Schließlich sollen diese Verfahren auch an gekrümmten Oberflächen eingesetzt werden, wo in einem ersten Schritt die Oberflächengeometrie detektiert wird und diese dann im zweiten Schritt zur Fehler-Rekonstruktion verwendet wird.

Abstract

Active thermography uses the illumination of a workpiece, e.g. with a flash lamp or a laser pulse, to detect defects below the surface. An infrared camera is used to measure the temperature development on the surface after illumination without contact. From the measured temperature development, the position, size or shape of the defects are reconstructed. For non-destructive testing (NDT) of lightweight materials, e.g. carbon fiber-epoxy composites (CFRP) for aircraft construction, the much faster active thermography is used in addition to ultrasound with water coupling. This project combines the advantages of thermographic measurement and ultrasonic reconstruction.

Thermography works well for defects whose depth below the surface is about the same as the diameter of the defect. In order to be able to reliably detect defects at somewhat greater depths, we have calculated a virtual ultrasonic wave from the measured thermal signal (Virtual Wave Concept - VWC), from which the position, size and shape of the defects can be reconstructed using ultrasonic reconstruction algorithms or deep learning algorithms. Common thermographic reconstructions usually work only in one dimension (1D) perpendicular to the surface (axial). The VWC also considers heat flows parallel to the surface (lateral - 2D or 3D). As a result, the same defect point inside the sample is detected from many different directions by many pixels of the infrared camera on the surface, which acts as a kind of averaging in the reconstruction and thus improves the signal-to-noise ratio (SNR), e.g. for 100 relevant pixels by a factor of 10. Thus, the maximum reconstruction depth for defects of a certain size can be increased.

In this project, the virtual wave concept (VWC) is significantly extended. So far, only homogeneous isotropic or anisotropic materials with a planar surface could be examined with it, and also only with single short pulses for illumination (pulse thermography). Now the VWC is to be extended to 2-component systems that are important for practical applications, e.g. foam core with a CFRP top layer. By excitation with several pulses (coded multi-pulse excitation) the possible depth range shall be extended and optimized for defect detection at a certain depth. This optimization of the pulse waveform shall be done sample specific with "reinforcement learning". This should also allow signals to be measured from below layers that are highly thermally reflective - e.g. in a foam core below a carbon fiber top layer. Finally, these methods are also to be used on curved surfaces, where the surface geometry is detected in a first step and then used for defect reconstruction in a second step.

Projektkoordinator

- Research Center for Non Destructive Testing GmbH

Projektpartner

- Silicon Austria Labs GmbH
- voidsy gmbh