

Dr. Joachim Bamberg, MTU München, Gerit Erbeck, FH München, Günter Zenzinger, MTU München

EddyTherm: Ein Verfahren zur bildgebenden Rißprüfung metallischer Bauteile

In allen Bereichen der Technik werden Konstruktionen hinsichtlich Formgebung und Belastbarkeit optimiert. Dies hat aber auch zur Folge, daß kleinste Fehler oder Risse zum Versagen führen können und deshalb mit hoher Zuverlässigkeit und Auflösung nachgewiesen werden müssen. Speziell bei Bauteilen aus Luftfahrttriebwerken, welche meist komplexe Geometrien aufweisen, extremen Belastungen standhalten und sehr hohen Sicherheitsanforderungen genügen müssen, hat dieser Aspekt eine entscheidende Bedeutung. Es besteht daher zunehmend Bedarf an leistungsfähigen zerstörungsfreien Verfahren zur Rißprüfung.

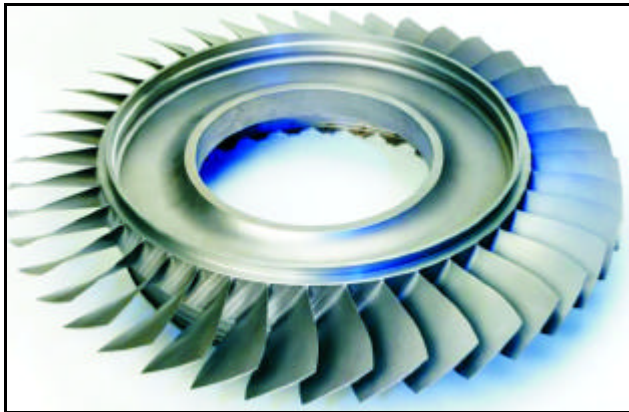


Abb. 1: Rotor eines Strahltriebwerks in BLISK-Technologie, Beschaukelung und Scheibe sind „ein“ Bauteil

Zu den typischen Verfahren der zerstörungsfreien Rißprüfung zählen die Farbeindring- und die Wirbelstromprüfung.

Mit der Farbeindringprüfung kann die gesamte Oberfläche auch komplex geformter Bauteile auf offene Risse untersucht werden. Allerdings sind bei der meist visuellen Auswertung der Rißanzeigen Grenzen hinsichtlich der Nachweissicherheit gesetzt. Zudem ist eine Bewer-

tung der Rißgröße nur bedingt möglich. Verdeckte Risse sind bei der Farbeindringprüfung prinzipbedingt nicht nachweisbar.

Hier zeigt sich ein wesentlicher Vorteil der Wirbelstromprüfung. Diese Technik erlaubt nicht nur eine Quantifizierung der Größe von offenen und verdeckten Rissen, sondern kann durch die Automatisierbarkeit der Prüfung auch einen hohen Grad an Zuverlässigkeit und Fehler-nachweissicherheit erbringen. Nachteilig ist bei diesem Verfahren, daß die Wirbelstromsonde nur punktuell mißt und deshalb die Bauteiloberfläche zeitaufwendig abgescannert werden muß. Kanten und komplexe Bauformen erfordern darüberhinaus einen erheblichen Aufwand an Signalverarbeitung und Scannertechnik.

Neben den beiden genannten Verfahren hat in den letzten Jahren eine weitere Prüftechnik zum Nachweis von Rissen enorm an Bedeutung gewonnen: die Impuls-Thermografie. Mit dieser Technik ist ein integraler, schneller und zuverlässiger Nachweis oberflächennaher Fehler, wie z.B. horizontale Risse und Delaminationen in Verbundwerkstoffen, möglich geworden.

Gegenüber vertikalen Rissen in Bauteiloberflächen ist das Verfahren aber wenig sensitiv, da der Wärmeverlauf von der Oberfläche ins Innere durch vertikale Risse praktisch nicht beeinflußt wird.

Durch eine Kombination der Prüftechniken Thermografie und Wirbelstrom, hier EddyTherm genannt, kann dieser Nachteil überwunden werden.

Das Prinzip von EddyTherm besteht darin, daß die metallische Bauteiloberfläche durch Wirbelströme erwärmt und dabei thermografisch erfaßt wird. Störungen in der elektrischen Leitfähigkeit, wie sie z.B. durch einen Riß erzeugt werden, führen direkt zu einer veränderten Wirbelstromdichte. Der damit verbundene veränderte Wärmeeintrag kann mit einer Thermografiekamera unmittelbar sichtbar gemacht werden.

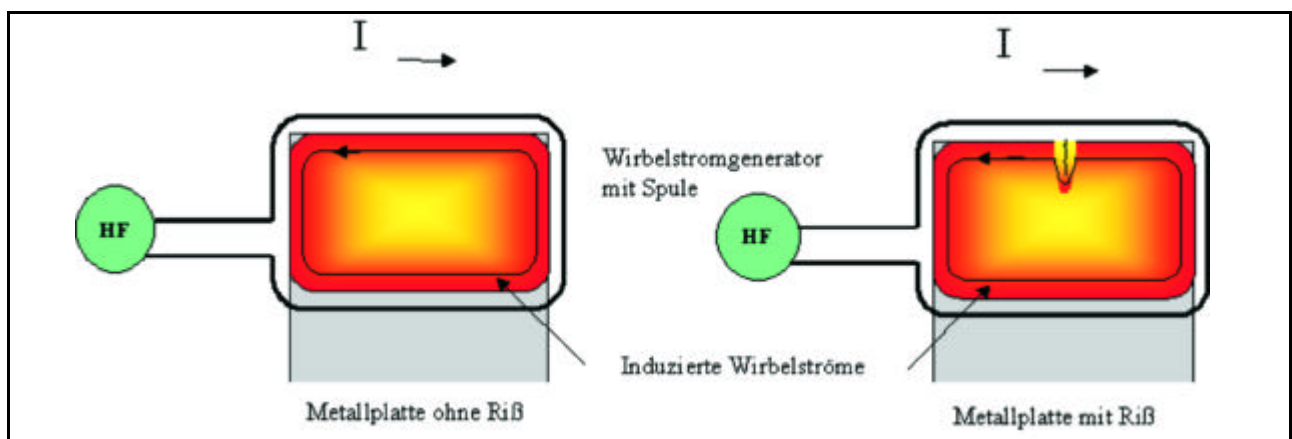


Abb. 2: Funktionsprinzip Wirbelstrom-Thermographieprüfung „EddyTherm“

Abbildung 2 zeigt schematisch den Verlauf der Wirbelströme in einer Metallplatte mit und ohne Riß. Über eine Spule (Induktor) wird das hochfrequente magnetische Wechselfeld erzeugt. Die in der Metallplatte hervorgerufenen Wirbelströme verursachen den charakteristischen Wärme fluß.

Ein Riß in der Metallplatte verändert den Verlauf der Wirbelströme. Direkt an den Rißflanken können keine Ströme fließen – es findet kein Wärmeeintrag statt. Am Rißende hingegen kommt es zu einer Konzentration der Wirbelstromdichte und damit zu einem erhöhten Wärmeeintrag.

Der Vorteil bei dieser Prüftechnik besteht darin, daß - wirbelstromtechnisch bedingt - offene und verdeckte Risse nachgewiesen und - thermografisch bedingt - integral, schnell und bildgebend dargestellt und ausgewertet werden können. Die bisher durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß auch bei metallischen Oberflächen mit geringem Emissionskoeffizient auf eine Schwärzung der Oberfläche verzichtet werden kann.

Für die beschriebenen Versuche wurde ein HF-Generator der Fa. Hüttinger (Sendefrequenz 200 KHz) und eine Thermografiekamera der Fa. Amber (Spektralbereich: 3-5µm) verwendet.

An einem metallischen Testkörper für die Wirbelstromprüfung (Titan 6-4-Block mit erodierten Schlitz (1 und 2 mm lang, half penny shape)) wurde die Prüftechnik erprobt. Die Sendeleistung des HF-Generators lag bei ca. 100 W. Das Temperaturfeld wurde 20 ms nach dem Einschalten des Generators aufgenommen.

In Abbildung 3 ist das charakteristische Temperaturfeld offener Risse zu sehen: erhöhte Temperatur an den Rißspitzen, keine Erwärmung an den Rißflanken.

Häufig werden rotationssymmetrische Bauteile durch Schweissverfahren miteinander verbunden. Die Prüfung der Schweissnähte kann mit EddyTherm automatisiert durchgeführt werden. Abb. 4 zeigt die Skizze eines Rohres mit eingeschweisster Deckplatte. In der Naht befinden sich Risse bzw. nicht verbundene Bereiche. Als Induktor kann hier ein einfacher Draht verwendet werden. Durch die Rotation des Bauteils vor IR-Kamera und Induktor ist eine vollautomatische Prüfung der kompletten Schweissnaht möglich (Abb. 5). Rißspitzen werden im Wärmebild (Abb. 6) als deutliche Temperaturerhöhung sichtbar.

Bei Verdichter- oder Turbinenschaufeln von Flugtriebwerken können aufgrund der hohen mechanischen bzw. thermischen Belastungen Risse auftreten. Die komplexe



Abb. 3: Wärmebild „Wirbelstromtestkörper“; die Rißspitzen sind deutlich als Temperaturerhöhung (weiß) sichtbar

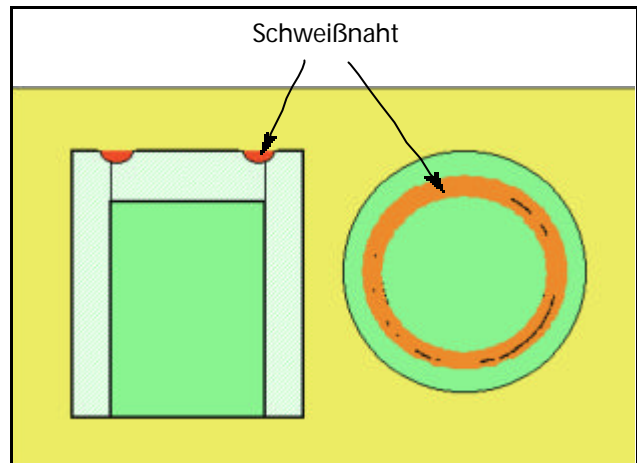


Abb. 4: Rohr mit eingeschweisster Deckplatte

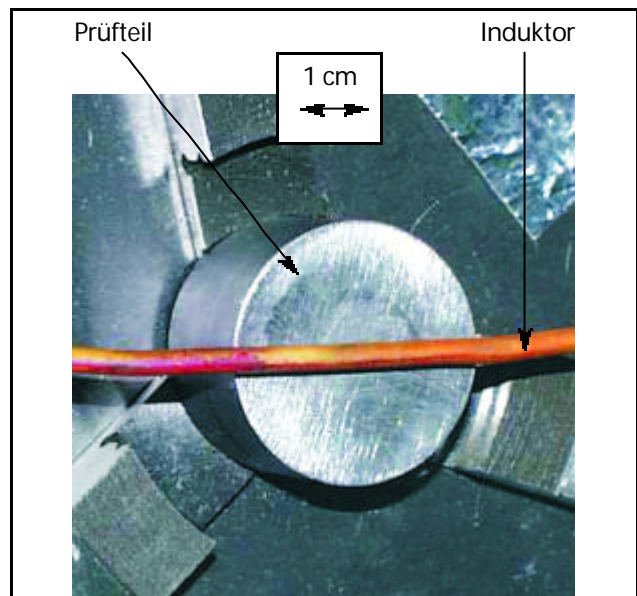


Abb. 5: Prüfung Rundschweißnaht

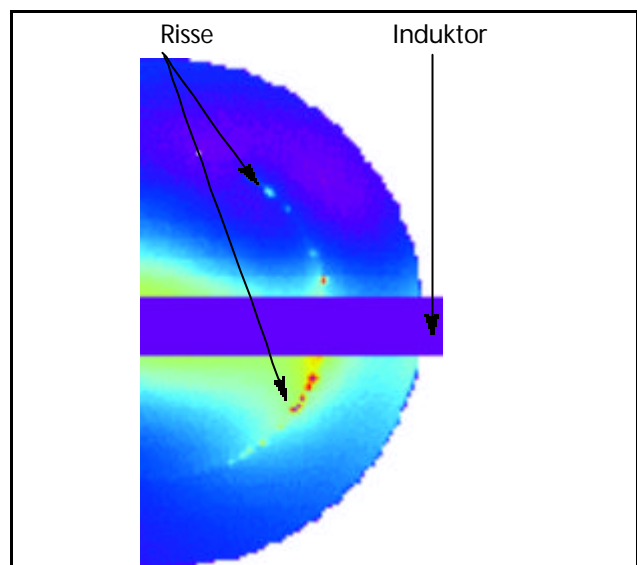


Abb. 6: Wärmebild Schweißprobe

Geometrie dieser Bauteile erschwert den Nachweis dieser Risse mit Standardprüfverfahren. Aus Kostengründen wird im Rahmen von Wartungsarbeiten eine automatisierte Rißprüfung angestrebt. Durch Positionierung des Prüfteils mit einem Mehrachsen – Bewegungssystem vor IR-Kamera und Induktor kann auch diese Aufgabe mit EddyTherm gelöst werden. Abbildung 7 zeigt eine Verdichterschaufel vor einem einfachen Induktor. Im Wärmebild (Abb. 8) ist an der Schaufeloberkante deutlich ein Riß zu erkennen.

Die Eindringtiefe der Wirbelströme kann durch Variation der Frequenz eingestellt werden. Für Stahl beträgt diese bei einer Anregungsfrequenz von 200 kHz ca. 0,5 mm. Mit dem Verfahren können somit auch verdeckte Risse detektiert werden.

In Abbildung 9 ist schematisch ein Testkörper mit einem tieferliegenden Riß dargestellt. Aufgrund

der höheren Stromdichte oberhalb des Risses wird dieser als Temperaturerhöhung im Wärmebild sichtbar. Abbildung 10 zeigt das Wärmebild einer Lötnaht mit einem 3 mm langen Riß, der 0,1 mm unterhalb der Oberfläche liegt.

Die genannten Anwendungsbeispiele zeigen, daß mit EddyTherm prinzipiell ein leistungsfähiges zerstörungsfreies Prüfverfahren zum Nachweis offener und verdeckter Risse auch an Bauteilen komplexer Geometrie gegeben ist.

Um das ganze Potential dieser Technik zu nutzen, sind allerdings noch Arbeiten auf den Gebieten Simulation der Wirbelstrom- und Temperaturfelder, Geräteentwicklung, Automatisierung und Bildverarbeitung notwendig. Vor allem bei hochwertigen oder sicherheitskritischen Bauteilen kann dann eine wirtschaftliche Prüfung aufgebaut und durchgeführt werden. Durch konsequente Weiterentwicklung des Verfahrens und die Ermittlung von Fehlernachweisgrenzen und Zuverlässigkeitsdaten kann für EddyTherm ein breites Einsatzspektrum im Rahmen der Rißprüfung geschaffen werden.

Die Autoren:

Joachim Bamberg, Dr. rer. nat., Jahrgang 1957, Abitur, Studium der Technischen Physik an der Universität Saarbrücken, seit 1988 bei der MTU-München, im Center Verfahrensentwicklung zuständig für ZfP- Technik.

Gerit Erbeck, Jahrgang 1973; Abitur, Studium der Elektrotechnik an der FH-München, derzeit Praktikant bei MTU-München im Arbeitsgebiet Thermografie - Prüftechnik.

Günter Zenzinger Dipl.-Ing. (FH), Jahrgang 1962, Abitur, Studium der Oberflächentechnik und Werkstoffkunde an der FH-Aalen, seit 1987 bei MTU-München, im Center Verfahrensentwicklung zuständig für Thermographie Prüf- und Meßtechnik.

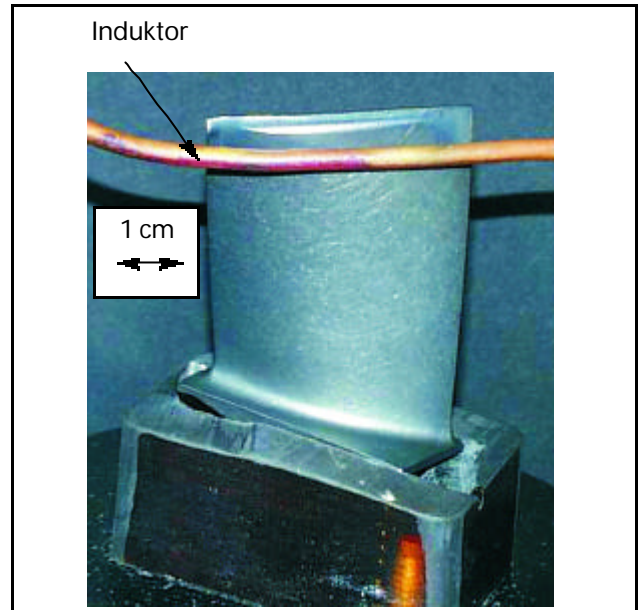


Abb. 7: Verdichterschaufel, Prüfung der Schaufeloberkante

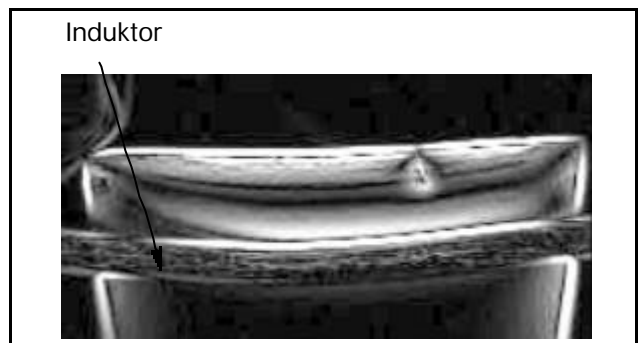


Abb. 8: Optimiertes Wärmebild, Verdichterschaufel mit Riß an der Schaufeloberkante

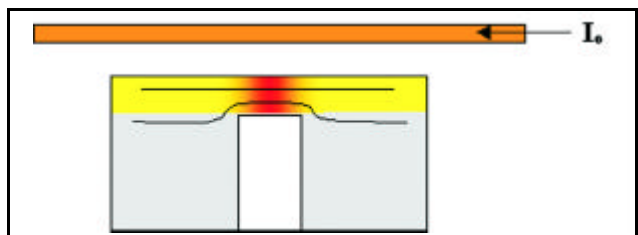


Abb. 9: Prinzipskizze, Nachweis verdeckter Risse mit EddyTherm

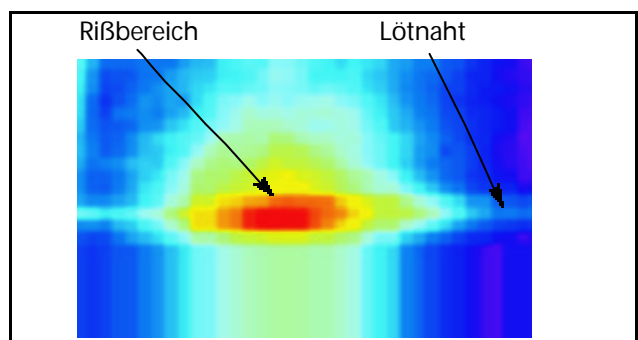


Abb. 10: Wärmebild einer Lötnaht mit verdecktem Riß