

Materialprüfung mit Ultraschall unter Verwendung von SAFT und der Gruppenstrahlertechnik

Jessica Kitze¹, Rainer Boehm¹, Gerhard Brekow¹, Marc Kreutzbruck¹

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin

Einleitung

Die Kenntnisse über Existenz und vor allem Abmessungen von Rissen sind für die Sicherheit und die Bestimmung des Gefährdungspotentials von hochbelasteten Bauteilen unbedingt erforderlich. Bei Korrosionsprozessen treten im Inneren von Bauteilen Risskonfigurationen auf, die mit konventioneller Ultraschallprüftechnik aufgrund der komplizierten Rissflächengestalt und -orientierung nur unzureichend erfasst und abgebildet werden können.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Auflösung von Materialschäden bietet SAFT, die „Synthetic Aperture Focusing Technique“, ein rechnergestütztes Rekonstruktionsverfahren von Ultraschallmessdaten. Im Allgemeinen setzt SAFT die Nutzung von kleinen, konventionellen Prüfköpfen mit breiter Schallbündeldivergenz voraus, die nicht geeignet sind um komplizierte Risskonfigurationen aufzulösen. Für genauere Informationen über Ort, Ausdehnung, Neigung und Form von Rissflächen sollen stattdessen Gruppenstrahlerprüfköpfe eingesetzt werden, die durch einen Winkelschwenk ein divergentes Schallfeld ermöglichen. Für diese Art der SAFT - Auswertung mussten neue Algorithmen entwickelt werden.

An der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung wurden die Möglichkeiten dieser Technik theoretisch untersucht und in Modellrechnungen simuliert. Zur Verifizierung wurden experimentelle Untersuchungen an künstlich nachgebildeten Risskonfigurationen durchgeführt.

SAFT - Prinzip

Bei der SAFT - Analyse handelt es sich um eine laufzeitbezogene Messmethode mit anschließender Rekonstruktion. Voraussetzung für die Rekonstruktion sind hochfrequente, digitalisierte Ultraschalldaten aus einem möglichst großen Winkelbereich des Prüfstückes.

Das Prüfstück wird mit einem großen Divergenzwinkel mäander- oder linienförmig abgetastet. Die Messdatenaufnahme muss hochfrequent erfolgen, da für die Rekonstruktion die Phaseninformation benötigt wird. Im SAFT - Algorithmus wird das in der Einschallebene liegende Prüfvolumen in einzelne Pixel unterteilt und diese nacheinander als Reflektorort betrachtet. Bei der rechnerischen Überlagerung der laufzeitabhängigen Echos bekommt man nur für wirkliche Reflexionsorte aufgrund von konstruktiver Interferenz ein großes resultierendes Echo. Für alle anderen Pixel ergibt die Überlagerung aufgrund destruktiver Interferenz keine oder nur kleine resultierende Echos. Jedem Würfel werden letztlich Amplitudenwerte zugeordnet, aus denen das Bild rekonstruiert wird.

Durch Abtast- und Rechenvorgang wird hier ein Wandler mit einer für den Reflektorort geeigneten fokussierenden Linse simuliert, wobei die Wandlergröße der abgetasteten

Fläche entspricht. Auf diese Weise werden Wandlerapertur und Linse durch den Abtastvorgang simuliert bzw. synthetisiert, daher die Bezeichnung „Synthetic Aperture Focusing Technique“. Durch die Signalmittelung können hohe Signal-Rausch-Verhältnisse erreicht werden, da sich Rauschsignale aufgrund ihrer statistisch regellosen Phasenlage teilweise aufheben. Eingeschränkt wird das Signal-Rausch-Verhältnis bei der Nutzung von kleinen, konventionellen Prüfköpfen mit großer Schallbündeldivergenz durch die Aufnahme einer hohen Anzahl an Streusignalen.

Um die Signal-Rausch-Abstände weiter zu erhöhen und das Auflösungsvermögen zu verbessern, können stattdessen Gruppenstrahlerprüfköpfe eingesetzt werden, deren Schwingerfläche nicht mehr klein sein muss, um eine hohe Schallbündeldivergenz zu erreichen. Sie ermöglichen einen Winkelschwenk, bei dem durch Überlagerung der verschiedenen Winkelfunktionen ein divergentes Schallfeld mit ausreichendem Schalldruck und einer ausreichend großen synthetischen Apertur erhalten wird [1], [2].

Messungen

Für die Bestimmung der Möglichkeiten und Grenzen dieser Technik wurden an zwei Stahltestkörpern mit funkenerosiv eingebrachten Fehlerflächen komplexer Geometrie (Abbildung 1) Ultraschalluntersuchungen mit der Gruppenstrahlertechnik durchgeführt.

Die Messungen wurden mit dem an der BAM entwickelten Gruppenstrahlergerät Compas XL und einer integrierten SAFT - Software durchgeführt.

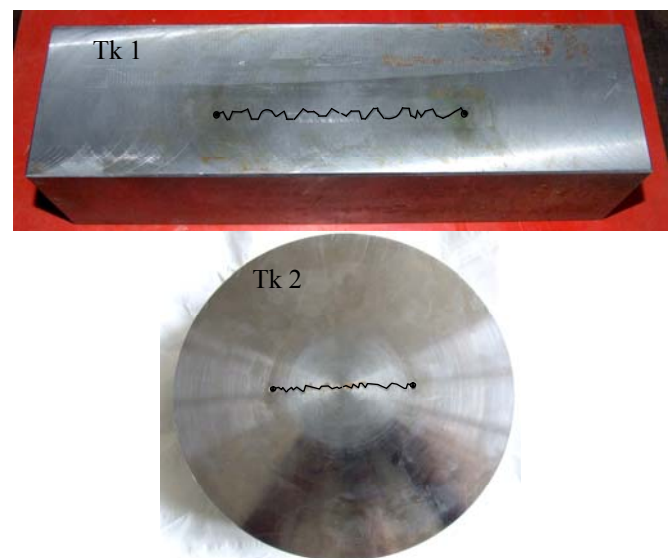


Abbildung 1: ebener (Tk 1) und zylindrischer (Tk 2) Testkörper mit Fehlerflächen stark unterschiedlicher Neigung und Radien

Ergebnisse

Der Testkörper Tk 1 wurde mit einem 5 MHz – Gruppenstrahlerprüfkopf mit 19°-Vorlaufkeil und einem Schwenkwinkelbereich von 0° - 45° für die Longitudinalwelle jeweils von rechts und links abgetastet. In den gleichgerichteten SAFT – Rekonstruktionen in Abbildung 3 kommen jeweils die Flächen zur Anzeige, die dem Schallbündel des Prüfkopfes zugewandt sind. Der Verlauf der Fehlerflächen ist in der Abbildung 2 schwarz eingezeichnet.

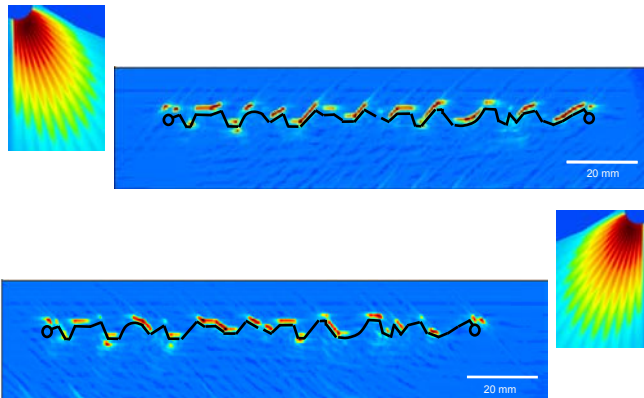


Abbildung 2: gleichgerichtete SAFT – Rekonstruktion der Messergebnisse von Tk 1 von zwei Seiten gemessen

Die Abbildung 2 zeigt deutlich, dass mit dem 5MHz-Prüfkopf mit relativer Genauigkeit Position der Oberfläche, Tiefenausdehnung und Neigung der Rissflächen, die dem Prüfkopf zugewandt sind, abgebildet werden können.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse aus beiden Einschallrichtungen mit Hilfe der Bildverarbeitung zusammengefasst

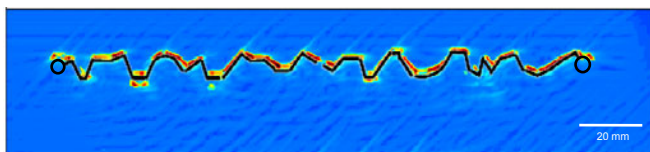


Abbildung 3: SAFT – Rekonstruktion, Messungen von zwei Seiten optisch überlagert

Die Überlagerung zeigt einen fast vollständig abgebildeten Rissverlauf, mit Ausnahme von stark geneigten oder abgeschatteten Rissflächen. Bemerkenswert ist die Abbildung der 1mm großen Lücke in Bildmitte zwischen den beiden Rissverläufen.

Bei den Messungen an den rotationssymmetrischen Testkörpern mussten bei der Messdatenaufnahme die krümmungsangepasste Vorlaufsohle des Prüfkopfes und im SAFT - Algorithmus die Zylinderform der Testkörper berücksichtigt werden. Bei dem ebenen Riss in Tk 3 wurde der Prüfkopf auf einem Halbkreis oberhalb des Risses mit einem Einschallwinkel von -50° bis 50° bewegt. Der Winkelbereich für die Auswertung konnte zur Reduzierung der Rechenzeit auf -30° bis 30° eingeschränkt werden, da

die Schallbündelachse bei größeren Einschallwinkeln immer außerhalb des Risses lag.

Abbildung 4 zeigt die hochfrequente SAFT – Rekonstruktion von Messungen am Zylindertestkörper Tk 2. Das Ergebnis beeindruckt z.T. durch die Anzeige von Flächen stark unterschiedlicher Neigung und der klaren Zeichnung durch den kurzen akustischen Impuls des Gruppenstrahlers.

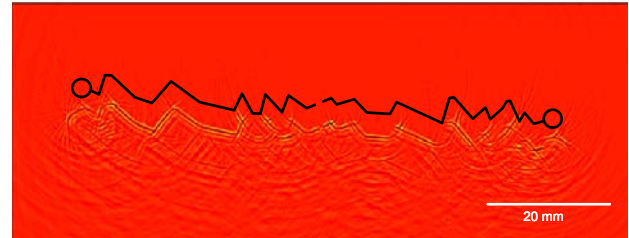


Abbildung 4: hochfrequente SAFT – Rekonstruktion, Messdaten Tk 2 aus dem Halbkreis oberhalb der Rissfläche

Zusammenfassung

Allgemein kann aus den Untersuchungsergebnissen festgestellt werden, dass sich mit Gruppenstrahlern aufgenommene Messdaten für die Auswertung mit SAFT sehr gut eignen, vor allem, weil die Variation des Einschallwinkels eine Vergrößerung der nutzbaren Apertur erlaubt. Man hat die Möglichkeit mit der Gruppenstrahlertechnik die bekannten Nutzungsmöglichkeiten von SAFT zur Fehleranalyse zu erweitern. Komplizierte Risskonfigurationen, wie sie bei Korrosionsprozessen auftreten, können nachgewiesenermaßen mit konventioneller Ultraschallprüftechnik aufgrund der komplizierten Rissflächengestalt und –orientierung nur unzureichend erfasst werden [3], [4], [5]. Die Kombination von Gruppenstrahler und SAFT ermöglicht sowohl das Auffinden, als auch die quantitative Bewertung von solchen Risskonfigurationen.

Literatur

- [1] Chahbaz A., Sicard R.: Comparative Evaluation Between Ultrasonic Phased Array And Synthetic Aperture Focusing Techniques, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation 2003, Vol. 22, American Institute of Physics
- [2] Matsuoka C., Nakahata K., Baba A.: Comparative Study On Ultrasonic Imaging Methods With Array Transducers, Review of Quantitative Nondestructive Evaluation 2008, Vol. 27, American Institute of Physics
- [3] Lorenz M., van der Wal L.F., Berkhout A.J.: Ultrasonic Characterization Of Defects In Steel, Non Destructive Testing 92
- [4] Brekow G.: Methoden der Größenbestimmung durch ZfP - Verfahren und ihre Grenzen, Bam Berlin, DGZfP Querschnittseminar Bruchmechanik 1998
- [5] Larsen B., Jeppesen L.: SAFT-Verfahren bei der Prüfung von intergranularer Spannungsrissskorrosion, DGZfP - Jahrestagung 21. bis 23.Mai 1990 Trier