

Visualisierung der Schallausbreitung in Festkörpern mit elektrodynamischen Sonden

Uwe Völz

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 12205 Berlin, E-Mail: uwe.voelz@bam.de

Einleitung

Die Prinzipien der Ultraschallausbreitung in festen Medien sind seit langem bekannt und können heute durch mathematische Modelle recht umfassend beschrieben und simuliert werden. In der Praxis zeigt sich aber, dass gerade bei komplexen Geometrien, sowie inhomogenen und anisotropen Materialien die Modelle immer noch an ihre Grenzen stoßen.

Das ist insbesondere in der fehlenden Möglichkeit begründet, die akustischen Eigenschaften inhomogener Prüfgegenstände vollständig mathematisch zu beschreiben.

Deshalb wird in letzter Zeit verstärkt nach Techniken gesucht, mit denen man die Schallausbreitung in solchen Materialien messen und anschaulich darstellen kann. Ziel dieser Entwicklung ist es, die Schallausbreitung in Festkörpern, insbesondere in solchen mit akustisch anisotropen Eigenschaften, besser zu verstehen und die Möglichkeit zu schaffen, die Simulationsrechnungen am realen Objekt zerstörungsfrei verifizieren zu können.

In der Literatur werden verschiedene Methoden zur messtechnischen Visualisierung der Ultraschallausbreitung in Festkörpern beschrieben. Am bekanntesten sind optische Verfahren wie die Schlierentechnik, die schon seit langem genutzt wird, um den momentanen Schallfeldverlauf im Inneren von optisch transparenten Materialien sichtbar zu machen. Heute kommen verstärkt lasertechnische Methoden, wie z. B. das Laserinterferometer, zum Abtasten von nicht transparenten Materialoberflächen zum Einsatz. Da diese Verfahren mit einem hohen technischen Aufwand verbunden sind, werden häufig auch einfachere Methoden, wie z. B. das Abtasten mit punktförmigen piezoelektrischen Aufnehmern, verwendet.

1. Schallfeldmessung

1.1 Messprinzip

Hier wird ein einfaches, aber leistungsfähiges Messverfahren mit elektrodynamischen Sonden verwendet [1-6]. Diese Sonden wandeln die Teilchenauslenkung an der Oberfläche eines elektrisch leitenden Materials in eine der Schallschnelle proportionale Spannung um. Das geschieht nach dem gleichen physikalischen Prinzip wie beim Empfang von Ultraschallsignalen mit einem EMUS-Prüfkopf. Der zeitliche Spannungsverlauf kann mit Hilfe eines einfachen Vorverstärkers zur Impedanzanpassung an jedem handelsüblichen Ultraschallprüfgerät aufgezeichnet werden. Dadurch ist der Einsatz der Sonden sehr preisgünstig.

Bei dieser Methode sind keine besonderen Materialeigenschaften, wie optische Transparenz bei der Schlierentechnik bzw. eine gut reflektierende Oberfläche wie beim

Laserinterferometer, erforderlich. Mit speziellen Maßnahmen ist es sogar möglich, Messungen an nichtleitenden Materialien durchzuführen. Außerdem kann mit diesen Sonden durch eine entsprechende Anpassung der Orientierungsrichtung die Teilchenauslenkung in allen drei Raumrichtungen separat erfasst werden.

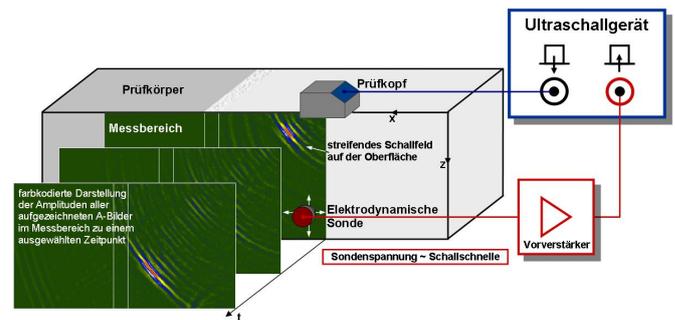


Abbildung 1: Messaufbau

1.2 Messaufbau

Prinzipiell ist es nicht möglich, den Schallfeldverlauf im Inneren von nicht transparenten Festkörpern messtechnisch aufzunehmen. Aus diesem Grund beschränken wir uns, wie auch alle anderen Verfahren, auf die Messung der Teilchenauslenkung, die beim Streifen des Schallfeldes an der Oberfläche des Prüfkörpers auftritt. Dazu wird auf der senkrecht zur Koppelfläche des Prüfkopfes liegenden Grenzfläche der zeitliche Verlauf der Teilchenauslenkung in jedem Punkt des definierten Messbereiches als A-Bild aufgezeichnet, wie in Bild 1 dargestellt. Der anregende Ultraschallprüfkopf wird so weit an den Rand des Prüfkörpers verschoben, dass die Kante des Prüfkörpers genau in der Mitte der aktiven Prüfkopffläche liegt.

Zu berücksichtigen ist dabei, dass im streifenden Schallfeld hauptsächlich parallel zur Oberfläche orientierte Teilchenauslenkungen zu erwarten sind. Longitudinale Anteile werden in diesem Fall durch den Energieverlust beim so genannten streifenden Einfall stärker gedämpft als die transversalen Anteile, die hier als horizontal polarisierte Transversalwelle in Erscheinung treten. Um beide Wellenarten bei den Messungen beobachten zu können, werden die Sonden so eingesetzt, dass sie die Teilchenauslenkung in x-Richtung erfassen.

Zur Visualisierung des momentanen Verlaufs der Wellenfronten werden die Amplituden der aufgezeichneten A-Bilder zu einem ausgewählten Zeitpunkt an allen Messpunkten im Messbereich farbcodiert aufgetragen, wie in Bild 1 zu sehen ist. Betrachtet man nun die zeitliche Folge solcher Darstellungen der momentanen Amplitudenverteilung, kann man die Ausbreitung der Wellenfronten anschaulich verfolgen.

Auf Grund der groben Ortsauflösung von ca. 1 mm und der Bedingung, dass bei der Abtastung von Schallfeldern die

Ortsauflösung kleiner als $\lambda/2$ sein muss, ergeben sich in Stahl max. Prüfkopffrequenzen für Longitudinalwellen von ca. 3 MHz und für Transversalwellen von ca. 1,5 MHz.

2. Messergebnisse

2.1 Visualisierung verschiedener Wellenarten

In der folgenden Abbildung (Bild 4) der Wellenfronten nach der Wellenumwandlung an einer Festkörpergrenzfläche zwischen Plexiglas[®] und Stahl sind die verschiedenen zu beobachtenden Wellenarten dargestellt.

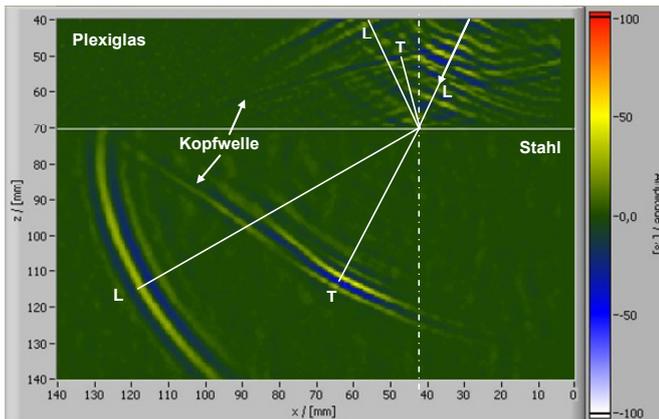


Abbildung 2: Schallfeldmessung an der Grenzfläche zwischen Plexiglas[®] und Stahl

2.2 Wechselwirkungen an einer anisotropen Engspaltschweißnaht

Im nächsten Beispiel wurde in einen 80 mm dicken Testblock mit einer 10 mm breiten Engspaltschweißnaht zwischen Chromstahl und einer Nickellegierung (Alloy 617) mit einem 45°-Transversalwellen-Winkelprüfkopf eingeschallt. In Schweißnähten aus Nickellegierungen bilden sich, wie auch bei austenitischen Stählen, so genannte Stängelkristalle, die typische akustisch anisotrope Eigenschaften besitzen. Bild 5 zeigt den momentanen Schallfeldverlauf, nachdem die Transversalwelle die Schweißnaht passiert hat. Deutlich ist hier die Wechselwirkung der Welle mit der Schweißnaht und das für anisotrope Engspaltschweißnähte typische Reflexionsverhalten zu erkennen.

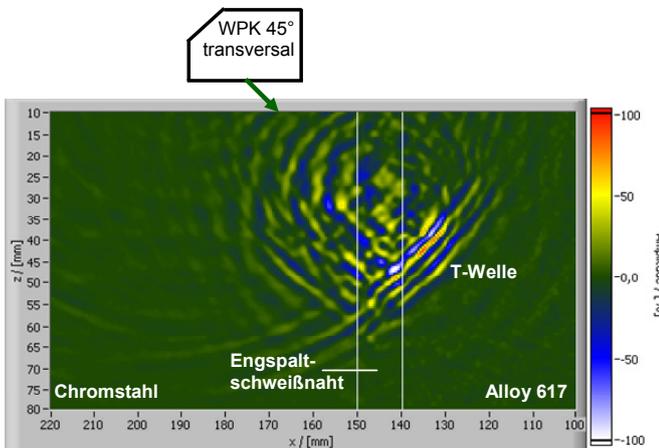


Abbildung 3: Durch eine anisotrope Engspaltschweißnaht gestreutes Schallfeld eines Winkelprüfkopfes

3. Zusammenfassung

An mehreren Beispielen konnte gezeigt werden, dass die hier vorgestellte Methode zur Messung und Visualisierung von Schallfeldverläufen an der Oberfläche von Festkörpern mit elektrodynamischen Sonden mit wenig Aufwand sehr anschauliche Darstellungen von Ultraschallfeldern ermöglicht. Sie bietet eine preisgünstige Alternative zu lasertechnischen Verfahren und erreicht gleichzeitig ein hohes Signal-Rausch-Verhältnis, besitzt eine hohe Frequenzbandbreite und kann die Teilchenauslenkung in allen drei Raumrichtungen erfassen. Das verwendete Messprinzip liefert bereits jetzt sehr gute Ergebnisse, hat aber noch Entwicklungspotential bezüglich der Ortsauflösung und der Amplitudenempfindlichkeit.

Die Messung des Schallfeldes an der Oberfläche von Festkörpern ermöglicht es grundsätzlich, die Schallausbreitung in akustisch anisotropen und inhomogenen Medien besser zu verstehen, vorhandene Modellvorstellungen zu verifizieren und somit Prüftechniken zu optimieren bzw. weiterzuentwickeln. Wegen des geringen technischen Aufwandes eignet sich diese Methode aber auch für die Veranschaulichung realer Schallausbreitungsvorgänge bei der Ausbildung von Fachpersonal für die Ultraschallprüfung.

Literatur

- [1] Bergmann, U.: Ultraschallverfahren zur Rißfortschrittsmessung für die Ermittlung von Rißwiderstandskurven. Forschungszentrum Rossendorf – Wissenschaftlich-Technische Berichte, FZR-330, 2001
- [2] Ernst, H.; Munikoti, V. K.; Wüstenberg, H.: Experimentelle Verifizierung von Modellvorstellungen zur Schallausbreitung in anisotropen Materialien. ZfP-Zeitung 92 (2004), 36-40
- [3] Köhler, B.: Demonstration der Ultraschall-Wellenausbreitung und der Wechselwirkung des Ultraschalls mit Defekten. NDTnet - August 1996, Vol.1 No.08, URL: <http://www.ndt.net/article/koehler/koehler.htm>
- [4] Mielentz, F.; Ernst, H.; Wüstenberg, H.; Mayer, K.; Marklein, R.: Gruppenstrahler für Ultraschallprüfungen von Betonbauteilen, Überprüfung der Funktionsweise eines laufzeitgesteuerten Gruppenstrahlers durch Visualisierung der Wellenausbreitung. Materialprüfung 46 (2004), Nr. 11-12, 582-586
- [5] Völz, U.; Mrasek, H.; Matthies, K.: Untersuchungen zur Schallausbreitung in anisotropen Schweißverbindungen von Nickellegierungen mit Hilfe der Visualisierung von Schallfeldern mit elektrodynamischen Sonden. DGZfP-Jahrestagung 2008, URL: <http://www.ndt.net/article/dgzfp2008/Inhalt/pl8.pdf>
- [6] Wüstenberg, H.: Berührungslose elektrodynamische Ultraschallwandler und ihre Verwendung in der Ultraschallprüfung. Report Nr. B 4 Preprints 6. ICNT Vol. B, 1970