

Elastische Wellenausbreitung in austenitischen Schweißnähten - numerische Simulationen und deren messtechnische Validierung

Mehub-Ur Rahman¹, Sanjeevareddy Kolkoori², Jens Prager³

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, 12205 Berlin,

E-Mail: ¹ mehbus-ur.rahman@bam.de, ² E-Mail: sanjeevareddy.kolkoori@bam.de, ³ E-Mail: jens.prager@bam.de

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird die numerische Modellierung und deren messtechnische Validierung der elastischen Wellenausbreitung in austenitischen Schweißnähten vorgestellt. Die Ultraschallprüfung von austenitischen Schweißverbindungen war und ist immer noch eine der schwierigsten Aufgaben der ZfP. Für eine optimierte Prüfkonfiguration ist es notwendig, verschiedene Prüfparameter wie Einschallwinkel, Prüfkopfposition und -orientierung richtig einzustellen. Um die beste Anordnung zu ermitteln, wurde die Schallausbreitung in den austenitischen Schweißnähten mit verschiedenen Verfahren wie elastische finite Integrationstechnik (EFIT) und Raytracing simuliert. Mit Hilfe der Simulationsergebnisse wurde die verwendete Gruppenstrahlerprüftechnik optimiert. Es wurden zahlreiche Untersuchungen an anisotropen Testkörpern in V-Durchschallung und an bezüglich der Schweißnaht transversal orientierten Rissen durchgeführt. Die Ergebnisse der auf Raytracing bzw. EFIT basierenden Simulationstools wurden untereinander und auch mit den Messergebnissen verglichen.

Einleitung

In Abb. 1 ist ein austenitischer Testkörper mit einem Querfehler in der Schweißverbindung dargestellt. Um einen solchen Querfehler zu detektieren, ist es notwendig, verschiedene Prüfparameter wie Einschallwinkel, Prüfkopfposition und -orientierung richtig einzustellen. Mit Hilfe von Simulationstools und von Messergebnissen wurden diese Steuerparameter berechnet.

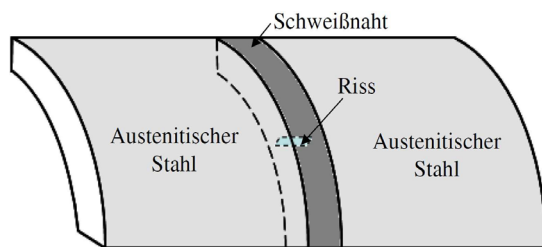


Abbildung 1: Austenitischer Testkörper mit Schweißverbindung.

Strukturaufklärung des Testkörpers

Die Untersuchungen des Grundwerkstoffs des Testkörpers sind notwendig, um die Eigenschaften des austenitischen Materials festzustellen. Dazu wurden ein Gruppenstrahler mit 16 Elementen und eine elektrodynamische Sonde verwendet. Die Skizze in Abb. 2 zeigt eine typische Transmissionsanordnung mit senkrecht einschallendem

Gruppenstrahler und die Sonde, die auf der Rückseite des Testkörpers das Schallfeld scannt.

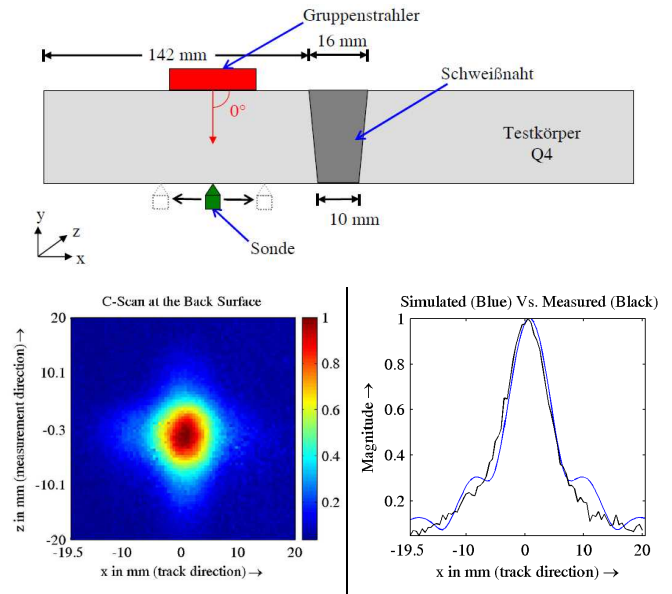


Abbildung 2: Messaufbau am Testkörper (oben) und Schalldruckverteilung auf der Rückseite (unten).

Die gleichmäßige Amplitudenverteilung im C-Bild (Abb. 2 unten links) legt nahe, dass die Schallgeschwindigkeit in alle Richtungen annähernd gleich ist, d.h., der Grundwerkstoff isotrop ist. Auch der Vergleich der Messung (Abb. 2 unten rechts, schwarze Kurve) mit der analytischen Simulation (blaue Kurve) stützt diese Vermutung. Dabei befindet sich das Messergebnis im Rahmen der zu erwartenden Ungenauigkeiten im Einklang mit dem Simulationsergebnis.

Schallausbreitung in den austenitischen Schweißnähten

Die Querfehler sind in die Testkörper durch Funkenerosion im Bereich der Schweißwurzel eingebracht. Daher ist es wichtig den Einschallwinkel und die Prüfkopfposition so zu wählen, dass die Mitte der Schweißwurzel gut beschallt ist.

Ergebnisse der Durchschallung

Ein typischer Messaufbau zur Untersuchung der Schallausbreitung in der Schweißverbindung ist in Abb. 3 dargestellt. Wegen der zu erwartenden schlechten Ankoppelung an der unebenen Schweißnahtoberfläche steht der Gruppenstrahler am Rand der Schweißnaht und schallt schräg mit einem Einschallwinkel von 34° ein. Das C-Bild zeigt, dass die Schallwelle am rechten Rand der Schweißwurzel ankommt.

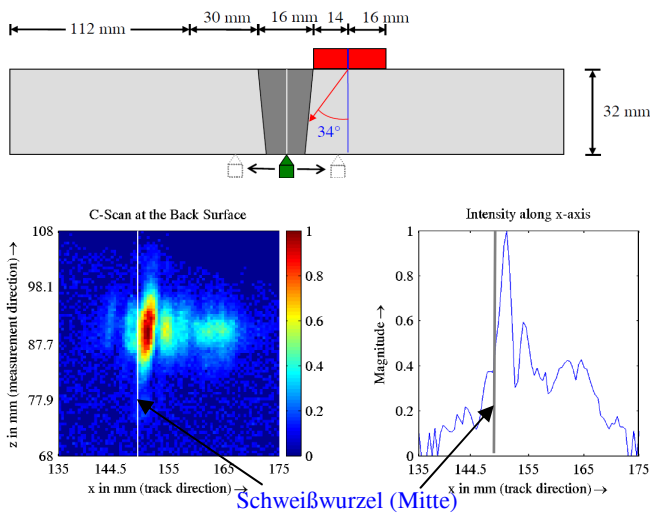


Abbildung 3: Messaufbau zur Untersuchung der Testkörper (oben) und Schalldruckverteilung auf der Rückseite der Testkörper im Bereich der Schweißnaht.

Zur Optimierung des Messverfahrens wurden Simulationen mit Raytracing und der elastischen finiten Integrations-technik (EFIT) [1] durchgeführt.

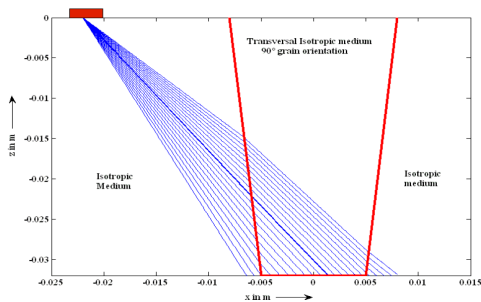


Abbildung 4: Ergebnisse der Raytracing-Simulationen: Wellenausbreitung im inhomogenen anisotropen Medium mit 34° Einschallwinkel.

Die Ergebnisse der Raytracing-Berechnungen sind in Abb. 4 dargestellt. Hier ist gut zu erkennen, dass der Mittelstrahl rechts von der Mitte der Schweißwurzel auftrifft. In Zusammenarbeit mit der Universität Kassel wurde das gleiche Schweißnahtmodell mit EFIT berechnet und die Schallausbreitung simuliert [2].

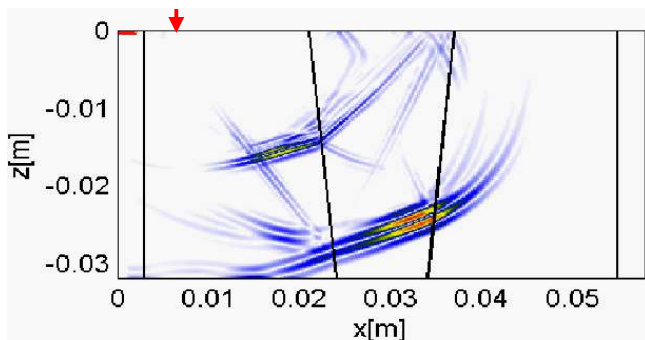


Abbildung 5: Ergebnisse der EFIT-Simulation: Wellenausbreitung im inhomogenen anisotropen Medium.

Der Schallaustrittspunkt ist durch einen roten Pfeil in Abb. 5 markiert. Die fordere Wellenfront zeigt die Longitudinal-

welle und die hintere zeigt die Transversalwelle. Auch hier kommt die Longitudinalwelle am rechten Rand der Schweißwurzel an.

Ergebnisse der V-Durchschallung

Für die optimale Beschallung der Schweißwurzel mit der V-Durchschallungsanordnung (Abb. 6 oben) wurden der passende Einschallwinkel und die richtige Position der Prüfköpfe experimentell ermittelt. Erste Ergebnisse der V-Durchschallung an anisotropen Testkörpern sind in Abb. 6 dargestellt.

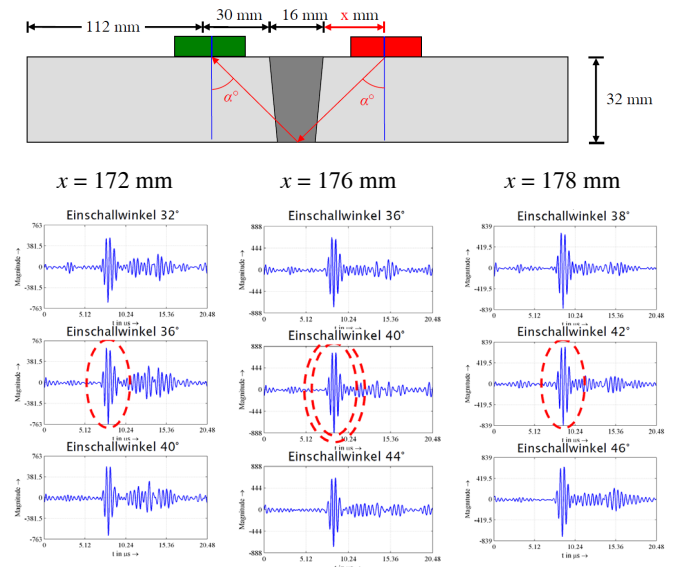


Abbildung 6: Messaufbau der V-Durchschallung der anisotropen Schweißnaht (oben) und Empfangssignal nach der Reflexion an der Rückwand (unten).

Hier wurden verschiedene Einschallwinkel und Positionen verwendet und nach dem höchsten Empfangssignal gesucht. Als optimale Position wurde $x=176$ mm und $\alpha=40^\circ$ ermittelt.

Fazit

Die Ergebnisse der auf Raytracing bzw. EFIT basierenden Simulationstools wurden untereinander und auch mit den Messergebnissen verglichen. Die Messergebnisse befinden sich im Rahmen der zu erwartenden Ungenauigkeiten im Einklang mit den Simulationsergebnissen.

Literatur

[1] Marklein, R.: The Finite Integration Technique as a General Tool to Compute Acoustic, Electromagnetic, Elastodynamic, and Coupled Wave Fields. Review of Radio Science, 1999-2002 URSI, W. R. Stone (ed.), IEEE Press/John Wiley and Sons, Piscataway/New York (2002), 201-244.

[2] Chinta, P. K., Mayer, K., Marklein, R. und Völz, U.: Impulsschallfeld eines 45-Grad-Winkelprüfkopfs: Vergleich von Messung und 3D-EFIT-Simulation. DGZFP Jahres Tagung, Münster, 2009.