

Ein synergistischer Ansatz zur Charakterisierung anisotroper Materialien mit Hilfe von Ultraschall und Mikrostrukturanalyse

Prathik Prabhakara¹, Thomas Heckel¹, Dirk Gohlke¹, Daniel Brackrock¹, Anna Manzoni¹, Christian Borgmann², Alexander Zimmer³

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und –Prüfung (BAM), Berlin, Germany

² Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Muelheim an der Ruhr, Germany

³ Saarschmiede GmbH Freiformschmiede, Völklingen, Germany

Kontakt E-mail: Prathik.Prabahakara@bam.de

Kurzfassung

Es wird eine Studie zur Charakterisierung eines anisotropen Stahls vorgestellt, bei der Ultraschalluntersuchungen mit Mikrostrukturanalysen verbunden werden. Das Material weist hohe Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit auf, zugleich ist mit anisotropen Eigenschaften die mechanischen und betrieblichen Eigenschaften beeinflussen zu rechnen. Vorläufige Ergebnisse lassen vermuten, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um die Fähigkeiten und Grenzen des Materials genau zu bestimmen. Es wird ein systematischer Ansatz mit Array-Prüfköpfen, Time-of-Flight Diffraction (TOFD) Technik und mikrostrukturellen Untersuchungen angewendet, um die Wechselwirkung zwischen Anisotropie und Mikrostruktur des Stahls zu analysieren.

Ultraschallprüfungen mit der TOFD-Technik und in Tauchtechnik liefern Einblicke in das anisotrope Verhalten des Werkstoffes, einschließlich entsprechender Kornorientierung, Dämpfung und Schallgeschwindigkeitsvariation. Diese Messungen führen in Verbindung mit mikrostrukturellen Analysen zu einem tieferen Verständnis des Materialverhaltens.

Unser Hauptziel ist es, ein Framework zu erstellen, welches die Ultraschallantwort anisotroper Materialien mit ihren mikroskopischen Struktureigenschaften verbindet. Die vorgestellte Methodik ermöglicht eine zerstörungsfreie und zügige Bewertung der Materialintegrität, was besonders bei der Anwendung von Hochleistungsmaterialien relevant ist. Durch diesen integrativen Ansatz werden verschiedener Charakterisierungsmethoden kombiniert, um ein umfassenderes Materialverständnis zu erreichen.

Keywords: Non-Destructive Testing, Ultrasonic Testing, Material Characterization, Time-of-flight Diffraction (TOFD), Microstructure Analysis



Ein synergetischer Ansatz zur Charakterisierung anisotroper Materialien mit Hilfe von Ultraschall und Mikrostrukturanalyse

Prathik Prabhakara¹, Thomas Heckel¹, Dirk Gohlke¹, Daniel Brackrock¹,
Anna Manzoni¹, Christian Borgmann², Alexander Zimmer³

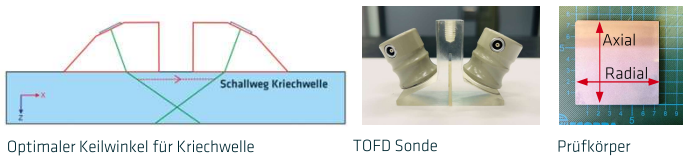
¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung (BAM), Berlin, ² Siemens Energy Global GmbH & Co. KG, Muelheim an der Ruhr, ³ Saarschmiede GmbH Freiformschmiede, Völklingen



Material characterization of Anisotropic Steel

Es wird erwartet, dass die Anisotropie die mechanischen und betrieblichen Eigenschaften dieses Materials erheblich beeinflusst. Die Komplexität der Eigenschaften stellen herkömmliche Analysemethoden in Frage und erfordert eine eingehendere Untersuchung, um die Möglichkeiten und Grenzen vollständig zu verstehen. Im Rahmen unserer Untersuchung kombinieren wir Ultraschalluntersuchungen mit detaillierten Mikrostrukturanalysen. Wir verwenden fortschrittliche Techniken, darunter Array-Sonden und die time-of-flight diffraction (TOFD), um die komplexe Beziehung zwischen der Anisotropie des Stahls und seiner Mikrostruktur zu ermitteln.

Time-Of-Flight Diffraction (TOFD)

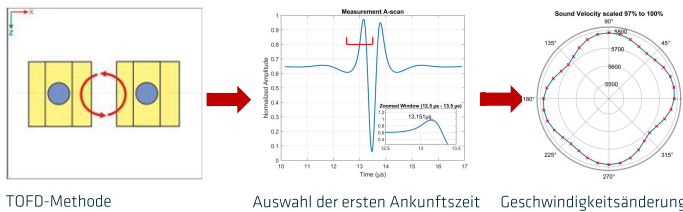


Optimaler Keilwinkel für Kriechwelle

TOFD Sonde

Prüfkörper

- Der TOFD-Keilwinkel wurde optimiert, um eine Ultraschall-Kriechwelle im Prüfkörper zu erzeugen. Die Messungen werden mit einer 2-MHz Sonde durchgeführt, wobei der Prüfkörper in 1-Grad-Schritten gedreht wird.
- Der Prüfkörper ist ein korrosionsbeständiger geschmiedeter Stahling. Die Messdaten jeder Drehung werden erfasst, indem die maximale erste Ankunftszeit ausgewählt und auf Polarkoordinaten aufgetragen wird, um die Geschwindigkeitsänderungen im Prüfling in axialer und radialer Richtung zu bestimmen.

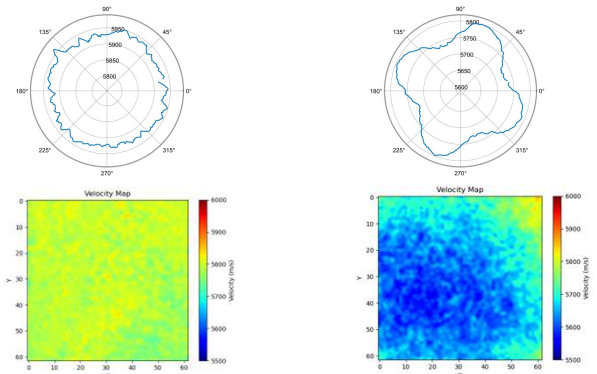


TOFD-Methode

Auswahl der ersten Ankunftszeit

Geschwindigkeitsänderung

Ergebnis der Ultraschallprüfung

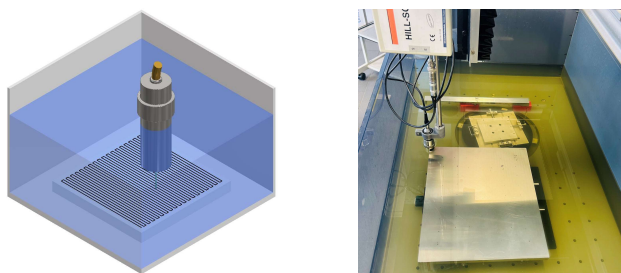


Prüfkörper 1

Prüfkörper 2

- TOFD-Messungen zeigen, dass Prüfkörper 1 isotrope Eigenschaften mit minimalen Geschwindigkeitsvariationen in einem kreisförmigen Muster aufweist. Prüfkörper 2 zeigt aufgrund anisotroper Eigenschaften eine 3%ige Variation in einer um 20 Grad gedrehten Schmetterlingsform.
- Tauchtests bestätigen die Geschwindigkeitsschwankungen entlang der Dickenrichtung und unterscheiden zwischen isotropem und anisotropem Verhalten.

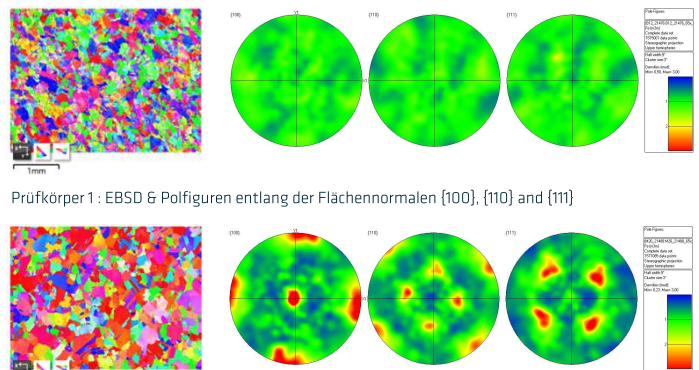
Ultraschalltauchprüfung



Immersions-Ultraschallprüfung: Raster-Messung

- Mit einer fokussierten 5-MHz-Ultraschallsonde wurde ein Tauchtest durchgeführt, der eine hochauflösende Messung der Geschwindigkeitsvariationen über die Dicke der Prüfkörpers ermöglichte.
- Die Rasterabtastung erfasste einen 62 x 62 mm großen Bereich des Prüfkörpers in 1-mm-Schritten.
- Die TOFD-Daten, wurden in Verbindung mit der bekannten Dicke der Probe verwendet, um eine Geschwindigkeitskarte zu erstellen.

Electron Backscatter Diffraction (EBSD)



Prüfkörper 1: EBSD & Polfiguren entlang der Flächennormalen {100}, {110} and {111}

Prüfkörper 2: EBSD & Polfiguren entlang der Flächennormalen {100}, {110} and {111}

- Prüfmuster 1 zeigt isotrope Körner (100 bis 300 µm) in verschiedenen Farben. Probe 2 zeigt größere Körner (200 bis 500 µm) mit rotem Orientierungston.
- Polfiguren zeigen Richtungen mit hoher Intensität; {100}-Ebene deutet auf kubische Ausrichtung, {110} und {111} Beugungen bestätigen die Textur.
- Ultraschallprüfung und Mikrostrukturanalyse korrelieren und zeigen isotrope sowie anisotrope Eigenschaften in den Prüfkörpern.

Sicherheit in Technik und Chemie