

Einsatz der Phased-Array-Technik mit Matrix-Sensoren bei stark schallschwächenden Werkstoffen

A. DILLHÖFER*, H. RIEDER*, M. SPIES*, P. KREIER**

* Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM,
Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern

** Innotest AG, Rosenstraße 13B, 8360 Eschlikon, Schweiz

Kurzfassung

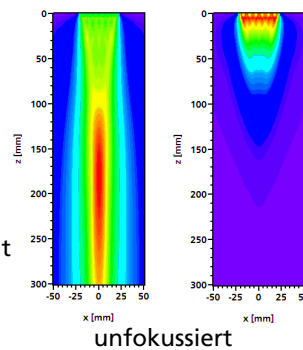
Die Ultraschallprüfung zählt zu den wichtigen Querschnittstechnologien in vielen industriellen Bereichen. Besondere Herausforderungen stellen moderne Gusswerkstoffe mit guten Korrosions- oder Hochtemperatureigenschaften. Im Hinblick auf eine quantitative Bewertung der Fehler nach Form, Größe, Ort und Orientierung hat sich die Synthetische Apertur Fokus Technik (SAFT) bewährt. Der Einsatz ist bei der Prüfung von stark schallschwächenden Materialien, z.B. CuNiAl-Bronzen, Duplex-Stählen und Nickel-Legierungen (Inconel 625), von großem Interesse. Diese quasi-tomographische Rekonstruktionsmethode führt mit Standard-Prüfköpfen zu einem verbesserten Signal-Rausch-Abstand bei der Fehlerrekonstruktion. Eine andere Möglichkeit, den ungünstigen Schalleigenschaften dieser Materialien zu begegnen, bietet der Einsatz der Phased-Array-Technik. Hier führt die gesteuerte Schallfeldfokussierung zu einer deutlichen Erhöhung der Schallenergie in den ausgewählten Tiefenbereichen bei gleichzeitiger Reduktion des Streuquerschnitts.

Bei dem Einsatz der Phased-Array-Technik mit Matrix-Sensoren können neben dem standardisierten Einsatz auch weitergehende Ansätze wie z.B. die Total Focusing Method (TFM), bei welcher die Matrix-Elemente sowohl im Sende- als auch im Empfangsfall frei steuerbar sind, eingesetzt werden. Dieser Beitrag vergleicht Ergebnisse und Fortschritte bei der Inspektion schwer prüfbarer Werkstoffe, die durch die drei Prüfmethoden SAFT, Phased-Array und TFM mittels Matrix-Sensoren gewonnen wurden. Der Vortrag beschreibt außerdem die verfahrenstechnische Umsetzung und die Evaluation der Prüftechniken am Beispiel des Schiffspropellerwerkstoffs CU3 und des Hochtemperaturwerkstoffs Alloy 625.Einführung

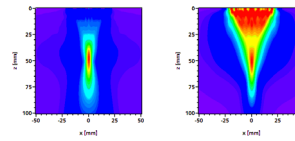
Motivation und Zielsetzung

- Prüfung stark schallschwächender Gusswerkstoffe (z.B.: NiAl-Bronze [~ 2 dB/cm], Inconel [3-4 dB/cm])
- Bisher: Ultraschallprüfung und SAFT
 - Rekonstruktion mit simuliertem Schallfeld
 - Zeitaufwendig, jedoch hohe Zuverlässigkeit
- Zusätzlich: Phased-Array mit Matrixsensoren
 - 3D-Fokussierung („Volume Focusing“)
 - Simulation bei gekrümmten Oberflächen und inhomogenen Werkstoffen
 - Angepasster Sensor erforderlich!
- Verbesserung der Prüfaussage durch Kombination der Verfahren:

SAFT und Phased-Array



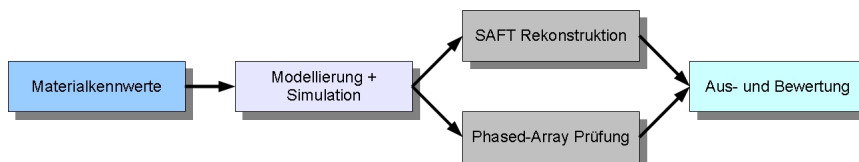
unfokussiert



Fokus: 50 mm

Ergebnis und Kombination der Verfahren

1. Verwendung der Materialeigenschaften zur Simulation/Modellierung
→ Abschätzen der möglichen Prüfverfahren
2. Schnelle, grobe Aufnahme, Rekonstruktion mit SAFT
→ Gesamtüberblick
3. Fein gerasterte Analyseprüfung, Rekonstruktion mit SAFT
→ Amplitudenbewertung mit Lage und Größenbestimmung
4. Phased-Array-Prüfung: dreidimensional mit mehreren Einschallwinkeln, Einschallpositionen und Fokussierung
→ zusätzliche Informationen über Form und Orientierung



Einsatz der Phased-Array-Technik mit Matrix-Sensoren bei stark schallschwächenden Werkstoffen

Alexander Dillhöfer, Hans Rieder, Martin Spies

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Abteilung Bildverarbeitung, 67663 Kaiserslautern, www.itwm.fraunhofer.de

Peter Kreier

Innotest AG, 8360 Eschlikon, Schweiz, www.innotest.ch

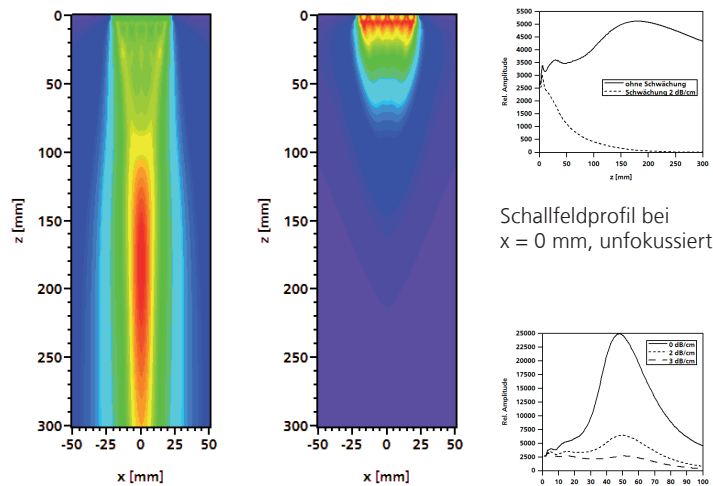
1 Motivation und Zielsetzung

- schwer prüfbare Gusswerkstoffe (NiAl-Bronzen, Nickelbasislegierungen) sind durch stark schallschwächende Eigenschaften charakterisiert → ungünstige Eigenschaften für die Fehlerdetektion mittels Ultraschall

Material	Inconel (Alloy625)	NiAl-Bronze
Dichte	8.44 g/cm ³	7.4 - 8.3 g/cm ³
Schallgeschwindigk.	5610 m/s (long)	5070 m/s (long)
Schallschwächung	≈ 3 - 4 dB/cm	≈ 2 dB/cm
Anwendung	hohtemperaturfeste Kraftwerkskomponenten	korrosionsbeständige Schiffspropeller

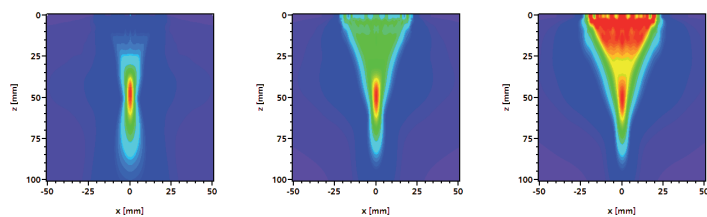
- Entwicklung eines optimierten Prüfverfahrens für stark schallschwächende Werkstoffe
- Prüfaussage bezüglich Fehlerform, -größe, -lage und -orientierung
- Verbesserung der Prüfaussage durch Kombination der Ergebnisse
- Verbesserte SAFT-Rekonstruktion durch Simulation unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften

4 Einfluss der Schallschwächung auf 2D-Array-Schallfelder

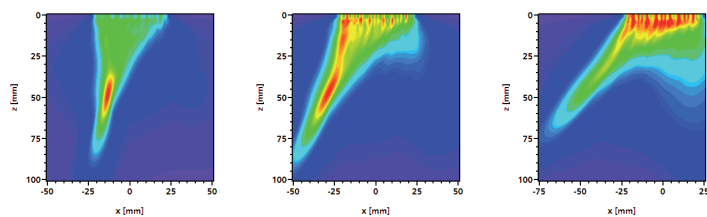


unfokussiert, Schallschwächung: 0 dB/cm, 2 dB/cm

Schallfeldprofil bei x = 0 mm, Fokus 50 mm



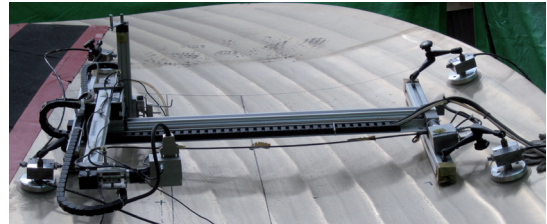
Fokus 50 mm, Schallschwächung: 0 dB/cm, 2 dB/cm, 3 dB/cm



Fokus 50 mm, 2 dB/cm Schallschwächung: 15°, 35°, 45° Einschallwinkel

2 Bisheriges Verfahren: Ultraschallprüfung und SAFT

- Aufnahme der Prüfdaten durch mechanisiertes Scannen mit einem konventionellen Prüfkopf
- Rekonstruktion der Prüfdaten durch SAFT unter Berücksichtigung des Schallfelds → Verbesserung der Fehlerauffindwahrscheinlichkeit durch Erhöhung des Signal-Rausch-Abstandes
- Kalibrierung durch Bezug auf Vergleichsfehler
- Prüfung ist abhängig vom Schallfeld des Einschwingerprüfkopfes → schwierige Verhältnisse durch starke Schallschwächung



Datenaufnahme bei der mechanisierten Ultraschallprüfung

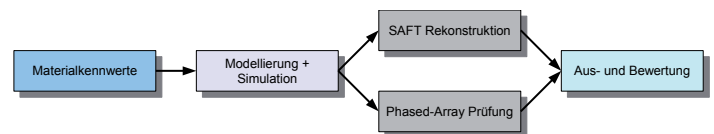
Hohe Verlässlichkeit, jedoch

- mehrere, zeitaufwendige Schritte bis zur endgültigen Prüfaussage
- große Datenmenge, lange Bearbeitungszeit

3 Zusätzlich: Ultraschallprüfung mit 2D-Phased-Array

- Idee: 3D-Fokussierung bei dicken Bauteilen zur Maximierung der Energie
- Analyse durch Rasterung und Fokussierung in verschiedenen Tiefenzonen → elektronisches Scannen, »Volume Focusing«
- Simulation der Schallfeldeigenschaften notwendig, besonders bei gekrümmten Oberflächen und inhomogenen Werkstoffen
- Herstellung eines angepassten Prüfkopfes erforderlich z.B.: 2D-Phased-Array Prüfkopfdimensionen für max. Fokustiefe 100 mm, 16 Elemente, 1.5 MHz Mittenfrequenz, Elementabmessungen 2.7 x 2.7 mm², Apertur 44.7 x 44.7 mm² (siehe Simulationen links)
- Einschallung unter verschiedenen Winkeln und in verschiedenen Richtungen zum Auffinden der bestmöglichen Fehlerreflektivität

5 Kombination der Verfahren



- Verwendung der Materialeigenschaften zur Simulation/Modellierung → Abschätzen der möglichen Prüfverfahren
- Schnelle, grobe Aufnahme, Rekonstruktion mit SAFT → Gesamtüberblick
- Fein gerasterte Analyseprüfung, Rekonstruktion mit SAFT → Amplitudenbewertung mit Lage und Größenbestimmung
- Phased-Array-Prüfung: dreidimensional mit mehreren Einschallwinkeln, Einschallpositionen und Fokussierung → zusätzliche Informationen über Form und Orientierung

Dank

Die Arbeiten wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft geförderten Forschungsvorhabens 'ProRepa II' (Kennzeichen 03SX278) durchgeführt.