

Neue Ansätze zur Charakterisierung hochfester Stähle mittels geführter Ultraschallwellen

Miriam WEIKERT *, Frank NIESE *, Klaus SZIELASKO *

* Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP, Campus E3.1,
66123 Saarbrücken

Kurzfassung

Hochfeste Stähle ermöglichen Automobilherstellern Gewicht zu sparen und gestatten eine Verbesserung der Sicherheit im Falle eines Crashes. Bei der Qualitätssicherung solcher dünnen Bandstähle führen zunehmende Bandgeschwindigkeiten und Anforderungen an die seitliche Homogenität der Materialeigenschaften zu einem Bedarf der Entwicklung einer zerstörungsfreien Multi-Sensor-Lösung. Die Homogenität der Textur, Korngröße und der Einfluss von Eigenspannungen im Material sind von hoher Bedeutung für das Verformungsverhalten und entscheidend für die Materialbearbeitung, wie Tiefziehen oder Schweißen. Derzeit wird in diesem Kontext ein Hybrid-Prüfverfahren aus Mikromagnetischer Multiparameter- Mikrostruktur- und Spannungs-Analyse (3MA) und Ultraschall-Laufzeitmessungen unter Einsatz elektromagnetischer Ultraschallwandler (EMUS) entwickelt.

Für die Überprüfung der oben genannten Materialeigenschaften werden quantitative Zusammenhänge zwischen der Mikrostruktur und den Werten der Geschwindigkeiten der Ultraschallwelle festgelegt. Die Auswirkungen der Mikrostruktur auf die Schallgeschwindigkeiten liegen meist im % bis ‰ Bereich. Eine solche Genauigkeit ist jedoch nur schwer zu erreichen, wenn Koppelmittel an der Messung beteiligt sind. Dies bedeutet, dass EMUS-Wandler für die Prozessüberwachung von Vorteil sind, da sie eine Anwendung über einen kleinen Luftspalt erlauben und somit auch sichergestellt ist, dass die Materialoberfläche nicht berührt oder zerkratzt wird. Ein weiterer Vorteil der Anregung und des Abgriffes mit EMUS-Wandlern ist die selektive Nutzung von verschiedenen geführten Ultraschallwellentypen und –moden. Dies macht es möglich, unterschiedliche Kombinationen der Ausbreitungsrichtung und der Schwingungsauslenkung der akustischen Welle zu nutzen, um die Empfindlichkeit auf einen bestimmten Parameter der Mikrostruktur zu verbessern. Ultraschall-Laufzeit-Messungen geben Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Materials. Das dispersive Verhalten der geführten Wellenmoden führt zu Geschwindigkeitsänderungen bei ihrer Ausbreitung, diese Effekte werden berücksichtigt. Auch die Doppelbrechung der Wellen zeigt Potential bei der Signalauswertung.



Neue Ansätze zur Charakterisierung hochfester Stähle mittels geführter Ultraschallwellen

Miriam Weikert, F. Niese, K. Szielasko

Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP), Saarbrücken



© Fraunhofer

DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam



Zertifiziertes Managementsystem
am Fraunhofer IZFP Saarbrücken



Das Fraunhofer IZFP im Portrait: Strategische Neuausrichtung

- Prof. Dr. Randolf Hanke ist seit 1. Oktober 2013 **geschäftsführender** Institutsleiter des Fraunhofer IZFP
- **Seit dem 1. Januar 2014 ist Saarbrücken alleiniger Standort des Fraunhofer IZFP**
 - **Forschung- und Entwicklung für die ZfP** in der gesamten Methodenbreite, in allen relevanten Geschäftsfeldern und für alle Anwendungsfelder im Werkstoff-Lebenszyklus (Rohstoffgewinnung, Werkstoffentwicklung, Bauteilproduktion, Zustandsüberwachung im Betrieb, Recycling)
- **Der ehemalige Institutsteil Dresden (IZFP-D) ist seit dem 1. Januar 2014 als Fraunhofer IKTS-MD in das Fraunhofer IKTS in Dresden integriert.**
 - **Anwendung von ZfP-Methoden** im Center for Material Diagnostics, mittel- und langfristige Ausrichtung zum Einsatz innovativer **ZfP in der Materialdiagnose**

© Fraunhofer



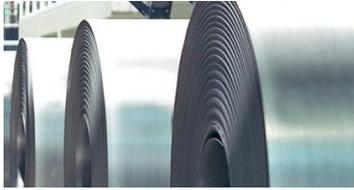
DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam



Zertifiziertes Managementsystem
am Fraunhofer IZFP Saarbrücken



Motivation



ThyssenKrupp



Teil eines Airbags
Anwendungsbeispiel: Bilstein Kaltband



Cadillac

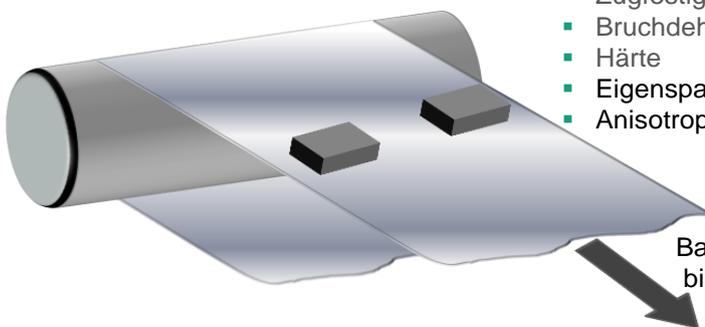
- 1 HIGH STRENGTH AND ULTRA HIGH STRENGTH STEELS TO REINFORCE THE OCCUPANT SAFETY CAGE
- 2 ALUMINUM STRUCTURE TO REDUCE WEIGHT FOR IMPROVED FUEL ECONOMY AND PERFORMANCE
- 3 FRONT/REAR CRUSH ZONES ENGINEERED TO HELP ABSORB CRASH ENERGY
- 4 DOOR BEAM AND LOWER DOOR SILL REINFORCED TO RESIST SIDE IMPACT
- 5 A- AND B-PILLARS REINFORCED TO RESIST ROOF CRUSH

Qualitätssicherung der Bandstähle

- Zerstörungsfreie Multi-Sensor-Lösung
- Hybrid-Prüfverfahren aus Mikromagnetischer Multiparameter- Mikrostruktur- und Spannungs-Analyse (3MA) und Ultraschall-Laufzeitmessungen mittels elektromagnetischer Ultraschallwandler (EMUS)

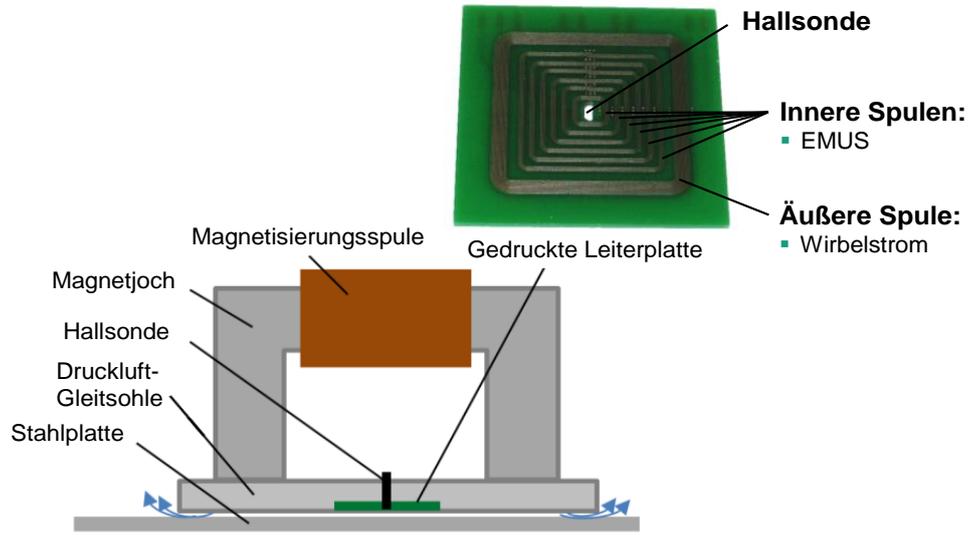
Bestimmung von:

- Elastizitätsgrenze
 - Zugfestigkeit
 - Bruchdehnung
 - Härte
 - Eigenspannung
 - Anisotropieparametern
- } 3MA
} EMUS



Bandgeschwindigkeiten
bis zu 1000 m/min

Aufbau des Hybrid-Prüfkopfs



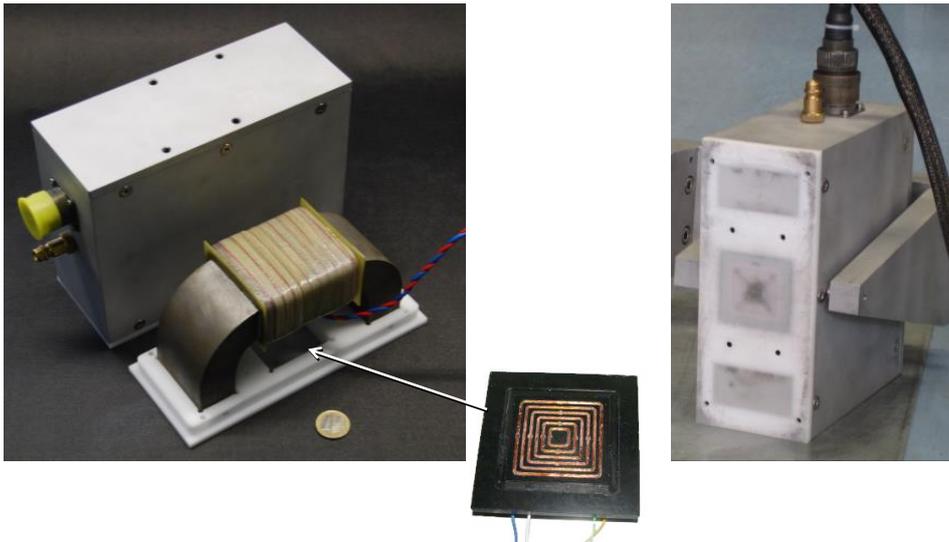
© Fraunhofer

DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam



Fraunhofer
IZFP

Hybrid-Prüfkopf



© Fraunhofer

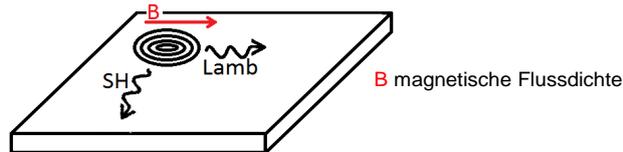
DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam



Fraunhofer
IZFP

Materialcharakterisierung mittels geführter Wellen

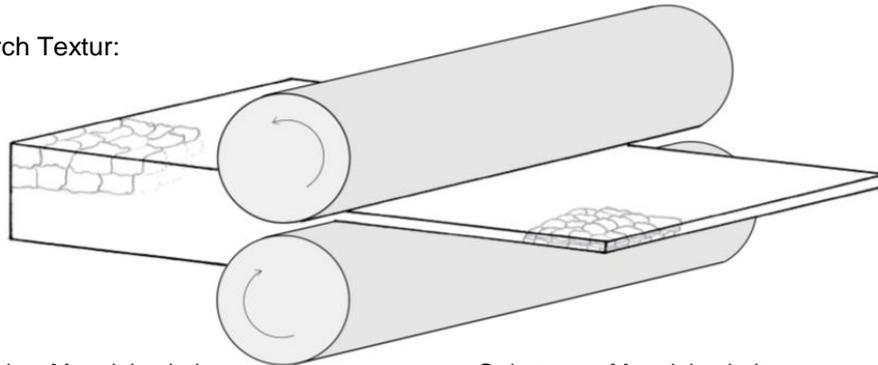
- Überlagerung von Textur- und Spannungseffekten in den Ultraschallsignalen
 - Laufzeitänderungen im % bzw. ‰ Bereich
- Trennung der Effekte durch Nutzung verschiedener Wellenmoden und -typen
- Gleichzeitige Anregung von horizontal polarisierten Scherwellen (SH) und Lambwellen durch unterschiedliche Ausrichtung der Leiterbahnen zum Magnetfeld



- Sender-Empfänger Anordnung **parallel** zum Magnetfeld → **Lambwellen**
- Sender-Empfänger Anordnung **senkrecht** zum Magnetfeld → **SH-Wellen**

Anisotropieeinfluss

- Durch Textur:



Kubisches Materialverhalten:
3 unabhängige elastische Konstanten

$$\begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & & & \\ C_{12} & C_{11} & C_{12} & & & \\ C_{12} & C_{12} & C_{11} & & & \\ & & & C_{44} & & \\ & & & & C_{44} & \\ & & & & & C_{44} \end{pmatrix}$$

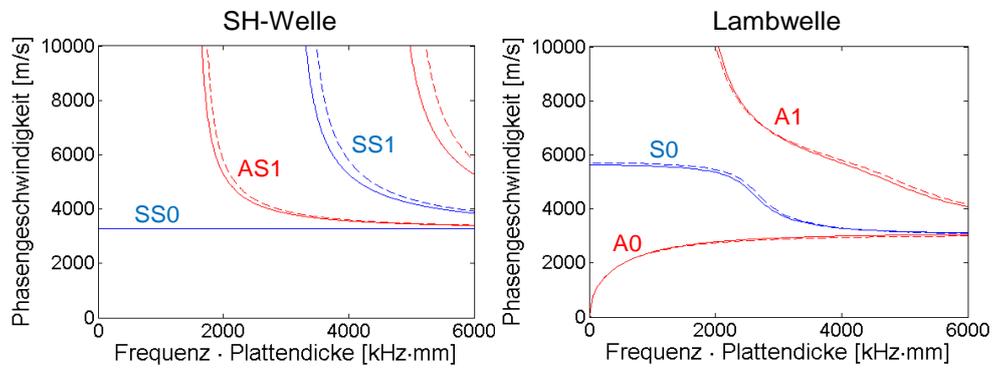
Orthotropes Materialverhalten:
9 unabhängige elastische Konstanten

$$\begin{pmatrix} \bar{C}_{11} & \bar{C}_{12} & \bar{C}_{13} & & & \\ \bar{C}_{12} & \bar{C}_{22} & \bar{C}_{23} & & & \\ \bar{C}_{13} & \bar{C}_{23} & \bar{C}_{33} & & & \\ & & & \bar{C}_{44} & & \\ & & & & \bar{C}_{55} & \\ & & & & & \bar{C}_{66} \end{pmatrix}$$

Zusammenhang
durch Texturkoeffizienten
 $C_4^{10}, C_4^{11}, C_4^{12}$

Auswirkungen auf den Ultraschall

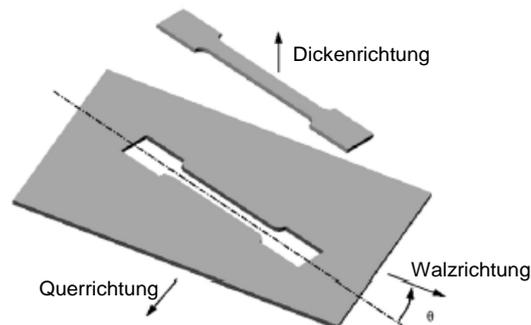
- Unterschiedliche Laufzeiten in Walzrichtung (—, —) und senkrecht dazu (Querrichtung (---, ---))



- Laufzeit des SS0 Mode der SH-Welle in Walz- und Querrichtung unabhängig von der Textur → Bestimmung der Eigenspannung

Materialcharakterisierung durch Laufzeitmessung

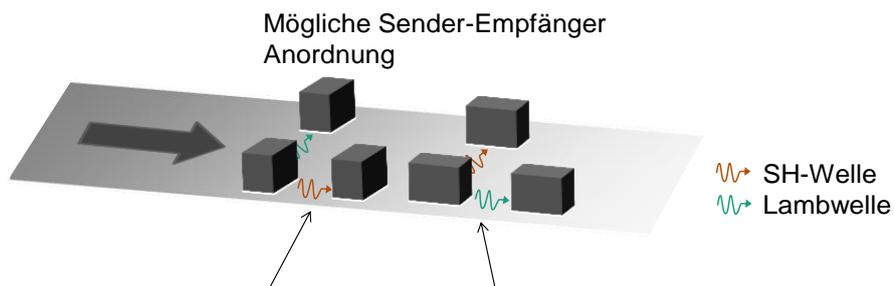
- Abhängigkeit der Laufzeitdifferenzen von den Texturkoeffizienten $C_4^{10}, C_4^{11}, C_4^{12}$
 - Korrelation zwischen Texturkoeffizienten und den Anisotropieparametern:
 - Normale Anisotropie: r_n
 - Planare Anisotropie: Δr



Materialcharakterisierung durch Laufzeitmessung

- Abhängigkeit der Laufzeitdifferenzen von den Texturkoeffizienten $C_4^{10}, C_4^{11}, C_4^{12}$
 - Korrelation zwischen Texturkoeffizienten und den Anisotropieparametern:
 - Normale Anisotropie: r_n
 - Planare Anisotropie: Δr
- 1) Laufzeit des **SS0-Modes** zur **Spannungsbestimmung**
 - Einfluss der Spannungen auf sonstige Laufzeiten bekannt
 - 2) Laufzeitdifferenz des **S0-Modes** → Bestimmung von C_4^{11}
 - 3) Mittels C_4^{11} und der Laufzeitdifferenz des **AS1-Modes** → C_4^{10}
 - ↔ **normale Anisotropie** r_n
 - 4) Mittels C_4^{10} und der Laufzeit des **SS0-Modes** → C_4^{12}
 - ↔ **planare Anisotropie** Δr

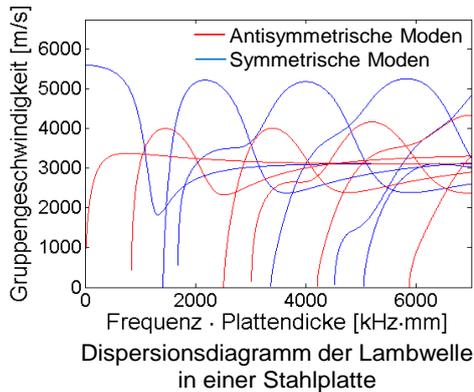
Multi-Sensor Hybrid-System zur Bandprüfung



Verschiedene Wellenmoden/ -typen mit Ausbreitung in Walz- und Querrichtung
→ Informationen über die Bandedigenschaften
& mit EMUS über die Ausbreitungsdistanz der Welle
& mit 3MA an mehreren Positionen

Anregung der verschiedenen Wellenmoden/-typen

- Nutzung des dispersiven Charakters der geführten Wellen
- Bestimmung der Frequenzen für die verschiedenen Wellenmoden aus den Dispersionsdiagrammen mit Apriori-Information über die Plattendicke



Wellenmoden		Frequenz [kHz]
SH-Welle	SS0	800
	AS1	1330
Lambwelle	A0	560
	S0	1260

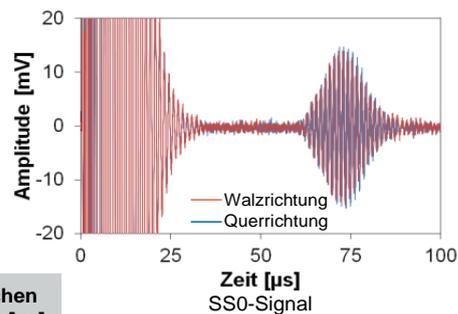
Plattendicke: 1.5 mm

Testmessungen

- Messungen mit handgewickelten Spulen an 15 Testplatten

Anisotropieparameter aus Zugversuch

		Δr	r_n
Plattennr.	04	0,11	1,135
	10	0,49	1,165



Laufzeitdifferenz zwischen Walz- und Querrichtung [µs]

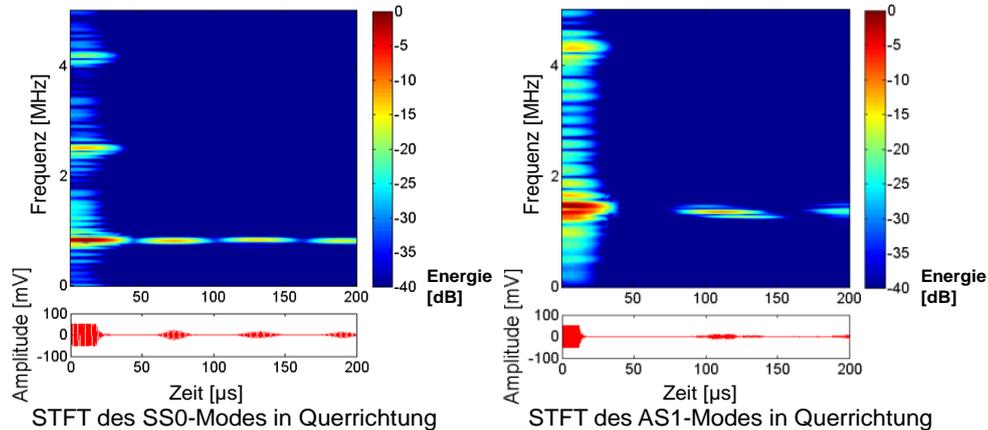
		SS0	AS1	S0	A0
Plattennr.	04	1,02	2,50	0,92	0,9
	10	0,00	2,56	1,70	2,18

➔ Anisotropieeinfluss sichtbar

Keine Eigenspannung

Short-Time Fouriertransformation (STFT)

- Modenreinheit bei der Anregung
- Abweichung zwischen Ausbreitungsrichtung und Richtung der Hauptspannungsachsen → Effekt der Doppelbrechung → Modenaufspaltung



© Fraunhofer

DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam



Fraunhofer
IZFP

Zusammenfassung

- Multi-Sensor-Lösung eines Hybrid-Prüfverfahrens aus 3MA und Ultraschalllaufzeitmessung mittels EMUS wurde entwickelt
- Ansätze zur Materialcharakterisierung mit Hilfe geführter Wellen wurden hergeleitet
- Gezielte Anregung verschiedener Wellenmoden/ -typen in Walz- und Querrichtung zur Bestimmung aller Charakterisierungsparameter
 - Bestimmung von Spannungen durch den SS0-Mode
 - Bestimmung der Texturkoeffizienten und damit die Anisotropieparameter durch Laufzeitdifferenzen des S0- und AS1-Modes
- erste Testmessungen erfolgreich
- Nutzung des Doppelbrechungseffekts zur Identifizierung von Hauptspannungsrichtungen

© Fraunhofer

DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam



Fraunhofer
IZFP

DanksagUng

Projektpartner: Henri Walaszek, Cyril Gos



The logo for the Agence Nationale de la Recherche (ANR) consists of the text 'AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE' in a small, uppercase sans-serif font above the large, stylized letters 'ANR' in a blue serif font.	<p>Programme Inter Carnot Fraunhofer PICF 2011</p>	<p>SPONSORED BY THE</p>  <p>Federal Ministry of Education and Research</p>
---	--	---

© Fraunhofer

DGZfP-Jahrestagung 2014, Potsdam

