

In-Situ-Einsatz elektromagnetischer Ultraschall- und Streuflussmethoden zur Instrumentierung bruchmechanischer Versuche

Ralf TSCHUNCKY, Klaus SZIELASKO, Iris ALTPETER, Hans-Georg HERRMANN,
Christian BOLLER
Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP
Campus E3.1, 66123 Saarbrücken

Kurzfassung

Bei der Auslegung kerntechnischer Anlagen erfordert das Basissicherheitskonzept eine Absicherung der Werkstoffqualität hinsichtlich Zähigkeit und Sprödbrochenanfälligkeit. Beispielsweise werden im Rahmen von Kerbschlagbiegeversuchen die Spröbruchübergangstemperatur und die Kerbschlagarbeit in der Hochlage ermittelt. Darüber hinaus werden Zugversuche an Compact Tension (C(T))-Proben oder Biegeversuche an Single Edge Bending (SE(B))-Proben durchgeführt, um das Wachstum eines existierenden Risses unter definierten Lastbedingungen zu beschreiben. Die standardisierten Versuche haben sich als Mittel zur Beschreibung des Werkstoffverhaltens bewährt, jedoch unterliegen einige der ermittelten Kenngrößen einer hohen Unsicherheit, wodurch hohe Sicherheitsmargen bei der Komponentenauslegung erforderlich werden. Darüber hinaus erfordern die Versuche eine zeitaufwändige Auswertung, um z.B. Rissinitiierung und Risswachstum zu beschreiben. Im Rahmen einer vom BMWi geförderten Machbarkeitsstudie konnte gezeigt werden, dass eine zusätzliche Instrumentierung von SE(B)-Versuchen mit elektromagnetischen Ultraschallwandlern (EMUS/EMAT) und Giant Magnetoresistance- (GMR-) Streufluss-Sensoren bereits während der Versuchsdurchführung Rückschlüsse auf die Änderungen der Rissgestalt zulassen. Anhand der gemessenen Signale war der Zeitpunkt der Rissinitiierung erkennbar und zum Risswachstum proportionale Kenngrößen bestimmbar. In einer Fortsetzung dieses Vorhabens werden diese Verfahrensansätze weiterentwickelt, an einer größeren Probenzahl statistisch abgesichert und darüber hinaus demonstriert, wie man die EMUS-Wandler zusätzlich als Schallemissions-Empfänger nutzen und somit zusätzliche Informationen über das Risswachstum erhalten kann.



In-Situ-Einsatz elektromagnetischer Ultraschall- und Streuflussmethoden zur Instrumentierung bruchmechanischer Versuche

R. TSCHUNCKY, K. SZIELASKO, I. ALTPETER, H.-G. HERRMANN, C. BOLLER

Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP), Saarbrücken

Ausgangssituation

Das Basissicherheitskonzept zur Auslegung kerntechnischer Anlagen erfordert die Absicherung der Werkstoffqualität bezüglich Zähigkeit bzw. Sprödbrochenanfälligkeit



Bruchmechanische Versuche

Bruchzähigkeit, Rissinitiierung, Risswachstum, usw.

Bruchmechanische Versuche:

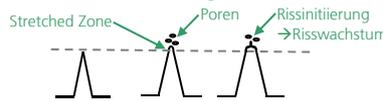
Biegeversuche mit SE(B)-Proben (25x50mm²) mit Ermüdungsanriss nach der Methode der partiellen Entlastungen

Definierte Teillastung 20% der aktuellen Last
→ Elastisches Rückfedern der Probe
→ 60-70% der Versuchszeit von 2-3h

Ermittlung der aktuellen Probensteifigkeit (→ Risstiefe) und der Verformungsenergie (→ J-Integral nach ASTM E1820) für jede Teillastung (Last, Rissöffnung, COD, Durchbiegung) nach dem Versuch
→ Sehr hohe Präzision erforderlich
→ Aufwendige Analysen nach Versuchsende



Verhalten des Ermüdungsanrisses:



Analysen nach Versuchsende

Ermittlung der Anfangsrisstiefe, Stretched Zone Breite, Risswachstum, usw.:

→ Bläuliche Anlauftönung der freien Oberflächen bei ca. 280°C

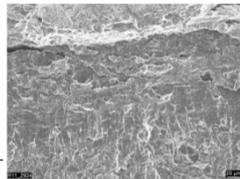
→ Tiefkühlen in flüssigem Stickstoff

→ Aufbrechen im Tiefkühzustand

→ Bereiche der Bruchfläche: Kerbe, Ermüdungsanriss, stabiler Rissfortschritt und Restbruchfläche

→ Mikroskopische Beurteilung der Bruchfläche nach ASTM E1921

→ REM-Beurteilung der Bruchfläche (Stretched Zone Breite, Initiierungswert J_e , ...)

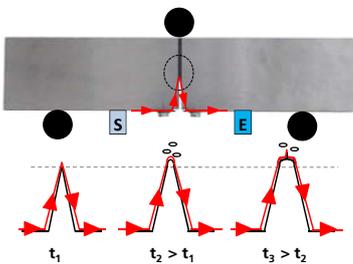


In-situ Rissfortschrittmessung

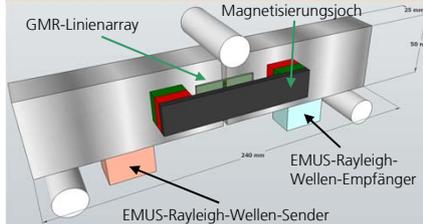
Prinzipielle Ansätze

Paralleler in-situ Einsatz zweier zerstörungsfreier Prüfverfahren

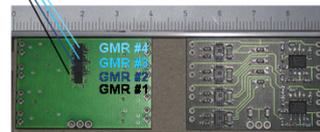
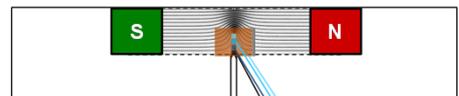
Laufzeitmessung elektromagnetisch angeregter Ultraschall- (EMUS) Rayleigh-Wellen (oberflächengeführte Ultraschall-Wellen)



Instrumentierung der Probe:

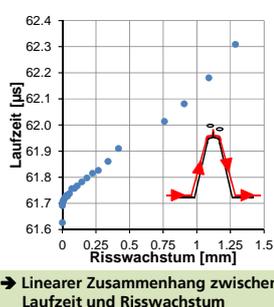
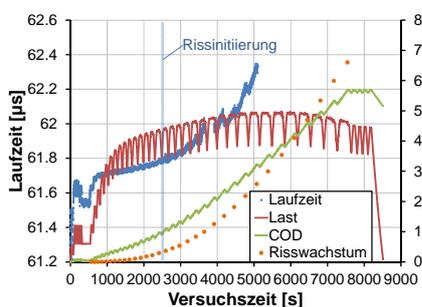


Streuflussmessung mittels GMR (Giant Magnetoresistance)-Linienarray



Ergebnisse der ersten Projektphase (BMW-Förderkennzeichen: 1501408)

Laufzeitmessung elektromagnetisch angeregter Rayleigh-Wellen



→ Linearer Zusammenhang zwischen Laufzeit und Risswachstum

Instrumentierungssetup der ersten Projektphase

Laufzeitmessung:

- 1MHz-Rayleigh-Wellen-Prüfköpfe ohne Fokussierung

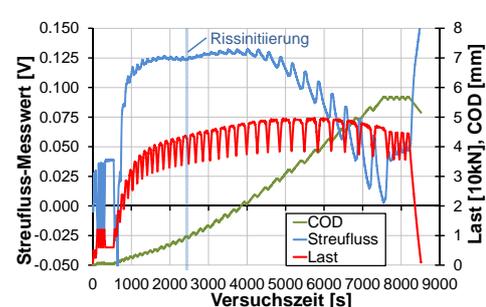


- Schussfolgefrequenz: 25Hz

Streuflussmessung:

- GMR-Linienarray mit 4 Elementen
- Kabelgebundene Datenverbindung

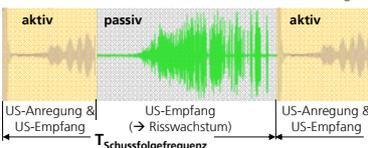
Streuflussmessung mittels GMR-Linienarray



Weiterentwicklung des EMUS-Prüfsystems



- Höhere Schussfolgefrequenzen von bis zu 1000Hz
- Aktive und passive Ultraschallmessungen im Wechsel (z.B. Laufzeit-/Schallemissions-Messung)



Weiterentwicklungen des Instrumentierungssetups in der zweiten Projektphase (BMW-Förderkennzeichen: 1501440)

Weiterentwicklung der EMUS-Rayleigh-Prüfköpfe

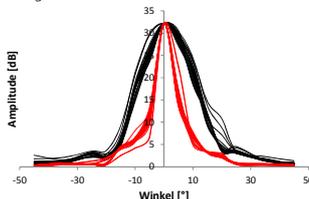
Fokussierung der Schallausbreitung trotz ferromagnetischer Wickelkörper



→ Kostengünstiger Aufbau gekrümmter ferromagnetischer Wickelkörper



Vergleich der Richtcharakteristik:

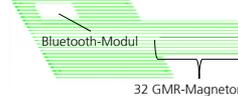


— Nicht fokussierter Prüfkopf — Fokussierter Prüfkopf



Weiterentwicklung des GMR-Linienarrays

Skizze des 32-GMR-Linienarrays:



- 32 GMR-Magnetometer anstatt 4 GMR-Gradiometer
- Kleinere Bauform der GMRs (1x1mm anstatt 3x3mm)
- Kabellose Bluetooth-Datenübertragung

Ausblick

- Verbesserte Rissverfolgung durch höhere Schussfolgefrequenzen
- Exaktere Rissverfolgung durch fokussierende Rayleigh-Wellen-Prüfköpfe
- Verbesserte Rissverfolgung durch 32 anstatt 4 Sensoren im GMR-Linienarray
- Streuflussdatenübertragung über Bluetooth-Verbindung
- Zusätzliche Informationen durch weiteres Prüfverfahren → passive Ultraschallmessung (Schallemission)

In Zusammenarbeit mit: MPA STUTTGART, DLR-Grafik Institut, Universität Stuttgart

