

Phased-Array-Technik in Ultraschall-Rotationsprüfanlagen (PA-ROT) zur Fehlerdetektion von Schrägfehlerlagen bis $\pm 15^\circ$ ($\pm 20^\circ$) mit der „Paint Brush“-Methode

Thomas WEISE*, Christof BREIDENBACH*, Reinhard PRAUSE*, Peter MEYER**

* GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Hürth

** Benteler Steel/Tube GmbH, Dinslaken

Kurzfassung

Natürliche Längsfehler haben aufgrund der Rohrherstellungsverfahren oft Schräglagen im Bereich bis $\pm 15^\circ$ bezüglich der Rohrlängsachse (0°).

Gegenwärtig werden diese Schrägfehlerlagen mit den bestehenden GE-Phased-Array-Ultraschall-Prüfsystemen in Pfützen-Technik (GRP-Helix: schraubenförmiger Rohrtransport) und in Clustertechnik (GRP-Portal: Drehrollgang) detektiert.

Mit diesen Prüfanlagen werden Schräglagen mit der sogenannten „Paint Brush“-Methode lückenlos, d. h. jede beliebige Fehlerlage bis $\pm 22^\circ$, gefunden. Zusätzliche Schräglagen (z. B. $\pm 33^\circ$, $\pm 45^\circ$) können mit der Methode der Winkeleinschallung („Steering“) überprüft werden.

In Rotationsprüfanlagen mit konventioneller Prüftechnik werden Schrägfehler nur unter sehr speziellen Randbedingungen detektiert. Mit Implementierung der Phased-Array-Technik in Rotationsprüfanlagen können diese Schräglagen lückenlos mit der Orientierung $\pm 15^\circ$ ($\pm 20^\circ$) durch die „Paint Brush“-Methode detektiert werden. Dies wurde erfolgreich in Praxisversuchen validiert.

Die Prüfung auf Schrägfehlerlagen ist zukünftig eine wesentliche Erweiterung in der Ultraschall-Prüftechnik. Internationale Standards, z. B. API5CT, Exxon EMQSP6.9 und EMQSP2.5 erwarten bzw. erfordern schon heute eine Prüfung auf Schrägfehlerlagen.



Phased-Array-Technik in Ultraschall-Rotationsprüfanlagen (PA-ROT) zur Fehlerdetektion von Schrägfehlerlagen bis $\pm 15^\circ$ ($\pm 20^\circ$) mit der „Paint Brush“-Methode

T. Weise, C. Breidenbach, R. Prause, GE Sensing & Inspection Technologies GmbH, Hürth, Deutschland
P. Meyer, Benteler Steel/Tube GmbH, Dinslaken, Deutschland

Motivation

Natürliche Längsfehler haben aufgrund der Rohrerstellungsverfahren oft Schräglagen im Bereich bis $\pm 15^\circ$ bzgl. der Rohrlängsachse (0°). Gegenwärtige GE-Phased-Array-Ultraschall-Prüfsysteme zur Schrägfehler-Detektion:

- GRP-Helix in Pfützen-Technik
- GRP-Portal in Clustertechnik

Mit diesen Prüfanlagen werden Schräglagen mit der sogenannten „Paint Brush“-Methode lückenlos, d. h. jede beliebige Fehlerlage bis $\pm 22^\circ$, aufgefunden. Zusätzliche Schräglagen (z. B. $\pm 33^\circ$, $\pm 45^\circ$) können mit der Methode der Winkelschallung („Steering“) überprüft werden.

In Rotationsprüfanlagen mit konventioneller Prüftechnik werden Schrägfehler nur unter sehr speziellen Randbedingungen detektiert.

Mit Implementierung der Phased-Array-Technik in Rotationsprüfanlagen können diese Schräglagen lückenlos mit der Orientierung bis $\pm 15^\circ$ ($\pm 20^\circ$) durch die „Paint Brush“-Methode detektiert werden. Dies wurde erfolgreich in Praxisversuchen validiert. Die Prüfung auf Schrägfehlerlagen wird zukünftig eine wesentliche Erweiterung in der Ultraschall-Prüftechnik sein. Internationale Standards erwarten bzw. fordern schon heute eine Prüfung auf Schrägfehlerlagen.

Auszug internationaler Prüfspezifikationen

API5CT, 9. Ausgabe, Auszug aus Kapitel 10.15.1.36

„... At the discretion of the manufacturer, the notches referenced in Table C.43 or Table E.43 may be oriented at an angle such that detection of defects typical of the manufacturing process is optimised. The technical justification for modification of the orientation shall be documented. ...“

Exxon Inspection Standard EMQSP6.9, Rev. 2, Auszug aus Kapitel 7.1

„... Additional oblique test notches may be required as necessary to detect anticipated defects. ...“

Exxon Evaluation Standard EMQSP2.5, Rev. 2, Auszug aus Kapitel 7.1.1

„Evaluation joints typically contain ID and OD notches with orientations up to every 11 degrees to evaluate detection capability coverage for 360-degrees with respect to the longitudinal axis of the pipe. ...“

Typische Ultraschall-Rotationsprüfanlage „ROT“ für die Vollkörper-Prüfung

„Highlights“ ROT

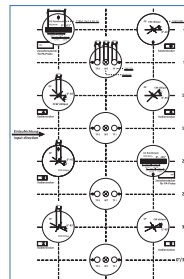
- Fehlerprüfungen LF, QF, SF, DPL, IWW
- WD/EX-Messung
- Geometrie-Messung AD, ID, OV
- Hohe Durchsatzleistung
- Kleine Durchmesser prüfbar (z. B. $\varnothing = 10$ mm)
- Bewährte Prüf- anlagentechnik



Abbildung einer Ultraschall-Rotationsprüfanlage

Prüfkopfpanordnung PA-ROT 180 USIP|xx

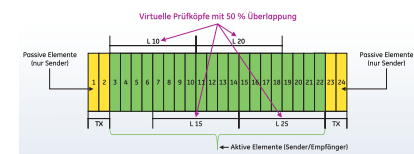
- Phased-Array-Prüfköpfe
 - 2 x PA-LO-Prüfköpfe (0° - $\pm 15^\circ$ ($\pm 20^\circ$))
- Konventionelle Prüfköpfe
 - 4 x WD/DPL-Prüfköpfe
 - 2 x 4 QF-Prüfköpfe
 - 2 x 1 SF-Prüfköpfe (Fixwinkel)
 - 2 x B. ausgerichtet auf $\pm 22^\circ$
 - 2 x 1 SF-Prüfköpfe (Fixwinkel)
 - 2 x B. ausgerichtet auf $\pm 33^\circ$
 - 2 x 1 SF-Prüfköpfe (Fixwinkel)
 - 2 x B. ausgerichtet auf $\pm 45^\circ$



„LO“-Prüfkopf für PA-ROT

Prüfkopf

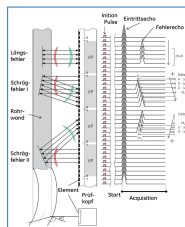
- Phased-Array-Prüfkopf mit 24 Elementen
- Frequenz: 2 MHz
- Elementabstand (Pitch): 2,4 mm
- Aktive Elemente (Sender/Empfänger): 20
- Passive Elemente (nur Sender): 2 x 2
- Elementbreite: 10 mm



Phased-Array-Prüfprinzip „Paint Brush“

Typisches Reflexionsverhalten

- Längsfehler (LF)
Reflektieren in gleiche Richtung zurück, d. h. der Einfallswinkel des Fehlerschalls ist identisch zum Austrittswinkel des Sendeimpulses.
- Schrägfehler (SF)
Reflektieren unter zusätzlichem Winkel bezüglich des ursprünglichen Sendeimpuls-Austrittswinkel
- Phased-Array & Schrägfehler
Aufgrund der unterschiedlichen Wegstrecken im Material ergeben sich zeitlich definierte Verzögerungen für die Empfangssignale benachbarter Elemente.

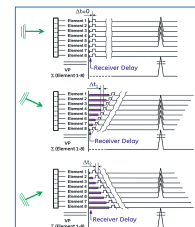


Datenaufnahme und -auswertung

- Alle Elemente des Phased-Array-Prüfkopfs erhalten zeitgleich oder zeitversetzt („Steering“) den Sendeimpuls. Der daraus resultierende Ultraschallimpuls durchläuft die Wasservorlaufstrecke und tritt anteilig gemäß Brechungsgesetz in das zu prüfende Material ein.
- Die von den Einzelementen empfangenen Echosignale werden zunächst elementweise geeignet verstärkt und nach Laufzeit und Amplitude digitalisiert (Echodaten).
- Die Echodaten werden auf Längsfehler ausgewertet.
- Die Echodaten werden gespeichert.

Schrägfehlerauswertung

- Datenverarbeitung
Gespeicherte Echodaten werden auf unterschiedliche Schrägfehlerlagen mit Hilfe von unterschiedlichen Empfängersignaturen ausgewertet (Receiver-Delays)
- Vorteil
Schnelle Datenverarbeitung in Unterzyklen („Subcycles“)



Vorteile Prüfprinzip „Paint Brush“

- Pro Prüfzyklus erfolgt die LF-Auswertung sowie eine schnelle elektronische Verarbeitung und Auswertung der Echodaten auf verschiedene Schrägfehlerlagen in Subcycles (Receiver-Delays), ohne einen erneuten Sendeimpuls auszulösen.

- Pro Prüfzyklus werden die komplette Wasservorlaufstrecke und der Materialpfad nur einmal durchlaufen. Daraus folgt eine hohe Prüffunktionalität bei geringem Schussabstand.

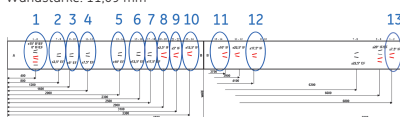
- Phased-Array-Technologie
Aperturen, Überlappungen, Sender- und Empfänger-eigenschaften (Delay-Zeiten), Fokussierungen etc. der virtuellen Prüfköpfe sind mittels Software konfigurierbar und können in Prüfmodi abgespeichert werden.

Validierung PA-ROT

Testfehlerrohr

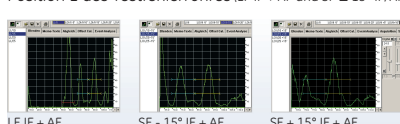
Längs- und Schrägfehler unterschiedlicher Winkellagen sowie Orientierung

Rohrdurchmesser: 244,50 mm
Wandstärke: 11,09 mm



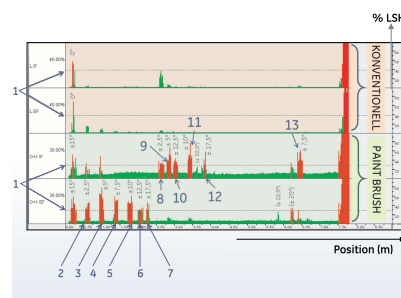
„LO“ A-Bilder

Position 1 des Testfehlerrohres (LF IF + AF und SF $\pm 15^\circ$ IF/AF)



Testrohrprüfung

Unterschied zwischen einer konventionellen ROT und einer Phased-Array-ROT bei Anwendung der „Paint Brush“-Methode



Highlights der PA-ROT

- Kombination von konventioneller- und Phased-Array-„Paint Brush“-Prüftechnik in einer Rotationsprüfanlage
- Erhöhte Prüffunktionalität durch lückenlose Schrägfehlerprüfung bis $\pm 15^\circ$ ($\pm 20^\circ$) mit PA-„Paint Brush“-Methode bei gleichbleibender Durchsatzleistung
- Innovative GE-Ultraschall-Prüfelektronik USIP|xx



Abbildung einer USIP|xx Prüfelektronik