

Ultraschallprüfung von gewalztem Flachstahl mittels „Full Matrix Capture / Total Focusing Method technique“

Josef MAIER¹

¹ voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG, Kapfenberg, Österreich

Kontakt E-Mail: j.maier@bohler-edelstahl.at

Kurzfassung. Die Firma Voestalpine Böhler Edelstahl gehört weltweit zu den bedeutendsten Herstellern von Schnellarbeitsstählen, Werkzeugstählen für die Kaltumformung, die Druck- und Strangpressindustrie sowie die Kunststoffformgebung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Sonderwerkstoffe für die Luft- und Raumfahrt, Energietechnik, Automobilindustrie, Offshore- sowie Chemische Industrie. Dabei konzentriert sich Voestalpine Böhler Edelstahl auf hoch- und höchstbeanspruchte Werkstoffanforderungen. Neben der schmelzmetallurgischen Werkstoffkompetenz verfügt Voestalpine Böhler Edelstahl auch weltweit über einzigartige Umform- und Weiterverarbeitungsanlagen, um so dem Kunden maßgeschneiderte Werkstoffe speziell in Hinsicht auf Toleranz und Oberflächenausführung bieten zu können.

Um die Anforderungen hinsichtlich Fehlerfreiheit bei Walzprodukten aus Werkzeugstahl und Schnellarbeitsstahl, für die Fertigung von höchstbeanspruchten Werkzeugen, Formen u. a. Produkten, sowie Sonderwerkstoffen (z.B. für Luftfahrt-, Energie- und Automobilindustrie) zu erfüllen, ist es für Voestalpine Böhler Edelstahl erforderlich, diese Produkte schnell, zuverlässig und je nach Anforderung mit höchstmöglicher Empfindlichkeit auf Oberflächen- und Innenfehler zu prüfen.

Gewalzter Flachstahl für kritische Anwendungen wird bei Voestalpine Böhler Edelstahl im Abmessungsbereich 40 – 250 mm x 20 – 80 mm automatisiert, mittels klassischer Ultraschall Phased Array Technik auf Innenfehler geprüft. Abmessungen außerhalb des angeführten Abmessungsbereich werden manuell in Kontakttechnik ultraschallgeprüft. Dies bedeutet vor allem für kleine Abmessungen bei schallfeldüberlappender 100 % Prüfung einen immensen Personal- und Zeitaufwand.

Die „Full Matrix Capture / Total Focusing Method technique“ bietet hier neue Möglichkeiten. Im Vortrag wird die Methode erläutert. Es werden Möglichkeiten der Empfindlichkeitsjustierung dargestellt, Vergleiche betreffend Auflösungsvermögen und Totzone zur klassischen Ultraschallkontakttechnik gezogen und erste Ergebnisse der Prüfung von fehlerhaften Material gezeigt.

Einführung

Die Firma voestalpine BÖHLER Edelstahl gehört weltweit zu den bedeutendsten Herstellern von Schnellarbeitsstählen, Werkzeugstählen für die Kaltumformung, die Druck- und Strangpressindustrie sowie die Kunststoffformgebung. Einen weiteren Schwerpunkt bilden die Sonderwerkstoffe für die Luft- und Raumfahrt, Energietechnik, Automobilindustrie, Offshore- sowie Chemische Industrie. Dabei konzentriert sich voestalpine BÖHLER Edelstahl auf hoch- und höchstbeanspruchte Werkstoffanforderungen. Neben der schmelzmetallurgischen Werkstoffkompetenz verfügt voestalpine BÖHLER Edelstahl auch weltweit über einzigartige Umform- und Weiterverarbeitungsanlagen, um so dem Kunden maßgeschneiderte Werkstoffe speziell in Hinsicht auf Toleranz und Oberflächenausführung bieten zu können.

Um den steigenden Anforderungen betreffend Innengüte an Walzprodukten gerecht zu werden, hat voestalpine BÖHLER Edelstahl in den letzten 20 Jahren in modernste vollautomatische Ultraschall-Phased-Array-Anlagen zur Prüfung von Kant- und Blankstahl investiert.

Da die automatisierte Ultraschallprüfanlage für Kantabmessungen im unteren Dimensionsbereich begrenzt ist, werden Kantstäbe mit kleinen Abmessungen personalintensiv und zeitaufwändig in Kontakttechnik auf kleinste Innenfehler geprüft. Seit drei Jahren wird für diese Stäbe auch die FMC/TFM Technik eingesetzt.

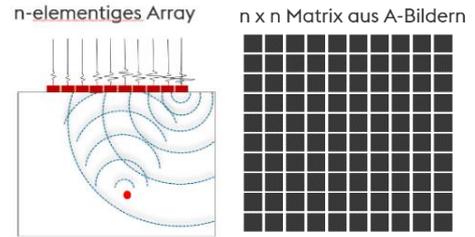
1. „Full Matrix Capture / Total Focusing Method Technique“

1.1 Funktionsprinzip der FMC/TFM Technik für Kantstäbe



Für die Ultraschallprüfung in FMC/TFM Technik verwenden wir ein Ultraschall Prüfgerät GEKKO der Fa. M2M (Eddyfi), eine 64 Elemente Linear Array und einen Plexiglasvorsatz.

Bei FMC/TFM sendet ein einzelnes Element und alle Elemente des Arrays empfangen die reflektierten Echos. Danach sendet das nächste Element und alle Elemente des Arrays empfangen wieder die reflektierten Echos. Das wiederholt sich, bis alle Elemente des Arrays durchgelaufen sind. Die empfangenen Signale (Echoamplituden und Laufzeiten) aller Schüsse werden aufgezeichnet. Daraus ergibt sich eine $n \times m$ Matrix aus A-Bildern.



Full Matrix ist also eine Matrix, die aus $n \times m$ Zellen besteht, die allen Kombinationen von m gesendeten Signalen und n empfangenen Signalen entsprechen, wobei jede Matrixzelle ein A-Bild-Zeitsignal enthält.

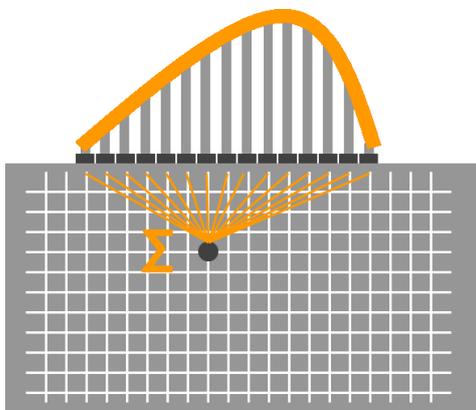
Die „Region of Interest (ROI)“ ist eine zwei- oder dreidimensionale Abbildung, die den räumlichen Bereich des Objekts anzeigt, für den das Bild errechnet wird.

Total Focusing Method (TFM) bedeutet die synthetische Fokussierung, die aus einer Rekonstruktion innerhalb einer „Region of Interest ROI“ besteht, um an vielen Punkten zu fokussieren, die ein Gitter bilden, indem ein Teil oder alle A-Bild-Informationen der entsprechenden Sender-Empfänger-Kombinationen verarbeitet werden. Dies erfolgt unter Berücksichtigung des zurückgelegten Weges vom Sender zum Bildpunkt und zum Empfänger, typischerweise durchgeführt mit Full Matrix Capture (FMC) Daten.

Full matrix capture / total focusing methode FMC/TFM ist eine Zusammenstellung eines Datenerfassungs- und Abbildungsschemas, wobei das Erfassungsschema eine Vollmatrixerfassung beinhaltet und das Abbildungsschema die Berechnung eines Gesamtfokussierungsverfahrensbildes beinhaltet. Das Datenerfassungs- und Abbildungsschema kann mit mehreren gleichartigen Technologien durchgeführt werden.

[1] ISO/DIS 23865

TFM ist ein Post-Processing Algorithmus für FMC-Daten.



» Erzeugung eines **künstlichen Fokus** an jedem Gitterpunkt durch summieren der FMC-Daten

» Diskretisierung der Prüfzone in ein Gitter

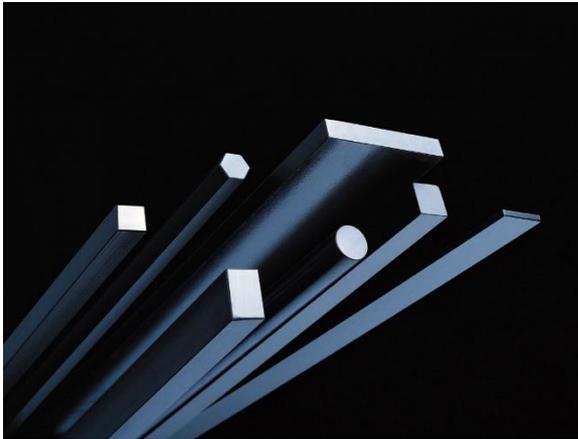
Vorteile:

» Prüfzone kann breiter als der Prüfkopf sein

» Fokussiertes Bild in gesamten Prüfbereich

2. Anforderungen an die Ultraschallprüfung von gewalztem Flachstahl mit TFM/FMC:

2.1 Zu prüfendes Produkt



Warmgewalzter Flachstahl unterschiedlichster Werkstoffe aus Stahl und Ni Basis Legierungen

Ausführung: gewalzt, gerichtet, gestrahlt

Ziel: ökonomische und sichere Prüfung von kleinen Flachabmessungen

- » Abmessungen mit Breite < 40 mm bis 300 mm bzw. Dicke < 9 – 100 mm
- » Prüfung auf kleinste Fehlergrößen z.B. \varnothing 0,8 mm FBB

3. Dafür verwendete Prüfausrüstung:

3.1 Ultraschall-Prüfgerät

GEKKO mit Echtzeit (REAL-TIME) TFM:

- » Echtzeit-Bildgebung mit einer Geschwindigkeit von bis zu 30 Bildern pro Sekunde erreicht werden.
- » Der TFM hat eine Bildauflösung von 256x256 Pixeln (65K-Punkte fokussierend).



3.2 Verwendeter Phased Array Prüfkopf

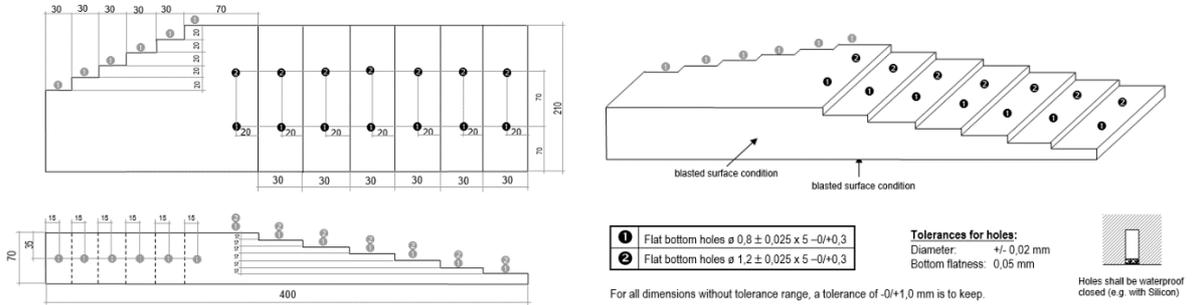
Linear Array:



- » 64 Elemente
- » 5 MHz
- » Element pitch: 0,85 mm
- » Gesamte aktive Länge: 54,3 mm
- » 0° Plexiglasvorsatz: 30 mm Höhe
- » 0° Plexiglasvorsatz: 40 mm Höhe

3.3 Verwendete Justierkörper

Stufentestkörper mit $\varnothing 0,8$ mm und $\varnothing 1,2$ mm Flachbodenbohrungen (FBB's):



Standard-Testkörpersatz nach ASTM E124:

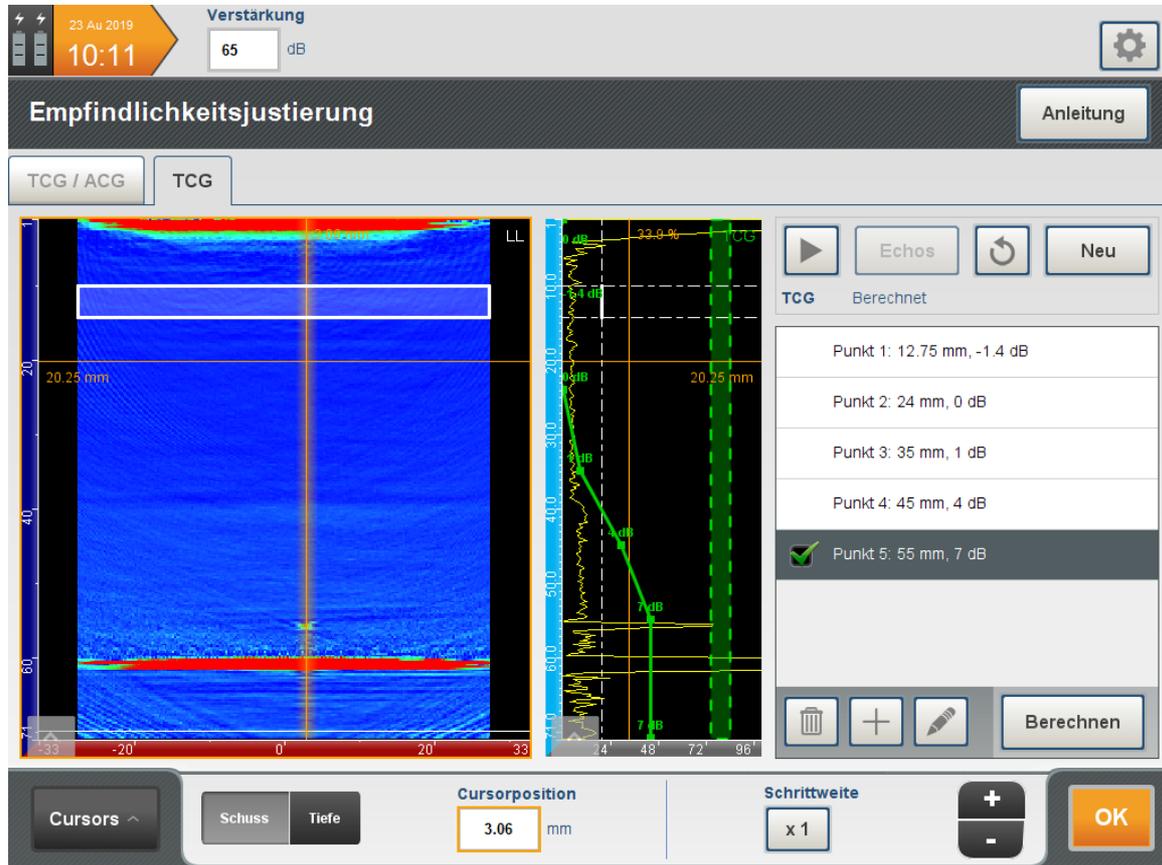


- » Standard-Testkörpersatz mit $\varnothing 3/64'$ (1,2 mm) Flachbodenbohrung
- » 3-0.125 (1,2 mm FBB in 3.175 mm Tiefe)
- » 3-0.250 (1,2 mm FBB in 6.35 mm Tiefe)
- » 3-0.500 (1,2 mm FBB in 12.7 mm Tiefe)
- » 3-1.000 (1,2 mm FBB in 25.4 mm Tiefe)
- » 3-1.500 (1,2 mm FBB in 38.1 mm Tiefe)
- » 3-2.000 (1,2 mm FBB in 50.8 mm Tiefe)
- » 3-3.000 (1,2 mm FBB in 76.2 mm Tiefe)
- » 3-4.000 (1,2 mm FBB in 101.6 mm Tiefe)

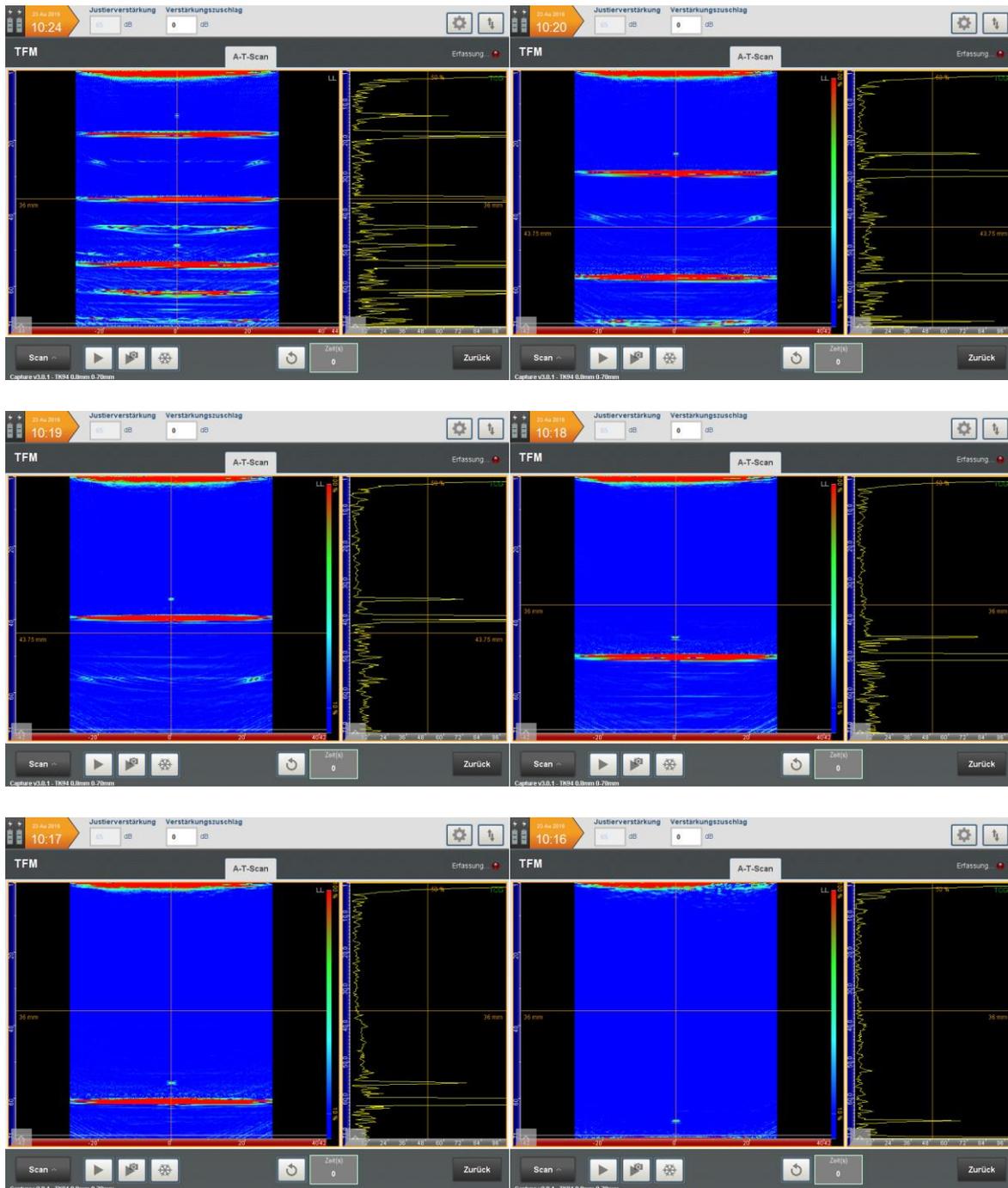
4. Durchführung der Empfindlichkeitsjustierung:

4.1 Time Corrected Gain (TCG)

Die Empfindlichkeitsjustierung erfolgte am o.a. Stufentestkörper an den \varnothing 0,8 mm Flachboden-bohrungen mittels TCG Justierung. Im unten dargestellten Bild werden die 0,8 mm FBB's auf 80 % Blidschirmhöhe gestellt.

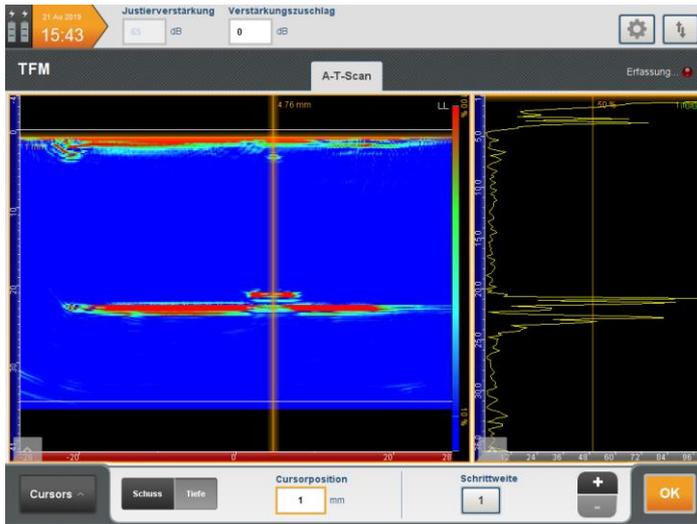


4.2 TCG – Empfindlichkeitskontrolle an ϕ 0,8 mm FBB's:



5. Nah- und Fernauflösevermögen:

Die Evaluierung des Nah- und Fernauflösevermögen mit dem 5 MHz Array wurde am Standard-Testkörpersatz nach ASTM E124 durchgeführt. Zum Nachweis des Nahauflösevermögen (tote Zone) konnte die \varnothing 1,2 mm FBB am Testkörper 3-0.125 mit ausreichendem Nutz-/Störverhältnis in 3,2 mm Tiefe detektiert werden. Das Fernauflösevermögen wird an der Tellernut 1,6 mm vor der Rückwand nachgewiesen.



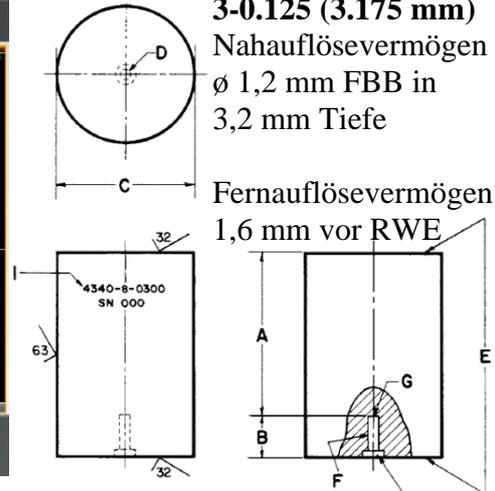
Testkörper nach ASTM E124

3-0.125 (3.175 mm)

Nahauflösevermögen

\varnothing 1,2 mm FBB in
3,2 mm Tiefe

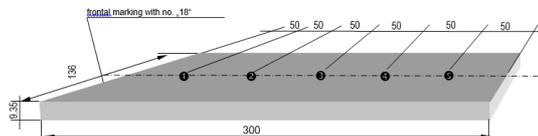
Fernauflösevermögen
1,6 mm vor RWE



Ein Nahauflösevermögen von ca. 0,6 mm konnte bei Versuchen mit einem 10 MHz Array an einem Testkörper mit \varnothing 2 mm FBB's nachgewiesen werden. Deutlich sind hier auch vier Wiederholungsechos in der ROI zu sehen.



Testkörper No. 18

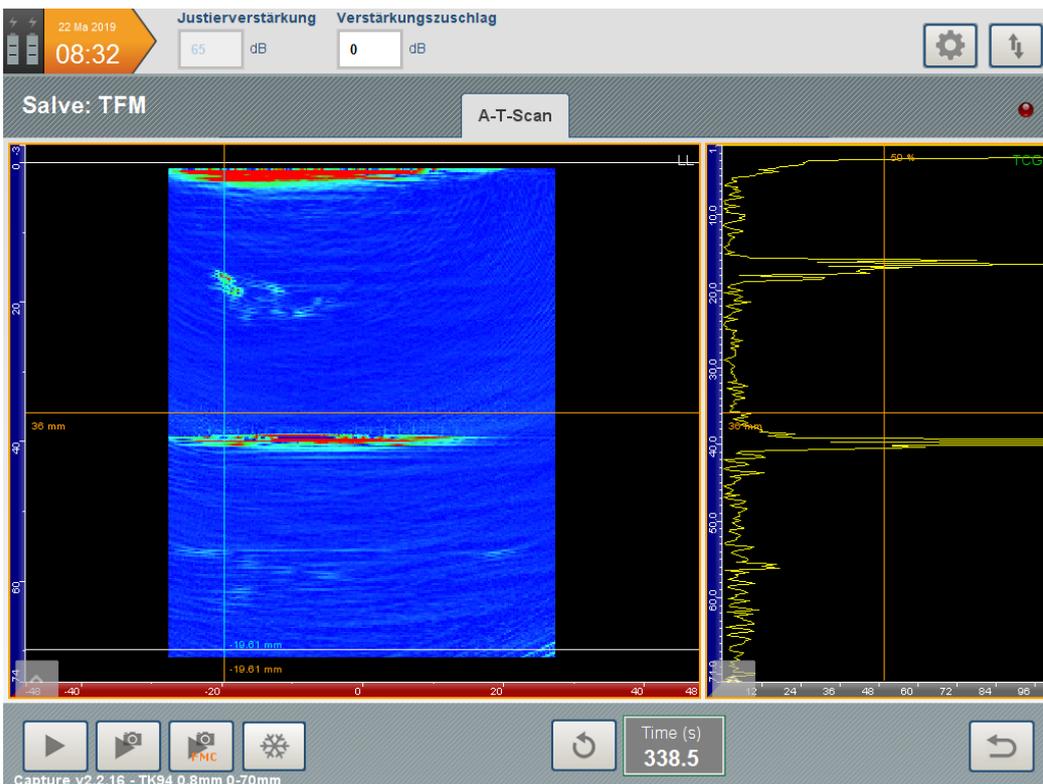
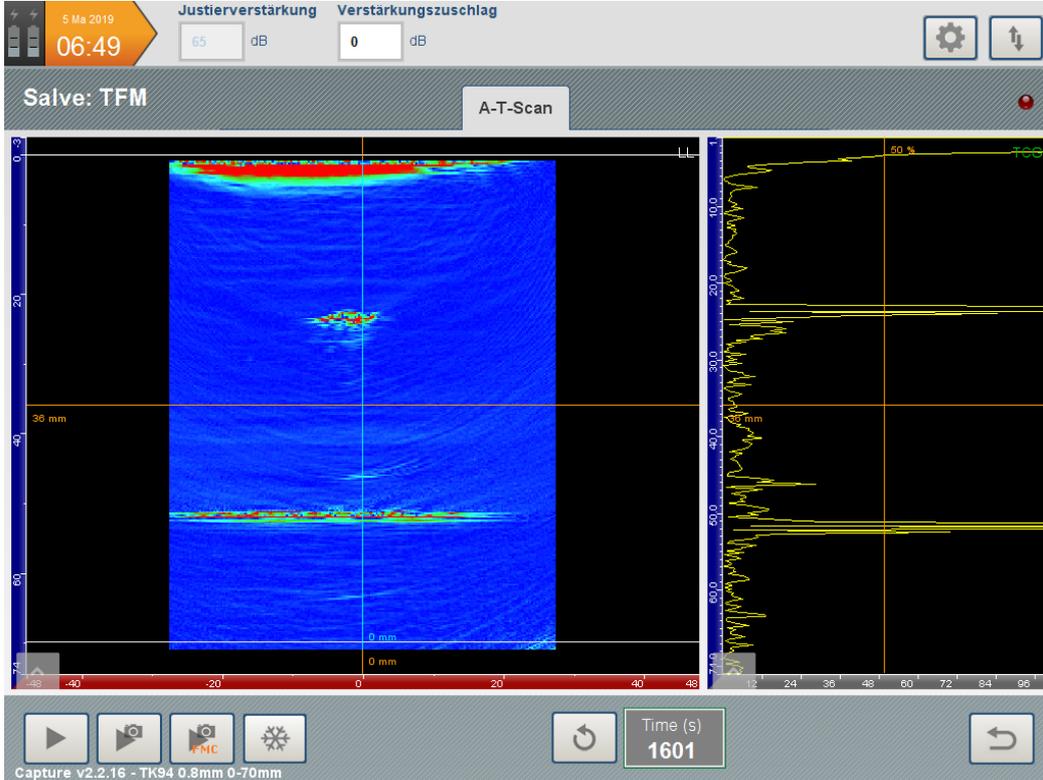


TFM-Signal von Testfehler ❶, gemessene Tiefenlage 0,59 mm, gemessene Breite 1,90 mm.

Die Wiederholungsechos des Testfehlers sind deutlich erkennbar.

6. Prüfung an Probenabschnitten mit natürlichen Fehlern:

An den beiden unten dargestellten Bildern kann man die Anzeigen von Fehlern durch Nichtmetallische Einschlüsse sehen. Während im rechten A-Bild nur die Echoamplitude und die Fehlertiefe dargestellt werden, sieht man in der links dargestellten ROI (entspricht in diesem Fall einem B-Bild) ein exaktes, flächiges Bild der Fehler.



7. Zusammenfassung:

7.1 Vorteile der TFM/FMC Technik

- » Die Spurbreite bei Abtastung mit dem verwendete 5 MHz Array in FMC/TFM Technik beträgt 55 mm. Die Spurbreite eines konventionellen Prüfkopfs (z. B. SEB 4) bei 15 % Prüfbahnen Überlappung beträgt 17 mm, wobei damit noch lange nicht fokusüberlappend geprüft ist.
- » Bei der TFM/FMC Technik erfolgt eine Fokussierung innerhalb der gesamten ROI. Die Fokusgröße eines konventionellen Prüfkopfs (z. B. SEB 4) beträgt 7 x 2,5 mm
- » Die TFM/FMC Technik würde einen theoretischen, rechnerisch ökonomischen Vorteil bei schallfeldüberlappender Prüfung mit Faktor 10 ergeben. Eine fokusüberlappende Prüfung mit konventionellen Prüfköpfen in manueller Kontakttechnik ist jedoch praktisch nicht durchführbar.
- » Sowohl das Nah- als auch das Fernauflösevermögen ist bei FMC/TFM deutlich höher als bei der Ultraschallprüfung mit konventionellen Ultraschallprüfköpfen.
- » Mit FMC/TFM erreicht man durch die Fokussierung in der gesamten ROI ein höheres Fehlerauflösevermögen als bei der Ultraschallprüfung mit konventionellen Ultraschallprüfköpfen. Die Darstellung in der ROI (B-Bild) zeigt ein beinahe reales Fehlerbild.

7.2 Nachteil der TFM/FMC Technik

- » Die TFM/FMC Technik ist für diese Anwendung auf Schallwege bis maximal ca. 100 mm beschränkt.

Referenzen

[1] ISO/DIS 23865