

O nouă metodă de examinare ultrasonică a sudurilor – Imagistică cu Coerență de Fază

A new method for ultrasonic inspection of welds – Phase Coherence Imaging

Octav Teodorescu^{1,2}, Victor Coman¹

¹ NAMICON s.r.l.

² Universitatea din Bucuresti - University of Bucharest

Rezumat

Introducerea imagisticii cu coerență de fază (PCI) în noua generație de defectoscoape ultrasonice avansate a îmbunătățit considerabil capacitățile de vizualizare și caracterizare pentru unele dintre cele mai dificil de detectat discontinuități folosind tehnicile convenționale cu ultrasunete de astăzi. Îmbunătățirile de imagistică ale metodei PCI oferă performanțe superioare nu numai pentru aceste cazuri dificile, ci și pentru cazuri de utilizare obișnuite, cum ar fi inspecțiile sudurilor și dimensionarea fisurilor. Spre deosebire de tehnologiile actuale de testare cu ultrasunete, inclusiv tehnicile convenționale fazoriale (Phased Array - PA) și metoda de focalizare totală (Total Focusing Matrix - TFM), procesarea semnalului PCI nu ia în considerare amplitudinea atunci când generează imagini TFM. Metoda PCI detectează defectele folosind doar informațiile de fază ale semnalului prin măsurarea coerenței de fază a scanărilor A-scan elementare pentru fiecare punct din zona TFM..

Cuvinte cheie

ultrasunete, sudură, examinare nedistructivă, defecte, discontinuități, TFM, PCI, Phased Array

Abstract

The introduction of Phase Coherence Imaging (PCI) in the new generation of advanced ultrasonic flaw detectors has vastly improved the visualization and characterization capabilities for some of the most difficult-to-detect defects using today's conventional ultrasound techniques. PCI's imaging enhancements offer improvements not only for these challenging use cases but also for common use cases such as weld inspections and crack sizing.

Unlike current ultrasonic testing technologies—including conventional Phased Array (PA) and Total Focusing Method (TFM) techniques - PCI's signal processing does not consider the amplitude when generating TFM images. It detects defects using only the phase information of the signal by measuring the phase coherence of the elementary A-scans for each point in the TFM zone.

Keywords

ultrasound, weld, non-destructive testing, defect, discontinuity, TFM, PCI, Phased Array

1. Introducere

În domeniul examinării nedistructive cu ultrasunete a sudurilor, metoda de focalizare totală (TFM – Total Focusing Method) este acum o tehnică de imagistică pentru testare nedistructivă (NDT) larg cunoscută și acceptată. Mai mult, metoda este acum disponibilă comercial pe mai multe dispozitive portabile, iar TFM este în creștere de popularitate în cadrul comunității NDT. Cu toate acestea, deși TFM permite o interpretare mai ușoară a imaginii decât inspecția matricială Phased Array (PA), utilizarea unui singur element în transmisie în timpul achiziției poate duce la imagini cu un raport semnal-zgomot (SNR – Signal to Noise Ratio) scăzut.

1. Introduction

In the field of non-destructive ultrasonic examination of welds, the Total Focusing Method (TFM) is now an imaging technique for non-destructive testing (NDT) widely known and accepted. Moreover, the method is now commercially available on several portable advanced ultrasonic flaw detectors, and TFM is growing in popularity within the NDT community.

However, although TFM allows for easier image interpretation than Phased Array (PA), using a single element in the transmission during acquisition can result in images with a low signal-to-noise ratio (SNR).

Acest SNR scăzut se datorează penetrării acustice slabe, de obicei în zone cu grosime mare sau în materiale cu atenuare ridicată.

Pentru a depăși această problemă, metoda PCI propune o implementare diferită a algoritmului TFM convențional folosind doar informațiile legate de fază ale semnalelor achiziționate. Se bazează pe factorul de coerență vectorială (VCF – Vector Coherence Factor), care este folosit ca imagine în sine eliminând informațiile de amplitudine din semnalele achiziționate. Această metodă, cunoscută și ca Imagistica cu Coerență de Fază (PCI), prezintă anumite avantaje, inclusiv următoarele:

- Este luată în considerare doar faza instantanee a semnalului, iar atenuarea materialului nu afectează faza semnalului, astfel încât PCI este deosebit de utilă în rezolvarea provocărilor aplicațiilor de inspecție a sudurilor materialelor cu grosime mare sau foarte atenuante
- Deoarece amplitudinea semnalului nu este luată în considerare, necesitatea calibrării amplitudinii este eliminată
- Sensibilitate îmbunătățită la geometriile de difracție și consistența reprezentării defectelor între diferitele vizualizări
- Oferă o metodă fiabilă, care nu se bazează pe amplitudine, pentru dimensionarea defectelor similare fisurilor.

Lucrarea explică principiile de bază ale metodei PCI, oferind exemple de cazuri reale de utilizare folosind defecte reale care permit compararea celor două tipuri de imagini, TFM convențional și PCI, create cu cele două tipuri de algoritmi.

2. Cum funcționează metoda PCI

PCI procesează aceleași date FMC (Full Matrix Capture) achiziționate pentru TFM convențional. Procesarea începe prin normalizarea prezentărilor A-scan elementare și apoi calculează coerența de fază a A-scan-urilor normalizate pentru fiecare punct din cadrul TFM. Deoarece imaginea PCI rezultată se bazează pe varianța statistică a coerenței de fază, nivelul nu poate depăși 100%. Aceasta înseamnă că saturarea semnalului nu este posibilă. Informația cuantificată a fazei prezentării A-scan cuantificate rămâne de asemenea mai constantă în timp și distanță, spre deosebire de amplitudine, care scade cu cât fasciculul se deplasează mai departe, dincolo de câmpul apropiat (vezi Figura 1).

This low SNR is due to poor acoustic penetration, usually in thick areas or materials with high attenuation.

To overcome this problem, the PCI method proposes a different implementation of the conventional TFM algorithm using only the phase-related information of the acquired signals. It is based on the vector coherence factor (VCF), which is used as the image itself by removing the amplitude information from the acquired signals.

This method, known as Phase Coherence Imaging - PCI, has certain advantages, including the following:

- Only the instantaneous phase of the signal is considered, and material attenuation does not affect the signal phase, so PCI is particularly useful in solving the challenges of welding inspection applications of thick or highly attenuative materials
- Since the amplitude of the signal is not taken into account, the need for amplitude calibration is eliminated
- Improved sensitivity to geometries of diffraction and consistency of defect representation between different scan views
- It provides a reliable, non-amplitude-based method for sizing crack-like defects.

This paper will try to explain the basic principles of the PCI method. Examples of real use cases using real defects and known geometry allow the comparison of the two types of images, conventional TFM and PCI, obtained with the help of the two types of algorithms.

2. How the PCI method works

PCI processes the same FMC data (Full Matrix Capture) acquired for conventional TFM. Processing begins by normalizing the elementary A-scans and then calculates the phase coherence of the normalized A-scans values for each point within the TFM.

Since the resulting PCI image is based on the statistical variance of the phase coherence, the level cannot exceed 100%. This means that the signal saturation is not possible. The quantified information of the phase of the quantified A-scan remains more constant over time and distance, unlike amplitude, which decreases the further the beam travels, beyond the near field (see Figure 1).

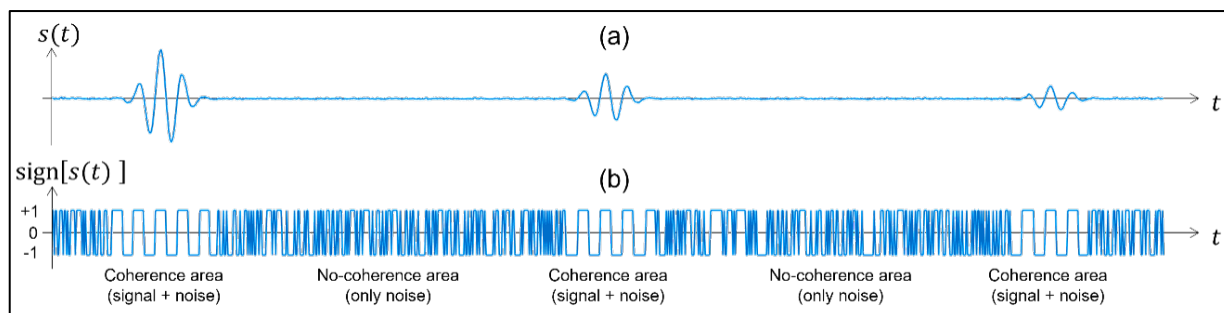


Fig. 1 Date brute privind amplitudinea A-scan (a) și faza cuantificată a A-scan (b) în timp (t) (Evident 2022)

Fig. 1 Raw amplitude data of A-scan (a) and the quantified phase of A-scan (b) in time (t) (Evident 2022)

Mai mult, semnalele de difracție de la vârfurile discontinuităților au o coerență de fază mult mai mare decât zgomotul de fond haotic, incoerent, astfel încât contrastul dintre ele este accentuat în materiale cu structura granulară grosieră și atenuare ridicată, precum oțelul inoxidabil.

Recunoașterea recentă de către industrie și comunitatea NDT a PCI ca metodă de îmbunătățire a vizualizării datelor oferă, în cazurile de utilizare aplicabile pentru îmbunătățirea datelor UT, capacități pentru a ajuta la rezolvarea unora dintre cele mai dificile aplicații de utilizare ale industriei NDT.

Pentru o mai bună înțelegere a modului de lucru, în continuare sunt prezentate câteva exemple de mecanisme de deteriorare pe care PCI le-ar putea detecta mai bine față de abordările clasice.

3. Exemple experimentale

Metoda PCI poate fi foarte eficientă pentru examinarea sudurilor, deoarece combină avantajele semnalelor reflectate - cum ar fi Phased Array (PA) - și informațiile de fază a semnalelor de difracție provenite de la vârfurile discontinuităților - cum ar fi TOFD. Un alt avantaj al PCI este că sunt necesare mai puține grupuri pentru aceeași acoperire de scanare.

Pentru câteva tipuri de defecte, PCI poate facilita caracterizarea acestora:

- Dimensionarea este mai facilă
- Imaginile cu defecte sunt mai aproape de caracterul lor real
- Este mai puțin probabil ca defectele să fie împărțite între diferite grupuri

Următoarele teste comparative s-au efectuat pe sudura unei table de inox cu grosimea de 12mm, folosindu-se un traductor Phased Array 10L64-A32 de 10MHz cu 64 de elemente.

În Figura 2 sunt prezentate imaginile unui defect tip lipsă de topire (LOF – Lack of Fusion) obținute

Furthermore, the diffraction signals from the discontinuity tips have much higher phase coherence than chaotic, incoherent background noise, so the contrast between them is accentuated in materials with coarse grain structure and high attenuation, such as stainless steel.

Recent industry and NDT community recognition of PCI as a data visualization enhancement method provides, in applicable use cases for UT data enhancement, capabilities to solve some of the most difficult applications in the NDT industry.

To a better understanding of the mechanism of the PCI method, next will be presented some examples of damage mechanisms that PCI could detect better versus classical approaches.

3. Experimental examples

PCI method can be very effective for the examination of welds because it combines the advantages of reflected signals - such as Phased Array (PA) - and phase information of diffraction signals originating from tip discontinuities - such as TOFD.

Another advantage of PCI is that fewer groups are required for the same scan coverage.

For several types of defects, PCI can facilitate their characterization:

- Sizing is easier.
- Images with defects are closer to their real character.
- Defects are less likely to be shared between different groups.

Following comparison tests were made on a 12 mm thick stainless-steel welding plate, using a Phased Array transducer 10L64-A32, 10MHz with 64 elements.

Figure 2 shows the images of a Lack of Fusion defect (LOF) obtained by the PCI and TFM

prin metodele PCI si TFM cu același traductor. După cum se observă, forma si dimensiunile reale ale defectului sunt mult mai bine definite prin metoda PCI. Determinarea dimensiunilor defectului în PCI poate fi făcută folosind 2 puncte de la extremitățile defectului (punctele de difracție), metodă ce oferă o precizie superioară metodei 6 dB.

methods with the same transducer. As can be seen, the shape and real dimensions of the defect are much better defined by the PCI method. Sizing of the defect in the PCI method can be done using 2 points from the extremity of the defect (diffraction points), a method that offers better accuracy compared to the 6 dB method.

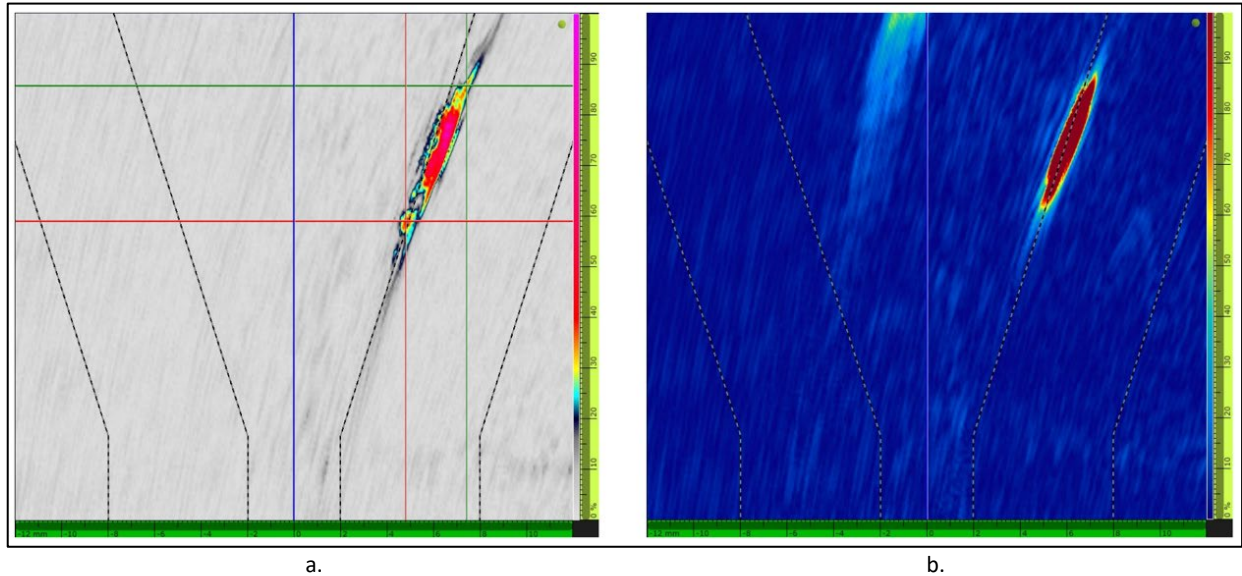


Fig. 2 Defect tip lipsă de topire detectat prin metoda PCI – mod TT-TT (b.) versus metoda TFM mod TT-TT (a.) (Evident 2022)

Fig. 2 Lack of fusion defect detected by PCI method – TT-TT mode (b.) versus method TFM mode TT-TT (a.) (Evident 2022)

În Figura 3 se observă prezența unor porozități extinse detectate prin metoda PCI, dar aproape nedetectabile în metoda TFM.

Figure 3 shows the presence of some porosities detected by the PCI method, but almost undetectable in the TFM method.

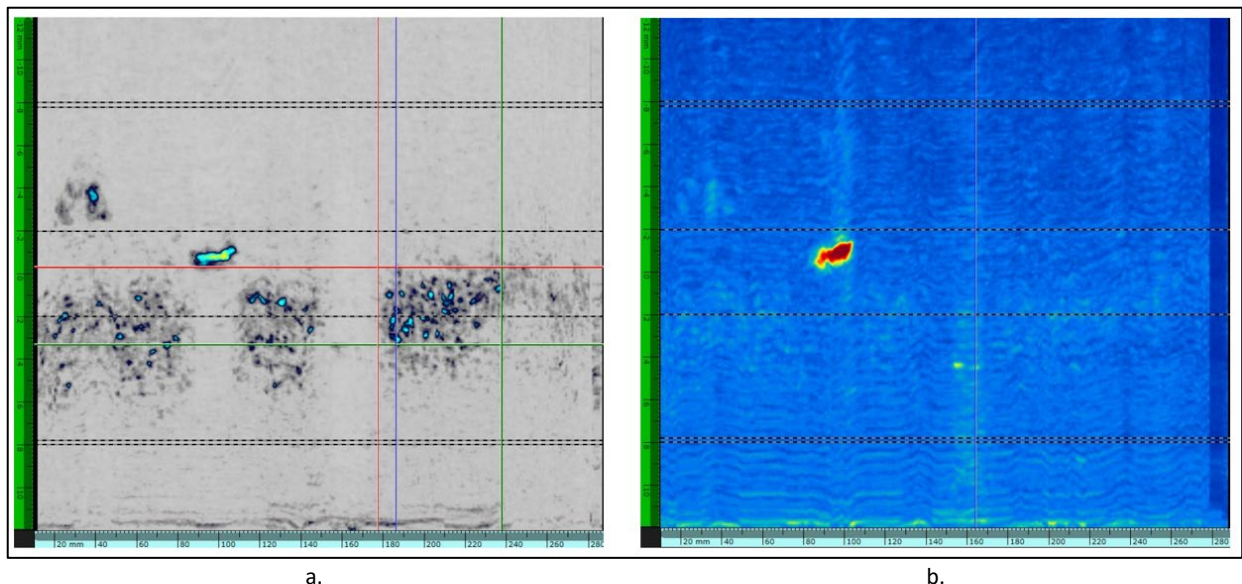


Fig. 3 Porozitate extinsă detectată prin metoda PCI – mod TT (b.) versus metoda TFM mod TT (a.) (Evident 2022)

Fig. 3 Extended porosity detected by PCI method – TT mode (b.) versus TFM method TT mode (a.) (Evident 2022)

S-au efectuat teste și pe o sudură realizată prin procedeul de sudare prin rezistență electrică,

Tests were also performed on an ERW (electrical resistance process) weld sample with a Phased

utilizând un traductor Phased Array 5L32-A31 de 5MHz cu 32 de elemente.

În Figura 4 se observă că fisura detectată poate fi observată complet într-un singur grup în modul TT-TT prin metoda PCI, pe când prin metoda TFM sunt necesare 2 grupuri (TTT și TT-TT) pentru vizualizarea integrală a aceleiași fisuri.

Array transducer 5L32-A31 of 5MHz with 32 elements.

Figure 4 shows that the detected crack can be observed completely in a single group in TT-TT mode by the PCI method, but with the TFM method, 2 groups (TTT and TT-TT) are needed for full visualization of the same crack.

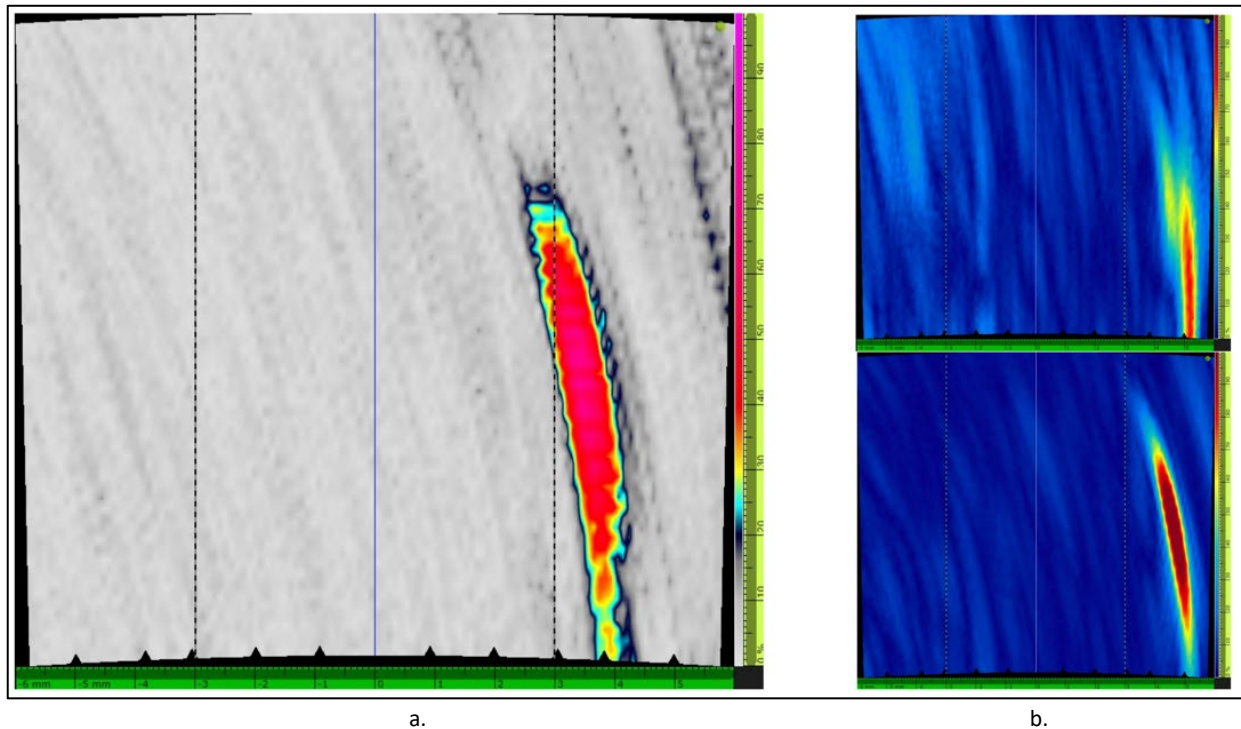


Fig. 4 Fisură detectată prin metoda PCI – mod TT (b.) versus metoda TFM mod TT (a.) (Evident 2022)

Fig. 4 Crack detected by PCI method – TT mode (b.) versus TFM method TT mode (a.) (Evident 2022)

Ațiunea hidrogenului la temperatură înaltă (High Temperature Hydrogen Attack - HTHA) este un mecanism de deteriorare care este foarte dificil de detectat folosind tehnici de amplitudine, în special în stadiile incipiente. Acest lucru se datorează mai multor factori, cum ar fi orientarea și dimensiunea defectelor, precum și apropierea lor de peretele din spate. Deoarece PCI generează imagini TFM folosind doar informațiile de fază din scanările A-scan elementare și nu amplitudinea, HTHA poate fi detectată în stadiile sale incipiente. Acest lucru se datorează faptului că răspunsul de difracție de la aceste reflectoare mici este foarte coerent în comparație cu reflectoarele plane mari, cum ar fi peretele din spate. Orientarea defectului este de asemenea mai puțin importantă din aceleași motive. Deoarece fiecare vârf/muchie a defectului emite un semnal de difracție, direcția și orientarea pot fi vizualizate cu ușurință. Testele comparative efectuate cu un traductor Phased Array 10L64-A32 de 10MHz cu 64 de elemente pe o proba cu defecte HTHA au relevat

The High-Temperature Hydrogen Attack (HTHA) is a damage mechanism that is very difficult to detect using amplitude techniques, especially in the early stages.

This is due to several factors, such as defects' orientations and sizes, as well as their proximity to the back wall.

Since PCI generates TFM images using only the phase information from the elementary A-scans and not amplitude, HTHA can be detected in its early stages. This is because the diffraction response from these small reflectors is very coherent compared to the large flat reflectors, such as the back wall.

The orientation of the defect is also less important for the same reasons. Because each tip/edge of the defect generates a diffraction signal, the direction and orientation can be easily visualized.

Comparative tests performed with a Phased Array transducer 10L64-A32 of 10MHz with 64 elements on a sample with HTHA defects revealed a superior detection by the PCI method.

o detecție superioară prin metoda PCI. Prin metoda TFM, indicațiile sunt estompate în volum și parțial mascate de ecoul de fund (Figura 5).

By the TFM method, the indications are blurred in and partially masked by the back echo (Figure 5).

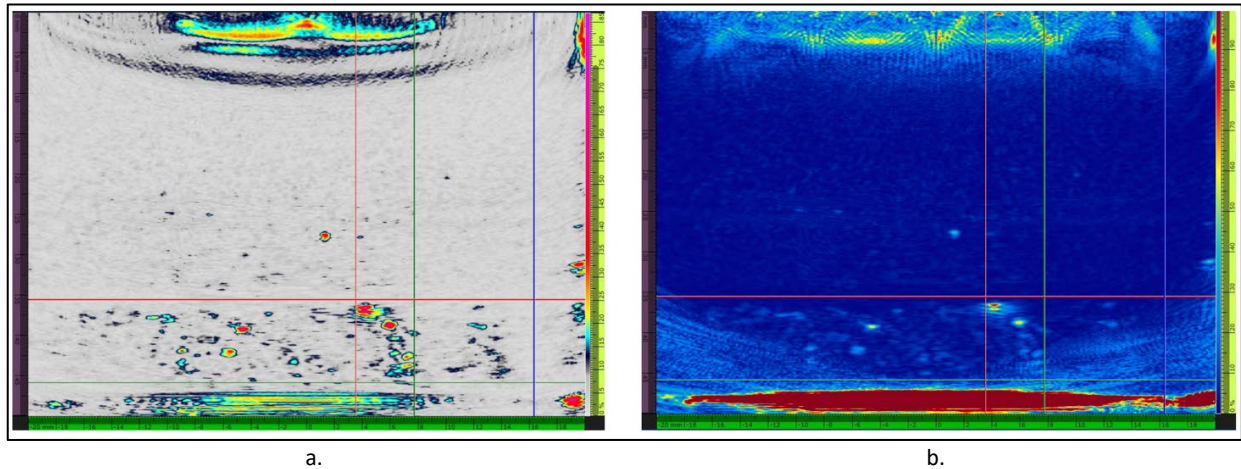


Fig. 5 Defecte HTHA detectate prin metoda PCI – mod TT (b.) versus metoda TFM mod TT (a.) (Evident 2022)

Fig. 5 HTHA defects detected by PCI method – TT mode (b.) versus TFM method TT mode (a.) (Evident 2022)

4. Concluzii

În concluzie, experimentele au arătat că metoda PCI oferă multe beneficii:

- Deoarece este o metodă de imagistică care nu se bazează pe amplitudine, interpretarea imaginii nu se bazează pe semnale calibrate în amplitudine, ceea ce reprezintă un avantaj față de metoda TFM convențională bazată pe amplitudine
- Sensibilitate mai mare pentru discontinuitățile înguste și ascuțite și, în general, la geometriile difractive
- Permite dimensionarea precisă a defectelor tip creștătură / fisură fără a utiliza considerații semi-empirice care ar putea fi ușor alterate de un proces de calibrare sau de atenuare a materialului
- Nu necesită o procedură de calibrare, ceea ce face dimensionarea creștăturii / fisurii mai ușoară și mai precisă în comparație cu metoda TFM convențională
- Amplificarea poate fi setată la o valoare foarte scăzută, prevenind saturarea semnalului
- În plus, un instrument cu un procesor suficient de puternic, cum ar fi defectoscopul OmniScan X3 64, generează imagini PCI live, astfel încât rezultatele sunt afișate imediat în timpul inspecției.

Cu toate acestea, ar trebui menționate și câteva dezavantaje ale acestei metode:

- Reproduce slab reflectoarele plane
- Raportul semnal-zgomot al PCI este mai mic decât metodele bazate pe amplitudine. Dar

4. Conclusions

In conclusion, the tests have shown that PCI method offers many benefits:

- Because it is a non-amplitude-based imaging method, image interpretation does not rely on amplitude-calibrated signals, which is an advantage over the conventional amplitude-based TFM method
- Greater sensitivity to narrow and sharp discontinuities and generally to diffractive geometries
- It allows accurate sizing of notch/crack defects without using semi-empirical considerations that could easily be affected by a calibration or material attenuation process
- It does not require a calibration procedure, which makes notch/crack sizing easier and more accurate compared to the conventional TFM method
- The gain can be set very low, preventing signal saturation
- In addition, a tool with a sufficiently powerful processor, such as the OmniScanX3 64 flaw detector, generates live PCI images so results are immediately displayed during the inspection.

However, some limitations of PCI should be also mentioned:

- Reproduces flat reflectors poorly
- The signal-to-noise ratio of PCI is lower than amplitude-based methods. But this is not a major drawback, because PCI makes it easy to distinguish coherent areas, indicating the

acesta nu este un dezavantaj major, deoarece PCI face ușor deosebirea zonelor coerente, indicând prezența defectelor, de zonele incoerente corespunzătoare zonelor de zgomot ale imaginii.

Metoda PCI este deci o tehnică complementară care oferă capacități de dimensionare mai bune pentru lipsa de topire (LOF – Lack of Fusion) și fisurile de-a lungul cordonului de sudură, deoarece ecourile de difracție de la vârfurile defectelor sunt mai bine detectate. Imagistica cu coerență de fază PCI oferă o vizualizare mai bună a eventualelor porozități fără a fi necesară creșterea amplificării. Metoda PCI este de asemenea mai puțin sensibilă la orientarea de-a lungul planului pasiv. Deoarece imagistica cu coerență de fază PCI elimină semnalele care provin de la geometria piesei, metoda este mai bună pentru detectarea defectelor mici aproape de peretele de fund atunci când se efectuează inspecția L0 (cum ar fi defectele de tip HTHA).

presence of defects, from incoherent zones with noise areas of the image.

The PCI method is a complementary technique that provides better sizing capabilities for lack of fusion (LOF) and cracks along the weld seam because the diffraction echoes of the tips of the defects are better detected.

Phase Coherence Imaging (PCI) provides a better view of the porosities without being necessary to increase the gain.

The PCI method is also less sensitive to the orientation along the passive plane.

Because Phase Coherence Imaging (PCI) removes signals that come from part geometry, the method is better for detecting small defects close to the back wall when the L0 inspection is performed (such as HTHA-type defects).

Bibliografie

References

- [1] Le Duff, A., Painchaud-April, G., 2022. Phase Coherence Imaging for Flaw Detection. Evident Scientific, Quebec, Canada, www.olympus-ims.com
- [2] Tartaglia, T., 2022. Is Phase Coherence Imaging Right for Your Application? Evident Scientific, Quebec, Canada, www.asnt.org
- [3] Tartaglia, T., 2022. Advantageous Applications for Phase Coherence Imaging (PCI). Evident Scientific, Quebec, Canada, www.olympus-ims.com

Pentru citare:

Teodorescu, O., Coman, V., A new method for ultrasonic inspection of welds – Phase Coherence Imaging, Sudura, nr. 2 (2023), year XXXIII, x-y