

Współczesne wybrane metody badań ultradźwiękowych spoin

Streszczenie. W artykule przedstawiono dwie metody badań ultradźwiękowych spoin obejmujące szeroki zakres grubości łączonych elementów począwszy od 2mm wzwyż.. Pierwsza, obejmująca nieunormowany zakres grubości 2-8mm, jest współczesną wersją znanej od lat Instrukcji Badań Spoin (IBUS- TD) opartej na głowicach tandem z wykorzystaniem krzywych DAC. Głowice tandem będące nowym opracowaniem charakteryzują się wysoką wykrywalnością i wysokim stosunkiem sygnału użytecznego do poziomu szumów. Druga metoda dotycząca zakresu grubości powyżej 8 mm jest procedurą badania spoin wg norm PN-EN1712 i PN-EN1714 umożliwiającą automatyczną rejestrację wyników badania spoiny z wykorzystaniem skanera oraz jej automatyczną ocenę

1. Wstęp

Normy (5 i 6) powszechnie już stosowane mają obiegową opinię że zaostrzyły kryteria w stosunku do wcześniej stosowanej normy (8), oraz wprowadziły nieco inny bardziej pracochłonny sposób dokumentowanie wyników. W efekcie w istotnym stopniu skomplikowały badania i ograniczyły w badaniach ultradźwiękowych ich zalety to jest szybkość i łatwość badań. Dodatkowo wytworzona została luka poprzez brak unormowania badań poniżej 8 mm . Użycie skanera (np. w defektoskopach CUD) w tych badaniach umożliwiło automatyzację: nastawień defektoskopu, ocenę spoin, rejestrację wyników badań i ich archiwizację. Przywraca to zawiązką zalety badań ultradźwiękowych.

Natomiast powstała luka to jest brak unormowań zakresu poniżej 8 mm wypełnia sposób badania (IBUS-TD) podany w rozdziale 3)

2. Badanie spoin wg norm

2.1. Pojęcia ogólne

Norma [7] ustala trzy poziomy jakości (PJA) do oceny spoin o wymaganiach: ostrych (B), średnich (C) i łagodnych (D). Parametry i technikę badania dostosowuje się do poziomu

| PJA | Techniki i poziomy badania PBA | PAK |
|-----|---------------------------------|-----------|
| B | co najmniej PBA-B | 2 |
| C | co najmniej PBA-A | 3 |
| D | technika. badania nie stosowana | nie stos. |

Tab.1. Korelacja pomiędzy PJA, PBA, PAK

(PBA). Na podstawie uzyskanych wyników badania orzeka się, czy wykryte wskazania od wad nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla odpowiedniego poziomu akceptacji (PAK). W tab.1 przedstawiono wyciąg z normy [4] przedstawiający korelację pomiędzy PJA, PBA i PAK.

2.2. Poziom odniesienia

Wadę charakteryzuje się poprzez podanie: jej położenia w przestrzeni XYZ, jej długości oraz maksymalnej amplitudy echa. Amplitudy wady rzeczywistej podawana są w odniesieniu do

wady wzorcowej zwanej poziomem odniesienia (POD). Rolę wady wzorcowej pełni najczęściej otworek cylindryczny (DAC) lub płaskodenny (OWR) o średnicy wskazanej w normie [5]. Względem poziomu odniesienia (określonego jako zero decybeli) określone są pozostałe poziomy występujące w normie (są one przesunięte o stałą decybelową wartość):

- poziom oceny – wszystkie wskazania o amplitudzie większej niż poziom oceny powinny być poddane ocenie,
- poziom rejestracji – wszystkie wskazania o amplitudzie większej niż poziom rejestracji muszą być wyszczególnione w raporcie badania,
- poziom akceptacji (PAK) – parametr występujący w tablicach, służących do określania czy dane wskazanie jest dopuszczalne (akceptowalne). Większość wartości występujących w tych tablicach odnosi się właśnie do poziomu akceptacji np. $PAK3=POD+4dB$.

2.3. Technika przeprowadzania badania oraz doboru parametrów badania

Tab.1 definiuje dla każdego poziomu jakości odpowiadający jej poziom badania określający technikę i parametry badania. Właśnie prawidłowy dobór parametrów i techniki badania, sprawia trudności w operowaniu normami, gdyż uzależniony jest od wielu czynników. Procedura skanera automatyzuje ten proces.

2.4. Ocena jakości złącza spawanego

Ocena jakości złącza spawanego odbywa się dwuetapowo: najpierw oceniane są poszczególne wskazania, a później cała spoina jako całość. Podstawą oceny pojedynczego wskazania jest amplituda oraz jego długość, a także położenie w stosunku do innych wad. W zależności od grubości i długości wskazania norma [5] zawiera maksymalne dopuszczalne amplitudy wskazań. Całościowa ocena spoiny polega na sumowaniu długości wskazań na zadanej długości i porównywaniu tej sumy z wytycznymi normy.

2.5 Automatyzacja badań – procedura badawcza – skaner

2.5.1. Wprowadzenie

Ultradźwiękowe badania skanerem spoin np. defektoskopem CUD prowadzi się w dwóch etapach to jest:

- badanie i rejestracja wyników w pamięci defektoskopu. Rejestracja i dobór parametrów badania są zautomatyzowane w całości, natomiast samo wykonywanie badania polega na ręcznym prowadzeniu głowicy ultradźwiękowej,
- ocena spoiny, tworzenie raportów, archiwizacja na komputerze podłączonym do defektoskopu. Drugi etap aczkolwiek nie w pełni jest zautomatyzowany oraz wymaga znajomości obsługi komputera (np. XP Word) w znacznym stopniu upraszcza wymagane normami żmudne udokumentowanie badań.

Za realizację każdego z etapów odpowiada osobny program komputerowy: za pierwszy - program zainstalowany w defektoskopie CUD, w którym procedura badawcza jest uzupełnieniem podstawowego programu defektoskopu, za drugi - program umieszczony w komputerze klasy PC.

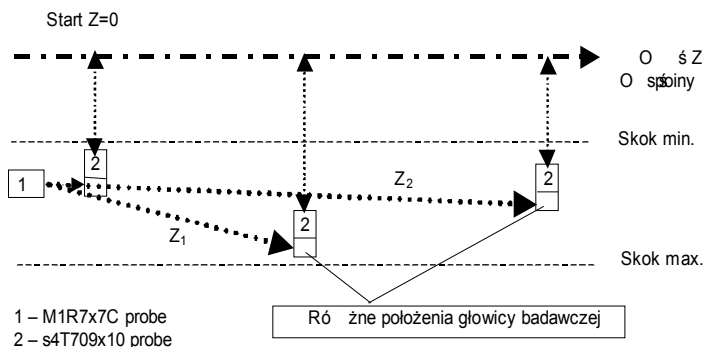
Poziomem odniesienia (POD) jest krzywa OWR utworzona na podstawie uniwersalnego wykresu OWR dla określonej (w normie) średnicy otworu wzorcowego. Zgodnie z normą należy alternatywnie przeprowadzić jeden z czterech typów badań:

- a) badanie jedną głowicą tylko jednej strony spoiny,
- b) badanie jedną głowicą obu stron spoiny,

- c) badanie dwoma głowicami (o różnych kątach) tylko jednej strony spoiny,
- d) badanie dwoma głowicami (o różnych kątach) obu stron spoiny.

Jeżeli pojedynczym badaniem określimy badanie jedną głowicą jednej strony spoiny, to badanie a) składa się z jednego, b) i c) z dwóch, d) z czterech pojedynczych badań, a opracowane **formy prezentacji map wykrytych wad** na ekranie komputera obejmują wszystkie wymienione przypadki.

2.5.2. Zasada działania skanera



Automatyczna rejestracja badań jest wykonywana skanerem w który wyposażone są defektoskopy CUD. Umożliwia on zarejestrowanie wyników badań punkt po punkcie, co pozwala na tworzenie map wad zwanych **sonogramami**. Schemat działania skanera przedstawiono na rys.1.

Rys.1 Schemat działania skanera

Ultradźwiękowy nadajnik fali powierzchniowej (głowica 1 z uchwytem magnetycznym) usytuowany na początku spoiny równoległe do niej wysyła impulsowo falę powierzchniową. Podwójna głowica 2 jednym z dwóch swoich przetworników odbiera te impulsy. Czas przebiegu tych impulsów jest miarą odległości głowic 1 i 2. Drugi przetwornik głowicy badawczej to standardowa głowica do badania spoin np. S4T70°9x10.

Cykl pomiaru odległości dwóch głowic oraz cykl badawczy następują przemiennie, a pomierzona odległość i wynik badania są informacją w danym przekroju spoiny. Zbiór tych informacji jest przetwarzany na **sonogramy** oraz umożliwia automatyczną **ocenę spoin**.

2.5.3. Automatyczna ocena spoiny wg PN-EN

Program w komputerze PC umożliwia zobrazowanie wykonanych badań w formie graficznej, także wykonuje automatyczną ocenę spoiny w oparciu o dane uzyskane podczas rejestracji w defektoskopie oraz umożliwia wydrukowanie raportu z badania. Raport składa się z części opisowej, gdzie zawarte są ogólne informacje dotyczące badania oraz mapy wad przedstawionej na rys. niżej.

LEGENDA




POD+10dB

POD+6dB

PAK-3

PAK-2

POC

 odcinek nie akceptowany

UWAGI

POD - poziom odniesienia; amplituda echa od wady wzorcowej

POC - poziom oceny; POC=POD-4dB

PAK-2=POD - poziom akceptacji dla poziomu badania B

PAK-3=POD - poziom akceptacji dla poziomu badania A

wynik zbiorczy



wynik zbiorczy



16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

2.5.4. Wnioski

Przedstawiona wyżej procedura automatyzuje i upraszcza sposób wykonywania badań spoin wg norm PN-EN i ma zastosowanie do prawie wszystkich badań spoin doczołowych. Pewnym ograniczeniem procedury jest to, że nie oceniane są wskazania od wad poprzecznych (nie jest to obligatoryjne) i jeśli zajdzie taka potrzeba należy wykonać uzupełniające badanie cząstkowe ręczne.

3. Badania spoin rur oraz blach o grubości 2 do 6 mm zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025 punkt 5.4.4.

3.1 Wstęp

W dotychczasowej historii badań ultradźwiękowych nie ukształtowała się wiarygodna i uniwersalna procedura badania doczołowych spoin blach i spoin obwodowych rur o zakresie grubości poniżej 6 mm. Istniejące normy i znane wytyczne badań spoin na ogół ograniczają zakres ich stosowania do grubości powyżej 8 mm np. [12], [5], [6], [13]. Istnieje więc istotna luka w metodyce i zastosowaniach badań ultradźwiękowych. Lukę tę częściowo niwelują znane metody których przegląd podaje U. Shlegermann [9], a także dość swobodne dokonywane przez operatorów ekstrapolacje poniżej unormowanych 8 mm.

Pierwsza polska elektrownia oparta o bloki 200 MW zbudowana w Turoszowie miała start połączony z licznymi nieszczelnościami spoin rur o nasileniu granicznym z kłęką. Wywołało to szereg reakcji w tym opracowanie w Urzędzie Dozoru Technicznego we Wrocławiu metody badań tych spoin znanej jako IBUS-R [11]. Metoda bazuje na specjalnie opracowanych głowicach oraz na metodzie porównawczej w ocenach spoin względem wzorca z otworkiem promieniowym 1mm. Istnieją udokumentowane przykłady ([11]), że masowe zastosowanie instrukcji IBUS-R pozwoliło podnieść niezawodność eksploatowanych kotłów energetycznych na przyzwoity poziom i zapobiec wcześniejszym bardzo licznym awariom.

3.2. Potrzeba badań spoin małych grubości

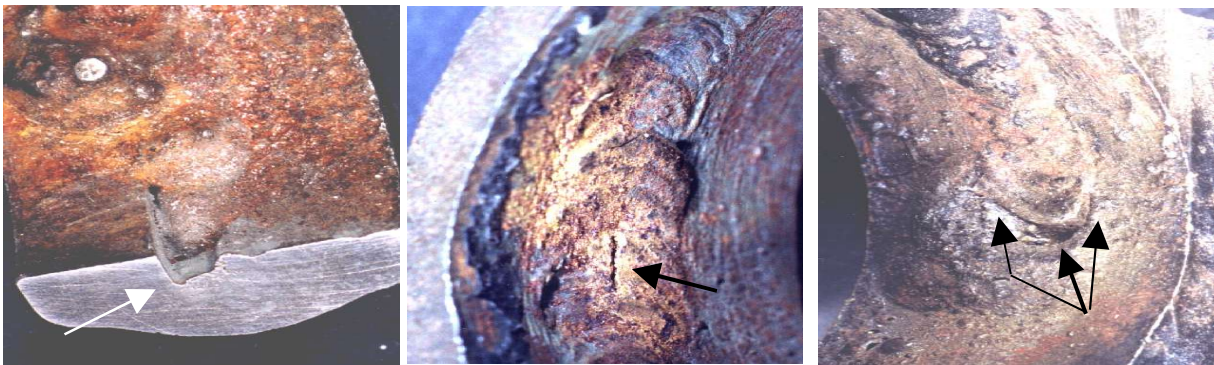
Z możliwych wielu argumentów na uzasadnienie potrzeby wykonywania badań spoin małych grubości najistotniejszy to fakt że w wielu przykładach dokonania technicznych, zaniechanie tych badań grozi klęską, co zresztą wielokrotnie miało miejsce. Dotyczy to takich dokonania jak budowa rurociągów do transportu materiałów palnych i wybuchowych oraz przede wszystkim budowa i remonty kotłów blokowych w elektrowniach, a także w zapewnieniu niezawodności eksploatacji sieci ciepłych. Niżej podane rzeczywiste przykłady faktograficzne ilustrują potrzebę badań.

Przykłady wad rzeczywistych spoin rur wykrytych w badaniach wg instrukcji IBUS

Rys.3.1 Duży brak przetopu w spoinie rury $\Phi 38/3$ mm

Rys.3.2 Pęknięcie na obwodowe w spoinie rury $\Phi 38/3$ mm

Rys.3.3 Efekt kanalikowy przyklejenia na zakończeniu spoiny $\Phi 38/3$ mm



Z przedstawionych wyżej trzech typów wad rzeczywistych najtrudniejszą do wykrycia jest przyklejenie (rys.3.3), w przykładzie pogłębione kraterem powstającej nieszczelności.

Przyklejenie to na ogół powstaje na zakończeniu lub zapoczątkowaniu spawania spoiny obwodowej rury. Jest to wada o niewielkich wymiarach występująca w tych spoinach najczęściej, a także ze względu na jej szybki rozwój wada najgroźniejsza, powodująca częste awarie.

Wykrywanie tego typu wad (rys.3.3) jest trudne, a równocześnie niezbędne.

Uwaga do badań rur - stosowanie metod które w niedostatecznym stopniu zapewniają wykrywalność wad (**rys.3.3**) jest poważnym błędem technicznym, a w szczególności nie należy stosować badań radiograficznych, dlatego że przy ekspozycji przez dwie ścianki na „owal” prawdopodobieństwo wykrycia wady (**rys.3.3**) jest znikome. Natomiast w badaniach ultradźwiękowych przy zastosowaniu specjalnych głowic i wymogów Instrukcji IBUS osiągnięto lepiej niż zadawałające rezultaty.

3.3. Charakterystyka metody IBUS-TD 2÷6 mm

W proponowanej niżej metodzie IBUS-TD wykorzystano ponad trzydziestoletnie doświadczenia stosowania w Polskiej energetyce instrukcji IBUS-R, a zastosowanie głowic tandem pozwoliło na uzyskanie znacznej poprawy wskazań w badaniu spoin małych grubości. Ponadto IBUS-TD jest uniwersalna to znaczy może być stosowana w badaniu spoin płaskich i spoin obwodowych rur oraz różnych materiałów w tym stali węglowych, a także wysokostopowych.

Istotą metody CUD-TM jest połączenie metodyki badań z opracowanym wyposażeniem składającym się z kilku elementów znanych, ale połączonych do realizacji tych badań.

3.4. Wyposażenie do metody IBUS-TD

Wyposażenie do badań składa się z kilku elementów, część z nich jest wyposażeniem niezbędnym, część można zastąpić podobnymi rozwiązaniami. Najistotniejszym elementem wyposażenia są głowice skośne typu tandem.

3.4.1 Głowice tandem

Głowicą **niezbędną** do metody TanCUD jest głowica, której schemat przedstawia 3.4. Jest to głowica przeznaczona do powierzchni płaskich o częstotliwości 4 MHz i kącie wprowadzenia wiązki do elementu badanego ok. 67° . Przetworniki nadawczy i odbiorczy usytuowane są identycznie w stałej odległości od siebie. Głowice przeznaczone do badań spoin obwodowych rur ze względu na wymagany stopień sprzężenia z rurą muszą być doprofilowane i muszą być ze zwilżaniem wodnym. Głowice doprofilowane mogą być w wykonaniu na pewien zakres zastosowania do średnic D np. 28÷32 mm; 33÷38; 76÷102 mm itd.

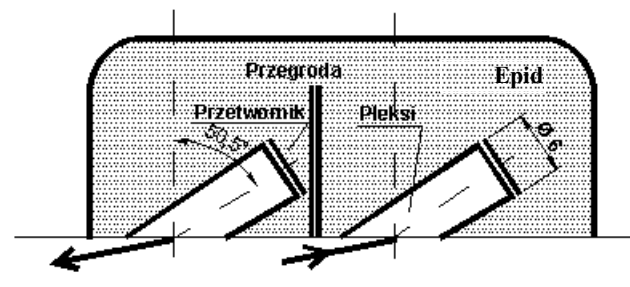
3.4.2 Wzorce

Metoda IBUS-TD to metoda porównawcza - można ją stosować w porównaniach bezpośrednich z wzorcem lub ze zmodyfikowanymi krzywymi DAC-t. Zastosowanie krzywych DAC-t (w/g [13]) znacznie ogranicza ilość niezbędnych wzorców i jest istotnym usprawnieniem. Elementem wzorcowym w metodzie IBUS-TD przyjęto otworek o średnicy $\varnothing=1\text{mm}$ usytuowany prostopadłe dla blach promieniowo dla rur.

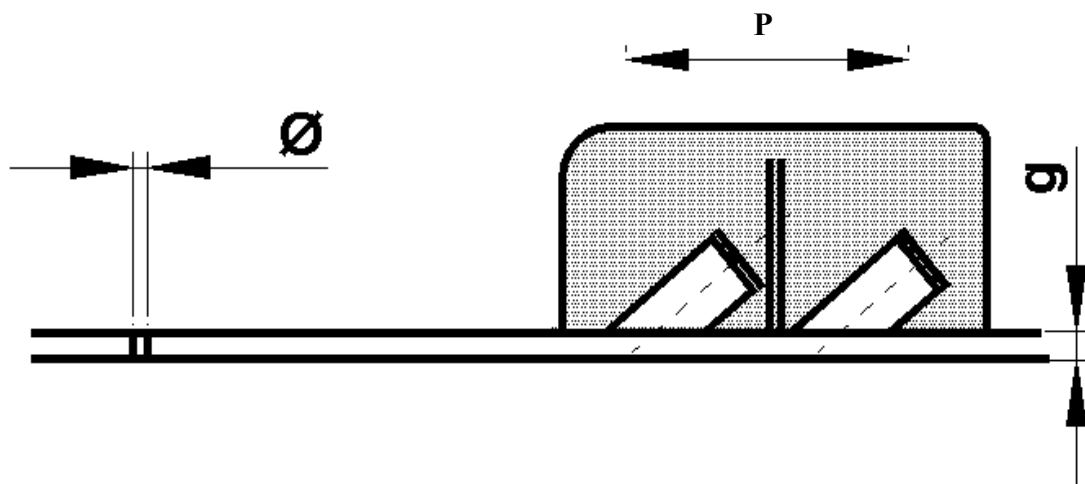
Na rysunkach 3.5 i 3.6 podano przykłady wzorców jest oczywiste że są to bardzo proste wzorce, a jedynymi zaleceniami jest wymóg prostopadłości wzorcowego otworka oraz wykonywania go ostrym wiertłem.

Łatwość wykonania wzorca pozwala na wykonanie wzorcowego otworka bezpośrednio na elemencie badanym. Jest to możliwość szczególnie przydatna przy złożonych modyfikacjach struktur materiału (np. obróbka cieplna) mających niejednoznaczny wpływ na tłumienie

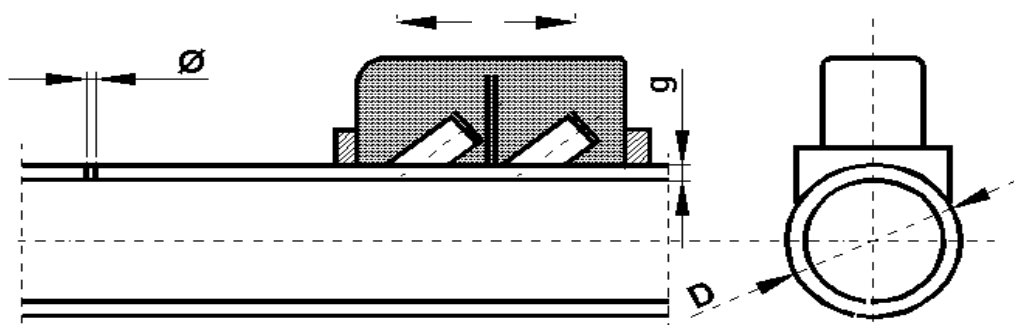
fal itp. Natomiast w bardzo wielu sytuacjach wystarcza mała grupa wzorców reprezentacyjnych których ilość dodatkowo można ograniczyć przez zastosowanie krzywych DAC-t.



Rys. 3.4 Schemat głowicy tandem TDx4T67°6



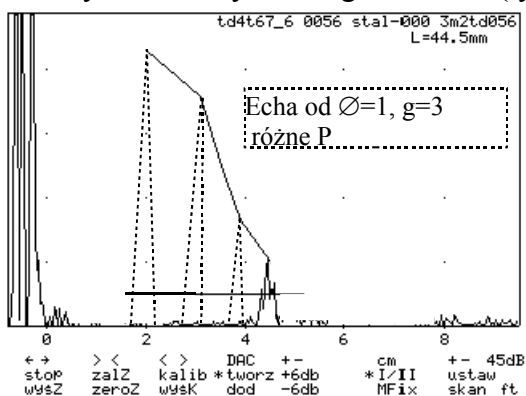
Rys.3.5 Wzorec elementu płaskiego o grubości g , średnicy otworka \varnothing i



Rys.3.6 Wzorec do badań spoin rur o grubości g , średnicy D , średnicy otworka \varnothing i kierunkach przesuwu P głowicy przy wyznaczania krzywej DAC-t

3.4.3 Krzywe DAC-t

Sporządzanie wykresów (krzywych) DAC to zapamiętanie amplitudy echa od otworków o średnicy \varnothing w różnych odległościach P (rys.3.5, 3.6 i 3.7). Przez punkty najwyższej amplitudy echa prowadzi się krzywą DAC-t. Dobiera się średnicę wzorca dla głowic tandem (rys.3.4) i dla spoin w zakresie 2-6 mm grubości jako $\varnothing=1\text{mm}$.



Rys.3.7 Tworzenie krzywej DAC-t dla np. $g=3$, $\varnothing=1\text{ mm}$

Dla konkretnego badania, można w uzasadnionych przypadkach przyjąć arbitralnie inną średnicę dokumentując to w sprawozdaniu. Pokazany zasięg DAC-t, 2-4,5cm jest zasięgiem typowym, poniżej 2cm głowica jest nad otworkiem \varnothing , powyżej 4,5cm czułości badania maleją, a badania tracą sens. W zakresie 2-4,5cm mogą pojawiać się lokalne maksima i minima echa i trzeba je uwzględnić na wykresie DAC-t.

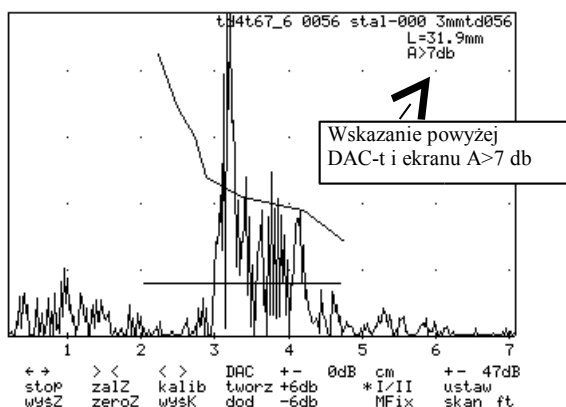
3.5 Badanie spoin

3.5.1 Wskazania wad spoin elementów płaskich

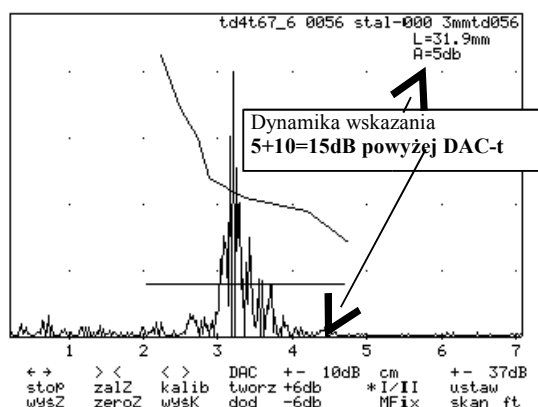
Badanie spoin metodą IBUS-TD jest prawie identyczne jak badania tradycyjne znormalizowane, można tu stosować wszystkie opisane zestawy ruchów głowicą, obserwując wskazania na ekranie

Istotną różnicą jest to, że można ilość tych ruchów uprościć, a w badaniu wstępnym ograniczyć nawet do ruchu głowicą tylko równoległego do osi spoiny. Natomiast w miejscu wskazania niezgodności (wady) zestaw ruchów należy wzbogacić dla wykrycia jego maksimum.

Poniżej pokazano rzeczywistą dynamikę wskazań wykrytej wady w spoinie.



Rys.3.8 Rzeczywiste wskazanie wady (spoina g=3mm, w oględzinach spoiny widoczna wada jako brak przetopu o wymiarach ok. 3x0.5 mm)

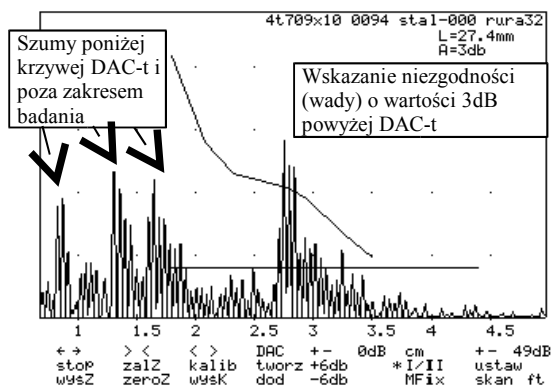


Rys.3.8a Odczytana dynamika wskazania wady z rys.3.8 (po korekcie wzmacnienia i położenia DAC-t A wynosi +15dB)

3.5.2 Wskazania wad spoin rur

Sposób badania spoin rur jest prawie identyczny jak badania według instrukcji IBUS-R. Jednak dynamika wskazań znacznie wzrosła co ułatwia badania.

Możliwe ruchy wykonywane głowicami doprofilowanymi to ruch obwodowy oraz ruch wzłużny.

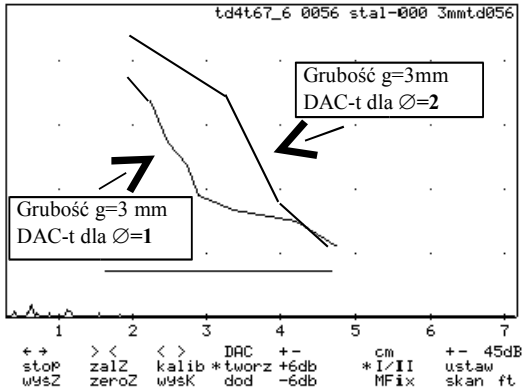


Rys.3.9 Rzeczywiste wskazanie wady spoiny rury D=34 mm g=2.8mm w oględzinach wada niewidoczna usytuowana na zapoczątkowaniu spoiny

3.6 Przykłady oceny dynamiki wskazań w metodzie IBUS - TD

Dynamika wskazań tak przy badaniach elementów płaskich jak i rurowych jest podobna. Przykłady tej dynamiki wskazań podano w rozdziałach 3.6.1 i 3.6.2.

3.6.1 Przykład zmian dynamiki wskazań przy zmianie wzorcowego otworka \emptyset

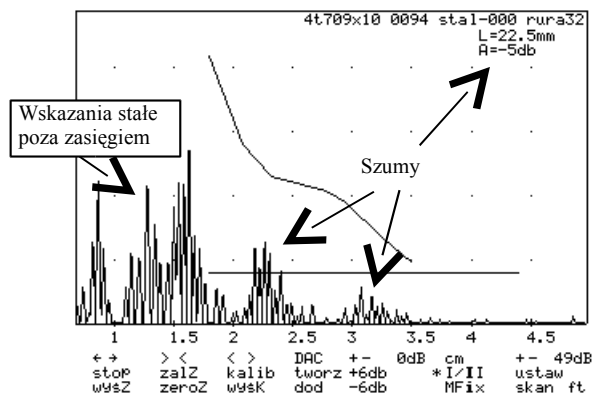


Rys.3.10 Krzywe DAC-t dla otworków wzorcowych 1mm i 2mm

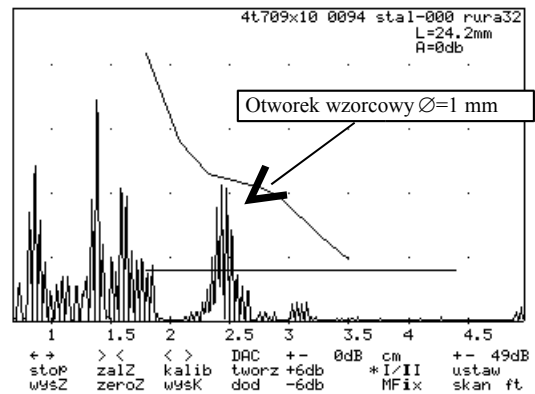
Na rys.3.10 obok pokazano dwie krzywe DAC-t wykonane na elemencie płaskim o grubości 3 mm, oraz średnicach otworków wzorcowych 1mm i 2mm. Podobne rozkłady krzywych DAC-t są na elementach rurowych.

3.6.2 Zakres dynamiki wskazań

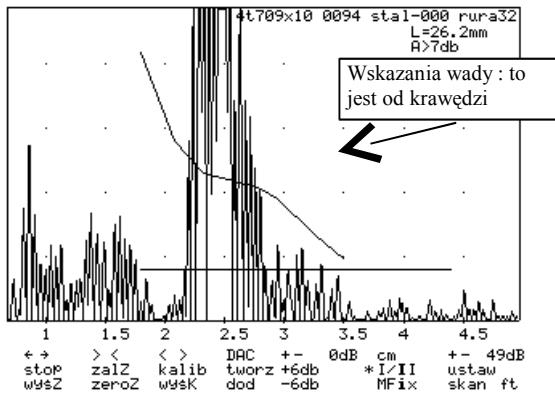
Pokazane niżej cztery rysunki ilustrują zakres dynamiki wskazań która jest duża i wynosi w odniesieniu do szumów 28dB, a w odniesieniu do krzywej DAC-t 23dB - dotyczy to elementu w podanym przykładzie to jest rury D=34mm i g= 2,8mm. Zbliżone wartości uzyskuje się dla innych elementów rurowych, a także elementów płaskich.



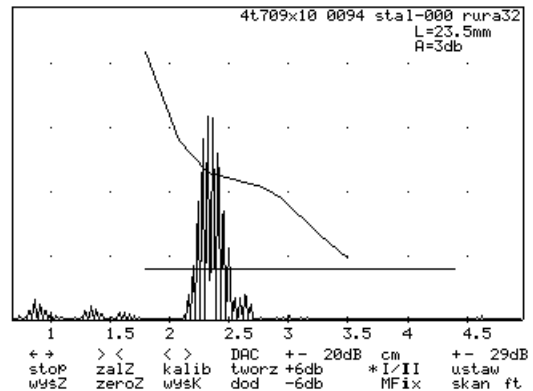
Rys.3.11 Wskazanie od szumów



Rys.3.12 Wskazanie od otworka wzorcowego



Rys.3.13 Ilustracja zakresu dynamiki wskazań



Rys.3.13a Jej pomiar po zmianie wzmacnienia, a dynamika wskazań to 23 dB powyżej DAC-t

3.7 Wnioski

W przedstawionej metodzie IBUS - TD badania spoin małych grubości uzyskano dużą dynamikę wskazań co pozwala na:

- wykrycie nawet małych wad typu przedstawionego na rys.3.3
- wykrycie z dużą dynamiką wskazań wad typu przedstawionego na rys.3.1 i 3.2,
- rozróżnienie i to z dużą dynamiką (z zapasem wzmacnienia) wskazań szumów geometrycznych od nierówności spoin w porównaniu ze wskazaniami od wady wzorcowej $\varnothing=1\text{mm}$ i od wad rzeczywistych.

Szacunkowe prawdopodobieństwo wykrycia wszystkich wad w kotłach blokowych zagrażających powstaniu nieszczelności jest duże porównywalne ze 100% wykrywalnością (na podstawie badań Energopomiaru i Instytutu Energetyki w latach 70).

Szacunkowe prawdopodobieństwo nieakceptowania spoin dobrych jest małe porównywalne lub mniejsze od 5% o ile utrzymana zostanie wadliwość złączy spawanych ocenianych na podstawie oględzin ([14]) w klasie co najwyżej W3 (na podstawie badań Energopomiaru i Instytutu Energetyki w latach 70)

4.Literatura

- [1] Deputat J., *Badania ultradźwiękowe*, skrypt, Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice 79r
- [2] Michnowski W., *Instrukcja obsługi defektoskopu CUD99*, Ultra, Wrocław 2002
- [3] Morawski T., *Badania nieniszczące złączy spawanych w normach europejskich*, Ośrodek Spawalnictwa „Mostostal Warszawa” S.A, Wykłady seminaryjne, Warszawa 2 i 3 czerw. 1998
- [4] Norma PN-EN 12062
- [5] Norma PN-EN 1712
- [6] Norma PN-EN 1714
- [7] Norma PN-EN 25817
- [8] Polska Norma PN-89/M-69777
- [9] Shlegermann U., *Badania ultradźwiękowe połączeń spawanych o małej grubości*, Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów- Zakopane 12-13.03.1998

- [10] Michnowski W., Mierzwa J., *Ultradźwiękowe badania spoin o grubości poniżej 6 mm badania spoin rur kotłowych badania spoin rur kotłowych*, Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów- Zakopane 03.2002
- [11] Barczyk J., Leszkowicz F., Michnowski W. *System zapewnienia wysokiej niezawodności spoin rur w energetycznych kotłach blokowych*, Dozór Techniczny 4/1992.
- [12] PN-89/M-70055/02
- [13] ASME Section V Article5
- [14] PN-85/M-69775
- [15] PN-EN ISO/IEC 17025