

Projektowanie i wytwarzanie konstrukcji spawanych w aspekcie możliwości przeprowadzenia badań ultradźwiękowych złączy

Design and manufacturing of welded structures in terms of the ability to conduct ultrasonic testing of joints

Streszczenie

W artykule przedstawiono podstawowe czynniki wpływające na możliwość wykonania ręcznych badań ultradźwiękowych złączy w konstrukcjach spawanych. Czynniki te określono na podstawie wytycznych dotyczących warunków oraz sposobu prowadzenia badań zawartych w aktualnie obowiązujących normach przedmiotowych PN-EN ISO 17640 oraz PN-EN ISO 22825. Ze względu na rozległość tematu badań ultradźwiękowych celem publikacji było zebranie w krótkim opracowaniu wszystkich najistotniejszych informacji dotyczących projektowania i wykonywania złączy, które mają kluczowy wpływ na późniejsze badania. Artykuł kierowany jest do personelu badań NDT, jak również inspektorów spawalniczych, projektantów konstrukcji spawanych oraz ich wykonawców, w tym technologów i inżynierów spawalników.

Słowa kluczowe: projektowanie, konstrukcje spawane, badania ultradźwiękowe

Abstract

In the article the basic factors, affecting an ability to perform manual ultrasonic testing of welded joints, has been presented. The factors are based on the guidelines for the conditions and the conduct of ultrasonic testing, contained in these current standards PN-EN ISO 17640 and PN-EN ISO 22825. Due to the vastness of the subject of ultrasonic testing, the main purpose of the publication was to collect in a short study the most important information concerning the design and construction of welds, that are a key influence on subsequent ultrasonic testing. The article is addressed to NDT personnel, welding inspectors, as well as individuals involved in production, including technologists and welding engineers.

Keywords: design, welded structures, ultrasonic testing

Mgr inż. Rafał Kaczmarek, dr inż. Ryszard Krawczyk – Politechnika Częstochowska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: ryszardkrawczyk@spaw.pcz.pl

Wstęp

W procesie wytwarzania konstrukcji i urządzeń spawanych niezbędne jest stosowanie badań nieniszczących w celu kontroli wykonanych złączy. Badania te, obok systemów zapewnienia jakości wg PN-EN ISO 3834, są kluczowym czynnikiem pozwalającym na wytwarzanie i wprowadzanie na rynek wyrobów spawanych o odpowiedniej jakości, gwarantującej bezpieczeństwo użytkowania konstrukcji. Jest to tym ważniejsze, że w ostatnich latach obserwujemy tendencję do wzrostu wymagań co do wyrobów spawanych, zmniejszania współczynników bezpieczeństwa konstrukcji czy też redukcji ciężaru konstrukcji dzięki stosowaniu wysokowytrzymałych stali, których spawanie pociąga za sobą większe ryzyko powstania niezgodności spawalniczych, mogących doprowadzić do groźnych i kosztownych awarii. Odpowiedzią na tę sytuację są wymagania przedstawione w PN-EN 1090-2, zalecające w niektórych przypadkach zakres dodatkowych badań NDT (tzn. badań poza obowiązkowymi VT) nawet do 100% długości spoin. Przykładem może być klasa wykonania EXC4 przy stopniu wykorzystania nośności $U \geq 0,5$. Z tego powodu – począwszy od etapu projektowania wyrobu – niezbędnym jest takie zaprojektowanie węzłów i całej konstrukcji, a następnie na etapie wytwarzania zaplanowanie takiej kolejności jej spawania i prowadzenia badań NDT, aby możliwe było wykonanie badań złączy spawanych. Wymagany poziom jakości oraz zakres badań nieniszczących powinny być określone w dokumentacji technicznej konstrukcji. Z kolei wybór metod badań i usytuowanie odcinków badania powinny być dokonane przez personel 3 stopnia wg PN-EN ISO 9712 na podstawie norm, przepisów i ustaleń między stronami [1]. Informacje te, wraz z kolejnością i etapem wytwarzania konstrukcji na którym mają być wykonane badania, powinny być zawarte w dokumentacji wykonawczej konstrukcji spawanej, tj. Planie spawania, bądź w oddzielnie opracowanym Planie kontroli i badań [2].

Wśród stosowanych metod badań nieniszczących coraz większy udział w kontroli złączy spawanych wykazują badania ultradźwiękowe (UT). Wynika to z ogromnego rozwoju, jaki nastąpił od początku lat 90. XX w. w sprzeczności do badań UT. Rozwój ten przejawia się m.in. w nowoczesnych, cyfrowych defektoskopach ultradźwiękowych z możliwością rejestracji wyników badań, nowych rodzajach głowic ultradźwiękowych (głowice mozaikowe) czy też stosowaniu innowacyjnych technik badań UT (TOFD, UT-PA itd.). Efektem tych działań jest ciągłe ulepszanie tej metody badań ze względu na zwiększenie wykrywalności, poprawę dokładności oceny oraz uproszczenie wykrycia wskazań dzięki łatwiejszej i bardziej przystępnej wizualizacji, a także znaczne skrócenie czasu niezbędnego do wykonania badań. Duże znaczenie dla zwiększającego się udziału metody ultradźwiękowej w obszarze badań NDT ma także obserwowany spadek cen sprzętu,

mimo i tak znacznie niższych kosztów wykonania badań UT w stosunku do alternatywnej metody RT. O ciągłym rozwoju świadczy także fakt dużego zainteresowania szkoleniami w zakresie badań ultradźwiękowych prowadzonych m.in. przez Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, a tym samym stale wzrastająca liczba personelu badań UT.

Czynniki wpływające na wybór metody badań ultradźwiękowych

Większość norm i przepisów przedmiotowych dla danego typu wyrobu zaleca wykonanie wymaganego zakresu badań nieniszczących bez podania konkretnej metody badań. W przypadku badań objętościowych złączy podane są zakresy badań w procentach dla metod RT lub UT. Wyboru między metodami badań dokonuje się na podstawie zaleceń PN-EN ISO 17635 oraz innych czynników opisanych w dalszej części artykułu. W tabeli 3 przywołanej normy podano kryteria doboru metody badań objętościowych złączy spawanych w zależności od rodzaju materiału podstawowego, typu złącza oraz jego grubości. Biorąc pod uwagę złącza stalowe ferrytyczne, badania ultradźwiękowe są zalecane dla dużych i średnich grubości ($t \geq 8$ mm) zarówno przy złączach doczołowych, jak i teowych; w przypadku drugiego z przytoczonych rodzajów złączy przeważnie wykonuje się badania UT ze względu na trudności w stosowaniu badań RT wynikające z geometrii tego złącza. Adekwatna sytuacja ma także miejsce w przypadku złączy doczołowych z dostępem do badania tylko z jednej strony (od lica lub grani). Badania RT jako wymagające dostępu z obydwu stron złącza są wówczas niemożliwe do wykonania. PN-EN ISO 17635 dla małych grubości ($t < 8$ mm) oraz dla stali o strukturze austenitycznej zaleca głównie badania RT, natomiast UT w ograniczonym zakresie. Możliwe jest ich wykonanie, jednak z pewnymi ograniczeniami [3].

Poza wymaganiami PN-EN ISO 17635 jest jeszcze wiele innych czynników wpływających na wybór metody badań objętościowych. Są to m.in.: charakterystyczna dla metody badań wykrywalność danego typu nieciągłości, koszty badań oraz towarzyszące im niedogodności związane z koniecznością zapewnienia odpowiedniego poziomu BHP w miejscu badania.

Dobierając metodę badań objętościowych dla określonego przypadku, powinno się uwzględnić zdolność do wykrywania tego rodzaju nieciągłości, które mogą dominować bądź mieć kluczowy wpływ na wytrzymałość statyczną i dynamiczną złącza, a przez to i całej konstrukcji. W większości konstrukcji, zwłaszcza najbardziej odpowiedzialnych, pracujących w obecności naprężeń zmiennych i dynamicznych, kluczową kwestią dla bezpieczeństwa użytkowania jest wykrycie nieciągłości płaskich, tworzących ostry karb geometryczny spiętrzający naprężenia i inicjujący powstawanie

kruchych pęknięć, prowadzących zazwyczaj do nagłej, groźnej awarii. Stąd w konstrukcjach spawanych, narażonych szczególnie na tego typu zniszczenie spowodowane obecnością nieciągłości takich jak pęknięcia, przyklejenia, braki przetopu, warto wykorzystać badania ultradźwiękowe, charakteryzujące się dużą wykrywalnością wymienionych niezgodności. Alternatywne badania rentgenograficzne wykazują natomiast ograniczoną wykrywalność pęknięć i przyklejeń, jak również ograniczoną zdolność do określenia położenia niezgodności [4]. Za wyborem badań ultradźwiękowych przemawia także fakt, iż są badaniami tańszymi, a także nie wymagają – w przeciwieństwie do większości technik radiografii – ewakuacji personelu podczas wykonywania badań. Pozwala to na dodatkowe zmniejszenie kosztów oraz uniknięcie zakłóceń pracy personelu na stanowiskach otaczających miejsce badania.

Metoda ultradźwiękowa w aspekcie badań złączy spawanych jest zatem ważnym, kluczowym narzędziem badań nieniszczących. Umożliwia ona – w stosunku do badań RT – na relatywnie tanią, szybką i niewstrzymującą procesu wytwarzania kontrolę połączeń spawanych, wykazującą jednocześnie większą wykrywalność najbardziej niebezpiecznych, płaskich niezgodności spawalniczych. Należy zatem – począwszy od etapu projektowania węzłów i całych elementów – tak planować i prowadzić proces wytwarzania konstrukcji spawanej, aby było możliwe zbadanie wytypowanych złączy metodą ultradźwiękową.

Czynniki technologiczne a możliwość przeprowadzenia badań UT

Nie w każdym przypadku możliwe jest przeprowadzenie badań ultradźwiękowych. Wiele czynników technologicznych procesu wytwarzania, w tym spawania, może utrudnić bądź uniemożliwić wykonanie badań. Wpływ tych czynników podyktowany jest charakterystyką tej metody badań nieniszczących lub wymaganiami norm, które powodują, że badania ultradźwiękowe mogą bądź też nie mogą w danej sytuacji być wykonane. Badanie wybraną głowicą, o danym kącie załamania, w określonym poziomie badań może nie być możliwe np. ze względu na brak dostępu do pewnych, ściśle określonych powierzchni przesuwu głowicy.

Do podstawowych czynników technologicznych wpływających na możliwość przeprowadzenia badań UT należą:

- rodzaj złącza spawanego i rodzaj spoiny,
- grubość złącza,
- rodzaj materiału złącza,
- dostęp do obszarów badania,
- brak elementów technologicznych i innych przeszkód na drodze wiązki fali ultradźwiękowej,

- zeszlifowanie lica lub/i grani spoiny czołowej,
- zastosowanie podkładki stalowej,
- rodzaj oraz kąt ukosowania.

Rodzaj złącza spawanego i rodzaj spoiny

Metoda UT najczęściej stosowana jest do badania złączy doczołowych blach i rur o grubości $t \geq 8$ mm. Badania tego rodzaju złączy prowadzi się wg wytycznych PN-EN ISO 17640 i są one stosunkowo łatwe do wykonania. Norma ta podaje także zalecenia odnośnie do badań złączy:

- teowych,
- spawanych króćców przepuszczalnych,
- spawanych króćców nasadzanych,
- węzłów w konstrukcjach rurowych,
- kątowych (L-joints) ze spoiną czołową,
- krzyżowych ze spoinami czołowymi.

Badania te prowadzi się przy użyciu głowic skośnych i normalnych w zależności od rodzaju złącza, kierując się podanymi w załączniku A normy PN-EN ISO 17640 zaleceniami dotyczącymi: położenia głowicy, liczby przeszukiwań, liczby kątów wprowadzania wiązki itd. Zalecenia te wynikają z założonego poziomu badania, związanego bezpośrednio z narastającym od poziomu A do C zwiększonym prawdopodobieństwem wykrywania, a także z uzgodnień między stronami umowy, które mogą określać potrzebę dokonania przeszukiwań na wskazania poprzeczne w poziomach badania A i B (norma [5] wymaga takiego przeszukiwania tylko w poziomie C, natomiast w poziomach A i B jedynie na podstawie uzgodnienia).

PN-EN ISO 17640 nie przewiduje badania złączy ze spoinami pachwinowymi. Z tego powodu, w przypadku potrzeby przeprowadzenia badań objętościowych złączy w projektowanej konstrukcji, należałoby – o ile to możliwe – zrezygnować ze spoin pachwinowych na rzecz spoin czołowych, aby umożliwić kontrolę na podstawie wytycznych norm przedmiotowych. Rozwiązanie to powoduje wzrost kosztów wykonania złączy, jednakże wzrasta również ich wytrzymałość, zwłaszcza na obciążenia dynamiczne i zmienne, co w przypadku odpowiedzialnych konstrukcji jest działaniem celowym.

Badanie spoin pachwinowych jest trudne i mało dokładne ze względu na problem z precyzyjnym określeniem linii wtopienia. Jeśli jednak spoiny te zostały zastosowane w badanej konstrukcji, to ich kontroli powinni podejmować się wyłącznie operatorzy z dużym doświadczeniem w badaniach ultradźwiękowych. Dla spoin pachwinowych w przypadku zarówno występowania jak i braku niezgodności spawalniczych często uzyskuje się bardzo podobne obrazy oscyloskopowe, co utrudnia wykrywanie płaskich niezgodności spawalniczych, takich jak brak przetopu czy przyklejenie.

W przypadku realizacji tych badań należy przygotować wzorce połączeń ze spoinami pachwinowymi z wykonanymi sztucznymi niezgodnościami spawalniczymi wymienionych rodzajów celem ułatwienia interpretacji obrazów oscyloskopowych rzeczywistych niezgodności [6]. Warto podkreślić, że nie ma żadnych norm, które opisywałyby badania ultradźwiękowe złączy ze spoinami pachwinowymi. Stąd brak regulacji, na których można by oprzeć uzgodnienia między stronami umowy co do warunków wykonania badań UT tych złączy, stosowanych kryteriów akceptacji itd.

Grubość złącza

Dla złączy o grubości równej 8 mm lub większej ręczne badania ultradźwiękowe prowadzi się na podstawie przeznaczonej dla tego zakresu grubości PN-EN ISO 17640, a poziomy akceptacji dobiera się wg PN-EN ISO 11666.

Warto zaznaczyć, że przyjęty w PN-EN ISO 11666 model oceny nieciągłości ze skokową zmianą czułości badania dla pewnych grubości złącza może prowadzić do odmiennych wyników badań, spowodowanych np. niewielkim błędem pomiaru grubości badanych złączy w zakresie 14,9÷15 mm. W tym przedziale następuje zarówno skokowa zmiana średnicy reflektora odniesienia (dla techniki 2 nastawiania poziomu odniesienia – DGS), jak i skokowa zmiana poziomów akceptacji dla wskazań o długości mniejszej od grubości materiału (Ist) [7].

Dla złączy o grubościach mniejszych niż 8 mm, których z powodu braku dostępu z jednej ze stron nie można badać radiograficznie, a przepisy wymagają wykonania badań objętościowych, można zastosować badania UT z pewnymi ograniczeniami. Wynikają one z tego, że przy wykonywaniu badań głowicą skośną wiązka ultradźwiękowa szybko osiąga szerokość równą grubości badanego elementu, ponadto dochodzi do transformacji fal (poprzecznej na podłużną, podłużnej na poprzeczną) i tworzenia się fal powierzchniowych oraz płytowych Lamba [8]. Powoduje to duże trudności oraz niewielką dokładność w oszacowaniu głębokości zalegania i rozmiaru nieciągłości. Dodatkowym utrudnieniem jest brak aktualnych norm odnoszących się do badania tego typu elementów, podających poziomy akceptacji niezbędne do oceny złączy. Jediną pozycją jest wycofana norma krajowa PN-90/M-70055/03 dotycząca badania złączy o grubości 3÷8 mm. Pomocna w tej sytuacji może okazać się publikacja [8] w której zaproponowano sposób badania adekwatny do zawartego w ISO 17640. Pozycja ta dotyczy badań ultradźwiękowych połączeń spawanych cienkościennych o grubości 3÷7 mm przy użyciu pojedynczych głowic skośnych i proponuje stosowanie dwóch poziomów akceptacji 1 i 2 dla poziomu jakości B złącza.

Rodzaj materiału złącza

Bardzo istotny wpływ na prowadzenie badań ultradźwiękowych ma rodzaj i struktura materiału, z którego wykonane jest złącze. Odnosi się to zarówno do materiału podstawowego, jak i materiału spoiny. Stosunkowo łatwe, nieprzysparzające większych trudności są badania złączy o strukturze ferrytycznej i małym tłumieniu fal ultradźwiękowych. To ich dotyczy PN-EN ISO 11666 oraz PN-EN ISO 17640. W przypadku stali wysokostopowych o strukturze austenitycznej, ferrytyczno-austenicyznej (stałe duplex) czy też stopów na bazie niklu badanie ultradźwiękowe jest trudne i stanowi duże wyzwanie dla badających. Trudności te są wywołane niekorzystną mikrostrukturą i wymiarem ziaren, a także dużym różnicowaniem właściwości akustycznych tych połączeń. Skutkuje to wysokim tłumieniem fal ultradźwiękowych na gruboziarnistej strukturze materiału połączonej z dendrytyczną budową spoiny. Czym większa wielkość ziaren, tym badanie ultradźwiękowe tych połączeń jest trudniejsze. Dlatego złącza o niewielkiej grubości, wykonane z małą energią liniową spawania – w których ciepło zostało szybko odprowadzone i nie doprowadziło do rozrostu ziaren – nie powodują większych trudności przy badaniu UT. W połączeniach grubych blach o strukturze austenicyznej brak przemian strukturalnych jest przyczyną rozrostu ziaren w strefie wpływu ciepła, a także charakterystycznej transkrytalicznej gruboślupkowej budowy spoiny. Ziarna są tym większe, im więcej ciepła zostanie wprowadzone do spoiny. Połączenia takie stwarzają znaczne trudności przy badaniu metodą ultradźwiękową [4, 6].

W złączach spawanych stali austenicyznych głównymi czynnikami, które wpływają na wysokie tłumienie, są: rozpraszanie na granicach ziaren, transformacja fal jednego rodzaju na fale innego rodzaju oraz zjawisko odchylenia kierunku wiązki fal ultradźwiękowych. Nieprzystająca struktura spoiny jest także przyczyną częstego powstawania wskazań pozornych.

W PN-EN ISO 17640 – mimo że norma ta dotyczy stali ferrytycznych – określono poziom badania D, przeznaczony do zastosowań specjalnych, m.in. dla materiałów o strukturach innych niż ferrytyczna. W praktyce przemysłowej najczęściej zastosowania te obejmują badanie złączy ze stali austenicyznych. W ich przypadku wymagane jest wykonanie czynności, które opisano w PN-EN ISO 22825 Badanie nieniszczące spoin – Badanie ultradźwiękowe – Badanie spoin w stalach austenicyznych i stopach na bazie niklu. Czynności te polegają na wykonaniu próbki odniesienia w celu opracowania wstępnej procedury badania, ustawienia poziomu czułości i sprawdzenia skuteczności tej procedury, a następnie – w przypadku pozytywnej oceny – napisaniu końcowej procedury badań ultradźwiękowych [9]. Materiał, przygotowanie do spawania i procedura spawania, a także stan powierzchni próbek odniesienia i ich geometria powinny być takie same jak dla elementów badanych. Badanie gotowych spoin powinno być prowadzone zgodnie z tak

przygotowaną procedurą, opartą na wynikach badań odpowiedniej liczby złączy próbnych zawierających nieciągłości sztuczne lub naturalne. Do badania materiałów o mniejszych grubościach (do 15 (25) mm) stosuje się standardowe głowice skośne fal poprzecznych. Natomiast przy większych grubościach przekraczających 25 mm niezbędne jest użycie do badań głowic skośnych fal podłużnych. Zaleca się także zeszlifowanie nadlewu oraz zapewnienie dostępu do spoiny z obu stron. Ważnym czynnikiem jest także znajomość orientacji ziaren [6, 9].

Dostęp do obszarów badania

Kolejnym czynnikiem wpływającym na możliwość wykonania badań ultradźwiękowych jest dostęp do obszaru, z którego powinno być rozpoczęte przeszukiwanie. Wielkość wymaganego obszaru zależy od rodzaju głowicy, kąta załamania (w przypadku głowic skośnych), a także grubości i kształtu badanego elementu. Zgodnie z PN-EN ISO 17640 badanie złączy doczołowych głowicą skośną wymaga szerokości strefy przesuwu głowicy równej min. $1,25 \times p$ (gdzie: p – skok głowicy).

W tabelicy I podano wymaganą szerokość b w zależności od kąta zastosowanej głowicy dla najczęściej spotykanych grubości złączy w przedziale 8÷34 mm. Aby badanie mogło być wykonane zgodnie z zaleceniami normy, niezbędne jest zapewnienie dostępu do złącza na wymaganej szerokości b po obydwu stronach spoiny, tzn. po obydwu stronach lica lub grani (rys. 1). Ponadto do wymiaru szerokości b należy dodać co najmniej połowę długości przetwornika, aby było możliwe prawidłowe badanie wg wyników podanych w tabelicy, które nie uwzględniają wymiarów przetwornika, lecz jedynie drogę przejścia fali.

Przy badaniu złączy próbnych w procesie kwalifikowania technologii spawania nie zawsze zachowana

jest wystarczająca szerokość blach do wykonania badań UT. Jak wykazały analizy ujęte w pracy [10], wymagany przez PN-EN ISO 15614 wymiar złączy próbnych zapewnia niezbędną szerokość przesuwu głowicy w całym zakresie grubości jedynie dla kąta wprowadzenia wiązki $\alpha=45^\circ$. Dla większych kątów oraz dużych grubości materiału (tzn. $\alpha=60^\circ$ i grubości powyżej 34 mm oraz $\alpha=70^\circ$ i grubości powyżej 20 mm) szerokość płyt próbnych jest niewystarczająca, by spełnić zalecenie o minimalnej szerokości przesuwu głowicy równej $b=1,25 \times p$.

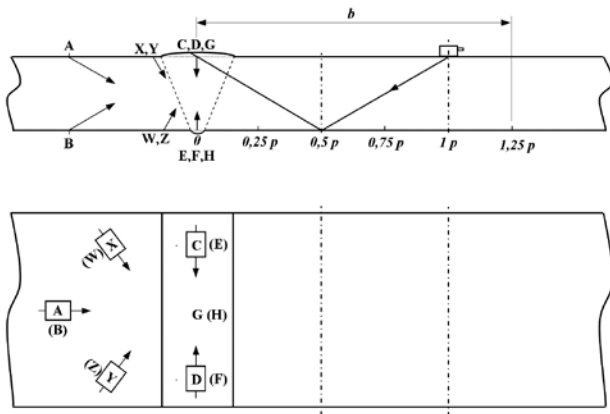
W odniesieniu do konstrukcji spawanych badanie ultradźwiękowe z zachowaniem podanej w tabelicy I szerokości strefy przesuwu głowicy niejednokrotnie bywa utrudnione bądź niemożliwe z powodu niewielkiej odległości między poszczególnymi elementami konstrukcji czy spoinami. Dodatkowo lokalizacja spoiny w złożonej konstrukcji może całkowicie uniemożliwiać operatorowi osiągnięcie ręką wyposażoną w głowicę ultradźwiękową w okolicy spoiny. Jeśli mamy do czynienia z elementami skrzynkowymi, to niektóre najkorzystniejsze powierzchnie przesuwu głowicy mogą znajdować się wewnątrz elementu, również uniemożliwiając optymalne badanie. Z tego powodu w złożonych konstrukcjach kontrola UT powinna być prowadzona podczas wytwarzania konstrukcji przed dospawaniem kolejnych elementów utrudniających bądź uniemożliwiających wykonanie badań (np. przed przyspawaniem żeber). Badania wykonuje się w kolejności wynikającej z Planu kontroli i badań, opracowanego na podstawie projektu przed rozpoczęciem wytwarzania konstrukcji. Istotne jest także, by już na etapie projektowania uwzględnić nie tylko dostęp do określonych węzłów konstrukcji w celu wykonania złączy, ale także w celu ich kontroli, co w niektórych przypadkach wymaga uzgodnień między projektantem, wytwórcą i jednostką badającą.

Poniżej przedstawiono obszary przesuwu głowicy wraz z szerokością powierzchni przeszukiwania wg PN-EN ISO 17640 dla dwóch rodzajów złączy – doczołowego i teowego (rys. 1 i 2). Położenia głowicy

Tabela I. Wymagana szerokość strefy przesuwu głowicy b przy badaniu złączy doczołowych blach i rur [7]

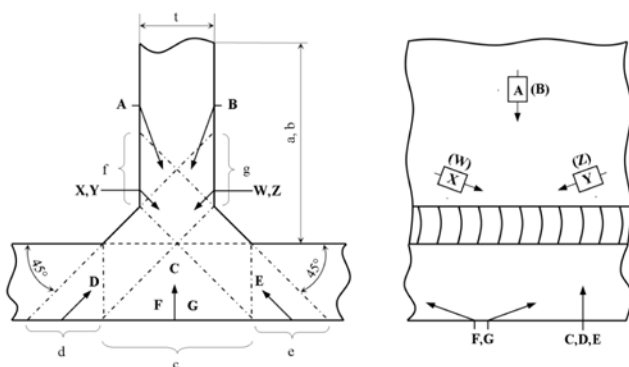
Table I. Required width of a scanning zone b during an examination of butt welded joints of plates and tubes [7]

Grubość złącza, t , mm	Wymagana szerokość strefy przesuwu głowicy b , mm (dla różnych kątów wprowadzenia fali ultradźwiękowej α)			Grubość złącza, t , mm	Wymagana szerokość strefy przesuwu głowicy b , mm (dla różnych kątów wprowadzenia fali ultradźwiękowej α)		
	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=70^\circ$		$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=70^\circ$
8	20,0	34,6	55,0	22	55,0	95,2	151,3
10	25,0	43,3	68,8	24	60,0	103,8	165,0
12	30,0	51,9	82,5	26	65,0	112,5	178,8
14	35,0	60,6	96,3	28	70,0	121,1	192,5
16	40,0	69,2	110,0	30	75,0	129,8	206,3
18	45,0	77,9	123,8	32	80,0	138,4	220,0
20	50,0	86,5	137,5	34	85,0	147,1	233,8



Rys. 1. Obszary przesuwu głowicy przy badaniu złączy doczołowych blach i rur

Fig. 1. Scanning zone during an examination of butt welded joints of plates and pipes



Rys. 2. Obszaru przesuwu głowicy przy badaniu złączy teowych

Fig. 2. Scanning zone during an examination of T-joints

oznaczono dużymi literami, natomiast szerokość strefy przeszukiwania małymi. Wyboru powierzchni badania dokonuje się na podstawie zaleceń normy w zależności od poziomu badania i grubości materiału ([5], tabl. A.1÷A.7). Zalecenia te dotyczą położenia głowicy przy przeszukiwaniu głowicą skośną i normalną na wskazania podłużne, a także głowicą skośną na wskazania poprzeczne. Określono również wymaganą szerokość strefy przeszukiwania, która w przypadku złączy doczołowych wynosi $b=1,25xp$, a w pozostałych przypadkach $1,25xp$, $0,75xp$ lub $0,5xp$ w zależności od rodzaju złączy i położenia głowicy.

Elementy technologiczne i inne przeszkody na drodze wiązki fali ultradźwiękowej

Podczas badań UT często występują utrudnienia w zastosowaniu tej metody NDT wynikające z obecności przeszkód na drodze wiązki fali ultradźwiękowej. Przeszkodami tymi mogą być otwory nawiercone w materiale podstawowym odbijające wiązkę ultra-

dźwiękową, przyspawane żebra, przypawane kołki, czy też powłoki ochronne utrudniające przejście fali z głowicy do materiału badanego. Jeśli kontrola występuje na etapie wykonywania konstrukcji, to badanie należy wykonać przed nawierceniem otworów, przyspawaniem żeber czy też malowaniem. W przypadku kontroli w czasie eksploatacji wymagane jest staranne usunięcie powłok ochronnych i rdzy przed badaniem.

Zeszlifowanie lica lub/i grani spoiny czołowej

Jeśli w projekcie konstrukcji założono zeszlifowanie lica lub/i grani spoin czołowych, stwarza to dodatkowe możliwości badania złączy doczołowych w postaci przesuwu głowicy po spoinie:

- z wykorzystaniem głowicy normalnej – badanie po grubości złącza,
- z wykorzystaniem głowicy skośnej – badanie wzdłuż osi spoiny na wskazania poprzeczne.

Oprócz umożliwienia wspomnianych przeszukiwań usunięcie nadlewów powoduje także wyeliminowanie niebezpieczeństwa powstania wskazań pozornych od niekorzystnego kształtu lica i grani, prowadzących często do błędnej oceny. Sytuacja taka może prowadzić zarówno do odrzucenia i niepotrzebnej naprawy złącza w miejscu, w którym badanie sugerowało wskazanie pozorne, jak i – w sytuacji odwrotnej – do błędnego zakwalifikowania wskazania jako pozorne, podczas gdy pochodzi ono od istniejącej w złączu realnej nieciągłości. Skutkiem tego jest konieczność ponoszenia kosztów niepotrzebnych napraw lub pominięcia nieciągłości istotnych z punktu widzenia wytrzymałości złącza. Dlatego na etapie spawania należy unikać czynników, które powodują powstanie wycieków w grani (duży odstęp między brzegami elementów spawanych, zbyt duże natężenie prądu bądź wykonywanie spoiny graniowej łukiem natryskowym) lub nieprawidłowego kształtu nadlewu spoiny (nieprawidłowe parametry spawania, niedostateczne umiejętności spawacza) [11].

Zeszlifowanie lica i grani za pomocą obróbki mechanicznej w złączach doczołowych powoduje także zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej złącza przez likwidację karbów geometrycznych. Zeszlifowanie lica lub/i grani spoiny czołowej jest niezbędne przy wykonywaniu kontroli UT w poziomie badania C, stosowanym w odniesieniu do odpowiedzialnych konstrukcji, ze względu na wymagane dla całego zakresu grubości blach badanie przy przesuwie głowicy normalnej i skośnej po spoinie. Obrobiona powierzchnia spoiny jest także zalecana podczas badania złączy o strukturze austenitycznej ze względu na potrzebę wyeliminowania wskazań pozornych.

Stosowanie stalowej podkładki technologicznej

Stalowa podkładka technologiczna pozostająca w złączu po procesie spawania sprawia niejednokrotnie mniej doświadczonym operatorom badań ultradźwiękowych dużo problemów. Prowadzi ona do zakłócenia skanowania złącza wiązką ultradźwiękową przy badaniu głowicą skośną przy przesuwie głowicy prostopadle do osi spoiny. W momencie padania wiązki na grań nie następuje odbicie wiązki od grani jak w zwykłym złączu doczołowym, lecz dochodzi do przejścia fal ultradźwiękowych do podkładki i odbicia ich od jej krawędzi. Powoduje to powstanie na defektoskopie echa o dużej amplitudzie przy drodze nieznacznie przekraczającej połowę skoku głowicy. Echo to – przy założonej grubości złącza nieuwzględniającej podkładki – jest przeliczane przez defektoskop i interpretowane jako wskazanie w złączu na głębokości mniejszej niż grubość materiału. Wynikiem tego są powszechne problemy z prawidłową interpretacją i oceną opisanych wskazań.

Rodzaj oraz kąt ukosowania

Jednym z wymagań PN-EN ISO 17640 jest zastosowanie takiego kąta wprowadzenia fal, który zapewniłby możliwie jak najbardziej prostopadłe padanie wiązki na ukosowaną krawędź elementów spawanych. Ma to na celu zwiększenie prawdopodobieństwa wykrycia przyklejeń brzegowych, których orientacja względem wiązki jest taka sama jak krawędzi ukosowanej. Jeśli założenie to nie jest spełnione, to w metodzie echa wiązka wysłana pod niekorzystnym kątem może trafić nawet na duże przyklejenie, lecz zostanie odbita w innym kierunku, nie trafiając z powrotem do głowicy i nie dając impulsu od tej nieciągłości na defektoskopie. Wynikiem tego niedopasowania może być pominięcie

wielu systematycznie występujących przyklejeń brzegowych, gdyż z reguły każde z nich zorientowane jest w ten sam sposób. Stąd zasadne jest stosowanie się do przytoczonego zalecenia normy. W tym celu personel kontrolujący, dobierając głowicę do badań, musi znać zarówno rodzaj, jak i kąt ukosowania elementu, w celu jak najlepszego dopasowania kąta wprowadzenia wiązki. Jednak tutaj pojawia się duża niedogodność w postaci niewielkiego wyboru kątów konwencjonalnych głowic do badań UT. Z pięciu dostępnych na rynku rodzajów głowic o kątach: 35°, 45°, 60°, 70° i 80° do badań złączy stosuje się powszechnie głowice: 70°, 60°, 45°. Spełniają one zalecenie normy o prostopadłym padaniu wiązki na krawędź ukosowaną tylko przy kątach ukosowania równych odpowiednio: 20°, 30° i 45°, tzn. przy kątach rowka: 40°, 60° i 90° (zakładając ukosowanie na V lub Y). Stąd widzimy, że głowica o kącie 45° nie spełnia zalecenia dla żadnego z powszechnie stosowanych w technologiach spawalniczych kątów ukosowania. Stosunkowo najlepiej spełnia to założenie głowica 60°, odpowiadająca kątowi ukosowania 30°, stosowanemu często przy spawaniu metodami MMA i MIG/MAG. Z kolei głowica 70° dobrze spełnia zalecenie dla spawania łukiem krytym, przy kącie ukosowania 20° [11]. W tym przypadku problematyczna może okazać się jednak grubość badanych elementów, która podczas spawania tą metodą jest zazwyczaj dość znaczna. Stwarza to problem przy badaniu głowicą 70° ze względu na bardzo szeroki obszar przesuwu głowicy oraz dużą drogę wiązki w badanym elemencie. Z kolei najwygodniejsza w tych zastosowaniach głowica o kącie 45° zupełnie nie spełnia omawianego zalecenia normy.

Wybór głowicy do badań ultradźwiękowych wymaga kompromisu pomiędzy wykrywalnością potencjalnie występujących nieciągłości a wygodą i szybkością przeprowadzenia badań. Częściowo problemy te eliminuje zastosowanie głowic mozaikowych w technice UT-PA, pracujących w dużym zakresie kątowym z możliwością dowolnej regulacji kąta wprowadzenia wiązki.

Podsumowanie

Ultradźwiękowa metoda wykrywania nieciągłości wewnętrznych w złączach spawanych wykazuje wiele istotnych zalet. Duża wykrywalność nieciągłości płaskich, możliwość oceny głębokości zalegania czy też niższy koszt badań w stosunku do alternatywnej metody RT to tylko niektóre z nich. Jednak, aby zalety te mogły być wykorzystane przez zastosowanie badań UT do kontroli wytwarzanej konstrukcji, niezbędne jest zarówno na etapie jej projektowania, jak i wytwarzania uwzględnienie kluczowych czynników opisanych w artykule, decydujących o możliwości przeprowadzenia badań. Wymaga to niejednokrotnie współpracy między

specjalistami zaangażowanymi w proces wytwarzania konstrukcji, z projektantami, spawalnikami i personelem badań NDT. Jeśli powstałe w wyniku tej współpracy ustalenia będą miały miejsce na wystarczająco wczesnym etapie wykonywania konstrukcji, to nie powinny wynikać problemy z brakiem możliwości wykonania badań ultradźwiękowych – i tym samym – z potwierdzeniem wymaganej jakości konstrukcji spawanej, niezbędnym do jej odbioru. Jest to tym ważniejsze, że w przypadku niektórych węzłów konstrukcyjnych wykonanie badań podczas wytwarzania – przed dospawaniem kolejnych elementów – może być jedyną okazją do kontroli

złączy, które później, w trakcie badań eksploatacyjnych, są całkowicie niedostępne. Stąd kluczową kwestią przy opracowywaniu Planów spawania czy Planów kontroli i badań jest indywidualne podejście do każdej, zwłaszcza skomplikowanej konstrukcji. Wymaga ono dokładnej analizy wykonywania poszczególnych operacji, ze szczególnym uwzględnieniem kolejności scalania i spawania elementów. Analiza ta powinna uwzględniać wszystkie czynniki omówione w artykule, takie jak: rodzaj złącza

i rodzaj spoiny, grubość elementów badanych, dostęp do obszarów badania, zeszlifowanie lica lub grani, stosowanie stalowej podkładki technologicznej itd. W ten sposób można zaplanować badanie UT na optymalnym etapie wytwarzania, kiedy jest jeszcze możliwość stosunkowo łatwej kontroli jakości złączy. Wynikiem tych działań powinno być wytwarzanie konstrukcji spawanych o odpowiednio wysokiej, potwierdzonej badaniami ultradźwiękowymi jakości.

Literatura

- [1] PN-EN 1090-2:2008 Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych – Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
- [2] Słania J.: Plany spawania Teoria i praktyka, Wydawnictwo SIMP, Warszawa, 2013.
- [3] PN-EN ISO 17635:2010 Badania nieniszczące spoin – Zasady ogólne dotyczące metali.
- [4] Czuchryj J., Stachurski M.: Badania nieniszczące w spawalnictwie, Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2005.
- [5] PN-EN ISO 17640:2011 Badania nieniszczące spoin – Badania ultradźwiękowe złączy spawanych.
- [6] Szymański A.: Kontrola i zapewnienie jakości w spawalnictwie T. 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998.
- [7] Krawczyk R., Luto M., Wojtas P.: Analiza dokładności oceny niezgodności spawalniczych wykrywanych w badaniach ultradźwiękowych, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, nr 3/2010, s. 40-44.
- [8] Stachurski M.: Badania ultradźwiękowe połączeń cienkościennych (o grubości 3-7 mm), Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, nr 2/2005, s. 57-61.
- [9] PN-EN ISO 22825:2006 Badanie nieniszczące spoin – Badanie ultradźwiękowe – Badanie spoin w stalach austenitycznych i stopach na bazie niklu.
- [10] Kaczmarek R.: Badania ultradźwiękowe złączy spawanych. Praca magisterska. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2013.
- [11] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera Spawalnictwo T. 2, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2005.

PRÓBA ŁAMANIA ZŁĄCZY SPAWANYCH ATLAS PRZEŁOMÓW JACEK SŁANIA KRZYSZTOF JANISZEWSKI

Cena 1 egzemplarza książki:
**Próba łamania złączy spawanych
Atlas przełomów** wynosi:
60 zł (w tym 5% VAT)

**W celu zamówienia książki
w Redakcji należy wypełnić formularz
zamieszczony obok i przesłać go
w formie faksu, skanu lub listu na adres:**

REDAKCJA – Przegląd Spawalnictwa AW SIMP
ul. Świętokrzyska 14a, 00-050 Warszawa
tel.: 22 827 25 42, faks: 22 336 14 79
e-mail: redakcja@pspaw.pl

Wpłaty należy dokonać na rachunek bankowy:
Bank BPH S.A. Oddział w Warszawie
45 1060 0076 0000 3200 0043 1836

Zamawiam książkę:

*Próba łamania złączy spawanych Atlas przełomów
w Redakcji Przegląd Spawalnictwa w liczbie egz.*

Imię i nazwisko

Firma

Adres

NIP

Kontakt do osoby zamawiającej:

Oświadczam, że jestem podatnikiem VAT i upoważniam firmę do wystawienia faktury bez podpisu

_____ Podpis