

**Porównanie radiologicznych i ultradźwiękowych metod badań nieniszczących w spawalnictwie**

M. Nowak ^a, M. Bonek ^b

^a Absolwent Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: nowak.michal93@yahoo.pl

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
email: mirosław.bonek@polsl.pl

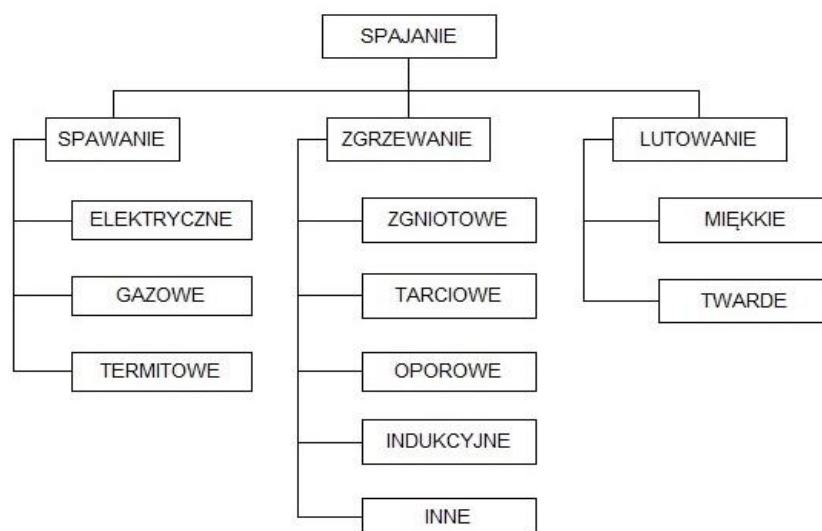
Streszczenie: W niniejszym artykule opisano zagadnienia związane z dwoma metodami badań nieniszczących objętościowych stosowanymi w spawalnictwie do kontroli złączy spawanych – metody radiologiczna oraz ultradźwiękowa. Przedstawiono opis teoretyczny metod badań, jak również ich zagadnienia związane z ich przeprowadzaniem wraz z wynikami oraz wzajemne porównanie.

Abstract: In this study there have been described issues connected with two non-destructive, volumetric testing methods, that are used in welding technology to control welded joints – radiological and ultrasonic methods. There have been presented characterization of these testing methods, issues connected with examining them and also results, analysis and comparison of them.

Słowa kluczowe: spawalnictwo, badania nieniszczące, badania radiologiczne, badania ultradźwiękowe

1. WSTĘP

Spawalnictwo jest jednym z działów technologii spajania metali – obejmuje wszelkie procesy łączenia metali, jak również inne procesy, które wykonywane są za pośrednictwem urządzeń spawalniczych, jak np. cięcie. Klasyfikacja procesów spajania została przedstawiona na rysunku 1 [1].

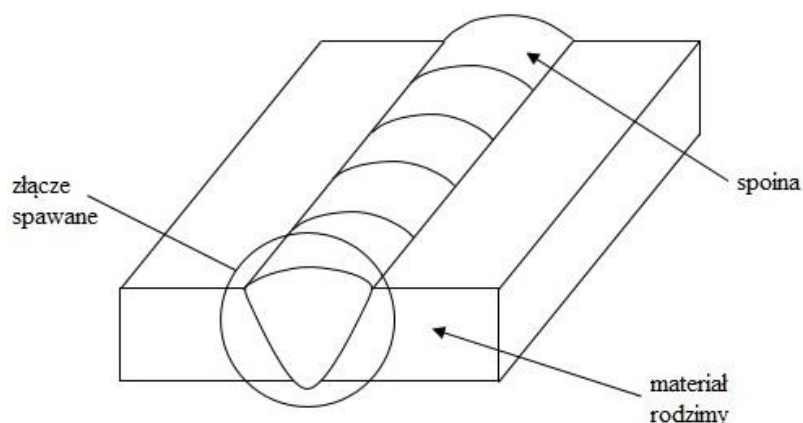


Rysunek 1. Podział procesów spajania [1]

Figure 1. Split of welding processes [1]

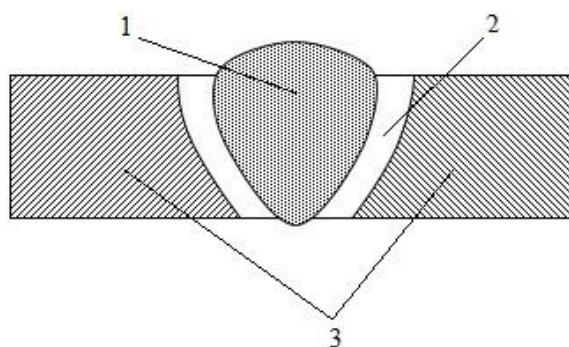
Stal, która jest obrabialnym cieplnie i plastycznie stopem żelaza z węglem o zawartości węgla do 2,11% oraz innymi pierwiastkami, otrzymywanym ze stanu ciekłego w procesach stalowniczych stanowi główny materiał do budowy wielu różnych konstrukcji, przy czym duża część z nich jest wytwarzana właśnie w procesach spawania przy użyciu różnych technologii. [1, 2].

Spawanie jest to proces trwałego, dyfuzyjnego łączenia metali, w którym w wyniku doprowadzonego ciepła brzegi materiału rodzimego oraz dodawany materiał dodatkowy zwany spoiwem ulegają stopieniu tworząc w ten sposób po zastygnięciu spoinę. Elementy trwale połączone ze sobą poprzez spoinę, tworzą złącze spawane. Schemat doczołowego złącza spawanego przedstawiono na rysunku 2, natomiast przekrój poprzeczny oraz charakterystyczne strefy złącza pokazano schematycznie na rysunku 3 [17, 20].



Rysunek 2. Schemat złącza spawanego [1]

Figure 2. Schema of welded joint [1]



Rysunek 3 Przekrój poprzeczny złącza doczołowego: 1 – spoina, 2 – strefa wpływu ciepła, 3 – materiał rodzimy [1]

Figure 3. Cross-section of butt-welded joint: 1 – joint, 2 – heat affected zone, 3 – parent material [1]

Przeprowadzenie procesu spawania zgodnie z normami i wytycznymi przez wykwalifikowanego pracownika na odpowiednich materiałach teoretycznie powinno gwarantować trwałość i niezawodność powstałego wyrobu. Niestety nie zawsze się tak dzieje i na jakość złączy spawanych wpływ ma wiele różnych czynników. W tym miejscu swoje w pełni uzasadnione zastosowanie znajdują wszelkie metody badań elementów, które muszą spełniać określone w normach wymagania, ze względu na wymogi zapewnienia wysokiej jakości elementów. Badania takie dzielimy na niszczące (DT – destructive testing) oraz nieniszczące (NDT – non-destructive testing) [3, 4].

2. BADANIA NIENISZCZĄCE

Badania nieniszczące (non-destructive testing) to takie, które po przebadaniu próbki lub całego elementu, nie powodują żadnych zmian własności użytkowych oraz nie naruszają jego ciągłości i nie powodują zmian jego mikro- i makrostruktury. Dzięki grupie badań nieniszczących, można uzyskać informacje o miejscach występowania oraz wielkości niezgodności materiałowych, wad i niezgodności wewnątrz materiału, pod oraz na jego powierzchni. Dodatkowo, możliwe jest określenie ich rodzaju i ukierunkowania oraz propagacji. Oprócz tego, badania nieniszczące umożliwiają wykrywanie miejsc naprężeń oraz określanie miejsc zaatakowanych przez korozję międzykrystaliczną. Informacje te, pozwalają na sklasyfikowanie badanego elementu do konkretnej klasy jakościowej oraz na obliczenie jego resztkowego czasu życia i możliwość dalszej eksploatacji [3, 4, 5].

Rodzaje badań nieniszczących złączy spawanych [3, 4, 5]:

- badanie wizualne,
- badanie szczelności,
- badanie penetracyjne,
- badanie magnetyczno-proszkowe,
- metoda prądów wirowych,
- badanie radiologiczne,
- badanie ultradźwiękowe.

Badania nieniszczące zasługują na szczególną uwagę, ze względu na ich możliwość badania elementów będących w trakcie eksploatacji, bez konieczności wycinania z nich próbek, a więc ich zniszczenia [3, 4, 5].

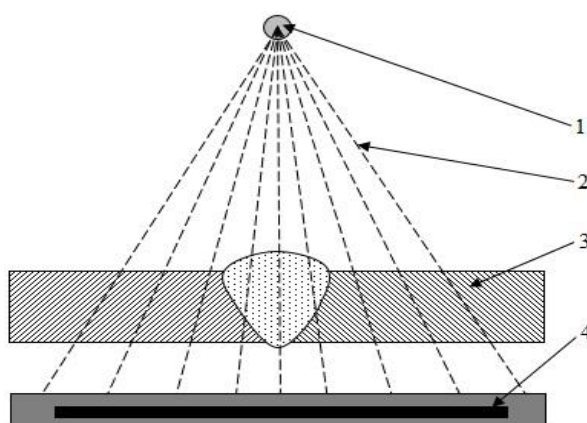
Badania nieniszczące pozwalają wykryć niezgodności i wady spawalnicze, przy czym niezgodnością nazywa się niespełnienie ustalonego zwyczajowo wymagania, które niekoniecznie jest obowiązkowym warunkiem do spełnienia. Wadą spawalniczą natomiast nazywa się niespełnienie ustalonego wymagania, które musi być obowiązkowe oraz dotyczy celowego lub też specjalistycznego wykorzystywania danego wyrobu. Potocznie ujmując, wada spawalnicza dyskwalifikuje element z eksploatacji i jego naprawy, natomiast niezgodność spawalnicza może zostać naprawiona [3, 4].

2.1. Badania radiologiczne

Badania radiologiczne (RT) należą do grupy wolumetrycznych (objętościowych) badań nieniszczących. Dzięki tej metodzie możliwe jest wykrywanie niezgodności objętościowych i płaskich (przy takim samym kierunku rozchodzenia się promieniowania i kierunku ułożenia niezgodności płaskiej) na powierzchni i pod nią oraz we wnętrzu badanego elementu. W związku z niemożliwością wykrycia niezgodności płaskich zorientowanych zgodnie z kierunkiem padającego promieniowania, często może być koniecznym przeprowadzenie więcej niż jednej próby przy innym zorientowaniu źródła promieniowania względem badanego elementu. Metoda ta ukazuje rzeczywisty stan złącza spawanego, można dzięki niej wykryć niezgodności spawalnicze takie jak pęcherze, braki przetopu, przyklejenia, pęknięcia, wtrącenia, ubytki korozyjne i inne. Badania radiologiczne umożliwiają również określenie cech wykazanych niezgodności spawalniczych, takich jak wielkość, rodzaj, rozmieszczenie i ich nasilenie [3, 5].

Badania radiologiczne są prowadzone z wykorzystaniem zamiennie promieniowania gamma oraz promieniowania X (rentgenowskiego). Wykonanie badania jest możliwe dzięki zdolności przenikania promieni i zjawisku pochłaniania promieniowania przenikliwego przez dany obiekt oraz dzięki różnicom w wielkości pochłaniania promieniowania po przeniknięciu przez badany element [3, 5].

Badanie RT złącza spawanego polega na jego prześwietleniu promieniowaniem jonizującym, w wyniku czego otrzymuje się obraz zwany radiogramem, który uzyskiwany jest na kliszy radiologicznej (tzw. błonie w przypadku odmiany analogowej) lub w wersji cyfrowej, następnie jej interpretacji i opisaniu ewentualnych niezgodności spawalniczych oraz na podstawie tych niezgodności i odpowiedniej normy wystawieniu protokołu oceny jakości złącza spawanego. Badanie metodą radiologiczną schematycznie przedstawia rysunek 4 [3, 4, 5].



Rysunek 4. Metoda radiologiczna: 1 – źródło promieniowania, 2 – promienie, 3 – badane złącze, 4 – błona radiograficzna [4]

Figure 4. Radiological testing method: 1 – source of radiation, 2 - rays, 3 – welded joint, 4 – radiographic film [4]

2. 2. Badania ultradźwiękowe

Badania ultradźwiękowe (UT) obok badań radiologicznych, należą do grupy badań nieniszczących wolumetrycznych, pozwalających na wykrycie niezgodności spawalniczych wewnątrz elementu, ale także, gdy są zlokalizowane podpowierzchniowo i powierzchniowo. Wykorzystanie ultradźwięków (fale sprężyste o częstotliwościach >20 kHz) do badania pozwala na otrzymanie informacji o stanie całej objętości badanego elementu. Badania z wykorzystaniem ultradźwięków umożliwiają wykrycie i rozpoznanie takich niezgodności jak m. in. pęknięcia, braki przetopu, przyklejenia, wtrącenia, pęcherze, jamy skurczowe. Metoda ta pozwala również na sprecyzowanie cech wykrytych niezgodności, takich jak ilość, wielkość i rozmieszczenie [3, 5].

Ultradźwięki stosowane w badaniach nieniszczących są to mechaniczne drgania cząstek ośrodka (fale sprężyste), w jakim się rozchodzą. Fale te charakteryzują się częstotliwością w zakresie od ponad 16 kHz do 100 MHz. Dźwięki w tym zakresie częstotliwości nie są słyszalne dla ucha ludzkiego [3, 5].

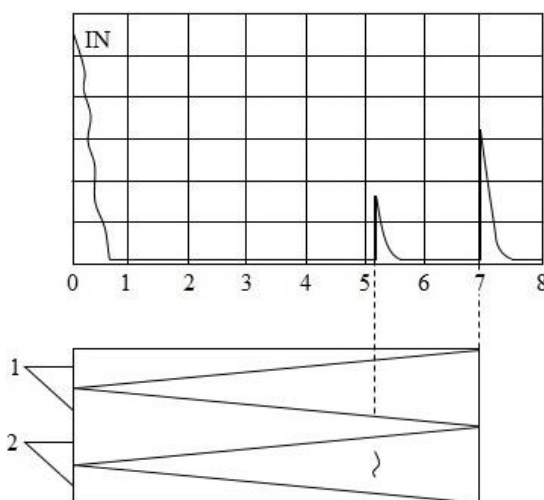
Metoda ta polega na wprowadzeniu przez powierzchnię do badanego elementu drgań mechanicznych z głowicy ultradźwiękowej oraz następnym poruszaniu głowicy po badanej powierzchni – skanowaniu. Fale wprowadzone do wnętrza materiału w wyniku poruszania głowicy rozchodzą się, po czym odbite od ścianek obiektu i występujących niezgodności (tzw. reflektorów, czyli każdej powierzchni odbijającej fale ultradźwiękowe) wychwytywane są przez detektor sygnałów. Fale odbite i wychwycone cechują się innymi parametrami niż fale wprowadzane do materiału – różnica występuje przede wszystkim w amplitudzie, widmie, fazie oraz obwiedni sygnałów otrzymywanej w wyniku przemieszczania głowicy w obrębie danej niezgodności. Ukryta, wychwycona wada uwidacznia się na ekranie defektoskopu jako cień akustyczny (absorbent dźwięku) lub powoduje odbicie wyemitowanego impulsu dając echo, które natomiast rejestruje specjalny czujnik. Obliczenie czasu mijającego od nadania impulsu do odbicia i powrotu jego echa pozwala na wyznaczenie odległości przeszkody – niezgodności spawalniczej [3, 5].

Defektoskopia z wykorzystaniem promieniowania ultradźwiękowego opiera się na trzech metodach, są to [5]:

- metoda echa (inaczej impulsowa metoda echa, wykorzystana do badania w pracy),

- metoda przepuszczania (inaczej metoda cienia),
- metoda TOFD (ang. Time-of-flight diffraction) – dyfrakcja czasu przelotu, czas przejścia fal dyfrakcyjnych.

Metoda echa opiera się na zjawisku odbicia się wprowadzonej do elementu fali ultradźwiękowej od powierzchni tego elementu oraz od występującej niezgodności. Rysunek 5 przedstawia głowicę ultradźwiękową poruszającą się po badanej powierzchni, która wprowadza do elementu falę ultradźwiękową podłużną oraz sygnały emitowane po napotkaniu przez tę falę, możliwe do obserwacji na ekranie defektoskopu ultradźwiękowego [5].



Rysunek 5. Sygnały obserwowane na ekranie defektoskopu wywołane istnieniem niezgodności – metoda echa; IN – impuls nadawczy [5]

Figure 5. Signals on defectoscope's monitor caused by existence of welding incompatibility[5]

3. OPIS BADAŃ

3.1. Cel pracy

Celem pracy jest porównanie ze sobą dwóch metod badań nieniszczących objętościowych: radiologicznej (RT) i ultradźwiękowej (UT).

3.2. Badana próbka

Badana próbka mieszanego złącza spawanego została wykonana z następujących materiałów konstrukcyjnych:

- stal niestopowa S355JR,
- stal austenityczna 304L.

Skład chemiczny oraz użytych materiałów przedstawiono w tablicach 1 i 2.

Tablica 1. Skład chemiczny stali S355JR zgodnie z normą PN-EN 10025-2:2004.

Table 1. Chemical composition of S355JR steel according to PN-EN 10025-2:2004.

Oznaczenie	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	N [%]
S355JR	0,24	1,6	0,55	0,035	0,035	0,012

Tablica 2. Skład chemiczny stali austenitycznej 304L zgodnie z normą PN-EN 10088-3.

Table 2. Chemical composition of 304L austenitic steel according to PN-EN 10088-3.

Oznaczenie	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	N [%]
304L	<0,07	≤1,0	≤2,0	≤0,045	≤0,015	17,0 - 19,5	8,0 - 10,5	≤0,11

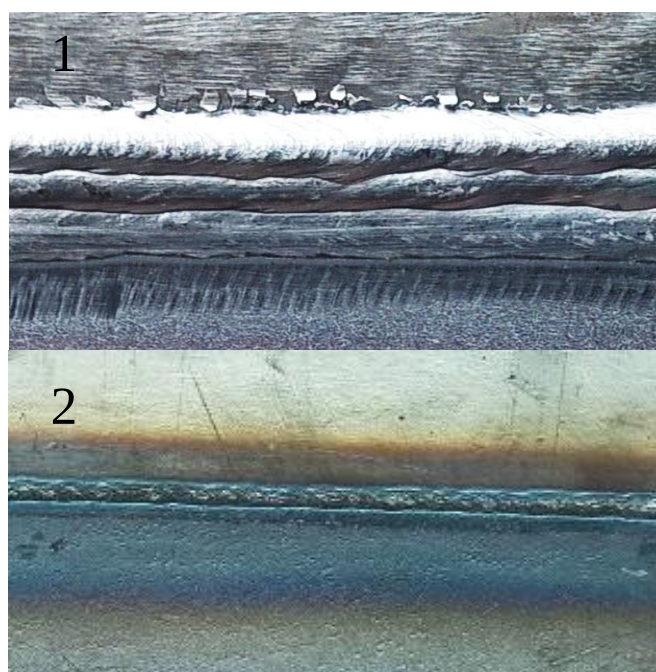
Materiałem dodatkowym użytym do spawania było spoiwo oznaczone jako 308L, przeznaczone głównie do łączenia austenitycznych stali nierdzewnych. Skład chemiczny spoiwa przedstawia tablica 3.

Tablica 3. Skład chemiczny spoiwa 308L zgodnie z normą PN-EN 14343.

Table 3. Chemical composition of 308L bond according to PN-EN 14343.

Oznaczenie	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]
308L	≤0,03	0,40	1,60	20,0	10,0

Połączenie spawane obu blach zostało wykonane doczołowo metodą MIG – Metal Inert Gas (131), w pozycji naściennej – PC - z blach o grubości 10 mm i długości 250 mm przy zastosowaniu ukosowania typu Y. Rysunek 6 przedstawia widok złącza spawanego.

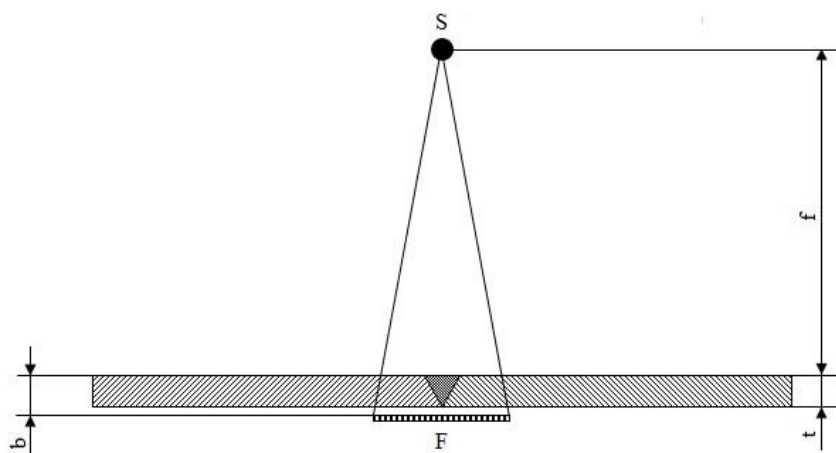


Rysunek 6. Badane złącze spawane: widok lica (1) oraz grani (2) złącza
Figure 6. Tested welded joint: view of face (1) and root of weld

3.3. Badanie radiologiczne

Badanie radiologiczne złącza zostało przeprowadzone w ustalonych warunkach przy użyciu odpowiedniego sprzętu. Zakres obowiązków przy przygotowywaniu próbki i badaniu opierał się na:

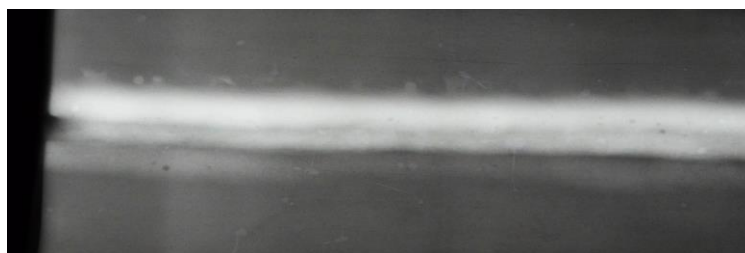
- oczyszczeniu powierzchni próbki,
- docięciu i przygotowaniu błony rentgenowskiej (FUJIFILM IX80) oraz włożeniu jej między ołowiane okładki wzmacniające,
- umiejscowieniu względem siebie błony, próbki oraz źródła promieniowania (rysunek 7),
- ustawieniu parametrów badania,
- wykonaniu badania,
- obróbce fotochemicznej prześwietlonej błony,
- analizie uzyskanego radiogramu z wykorzystaniem negatoskopu.



Rysunek 7. Schemat umiejscowienia źródła promieniowania i błony w stosunku do badanego złącza: S – źródło promieniowania, F – błona, f – odległość źródła promieniowania od badanej próbki, t – nominalna grubość badanej próbki, b – odległość błony od próbki

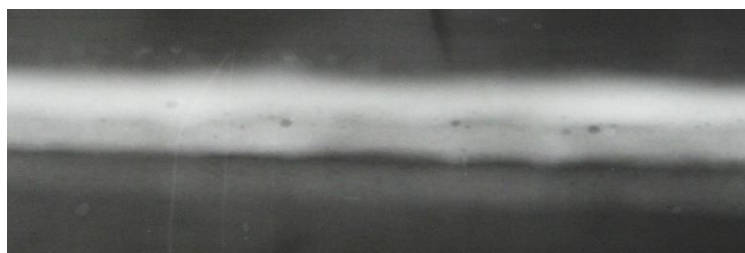
Figure 7. Schema of placement of source of radiation and radiological film against to tested joint: S – source of radiation, F – film, f – distance from source of radiation to tested joint, t – nominal thickness of tested sample, b – distance from film to sample

Na rysunkach 8 ÷ 11 przedstawiono fragmenty radiogramu, przedstawiające badane złącze. Fragmenty przedstawiają kolejne części złącza idąc od lewej do prawej patrząc na wprost od strony lica spoiny.

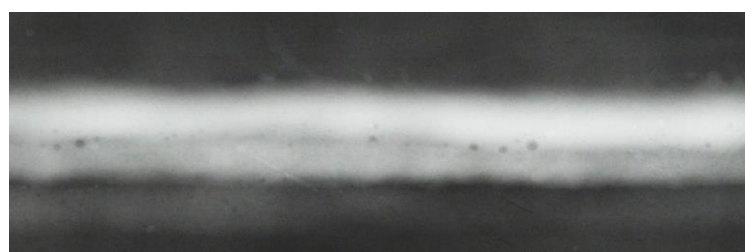


Rysunek 8. Fragment radiogramu badanego złącza (1)

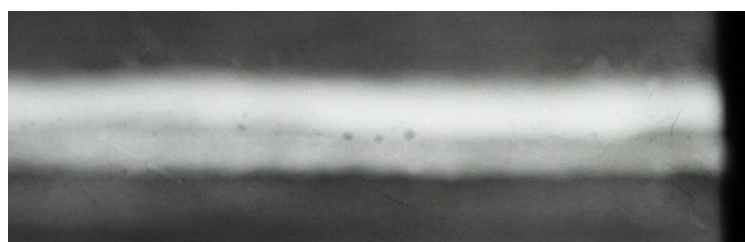
Figure 8. Part of tested weld radiograph (1)



Rysunek 9. Fragment radiogramu badanego złącza (2)

Figure 9. Part of tested weld radiograph (2)

Rysunek 10. Fragment radiogramu badanego złącza (3)

Figure 10. Part of tested weld radiograph (3)

Rysunek 11. Fragment radiogramu badanego złącza (4)

Figure 11. Part of tested weld radiograph (4)

Na przedstawionych fragmentach radiogramów, można wyraźnie dostrzec nieregularny kształt poszczególnych ściegów. Na każdym ze zdjęć można zaobserwować występujące w spoinie pojedyncze pęcherze gazowe oraz ich niewielkie skupiska w postaci okrągłych, ciemniejszych plamek. Jest to uwięziony w metalu gaz osłonowy. Długa, ciemna, nieregularna linia pomiędzy dwoma ściegami wzdłuż spoiny, na całej jej długości wskazuje, że występuje tam brak wtopienia, tzw. przyklejenie, – bardzo dobrze widoczne na rysunku 10 - które może być skutkiem użycia w procesie spawania spoiwa przeznaczonego nominalnie do stali nierdzewnej, do połączenia ze stalą niestopową. Delikatne, jasne, mniej widoczne okrągłe lub lekko podłużne plamki poza ściegami, na bokach spoiny są odpryskami powierzchniowymi, które nie zostały zeszlifowane i mogły powstać poprzez niewłaściwe dobranie parametrów procesu spawania.

Tablica 4. Protokół z badania radiologicznego zgodnie z PN-EN 17636.

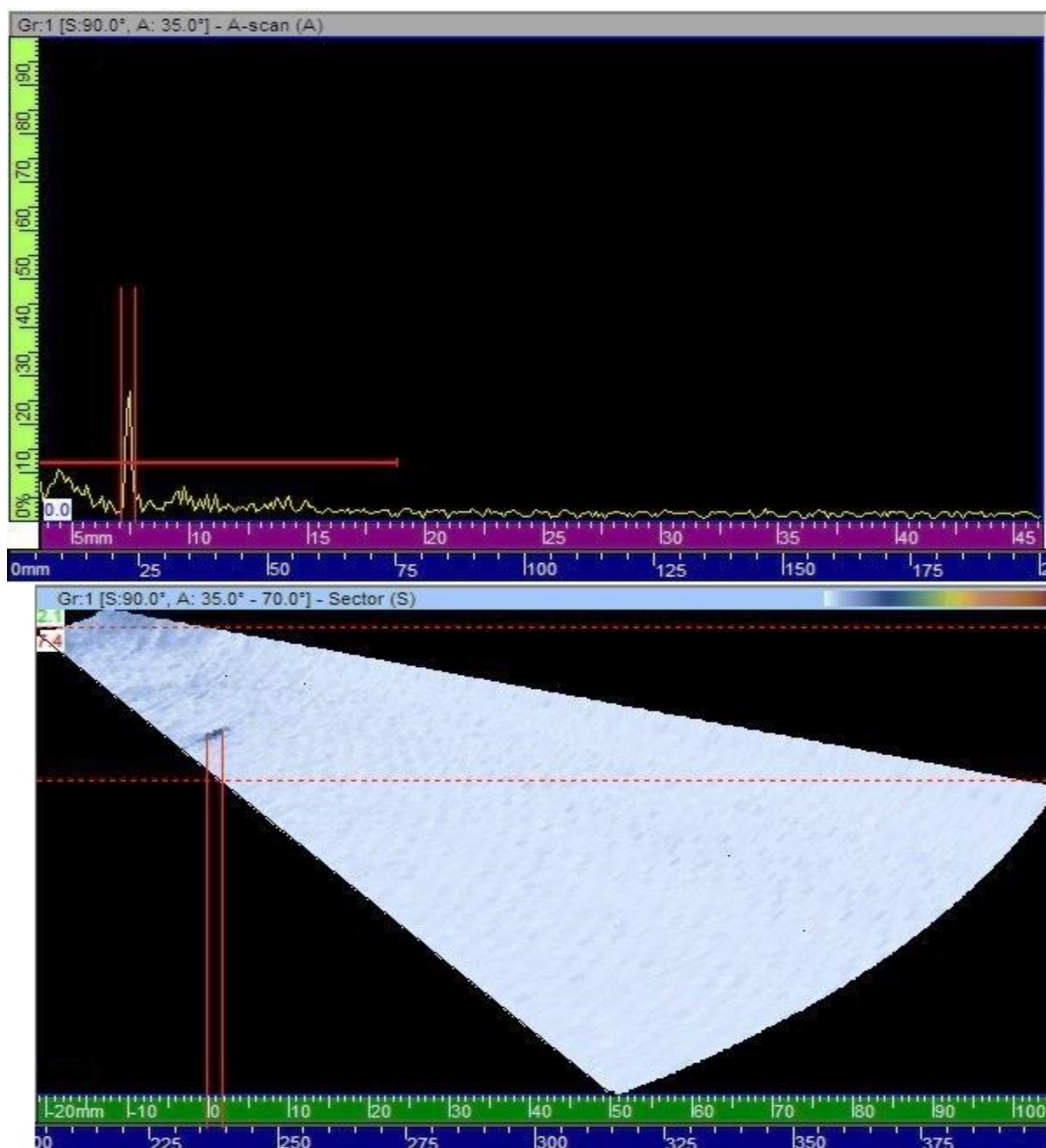
Table 4. Protocol of radiological testing according to PN-EN 17636.

Badany element		złącze spawane
Materiał		stal niestopowa S355JR, stal austenityczna 304L, spoiwo 308L
Rodzaj złącza		doczołowe
Grubość materiału		10 mm
Metoda spawania / pozycja		MIG (131) / PC
Kryteria akceptacji		poziom jakości B w EN 25817
Zakres badania		100% spoina + strefa wpływu ciepła
Technika radiograficzna		(rysunek 36)
Klasa badania		B
Usytuowanie błony		naprzeciwko źródła za przedmiotem (rysunek 36)
Źródło promieniowania		aparat rentgenowski ICM CP 200D
Wymiar źródła promieniowania		1,5 x 1,5 mm
Rodzaj błony i okładki wzmacniającej		FUJIFILM IX80
Okładki wzmacniające	przód	0,10 Pb
	tył	0,10 Pb
Wartość natężenia prądu		4,5 mA
Wartość napięcia elektrycznego		180 kV
Czas ekspozycji		168 s
Odległość źródła promieniowania od błony		500 mm
Metoda obróbki błony		automatyczna
Wynik badania w oparciu o kryteria odbioru		negatywny

3. 4. Badanie ultradźwiękowe

Badanie ultradźwiękowe złącza spawanego zostało przeprowadzone z użyciem aparatu ultradźwiękowego. Zakres obowiązków przy przygotowywaniu powierzchni złącza i wykonaniu badania opierał się na:

- wyczyszczeniu powierzchni złącza,
- naniesieniu żelowego środka sprzęgającego na bazie wody,
- wykonaniu badania,
- usunięciu resztek ośrodka sprzęgającego,
- analizie uzyskanych wyników.



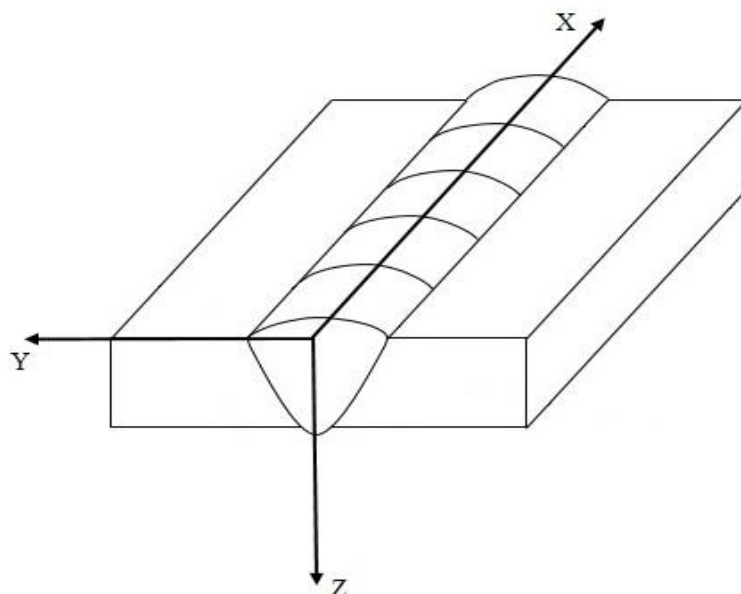
Rysunek 12. Widoczne wyraźne wskazanie wewnątrz spoiny

Figure 12. Very visible incompatibility inside of joint

Na rysunku 12 przedstawione jest jedno wyraźne wskazanie uzyskane w wyniku badania ultradźwiękowego. Patrząc na osie współrzędnych można określić położenie wykrytej niezgodności:

- X: $\sim 231,5 - 239$ mm,
- Y: $\sim -0,1 - 1,7$ mm,
- Z: $\sim 7,1 - 7,4$ mm.

Zorientowanie złącza w trójosiowym układzie współrzędnych zostało schematycznie przedstawione na rysunku 13.



Rysunek 13 Złącze spawane w układzie współrzędnych
Figure 13. Welded joint in coordinate system

Z wymiarów niezgodności można stwierdzić, że wykryta metodą UT niezgodność ma podłużny kształt i jest zorientowana wzdłuż spoiny. Na fragmentach radiogramów widoczne są przyklejenia postaci podłużnych, kilkumilimetrowych ciemnych obszarów. Widoczne na rysunku 10 przyklejenie jest tym samym, które zostało wykryte metodą UT.

Tablica 5. Protokół z badania ultradźwiękowego zgodnie z PN-EN 1714.
Table 5. Protocol of ultrasonic testing according to PN-EN 1714.

Badany element	złącze spawane
Materiał	stal niestopowa S355JR, stal austenityczna 304L, spoiwo 308L
Rodzaj złącza	doczołowe
Grubość materiału	10 mm
Metoda spawania / pozycja spawania	MIG (131) / PC
Kryteria akceptacji	poziom jakości B w EN 25817
Zakres badania	100% spoina + strefa wpływu ciepła
Metoda badania	Metoda echa
Aparat ultradźwiękowy	OmniScan PA
Głowica ultradźwiękowa	pojedyncza głowica kątowa
Liczba kątów wprowadzenia	1
Kąt padania wiązki	30°
Częstotliwość nominalna	4 MHz
Rodzaj fali	podłużna
Maksymalna amplituda	25 %
Ośrodek sprzęgający	na bazie wody
Wynik badania w oparciu o kryteria odbioru	negatywny

3. 5. Porównanie metod radiologicznej i ultradźwiękowej

Tablica 13 Porównanie metody radiologicznej z metodą ultradźwiękową [5, 6].

Table 6. Comparison of radiological and ultrasonic methods [5, 6].

Metoda radiologiczna	Metoda ultradźwiękowa
Wyższe koszty przeprowadzenia badania	Niższe koszty przeprowadzenia badania
Niska wykrywalność niezgodności płaskich, umiejscowionych prostopadle w stosunku do kierunku emitowanego promieniowania	Bardzo wysoka wykrywalność niezgodności płaskich umiejscowionych prostopadle do kierunku emitowanej fali ultradźwiękowej
Stosunkowo wysoka wykrywalność niezgodności płaskich umiejscowionych równoległe do kierunku emitowanego promieniowania	Zerowa wykrywalność niezgodności płaskich umiejscowionych równoległe do kierunku emitowanej fali ultradźwiękowej
Zerowa możliwość wskazania miejsca występowania niezgodności umiejscowionych równoległe do kierunku emitowanego promieniowania (chyba, że stosuje się więcej niż jeden kierunek promieniowania co jednak wydłuża czas i koszty badania)	Całkowita możliwość wskazania miejsca występowania niezgodności
W celu otrzymania wyników (gotowych do odczytu radiogramów) konieczne jest wykonanie dalszych czynności – obróbka fotochemiczna	Wyniki są uzyskiwane i zapisywane cyfrowo bezpośrednio podczas badania
Do badania musi być zapewniony dostęp z obu stron badanej powierzchni	Do badania wystarczy dostęp z jednej strony badanej powierzchni – w przypadku metody echa i TOFD
Powierzchnia kontaktowa praktycznie nie wpływa na jakość badania	Powierzchnia kontaktowa wpływa na jakość badania – chropowatość powierzchni w dużej mierze utrudnia lub nawet całkowicie uniemożliwia jego przeprowadzenie
Możliwość badania dużych powierzchni w stosunkowo krótkim czasie	Metoda bardzo praco- i czasochłonna przy badaniu dużych powierzchni
Łatwość w wykonaniu badania złączy o skomplikowanym kształcie oraz złączy obwodowych rur o małych i dużych średnicach	Trudność w wykonaniu badania złączy o skomplikowanym kształcie oraz złączy obwodowych rur o małych i dużych średnicach
Możliwość badania metali i ich stopów oraz niemetalu, dodatkowo możliwość wykrywania obiektów wewnątrz innych	Możliwość badania metali i ich stopów oraz niemetalu
Szkodliwość czynnika badającego dla zdrowia	Brak szkodliwości czynnika badającego dla zdrowia
Stosunkowo duże gabaryty i masa sprzętu badawczego	Stosunkowo małe i lekkie urządzenia badawcze

3. 6. Wnioski

Analiza wyników badań niszczących i nieniszczących przeprowadzonych na złączy doczołowym blach ze stali konstrukcyjnej S355JR i stali austenitycznej 304L zespawanych metodą MIG przy użyciu spoiwa do stali nierdzewnych 308L pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Użyte spoiwo nie nadaje się do łączenia blach ze stali konstrukcyjnej S355JR, ponieważ powoduje powstawanie wielu przyklejeń o znacznych rozmiarach,
2. Nie ma uniwersalnej metody badań, a badając złącze spawane różnymi metodami można uzyskać inne informacje o jego własnościach i jakości,
3. Czas badania niewielkich elementów metodą radiologiczną jest dłuższy od czasu badania metodą ultradźwiękową ze względu na konieczność wykonania dalszych czynności jak obróbka fotochemiczna naświetlonej błony,
4. Metoda radiologiczna i ultradźwiękowa pozwalają na wykrycie tych samych niezgodności wewnątrz spoiny, jednak badanie jedną metodą w wybranych przypadkach jest efektywniejsze niż drugą i odwrotnie,
5. Nie da się jednoznacznie stwierdzić czy i która metoda pomiędzy radiologiczną i ultradźwiękową jest lepsza czy bardziej skuteczna.

LITERATURA

1. M. Mazur, Podstawy spawalnictwa, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2002.
2. M. Blicharski, Wstęp do inżynierii materiałowej wydanie drugie zmienione i rozszerzone, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
3. L. Mistur, J. Czuchryj, Metody spawania oraz sposoby oceny jakości złączy spawanych, wydawnictwo KaBe, Krosno, 2005.
4. J. Mizerski, Spawanie. Wiadomości podstawowe, wydawnictwo REA s. j., Warszawa, 2005, wydanie 2007.
5. A. Lewińska-Romicka, Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
6. <http://www.e-spawalnik.pl> dostęp online z dnia 16.10.2015