



Wykrywanie wad złączy spawanych za pomocą badań nieniszczących Detecting defects in welds using non-destructive testing

K. Studnik^a, M. Król^b,

^a – Student Politechniki Śląskiej, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,
e-mail: krzysztof.studnik@gmail.com

^b - Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska
e-mail: mariusz.krol@polsl.pl

Streszczenie:

Celem badań było określenie jakości spoin płyt metalowych spawanych doczołowo metodą MAG za pomocą badań nieniszczących w celu wykrycia wad i niezgodności spawalniczych.

Abstract:

The aim of this study was to determine the quality of butt welds in metal sheets joined by MAG method based on non-destructive testing to detect the defects and imperfections in welds.

Keywords: badania nieniszczące, MAG, spoiny, spawanie doczołowe

1. WSTĘP

Złącze spawane jest to sposób nierozłącznego połączenia materiałów. Powstaje na skutek miejscowego stopienia materiału rodzimego przy pomocy skoncentrowanego źródła ciepła. Często stosowane jest również dodatkowe spoiwo spawalnicze, stapiane wraz z materiałem rodzimym. Ze względu na dobre własności wytrzymałościowe złączy spawanych oraz przenoszenie obciążeń pomiędzy połączonymi elementami, są one obecnie szeroko stosowane m. in. w różnego rodzaju konstrukcjach takich, jak mosty, rurociągi, zbiorniki oraz elementy maszyn i urządzeń [1-4].

Bardzo istotnym aspektem dotyczącym złączy spawanych jest ich jakość i zgodność z wymaganiami określonymi w normach dla danego rodzaju materiału łączonego. Na jakość złączy spawanych ma wpływ metoda i parametry spawania, geometria i odpowiednie przygotowanie łączonych elementów oraz doświadczenie i umiejętności spawacza. Złącza spawane niskiej jakości lub niezgodne z wymaganiami mogą przyczyniać się do obniżenia

jakości produktu, skrócenia jego cyklu życia, a nawet ryzyka uszkodzenia elementu podczas eksploatacji, dlatego ważne jest wykonanie stosownych badań materiałoznawczych i wytrzymałościowych. Dzięki temu możliwe jest wykrycie wad i niezgodności wytworzonych złączy [5-9].

Badania wytrzymałościowe pozwalają m. in. na określenie rozkładu naprężeń wewnątrz badanego złącza, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie, wytrzymałości zmęczeniowej, uderności oraz twardości. Badania materiałoznawcze pozwalają na zbadanie struktury materiału, wykrycie wad budowy oraz ocenę jakości złącza. Podstawowym problemem występującym podczas wykonywania badań materiałoznawczych i wytrzymałościowych jest konieczność przygotowania odpowiednich próbek, najczęściej poprzez pobranie fragmentu złącza przeznaczonego do badania, co zwykle skutkuje jego uszkodzeniem. Powoduje to wzrost kosztów badania i eksploatacji. Na skutek tego wykrywanie wad (pęknięć, nieciągłości) złączy jest utrudnione, co przekłada się bezpośrednio na bezpieczeństwo eksploatacji urządzenia lub konstrukcji. Dobrym rozwiązaniem tego problemu jest wykonanie badań nieniszczących, które pozwalają na wykrycie wad i nieciągłości materiału, zarówno na jego powierzchni, jak i w całej jego objętości oraz stwierdzenie niezgodności złączy spawanych. Badania te nie wymagają przygotowania odpowiednich próbek, dzięki czemu mogą być stosowane w warunkach eksploatacyjnych [10-12].

2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowiły trzy próbki w postaci blach spawanych doczołowo metodą MAG. Parametry spawania przedstawiono w tabelicy 1. Blachy wykonane zostały ze stali konstrukcyjnej 18G2A/1.0562, której skład chemiczny przedstawiono w tabelicy 2.

Tablica 1. Parametry spawania badanych próbek metodą MAG

Table 1. Welding parameters of test samples obtained by MAG method

Ścieg	Napięcie luku elektrycznego [V]	Posuw drutu [mm]	Skład mieszanki gazu osłonowego	Przepływ gazu osłonowego [l/min]
I	17,2	1,8	20% Ar, 80% CO ₂	20
II	29,5	6,2		
III	29,5	6,2		

Tablica 2. Stężenie masowe poszczególnych pierwiastków w stali 18G2A/1.0562 [13]

Table 2. Chemical composition of 18G2A/1.0562

Stężenie masowe pierwiastków w stali 18G2A/1.0562 [%]								
C	Si	Mn	Cr	Al	Ni	Cu	S	P
< 0,2	0,2 ÷ 0,5	< 1,5	< 0,3	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,04	< 0,04

W celu wykrycia ewentualnych wad i niezgodności złączy spawanych wykonano następujące badania nieniszczące:

- wizualne,
- penetracyjne,

- magnetyczno-proszkowe,
- ultradźwiękowe.

W celu stwierdzenia zgodności złączy spawanych określonych wymaganiami zawartymi w normie PN-EN ISO 5817:2014 wykonano badania wizualne bezpośrednie zgodnie z normą PN-EN ISO 17637:2011. Jako kryterium oceny przyjęto poziom jakości B, czyli poziom o najwyższych wymaganiach jakościowych.

Badania penetracyjne wykonano w celu wykrycia pęknięć powierzchniowych i braków przetopu. Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN ISO 3452-1:2013-08. Dla poziomu jakości B wg normy PN-EN ISO 17635:2010 przyjmuje się zazwyczaj poziom akceptacji wskazań 2x, czyli wskazania nieliniowe ocenia się wg poziomu 2, a wskazania liniowe wg poziomu 1. Kryteria oceny dla poszczególnych poziomów akceptacji zawarto w normie PN-EN ISO 23277:2010.

Badania magnetyczno-proszkowe wykonano zgodnie z obowiązującą normą PN-EN ISO 17638:2010. Podobnie, jak w przypadku badań penetracyjnych, dla poziomu jakości B przyjmuje się poziom akceptacji 2x, a kryteria oceny zawarto w normie PN-EN ISO 23278:2010.

Badania ultradźwiękowe wykonano zgodnie z obowiązującą normą PN-EN ISO 17640:2011 [14]. Badanie wykonano metodą nr 2 opierającą się na krzywych wyznaczonych metodą DGS (odległość, wzmocnienie, rozmiar) dla okrągłego reflektora tarczowego DSR. Zgodnie z normą PN-EN ISO 11666:2011 dla poziomu jakości B przyjmuje się co najmniej poziom badania B i poziom akceptacji 2.

3. WYNIKI BADAŃ

Za pomocą luksomierza PTS LXmax zmierzono natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym, które wynosiło 583 lx. Następnie dokonano oględzin oraz niezbędnych pomiarów za pomocą spoinomierza SPA-40 oraz suwmiarki typu MAUa-E. Badaną próbkę nr 1 o grubości $t=10$ mm przedstawiono na rysunku 1a. Dokonano ogólnych oględzin spoiny w celu wykrycia takich niezgodności spoiny, jak pęknięcia, przyklejenia, kraterzy czy braki przetopu. Oględzinom poddano również obszar w odległości do 10 mm od spoiny w celu wykrycia wad w strefie wpływu ciepła.

Od strony lica nie wykryto żadnych wad. Od strony grani wykryto braki przetopu przedstawione na rysunku 1b (obszar zaznaczony kolorem czerwonym), oraz podtopienie grani (obszar zaznaczony kolorem zielonym). W przypadku poziomu jakości B braki przetopu są niedozwolone. Podtopienie grani dozwolone jest tylko dla niedoskonałości krótkich. Na próbce nr 1 wykryto podtopienie grani o długości 54 mm, co również jest niedopuszczalne. Nie wykryto kraterów, pęknięć, ani przyklejeń.

Za pomocą spoinomierza wykonano pomiary wysokości i szerokości lica. Na podstawie wykonanych pomiarów stwierdzono, że wysokość lica wyniosła $h=2$ mm, a szerokość $b=21$ mm. Dla poziomu jakości B dopuszczalną wysokość lica wyznacza się ze wzoru [**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**]:

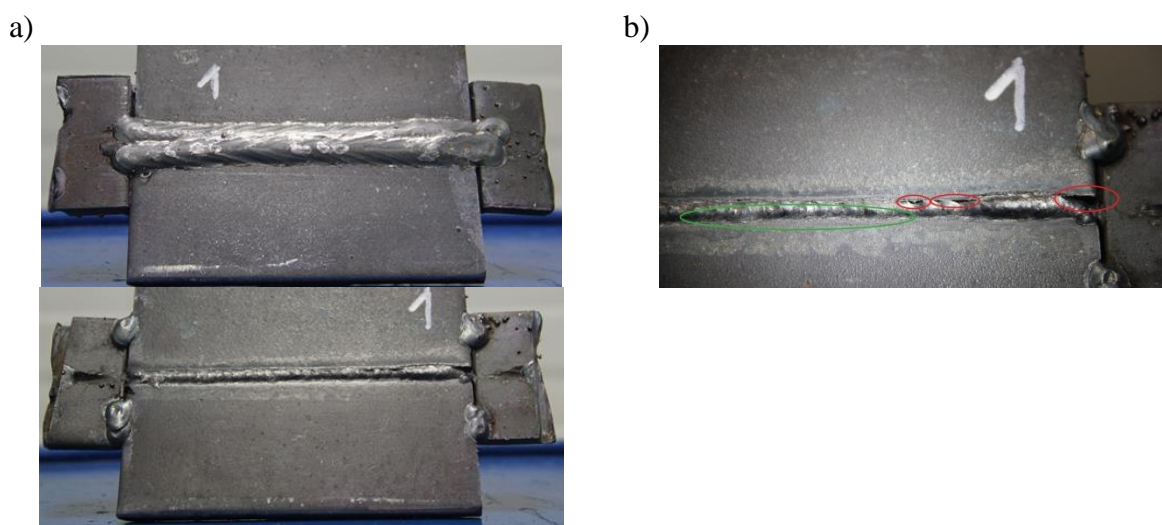
$$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b, \text{ max. } 5 \text{ mm} \quad (1)$$

Z powyższego równania wyznaczono najwyższą dopuszczalną wysokość lica $h=3,1$ mm, więc zmierzona wartość jest zgodna z wymaganiami.

Wykonano również pomiary wysokości i szerokości grani w celu wykrycia nadmiernego wycieku grani. Wysokość grani wyniosła $h=0,5$ mm, a szerokość $b=5$ mm. Dla poziomu jakości B i dla próbek o grubości $t > 3$ mm dopuszczalną wysokość grani wyznacza się ze wzoru [Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.]:

$$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 b, \text{ max. } 3 \text{ mm} \quad (2)$$

Z powyższego równania wyznaczono najwyższą dopuszczalną wysokość grani $h=2$ mm, zatem zmierzona wartość jest zgodna z wymaganiami.



Rysunek 1. Próbkę nr 1: a) od strony lica i grani, b) wady wykryte od strony grani – kolorem czerwonym zaznaczono braki przetopu, zielonym podtopienie grani

Figure 1. Sample No. 1: a) face and weld root, b) defects on the weld root - red indicated lack of fusion, green undercut of weld root

Badaną próbkę nr 2a o grubości $t=10$ mm przedstawiono na rysunku 2a. Od strony lica wykryto krater w miejscu zakończenia spoiny (rys. 2b), co wg poziomu jakości B jest niedopuszczalne. Od strony grani wykryto podtopienie grani o długości 30 mm (rys. 2c), co również jest niedopuszczalne. Nie wykryto pęknięć, przyklejeń ani braków przetopu.

Za pomocą spoinomierza wykonano pomiary wysokości i szerokości lica. Wysokość lica wyniosła $h=1,2$ mm, a szerokość $b=17$ mm. Ze wzoru 1 wyznaczono najwyższą dopuszczalną wysokość lica $h=2,7$ mm, oznacza to, że zmierzona wysokość lica jest zgodna z określonymi wymaganiami.

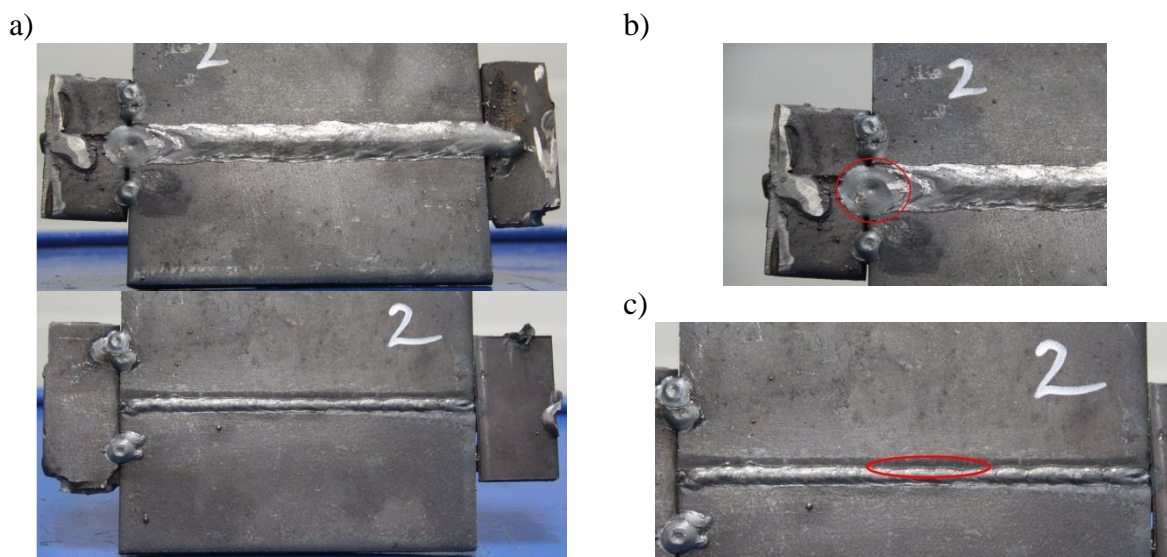
Wykonano również pomiary wysokości i szerokości grani w celu wykrycia nadmiernego wycieku grani. Wysokość grani wyniosła $h=0,8$ mm, a szerokość $b=5$ mm. Ze wzoru 2 wyznaczono najwyższą dopuszczalną wysokość grani $h=2$ mm, więc zmierzona wartość jest zgodna z wymaganiami.

Badaną próbkę nr 3 o grubości $t=12$ mm przedstawiono na rysunku 3. Na podstawie ogólnych oględzin spoiny i obszaru w odległości do 10 mm od spoiny zarówno od strony lica, jak i od strony grani nie wykryto żadnych wad spoiny.

Za pomocą spoinomierza wykonano pomiary wysokości i szerokości lica. Wysokość lica wyniosła $h=1$ mm, a szerokość $b=16$ mm. Ze wzoru 1 wyznaczono najwyższą

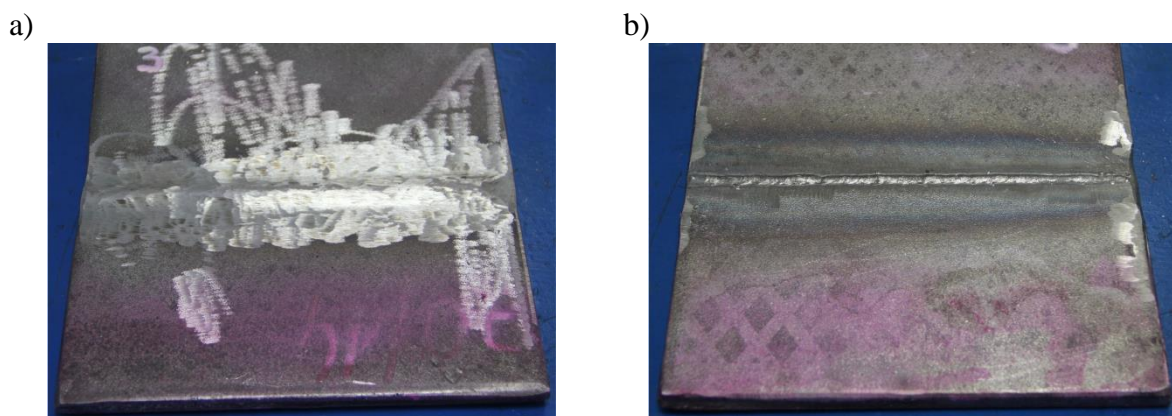
dopuszczalną wysokość lica $h=2,6$ mm, oznacza to, że zmierzona wysokość lica jest zgodna z określonymi wymaganiami.

Wykonano również pomiary wysokości i szerokości grani w celu wykrycia nadmiernego wycieku grani. Wysokość grani wyniosła $h=0,5$ mm, a szerokość $b=5$ mm. Ze wzoru 2 wyznaczono najwyższą dopuszczalną wysokość grani $h=2$ mm, więc zmierzona wartość jest zgodna z wymaganiami.



Rysunek 2. Próbkę nr 2: a) od strony lica i grani, b) krater wykryty na końcu spoiny, c) podtopienie grani

Figure 2. Sample No. 2: a) face and weld root, b) crater at the end of the weld, c) undercut of weld root

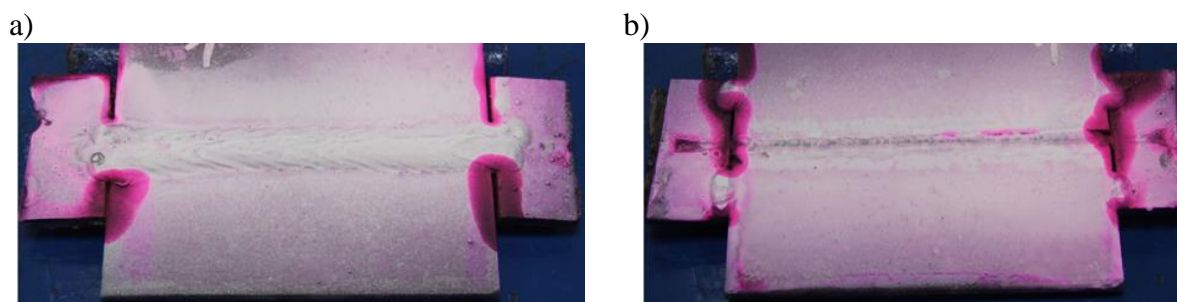


Rysunek 3. Próbkę nr 3 od strony: a) lica, b) grani

Figure 3. Sample No. 3: a) face of weld, b) weld root

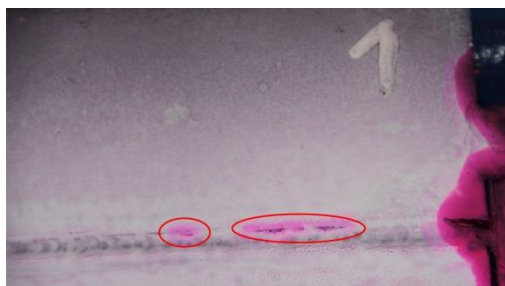
W celu wykrycia wad powierzchniowych w spoinach wykonano badania penetracyjne. Zastosowano penetrant o barwie czerwonej, zmywacz oraz wywoływacz. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu badawczym wynosiło 583 lx, a temperatura w laboratorium badawczym wahała się w granicach 15-18°C. Dokonano oględzin otrzymanych wskazań oraz wykonano stosowne pomiary.

Próbkę nr 1 poddano badaniom penetracyjnym, a otrzymany rezultat przedstawiono na rysunku 4. Dokonano oględzin spoiny w celu wykrycia wad powierzchniowych. Oględzinom poddano również obszar w odległości do 10 mm od spoiny w celu wykrycia wad w strefie wpływu ciepła. Wskazania w badaniach penetracyjnych mają postać czerwonych przebarwień na powierzchni białego wywoływacza. Przebarwienia na końcach próbek spowodowane są wchłanianiem penetranta ze szczelin pomiędzy próbką i blachą wybiegową.



Rysunek 4. Badanie penetracyjne próbki nr 1 od strony: a) lica, b) grani
 Figure 4. Liquid-penetrant inspection of sample No. 1: a) face of weld, b) weld root

Od strony lica nie wykryto żadnych wad. Od strony grani badanie penetracyjne również wykazało braki przetopu (rys. 5) w tym samym obszarze, co w przypadku badań wizualnych, jednak długość poszczególnych wskazań jest większa z powodu wchłonięcia penetranta ze szczelin przez wywoływacz. Badanie penetracyjne nie wykrywa podtopienia grani. Poza brakiem przetopu nie wykryto innych wad.



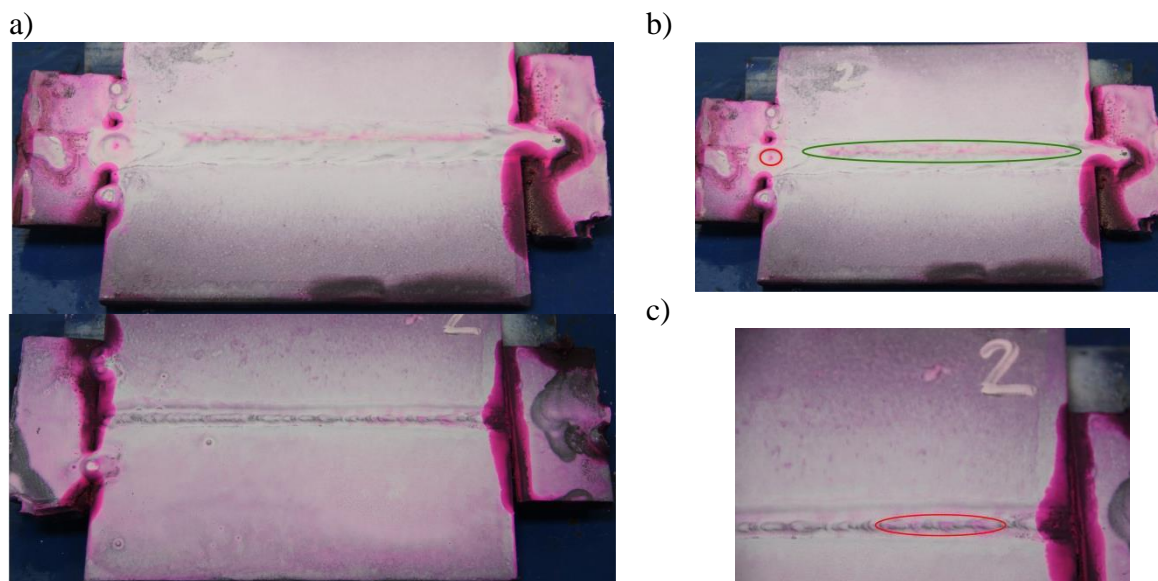
Rysunek 5. Badanie penetracyjne próbki nr 1 od strony grani – braki przetopu
 Figure 5. Liquid-penetrant inspection of sample No. 1 of weld root - lack of penetration

Próbkę nr 2 poddano badaniom penetracyjnym, a otrzymany rezultat przedstawiono na rysunku 6a. Dokonano oględzin spoiny oraz obszaru w odległości do 10 mm od spoiny w celu wykrycia wad powierzchniowych. Od strony lica zaobserwowano wskazania w miejscu występowania krateru (rys. 6b, obszar zaznaczony kolorem czerwonym) oraz na znacznej długości spoiny (obszar zaznaczony kolorem zielonym), co mogłoby oznaczać pęknięcie spoiny, jednak po powtórny badaniu stwierdzono, że było to wskazanie pozorne, powstałe na skutek niedokładnego oczyszczenia badanej powierzchni. Od strony grani (rys. 6c) wykryto wskazanie na niewielkim odcinku, ale również było to wskazanie pozorne. Poza kraterem nie wykryto żadnych wad powierzchniowych.

Próbkę nr 3 poddano badaniom penetracyjnym, a otrzymany rezultat przedstawiono na rysunku 7. Dokonano oględzin spoiny oraz obszaru w odległości do 10 mm od spoiny w celu wykrycia wad powierzchniowych. Zarówno od strony lica, jak i od strony grani nie

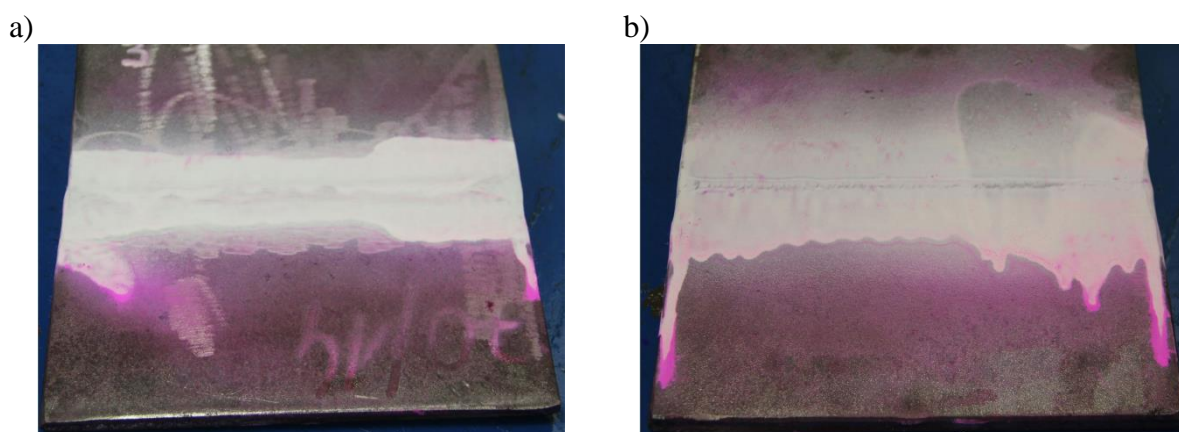
wykryto żadnych wad powierzchniowych, można więc stwierdzić, że złącze zostało wykonane prawidłowo.

W celu wykrycia wad powierzchniowych w spoinach wykonano również badania magnetyczno-proszkowe. W tym celu do badań zastosowano zawieszinę proszkową czarną oraz biały podkład. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniu gdzie wykonano badania wynosiło 583 lx. Dokonano oględzin otrzymanych wskazań oraz wykonano stosowne pomiary.



Rysunek 6. Badanie penetracyjne próbki nr 2 a) od strony lica i grani, b) od strony lica – kolorem czerwonym zaznaczono krater, zielonym wskazanie pozorne, c) od strony grani – wskazanie pozorne

Figure 6. Liquid-penetrant inspection of sample No. 2: a) face and weld root, b) face of weld - crater marked in red, green is an apparent indication, c) weld root - apparent indication



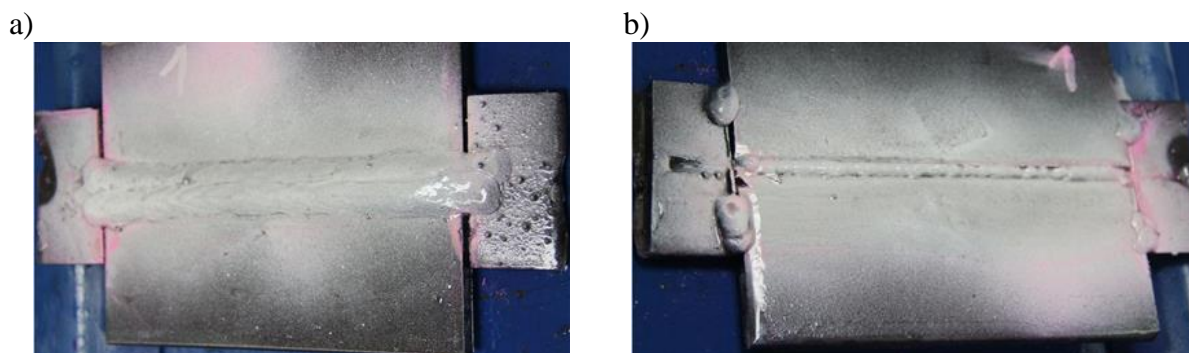
Rysunek 7. Badanie penetracyjne próbki nr 3 od strony: a) lica, b) grani

Figure 7. Liquid-penetrant inspection of sample No. 3: a) face of weld, b) weld root

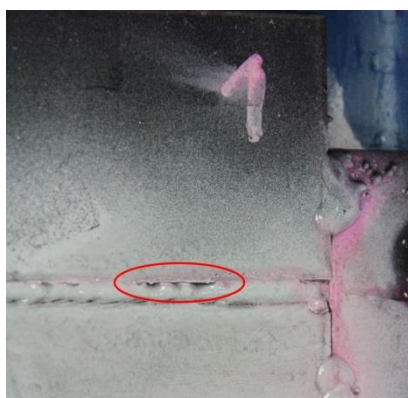
Próbkę nr 1 poddano badaniom magnetyczno-proszkowym, a otrzymany rezultat przedstawiono na rysunku 8. Dokonano oględzin spoiny w celu wykrycia wad powierzchniowych. Oględzinom poddano również obszar w odległości do 10 mm od spoiny

w celu wykrycia wad w strefie wpływu ciepła. Wskazania w badaniach magnetyczno-proszkowych z zastosowaniem czarnej zawiesiny proszkowej mają postać czarnych śladów na powierzchni białego podkładu.

Od strony lica nie wykryto żadnych wad. Od strony grani badanie magnetyczno-proszkowe również wykazało braki przetopu (rys. 9) w tym samym obszarze, co w przypadku badań wizualnych i penetracyjnych. Metoda magnetyczno-proszkowa, podobnie jak metoda penetracyjna, nie wykryła podtopienia grani. Poza brakiem przetopu nie wykryto innych wad.



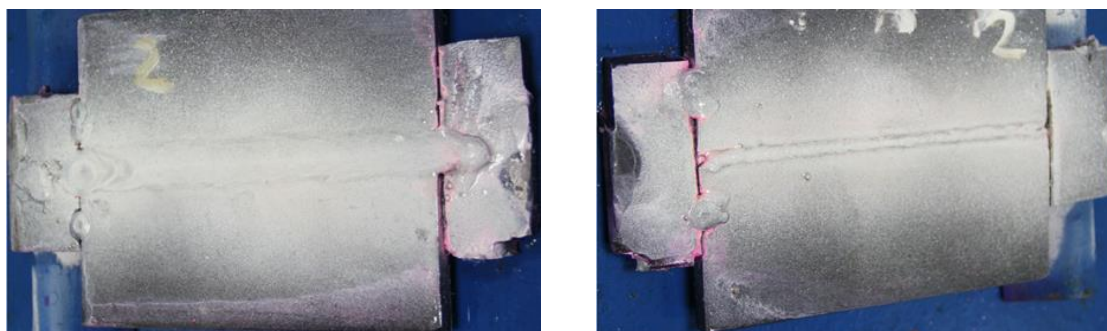
Rysunek 8. Badanie magnetyczno-proszkowe próbki nr 1 od strony: a) lica, b) grani
 Figure 8. Magnetic particle inspection of sample No. 1: a) face of weld, b) weld root



Rysunek 9. Badanie magnetyczno-proszkowe próbki nr 1 od strony grani – brak przetopu
 Figure 9. Magnetic particle inspection of sample No. 1 of weld root - lack of penetration

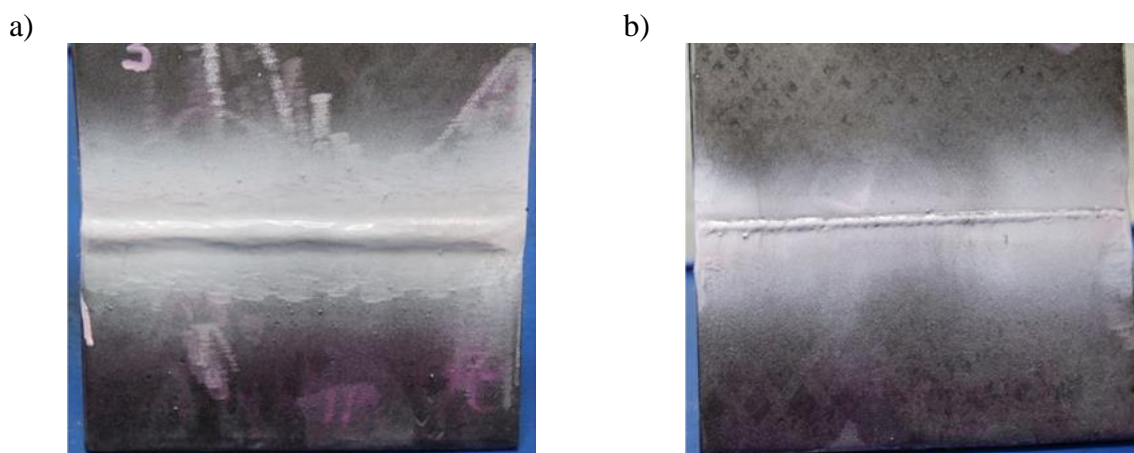
Próbkę nr 2 poddano badaniom magnetyczno-proszkowym, a otrzymany rezultat przedstawiono na rysunku 10. Dokonano oględzin spoiny oraz obszaru w odległości do 10 mm od spoiny w celu wykrycia wad powierzchniowych. Zarówno od strony lica, jak i od strony grani nie wykryto żadnych wad powierzchniowych, co potwierdza określenie wskazań w badaniach penetracyjnych jako pozorne.

a) b)



Rysunek 10. Badanie magnetyczno-proszkowe próbki nr 2 od strony: a) lica, b) grani
Figure 10. Magnetic particle inspection of sample No. 2: a) face of weld, b) weld root

Próbkę nr 3 poddano badaniom magnetyczno-proszkowym, a otrzymany rezultat przedstawiono na rysunku 11. Dokonano oględzin spoiny oraz obszaru w odległości do 10 mm od spoiny w celu wykrycia wad powierzchniowych. Podobnie jak w przypadku badań wizualnych i penetracyjnych, zarówno od strony lica, jak i od strony grani nie wykryto żadnych wad powierzchniowych.



Rysunek 11. Badanie magnetyczno-proszkowe próbki nr 3 od strony: a) lica, b) grani
Figure 11. Magnetic particle inspection of sample No. 3: a) face of weld, b) weld root

W celu wykrycia wad na powierzchni i wewnątrz spoin wykonano badania ultradźwiękowe z wykorzystaniem techniki DGS. Podczas badania zastosowano głowice skośne oraz olej maszynowy jako środek sprzęgający. Reprezentatywne zdjęcie z badań ultradźwiękowych przedstawiono na rysunku 12.

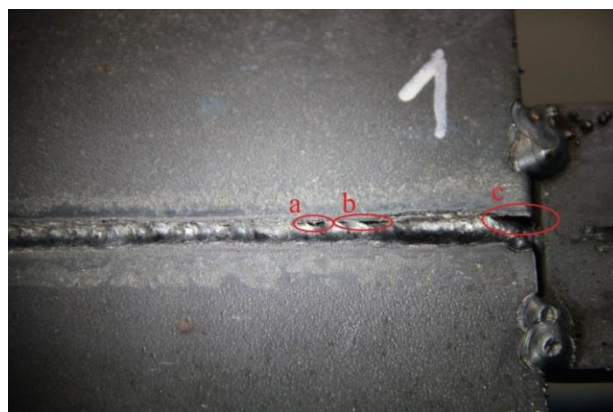


Rysunek 12. Badania ultradźwiękowe
 Figure 12. Ultrasonic testing

Podczas badania próbki nr 1 od strony lica przy pomocy głowicy MWB 70-4 wykryto wadę na całej długości spoiny na głębokości ok. $6 \div 9$ mm. Maksymalna amplituda echa wady w stosunku do poziomu odniesienia wyniosła +13 dB. Zgodnie z normą PN-EN ISO 11666:2011 dopuszczalna wartość dla poziomu akceptacji 2 wynosi -4 dB dla wady o długości większej od grubości blachy, zatem wykryta wada jest niedopuszczalna. W przypadku wykrycia wady konieczne jest powtórzenie badania z zastosowaniem głowicy o kącie różnym o co najmniej 10° . Badanie przy pomocy głowicy MWB 60-4 potwierdziło występowanie wady wewnątrz spoiny. Ze względu na małe rozmiary badanej próbki, konieczne było wykonanie badania od strony grani. Podczas badania od strony grani nie wykryto żadnych wad. Dodatkowo z obu stron wykryto wskazania pozorne, pochodzące od lica i grani, powstałe w wyniku odbicia się fal ultradźwiękowych od powierzchni.

Podczas badania próbki nr 2 wystąpiły jedynie wskazania pozorne pochodzące od lica i grani, a w próbce nr 3 nie wykryto żadnych wskazań.

W celu porównania długości wskazań otrzymanych za pomocą poszczególnych metod powierzchniowych obserwacji poddano próbkę nr 1. Oznaczenia poszczególnych wad przedstawiono na rysunku 13. Zmierzone długości wad zestawiono w tablicy 3 oraz na rysunku 14.

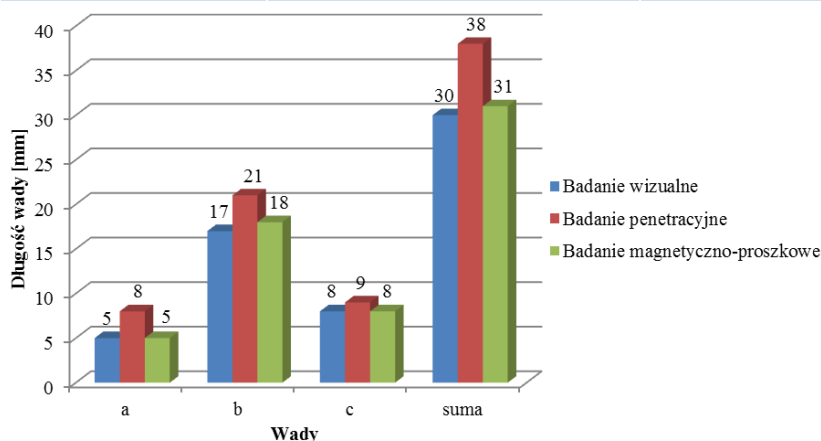


Rysunek 13. Oznaczenie poszczególnych wad na próbce nr 1
 Figure 13. Designation the individual defects in the sample No. 1

Tablica 3. Długości poszczególnych wad w milimetrach

Table 3. The length of each defects in millimeters

Wada	Badanie wizualne	Badanie penetracyjne	Badanie magnetyczno-proszkowe
a	5	8	5
b	17	21	18
c	8	9	8
suma	30	38	31



Rysunek 14. Zestawienie długości wykrytych wad dla poszczególnych metod

Figure 14. Summary of length of the of detected flaws for each method

Na podstawie otrzymanych danych można stwierdzić, że rzeczywiste wymiary wad złączy mogą się różnić od wymiarów otrzymanych podczas badań nieniszczących. Długość wskazań różni się w zależności od zastosowanej metody. W przypadku badań wizualnych jest to spowodowane czynnikiem ludzkim ze względu na konieczność interpretacji zaobserwowanych cech spoiny. Wskazania w badaniach penetracyjnych charakteryzują się większymi wymiarami z powodu wchłaniania penetranta przez wywoływacz. Z kolei wskazania powstałe podczas badań magnetyczno-proszkowych są zależne od zjawisk związanych z rozchodzeniem się pola magnetycznego oraz gromadzenia się proszku. Oznacza to, że badania nieniszczące obarczone są pewnym błędem, a jego oszacowanie jest kluczowe dla wiarygodności badania. Suma długości wskazań zaobserwowanych podczas badań wizualnych oraz magnetyczno-proszkowych była zbliżona, natomiast w przypadku badań penetracyjnych wartość ta była wyższa o około 20%.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Podstawowym sposobem badania złączy spawanych jest zastosowanie badań nieniszczących. Pozwalają one na wykrywanie wad powstałych zarówno podczas procesu produkcji, jak i w wyniku eksploatacji. Ich wczesne wykrycie przekłada się na wydłużenie żywotności produktów i poprawienie ich jakości, a także zwiększenie bezpieczeństwa i zmniejszenie kosztów eksploatacji. Badania nieniszczące nie mają wpływu na strukturę i własności badanego materiału, nie ma również konieczności przygotowania próbek, przez co wykonanie badań jest szybkie i stosunkowo tanie. Metody badawcze nie są uniwersalne i zależnie od cech badanego obiektu i charakteru wykrywanych nieciągłości konieczny jest

dobór optymalnej metody. W celu zwiększenia wykrywalności wad możliwe jest zastosowanie różnych metod lub wykonanie badania wielokrotnie z zastosowaniem różnych parametrów. Podczas wykonywania badań nieniszczących należy pamiętać o możliwości wystąpienia wskazań pozornych, które mogą zostać błędnie zinterpretowane.

5. PODZIĘKOWANIA

Podziękowania dla firmy Rudpol-OPA Sp. z o.o. z siedzibą przy ul. Szyb Walenty 50 w Rudzie Śląskiej za pomoc w badań i udostępnienie aparatury badawczej Laboratorium Badań Nieniszczących oraz umożliwienie wykonania niezbędnych badań.

LITERATURA

1. Lewińska-Romicka: Badania nieniszczące: Podstawy defektoskopii, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
2. J. Deputat, S. Mackiewicz, J. Szelażek: Problemy i techniki nieniszczących badań materiałów, Biuro Gamma, Warszawa 2007.
3. J. Czuchryj, S. Sikora: Badania penetracyjne połączeń spawanych, odlewów i odkuwek, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2008.
4. K. Ferenc, J. Ferenc: Konstrukcje spawane. Połączenia, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
5. J. Hlebowicz: Badania wizualne urządzeń technicznych: Poradnik, Biuro Gamma, Warszawa 2002
6. Strona internetowa: <http://www.techcontrol.eu> – dostęp 02.12.2014 r.
7. Strona internetowa: <http://www.magnaflux.com> – dostęp 30.11.2014 r.
8. PN-EN ISO 5817:2014-05, Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) - Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
9. PN-EN ISO 9934-2:2003, Badania nieniszczące - Badania magnetyczno-proszkowe - Część 2: Środki wykrywające.
10. J. Deputat: Badania ultradźwiękowe: Podstawy, Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica, Gliwice 1979.
11. R. Jawor, J. Kozłowski, M. K. Lipnicki: Badanie złączy spawanych według norm europejskich: kontrola ultradźwiękowa, Biuro Gamma, Warszawa 2002.
12. J. Wilczarska: Zastosowanie metod ultradźwiękowych w procesie regeneracji części maszyn, Inż. Ap. Chem. 2014, 53, 2, 125-126.
13. Strona internetowa: <http://www.kronosedm.pl/> - dostęp 26.02.2015 r.
14. PN-EN ISO 17640:2011, Badania nieniszczące spoin – Badania ultradźwiękowe złączy spawanych.