

Analiza porównawcza powierzchniowych metod badań nieniszczących – penetracyjnych oraz magnetyczno-proszkowych

M. Ordon^a, M. Bonek^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono porównanie dwóch metod badań nieniszczących – metody penetracyjnej oraz metody magnetyczno-proszkowej. Porównania dokonano na podstawie badań przeprowadzonych na płycie ze stali S355JR spawanej doczołowo metodą MAG.

Abstract: The article presents the comparison of two nondestructive testing methods – penetrant testing and magnetic particle testing. The comparison was made on the basis of the tests carried out on a butt-welded plate made of S355JR steel welded using MAG method.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, badania penetracyjne, badania magnetyczno-proszkowe, spawalnictwo

1. WSTĘP

Metody badań nieniszczących znajdują szerokie zastosowanie w spawalnictwie oraz w wielu innych dziedzinach. Stosowanie ich jest bardzo ważne ze względu na konieczność zapewnienia wysokiej jakości półproduktów, gotowych wyrobów oraz elementów podczas eksploatacji.

W artykule porównane zostaną dwie metody nieniszczących badań powierzchniowych – metoda penetracyjna oraz magnetyczno-proszkowa. Metody te charakteryzują się zbliżoną dokładnością oraz pozwalają na wykrywanie tych samych nieciągłości. Często są stosowane zamiennie.

1.1. Badania nieniszczące

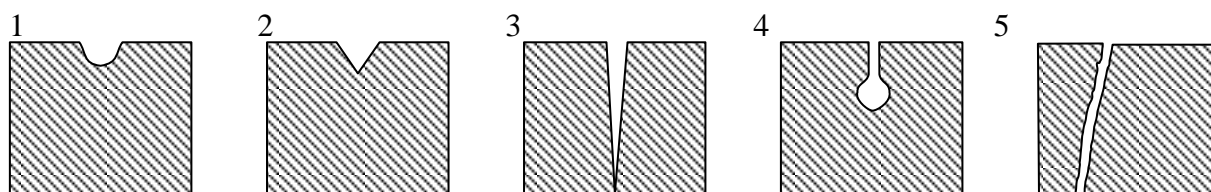
Powodem zopoczątkowania szerokiego stosowania badań nieniszczących były awarie urządzeń i spowodowane przez nie katastrofy. Wielu z nich możnaby uniknąć

gdyby regularnie były przeprowadzane testy własności kluczowych elementów. Przewaga badań nieniszczących nad niszczącymi jest taka, że mogą one być przeprowadzane na półproduktach lub gotowych elementach, jak sama nazwa wskazuje, bez niszczenia ich, dzięki czemu można określić stan użytkowanych już elementów [1].

Badania nieniszczące stosuje się w celu wykrywania nieciągłości, które mogą mieć wpływ na własności użytkowe obiektów, a także w celu pomiaru własności bądź wymiarów obiektów bez wpływu na ich mikro i makrostrukturę [2].

1.2. Badania penetracyjne

Jedną z podstawowych metod badań nieniszczących są badania penetracyjne. Pozwalają na wykrycie nieciągłości powierzchniowych takich jak wgłębienia, szerokie pęknięcia i rysy, wąskie pęknięcia, pory oraz nieszczelności (rysunek 1.). Możliwe jest stosowanie metod penetracyjnych do niemal wszystkich rodzajów materiałów pomijając jedynie materiały silnie porowate [3].



Rysunek 1. Rodzaje nieciągłości (1 – wgłębienia, 2 – szerokie pęknięcia i rysy, 3 – wąskie pęknięcia, 4 – pory, 5 – nieszczelności) [4]

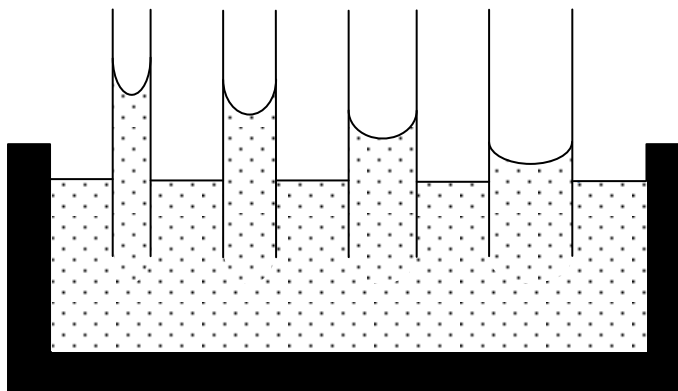
Figure 1. Types of discontinuities (1 – recesses, 2 – wide cracks and scratches, 3 – narrow cracks, 4 – pores, 5 – leaks) [4]

Kształt niektórych nieciągłości (rysunek 1. punkt 1 i 2) jest powodem ich podatności na wymycie penetranta podczas oczyszczania badanego elementu z jego nadmiaru. Inne (rysunek 1. punkt 4 i 5) charakteryzują się dość wyraźnymi wskazaniem [4].

Podstawą badań penetracyjnych jest zjawisko włoskowatości, które polega na wnikanii cieczy do wąskich przestrzeni i wznoszeniu się w nich pomimo powszechnie panującej sile ciężenia. Jeśli w naczyniu z cieczą umieści się rurki o małych średnicach, to wejdzie w nie ciecz znajdująca się w naczyniu. Wysokość słupka cieczy znajdującego się w rurkach jest zależna od ich średnicy. Im mniejsza średnica, tym większa wysokość słupa cieczy. W przypadku badań penetracyjnych ciecz (zwana penetrantem), o małym napięciu powierzchniowym oraz dobrej zwilżalności wnika do wnętrza nieciągłości, a następnie przy wykorzystaniu tzw. „wywoływacza” (silnie chłonna substancja) zostaje wydobyta na powierzchnię dzięki wykorzystaniu zjawiska włoskowatości [4].

Wąskie otwory, rurki, szczeliny itp., dla których można zaobserwować zjawisko włoskowatości nazywane są kapilarami [3].

Nie wszystkie ciecze wykazują zjawisko włoskowatości. Bardzo ważne jest zwilżanie materiału kapilary. O zwilżalności informuje kąt pomiędzy meniskiem cieczy, a ciałem (kąt zwilżania Θ). Gdy kąt zwilżania jest ostry, oznacza to, że ciecz zwilża dane ciało; im mniejszy kąt Θ , tym lepsza zwilżalność. Powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, że siły przyciągania między cząsteczkami cieczy a ciałem stałym są większe od sił przyciągania między cząsteczkami cieczy [3].



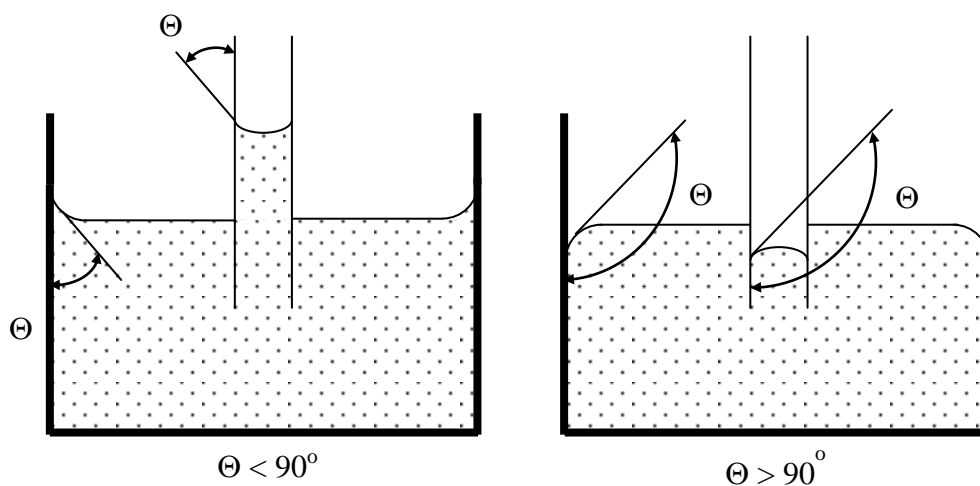
Rysunek 2. Zjawisko włoskowatości [4]

Figure 2. Capillary action [4]

Przebieg badania penetracyjnego wygląda następująco (rysunek 4.)[3]:

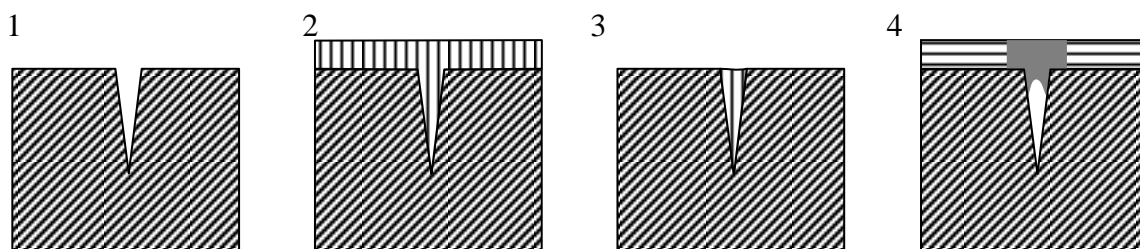
1. Naniesienie na powierzchnię badanego elementu penetranta.
2. Po upływie odpowiedniej ilości czasu następuje usunięcie nadmiaru penetranta.
3. Naniesienie wywoływacza.
4. Wizualna ocena wyników po upływie określonego czasu.

W wyniku przeprowadzenia tych operacji otrzymuje się nacieki penetranta w wywoływaczu, które przedstawiają wady występujące w elemencie. Wycieki te nazywane są wskazaniami [3].



Rysunek 3. Zwilżalność cieczy [3]

Figure 3. Liquid wetting [3]



Rysunek 4. Etapy badania penetracyjnego [3]

Figure 4. Steps of penetrant testing [3]

Do badań penetracyjnych wykorzystuje się kilka różnych preparatów przeznaczonych do poszczególnych etapów. Preparaty te to [5]:

- penetrant,
- zmywacz,
- wywoływacz.

Penetranty charakteryzują się zróżnicowanym składem. Generalnie składają się one z kombinacji destylatów ropy naftowej i rozpuszczalników organicznych. W przypadku penetrantów fluorescencyjnych dodatkowym składnikiem jest luminofor. Jego zawartość mieści się w granicach 0,2-2 g/l. W przypadku penetrantów barwnych zawartość barwnika jest kilkakrotnie wyższa [3].

Zmywaczem określamy ciecz, której zadaniem jest usunięcie nadmiaru penetranta z powierzchni badanego elementu. Powinien się on zatem charakteryzować dobrą rozpuszczalnością cieczy penetracyjnej, słabą wnikalnością do wad oraz dość wysoką szybkością parowania. W zależności od wykorzystywanego penetranta jako zmywacz stosuje się wodę lub rozpuszczalniki organiczne [3].

Zadaniem wywoływacza jest „wyciągnięcie” penetranta z nieciągłości. Jest to zatem substancja, która silnie chłonie penetrant (przy wykorzystaniu zjawiska włoskowatości). Powinien on także tworzyć dobry kontrast dla penetranta. Z tego względu najczęściej stosowane są białe proszki takie jak kreda, kaolin, talk, tlenek cynku [3].

Wynikiem badania penetracyjnego są tzw. obrazy penetracyjne. W zależności od rodzaju oraz wielkości wady charakteryzują się one różnym nasileniem. Teoretycznie, przy prawidłowo przeprowadzonym badaniu, wszystkie obrazy wskazują nieciągłości lub wady. W praktyce nie wszystkie wady są wykrywane, a niektóre wskazania nie są w rzeczywistości wadami. Takie wskazania zwane są wskazaniami pozornymi, są one efektem niedokładnego przeprowadzenia badania. Rozpoznanie, które wskazania są pozorne, a które uwydatniają wady, jest bardzo ważne i wymaga doświadczenia. W przypadku braku pewności odnośnie danego wskazania powinno się przeprowadzić ponowną kontrolę wybranego obszaru [4].

Badanie penetracyjne składa się z kilku operacji [3]:

- przygotowanie powierzchni (czyszczenie),
- naniesienie penetranta,
- oczyszczenie powierzchni z nadmiaru penetranta,
- naniesienie wywoływacza,
- obserwacja wskazań,
- oczyszczanie końcowe.

Oczyszczanie powierzchni należy przeprowadzić tak, aby powierzchnia badanego elementu była całkowicie sucha oraz bez jakichkolwiek zanieczyszczeń. Wszelkie obce ciała niekorzystnie wpływają na wynik badania, mogą być źródłami wskazań pozornych. Oczyszczenie prowadzi się także w celu udrożnienia nieciągłości, pozwala to na zwiększenie dokładności badania. Wbrew pozorom jest to bardzo ważna część badania, ma znaczny wpływ na jego jakość [3].

Naniesienie penetranta zapewnia wniknięcie go do nieciągłości. Niezbędne jest naniesienie obfitej ilości penetranta. Operację tę wykonuje się sposobem zanurzeniowym, natryskowym lub ręcznie. Naniesiony penetrant musi pozostać na badanej powierzchni przez pewien czas. Długość wnikania zależy od własności penetranta, rodzaju materiału i wad, oczekiwanej wykrywalności oraz temperatury otoczenia [3,6].

Usuwanie nadmiaru penetranta jest konieczne, ponieważ w czasie wywoływania penetrant musi znajdować się tylko wewnątrz wad. W przeciwnym wypadku niemożliwa będzie ocena wyników badania. Jest to pozornie łatwy etap, jednak często sprawia wiele kłopotów. Problemy pojawiają się przy elementach o dużej chropowatości oraz o skomplikowanych kształtach. Niedokładne usunięcie penetranta może znacznie pogorszyć kontrast, natomiast zbyt intensywne usuwanie penetranta może przyczynić się do wypłukania go z nieciągłości co jest znacznie gorsze w skutkach [3].

Naniesienie wywoływacza gwarantuje wyciągnięcie penetranta z nieciągłości (dzięki czemu powstają wskazania) oraz tworzy kontrast ułatwiający interpretację wyników. Po naniesieniu wywoływacza, podobnie jak w przypadku naniesienia penetranta, należy odczekać pewną ilość czasu. Czas wywoływania ustala się doświadczalnie, jednak przyjmuje się, że minimum to połowa czasu nasycania penetrantem. Istotne jest aby trzymać się wyznaczonego czasu wywoływania, zbyt krótki czas oczekiwania może przyczynić się do pominięcia niewielkich nieciągłości. W przypadku zbyt długiego czasu, ze względu na zjawisko pełzania, dochodzi do zniekształcenia wykrywania. Ilość naniesionego wywoływacza także ma znaczenie. Zbyt mała również wpływa na pominięcie mniejszych wad, natomiast zbyt duża może je maskować [3].

Oględziny prowadzi się, w zależności od metody, w świetle białym lub w świetle ultrafioletowym. Oględziny przeprowadza się gołym okiem lub przy wykorzystaniu lupy o powiększeniu 2-10x. Lupę wykorzystuje się do wykrywania drobnych wad [7].

Oczyszczanie końcowe nie ma znaczenia dla przeprowadzanego badania. Prowadzi się je ze względu na dalsze operacje technologiczne lub warunki pracy elementów poddanych badaniu. Polega na usunięciu z powierzchni elementu wywoływacza oraz śladów penetranta. Kiedy wiemy, że niezbędne będzie końcowe oczyszczenie powierzchni, powinno się korzystać z preparatów łatwo zmywalnych, co pozwala zaoszczędzić czas [3].

Wynikiem badania penetracyjnego są tzw. obrazy penetracyjne. W zależności od rodzaju oraz wielkości wady charakteryzują się one różnym nasileniem. Teoretycznie, przy prawidłowo przeprowadzonym badaniu, wszystkie obrazy wskazują nieciągłości lub wady. W praktyce nie wszystkie wady są wykrywane, a niektóre wskazania nie są w rzeczywistości wadami. Takie wskazania zwane są wskazaniami pozornymi, są one efektem niedokładnego przeprowadzenia badania. Rozpoznanie, które wskazania są pozorne, a które uwydatniają wady, jest bardzo ważne i wymaga doświadczenia. W przypadku braku pewności odnośnie danego wskazania powinno się przeprowadzić ponowną kontrolę wybranego obszaru [3].

1.3. Badania magnetyczno-proszkowe

Badania magnetyczno-proszkowe to kolejna metoda badań powierzchniowych. Umożliwia wykrywanie nieciągłości płaskich i wąskoszczelinowych oraz dużych przypowierzchniowych nieciągłości. W tej metodzie konieczne jest magnesowanie badanych obiektów. Muszą to zatem być obiekty wykonane z materiałów ferromagnetycznych np. stali ferrytyczne, staliwa, żeliwa [1].

Pole magnetyczne rozciąga się wokół magnesów stałych, elektromagnesu lub przewodnika, przez który przepływa prąd. Objawia się to poprzez oddziaływanie sił mechanicznych na ciała magnetyczne znajdujące się w obrębie pola. Pole magnetyczne często jest przedstawiane w postaci linii sił pola magnetycznego. Wielkościami opisującymi pole magnetyczne są natężenie pola magnetycznego oraz indukcja magnetyczna [6].

Natężenie pola magnetycznego charakteryzuje oddziaływanie pola magnetycznego. Jeśli przez przewodnik przepływa prąd o natężeniu 1A, to wytwarza on w promieniu r metrów natężenie H [6]:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

Natężenie pola magnetycznego w cewce mierzy się przy pomocy wzoru [6]:

$$H = \frac{I \cdot n}{l}$$

gdzie: I – natężenie prądu, n – ilość zwojów, l – długość cewki

Natężenie pola magnetycznego nie jest zależne od własności materiału [6]. Ilość linii sił pola magnetycznego nazywana jest strumieniem magnetycznym Φ (mierzony w Weberach [$1Wb = 1V \cdot s$]), gęstość strumienia to iloraz strumienia i przekroju przedmiotu (mierzone w teslach) [6].

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

W powietrzu wektor gęstości strumienia B i wektor natężenia pola H mają wspólny kierunek. Ponadto są one do siebie proporcjonalne. Zależność tą opisuje wzór [6]:

$$B = \mu_0 \cdot H$$

gdzie μ_0 – stała proporcjonalności

Stała proporcjonalności nazywa się też przenikalnością magnetyczną. W przypadku materiałów ferromagnetycznych przenikalność magnetyczna względna μ_r jest zależna od natężenia pola magnetycznego. W tabeli 1. przedstawiono wartości przenikalności magnetycznej względnej dla kilku wybranych materiałów [1,6]:

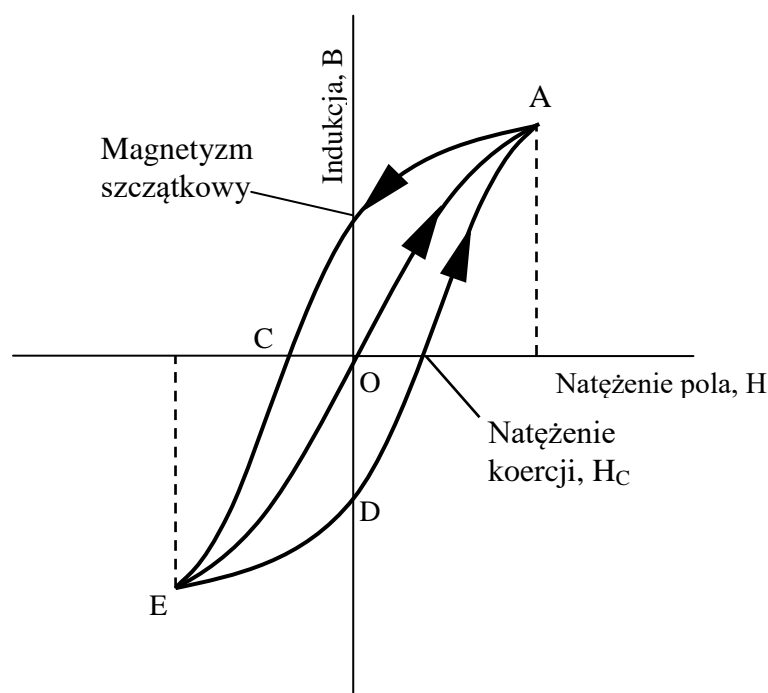
$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Tabela 1. Przenikalność magnetyczna względna dla wybranych materiałów [1]

Table 1. Relative magnetic permeability for selected materials [1]

Materiał	Stal (0,03% C)	Stal (0,99% C)	Żeliwo	Stopy Fe-Ni
μ_r (bezwymiarowa)	~2000	~300	350-1400	$2-6 \cdot 10^3$

Poniżej (rysunek 5.) przedstawiono wykres zależności indukcji magnetycznej B od natężenia pola magnetycznego H . Wykres ten nosi nazwę krzywej magnesowania inaczej zwaną pętlą histerezy magnetycznej. Ukazuje on przebieg magnesowania i rozmagnesowania danego ciała ferromagnetycznego. Pierwszy odcinek (OA) ukazuje zmiany indukcji magnetycznej podczas magnesowania. Punkt A jest punktem osiągnięcia stanu nasycenia. Rozmagnesowanie przebiega zgodnie z krzywą ACE. Dla natężenia $H=0$ zaobserwować można tzw. pozostałość magnetyczną (magnetyzm szczątkowy). Usunięcie jej polega na przyłożeniu pola magnetycznego o kierunku przeciwnym i wielkości H_C (natężenie koercji). Ponowne magnesowanie przebiega zgodnie z krzywą EDA [6].



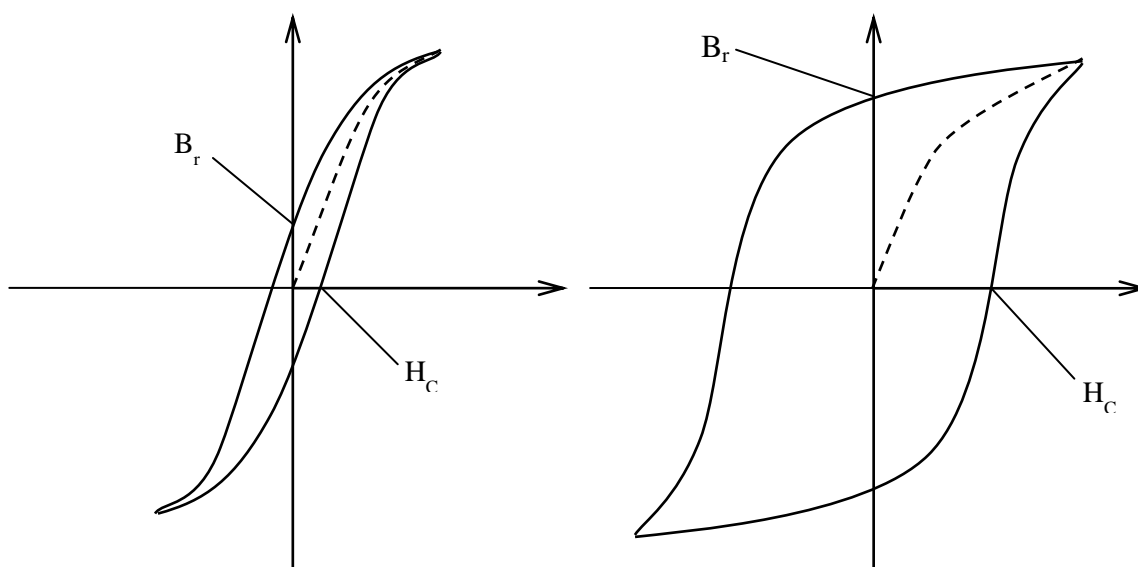
Rysunek 5. Pętla histerezy magnetycznej [6]

Figure 5. Magnetic hysteresis loop [6]

W zależności od kształtu pętli histerezy możemy wyróżnić dwa typy materiałów ferromagnetycznych (rysunek 6.) [1]:

- materiały magnetycznie twarde,
- materiały magnetycznie miękkie.

W tabeli 2. zestawione zostały własności materiałów magnetycznie twardych i miękkich. [1].



Rysunek 6. Pętle histerezy materiałów magnetycznie miękkich i twardych [1]

Figure 6. Hysteresis loops of soft and hard magnetic materials [1]

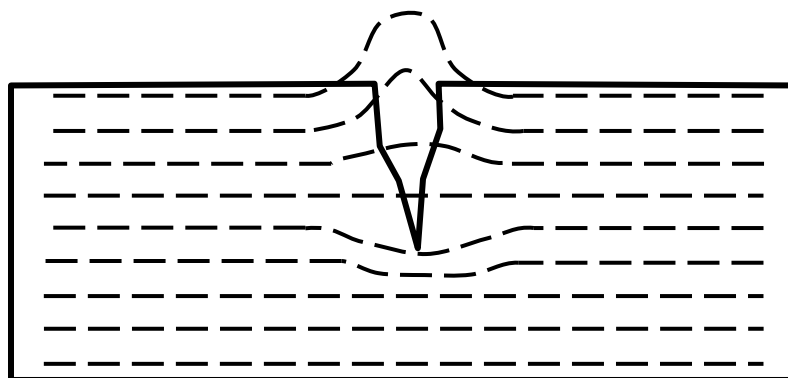
Tabela 2. Zestawienie własności materiałów magnetycznie twardych i miękkich [1]

Table 2. Comparison of properties of hard and soft magnetic materials [1]

Magnetycznie twarde	Magnetycznie miękkie
Pętla histerezy szeroka	Pętla histerezy wąska
Wysokie natężenie pola magnetycznego koercji H_c	Niskie natężenie pola magnetycznego koercji H_c
Nasylenie przy wyższych wartościach natężenia pola	Nasylenie przy niższych wartościach natężenia pola
Wysokie wartości magnetyzmu szczątkowego	Niskie wartości magnetyzmu szczątkowego
Uzyskanie określonej wartości indukcji magnetycznej wymaga wprowadzenia większych natężeń pól magnetycznych niż dla materiałów magnetycznie miękkich	Uzyskanie określonej wartości indukcji magnetycznej wymaga wprowadzenia mniejszych natężeń pól magnetycznych niż dla materiałów magnetycznie twardych
Mniejsza przenikalność magnetyczna	Większa przenikalność magnetyczna
Badania obiektów metodą magnetyczno-proszkową możliwe podczas magnesowania w polu pełnym i szczątkowym	Badania obiektów metodą magnetyczno-proszkową możliwe tylko podczas magnesowania w polu pełnym

Wykrywanie nieciągłości przy wykorzystaniu metody magnetyczno-proszkowej polega na obserwacji oddziaływania sił magnetycznych. Dla przykładu, jeśli natniemy magnes stały, przez który równoległe biegą linie sił pola magnetycznego, to w danym miejscu powstają dwa nowe bieguny N i S. Wokół nich tworzy się pole magnetyczne, którego linie zamykają się przez powietrze. Ze względu na fakt, że

przenikalność magnetyczna powietrza jest dużo mniejsza niż przenikalność magnetyczna żelaza, opór magnetyczny wewnątrz szczeliny znacznie wzrasta. Większość linii pola magnetycznego przejdzie przez pozostały przekrój magnesu, czego efektem będzie ich zagęszczenie. Część z nich przenikać będzie przez szczelinę powietrzną, a najmniejsza część zamknie się ponad magnesem. Dzięki temu po namagnesowaniu obiektu poprzez obserwację pola magnetycznego możliwe jest wykrywanie wad powierzchniowych i podpowierzchniowych. W przypadku metody magnetyczno-proszkowej do ujawnienia pola magnetycznego stosuje się proszki magnetyczne [6].



Rysunek 7. Rozproszone linie pola w miejscu nacięcia [6]

Figure 7. Scattered field lines at the incision site [6]

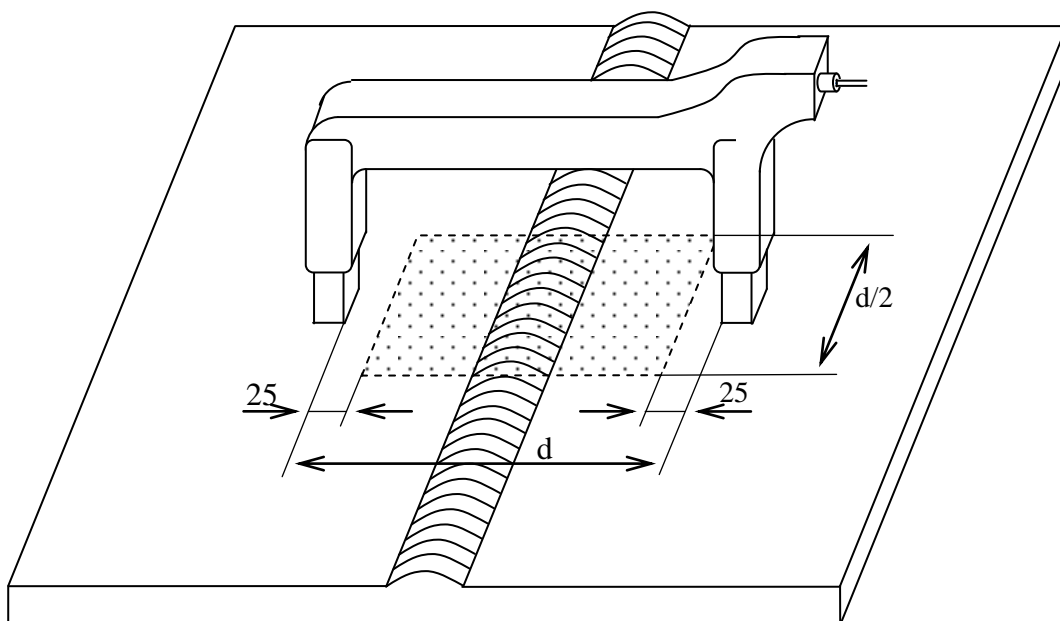
W celu przeprowadzenia badania metodą magnetyczną niezbędne jest magnesowanie obiektów badanych. Główne sposoby przeprowadzania tej operacji [8]:

- Poprzez wprowadzanie pola magnetycznego do obiektów.
- Poprzez przepływ prądu przez badane objekty.
- Kombinowane techniki wzbudzania pola magnetycznego.

Pole, które jest wzbudzone w elementach poddanych badaniu, może być rozciągle lub miejscowe. Pole rozciągle umożliwia badanie całego obiektu, natomiast pole miejscowe umożliwia badanie tylko części obiektu [8].

Jedną z najczęściej stosowanych metod magnesowania badanych obiektów jest magnesowanie przy użyciu elektromagnesów jarzmowych. Cewki takich elektromagnesów są zasilane prądem stałym lub prądem zmiennym. Stosowanie tego typu urządzeń wprowadza do obiektu pole magnetyczne, nie prąd elektryczny. Dzięki temu nie ma ryzyka przypalenia badanych elementów w miejscach styku nabiegunników. Elektromagnesy jarzmowe umożliwiają wykrywanie poprzecznych nieciągłości (w stosunku do linii sił pola). Z tego względu badanie należy przeprowadzić w dwóch kierunkach prostopadłych do siebie (odchylenie od prostopadłości nie powinno przekraczać 30°) [1,9].

Podczas badania z wykorzystaniem elektromagnesów jarzmowych w pobliżu biegunów występuje obszar dużego natężenia pola magnetycznego. W tych miejscach często występuje skupienie cząstek, które mogą przykrywać wskazania. Obszary te nie podlegają badaniu (rysunek 8.) [9].



Rysunek 8. Efektywny obszar badań [9]

Figure 8. Effective test area [9]

Podczas przeprowadzania badania metodą magnetyczno-proszkową wykonuje się następujące czynności [6]:

- wstępne przygotowanie powierzchni (oczyszczenie i odtłuszczenie),
- magnesowanie elementu,
- aplikacja proszku magnetycznego,
- wizualne oględziny wyników,
- oznaczenie wskazań,
- ocena wad,
- odmagnesowanie,
- końcowe oczyszczenie elementu.

Metoda magnetyczno-proszkowa charakteryzuje się tym, że do wykrywania linii pola stosowane są proszki magnetyczne. Istnieją dwa typy proszków magnetycznych [8]:

- proszki suche,
- zawiesiny magnetyczne.

Proszki suche są najczęściej wykorzystywane w przypadku badań dużych obiektów o chropowatej powierzchni. Zawiesiny są korzystniejsze w przypadku powierzchni obrabianych mechanicznie [1].

Proszki w zależności od użytych pigmentów dzieli się na barwne, fluorescencyjne oraz barwno-fluorescencyjne. W przypadku proszków barwnych badanie odbywa się w świetle białym, dla proszków fluorescencyjnych w świetle ultrafioletowym, natomiast dla proszków barwno-fluorescencyjnych możliwe są obserwacje w świetle białym i ultrafioletowym [1].

2. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA

Badanym elementem była płyta spawana doczołowo przy wykorzystaniu metody MAG. Płyta została wykonana ze stali S355JR, spoiwo wykorzystane podczas spawania oznaczone jest symbolem G4Si1 zgodnie z normą PN-EN ISO 14341-A. Typowy skład chemiczny spoiwa to 0,10% C, 1,7% Mn, 1% Si. Skład chemiczny materiału płyty podany jest w tabeli 3. Grubość badanej płyty wynosiła 12 mm.

Tabela 3. Skład chemiczny stali S355JR zgodnie z normą EN 10025-2: 2004

Table 3. Chemical composition of S355JR steel according to EN 10025-2: 2004

Pierwiastek	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
Zaawrtość [%]	0,24	0,55	1,60	max 0,03	max 0,03	max 0,035	max 0,035

Płyta została poddana badaniom metodą penetracyjną oraz magnetyczno-proszkową. Badania były prowadzone w klasie jakości B.

2.1. Badanie penetracyjne

Pierwszym etapem było badanie penetracyjne. Wykorzystuje się je w celu wykrywania nieciągłości powierzchniowych. Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z normą PN-EN 571-1 określającej przebieg i warunki badań penetracyjnych:

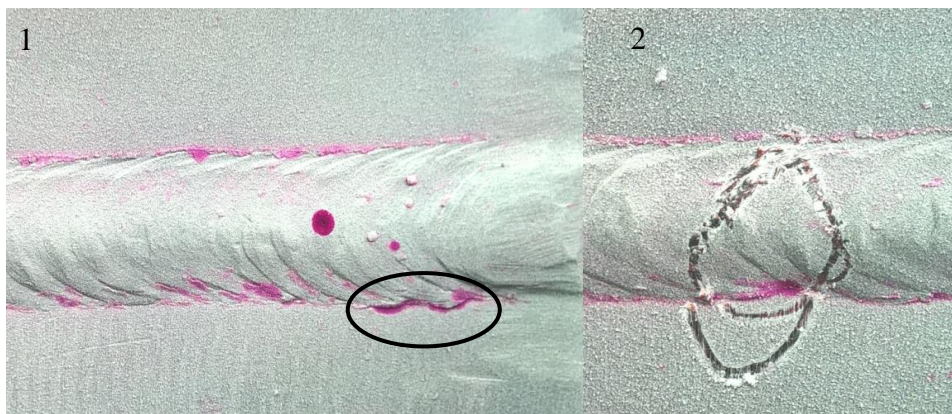
- przygotowanie oraz wstępne oczyszczenie powierzchni,
- naniesienie penetranta,
- oczyszczenie elementu z nadmiaru penetranta,
- naniesienie wywoływacza,
- oględziny wyników,
- czyszczenie końcowe.

Podczas badania penetracyjnego wykorzystano środki firmy pohl&pohl – zmywacz specjalny MR 79, penetrant czerwony fluorescencyjny MR 68 C, wywoływacz MR 70. Pierwszym etapem było dokładne oczyszczenie i odtłuszczenie powierzchni z wykorzystaniem zmywacza specjalnego MR 79. Kolejnym krokiem było naniesienie penetranta na badaną powierzchnię (rysunek 9.). Czas penetracji, zgodnie z zaleceniami normy oraz producenta, wynosił 30 minut. Następnie powierzchnia płyty została oczyszczona z nadmiaru penetranta. Po wykonaniu tej czynności naniesiono wywoływacz. Czas wywoływania wynosił 15 minut.

Wyniki badania w postaci wskazań widoczne są na rysunkach 10. i 11. Ocena wizualna wskazań była prowadzona w świetle białym o natężeniu zgodnym z założeniami normy. Na rysunku 10. punkt 2 widoczne są wskazania świadczące o obecności przyklejeń na brzegach spoiny. Na rysunku 10. punkt 1 także widoczne są przyklejenia (otoczone okręgiem), reszta wskazań na brzegach spoiny to wskazania pozorne, będące efektem niedokładnego oczyszczenia powierzchni. Zgodnie z normą PN-EN ISO 5817 w klasie jakości B przyklejenia nie są dopuszczalne. W środkowej części lica spoiny widoczne jest także bardzo wyraźne wskazanie – por (rysunek 10. punkt 1). Przy grani (rysunek 11.) przyklejenia występują liczniej niż przy licu spoiny. Niektóre ze wskazań to wskazania pozorne (oznaczone okręgiem). Powodem ich występowania jest obecność odprysków. Wynik badania jest negatywny. Nieciągłości uwidocznione w wyniku badania penetracyjnego przekraczają graniczne rozmiary dla klasy jakości B (zgodnie z PN-EN ISO 5817).



Rysunek 9. Płyta po naniesieniu penetranta
Figure 9. Plate after penetrant application



Rysunek 10. Wskazania na licu spoiny
Figure 10. Indications on the weld bead



Rysunek 11. Wskazania na grani spoiny
Figure 11. Indications on the welding root

2.2. Badania magnetyczno-proszkowe

Drugim badaniem przeprowadzonym na płycie było badanie metodą magnetyczno-proszkową. Badanie prowadzono zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1290.

Stal S355JR, z której wytworzona została płyta jest ferromagnetykiem, co umożliwiło przeprowadzenie badania metodą magnetyczno-proszkową

Pierwszy etap badania to oczyszczenie powierzchni. W tym celu wykorzystano zmywacz specjalny MR 79 firmy pohl&pohl. Następnie, aby poprawić kontrast, został naniesiony biały podkład MR 72.

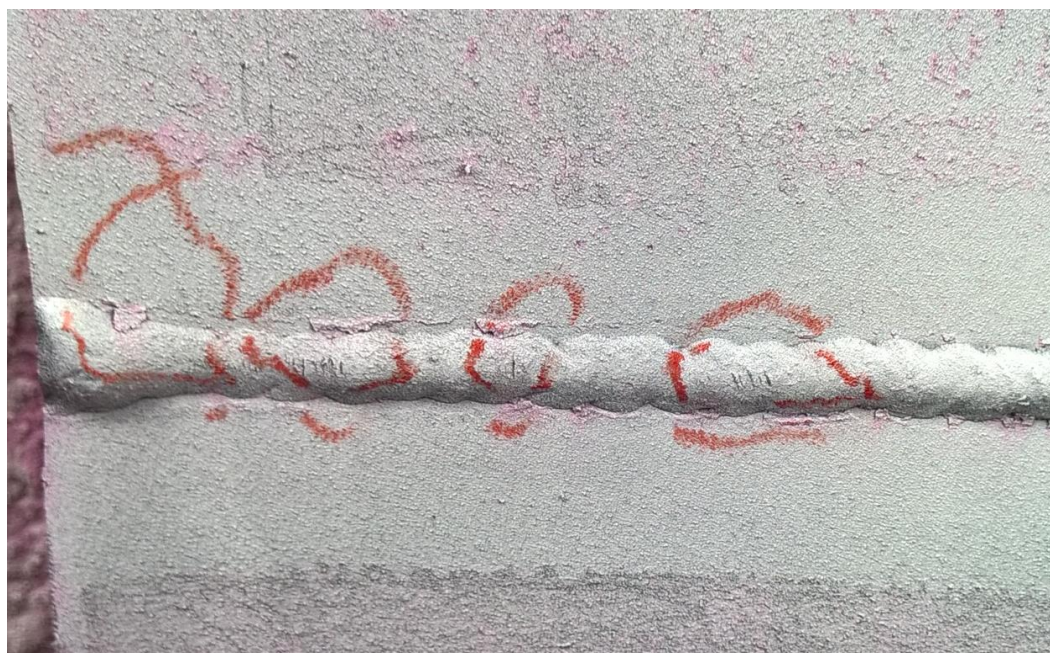
Kolejne etapy badania to magnesowanie obiektu, nanoszenie proszku magnetycznego oraz obserwacja wyników. Prowadzenie tych operacji z reguły prowadzi się jednocześnie, przy czym obserwację wyników można prowadzić również w niedługim czasie po magnesowaniu i naniesieniu proszku. Umożliwiło to rejestrację wyników w postaci zdjęć (rysunki 12, 13.).

Magnesowanie przeprowadzono z wykorzystaniem elektromagnesu jarzmowego MR 51 zasilanego prądem zmiennym. Magnesowanie prowadzone było w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach. Badaniu podlegała spoina na całej długości. Do badania wykorzystany został czarny proszek magnetyczny MR 76 S firmy pohl&pohl.

Po obserwacji wyników należy rozmagnesować element, jednak w przypadku badania prądem przemiennym magnetyzm szczątkowy jest na tyle mały, że norma zezwala na pominięcie tego etapu.

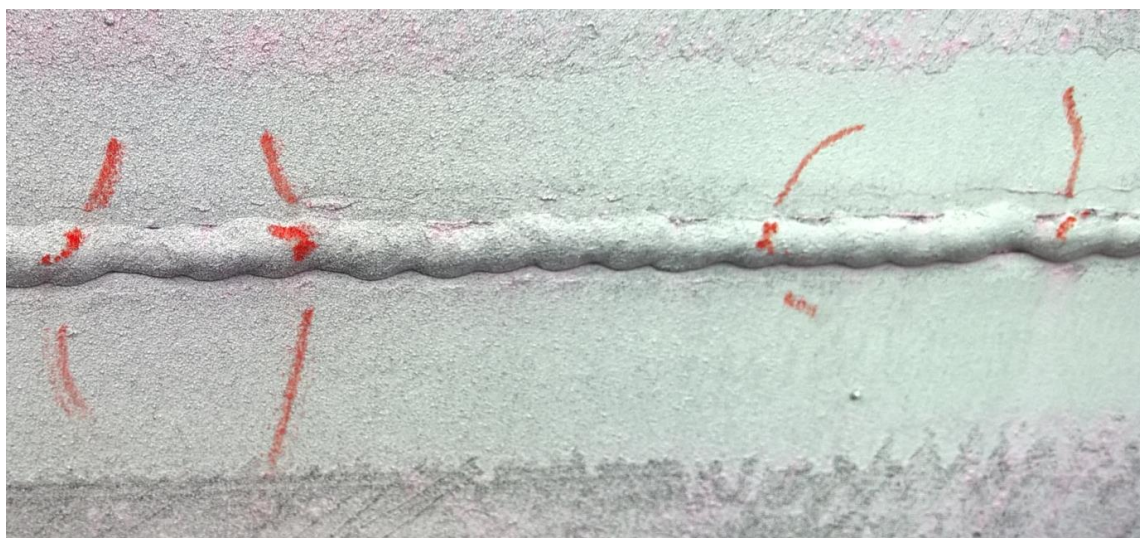
Na rysunku 12. zostały zaznaczone 4 obszary, w których występują pęknięcia poprzeczne. umiejscowione w środkowej części grani. Długość pęknięć mieści się w zakresie 1-3 mm. Zgodnie z normą PN-EN ISO 5817 w klasie jakości B pęknięcia o długości powyżej 0,5 mm są niedopuszczalne.

Rysunek 13. przedstawia kolejne niezgodności – przyklejenia. Występują one przy górnej krawędzi spoiny. Wynik badania metodą magnetyczno-proszkową także jest negatywny. Nieciągłości występujące w złączy przekraczają wymiary dopuszczalne w klasie jakości B.



Rysunek 12. Pęknięcia poprzeczne

Figure 12. Transverse crack



Rysunek 13. Przyklejenia
Figure 13. Lacks of fusion

3. PODSUMOWANIE

Metoda penetracyjna wykazała obecność niezgodności, które świadczą o niepoprawności wykonania złącza spawanego. Zaobserwowano obecność licznych przyklejeń (rysunki 10. i 11.) oraz jeden por (rysunek 10.). Badanie udowadnia też, jak ważne jest poprawne oczyszczenie powierzchni przed przeprowadzeniem próby. Mimo starannego odtłuszczenia i oczyszczania nie uniknięto wskazań pozornych. Ich obecność może być także spowodowana niedokładnym oczyszczeniem powierzchni z nadmiaru penetranta, jednak to także nie jest prosta operacja. Podczas usuwania penetranta należy pamiętać, aby nie dopuścić do wypłukania go ze stref, w które wniknął.

Kolejnym istotnym aspektem badania penetracyjnego jest czas penetracji i wywoływania. Niezbędne jest ściśle dotrzymywanie czasu penetracji, w przeciwnym wypadku niektóre nieciągłości mogą zostać niewykryte. Penetracja może trwać dłużej niż jest to określone w normie lub w specyfikacji penetranta, nie może jednak trwać krócej. W przypadku wywoływania czas oczekiwania nie może być ani zbyt długi, ani zbyt krótki. Przy zbyt krótkim czasie wywoływania część nieciągłości może zostać niewykryta, natomiast przy zbyt długim czasie wyniki zaczynają się zniekształcać.

Należy także pamiętać aby użyć dużej ilości penetranta przy nanoszeniu na badaną powierzchnię, co maksymalizuje szanse wykrycia niezgodności. Jeśli chodzi o nanoszenie wywoływacza należy pamiętać, że spełnia on także funkcję kontrastu. Warstwa wywoływacza musi być odpowiednio gruba, jednak nie na tyle, aby przykrywać wskazania.

Metoda magnetyczno-proszkowa także wykazała obecność niezgodności w spoinie – przyklejenia oraz pęknięcia poprzeczne grani (rysunki 12. i 13.). W przypadku tej metody czystość powierzchni nie jest aż tak istotna. Wpływa na jakość wyników, jednak nie w tak znaczący sposób jak w przypadku metody penetracyjnej. Rolę kontrastu spełniał biały podkład. Istotne jest równomierne pokrycie elementu podkładem, podobnie jak w przypadku wywoływacza w metodzie penetracyjnej, warstwa podkładu nie może być zbyt gruba. Zniekształca to wyniki oraz może przykryć wskazania.

Ważne jest magnesowanie w dwóch prostopadłych kierunkach. Istotnie wpływa to na wykrywalność wad. Jeśli przeprowadzimy badanie metodą magnetyczno-proszkową z magnesowaniem w jednym kierunku to część nieciągłości może zostać niewykryta.

Obserwację wyników często prowadzi się równocześnie z magnesowaniem. Należy wtedy pamiętać o strefach w pobliżu biegunów jarzma, które nie podlegają badaniu.

Można uznać, że metoda penetracyjna i magnetyczno-proszkowa są do siebie zbliżone. Wykrywają te same nieciągłości, chociaż analizując wyniki badań widać, że z inną skutecznością. Obie metody wykazały obecność przyklejeń w tych samych miejscach. W przypadku metody penetracyjnej ich ilość była jednak większa, nie wskazała natomiast pęknięć grani. Dokładność wskazań jest bardzo zbliżona.

W przypadku metody magnetyczno-proszkowej przygotowanie powierzchni do badania jest łatwiejsze i ma mniejszy wpływ na wynik badania. Zdarza się też, że nie jest konieczne czyszczenie końcowe badanych elementów. Metoda penetracyjna charakteryzuje się łatwiejszą dostrzegalnością wskazań. Mimo zastosowania kontrastu w postaci białego podkładu w metodzie magnetycznej wciąż ciężiej dostrzec niezgodności.

Przewagą metody penetracyjnej jest także szersza gama materiałów, które można poddać temu badaniu. Ponadto nie wymaga stosowania żadnych dodatkowych urządzeń. Niezbędnych jest tylko kilka środków – penetrant, zmywacz oraz wywoływacz. Wadę stanowi toksyczność stosowanego penetranta. Proszki magnetyczne są bezpieczniejsze w użyciu.

Porównując czas badania obu metod, należy dojść do wniosku, że obie metody przeprowadza się dość szybko. W przypadku małych powierzchni z pewnością szybsza jest metoda magnetyczno-proszkowa, jednak przy dużych powierzchniach czas badania się wyrównuje. Nakład pracy wykonywanej podczas badania jest nieco większy w przypadku metody magnetyczno-proszkowej.

Ocena wymiarów nieciągłości jest prostsza w przypadku metody magnetycznej. Wywoływacz dość mocna nasiąka penetrantem, co ułatwia lokalizację niezgodności ale utrudnia pomiar. Metoda magnetyczno-proszkowa ma też przewagę w wykrywaniu nieciągłości podpowierzchniowych na głębokość do 2 mm, a w przypadku metody penetracyjnej jest to niemożliwe.

Obie metody charakteryzują się zbliżonymi kosztami prowadzenia badania. Zużywa się podobne ilości środków w obu przypadkach. Prostota także jest ich zaletą.

LITERATURA

1. A. Lewińska-Romicka „Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
2. C. J. Hellier, „Handbook of nondestructive evaluation”, The McGraw-Hill Companies, Nowy Jork, 2002.
3. R. Ostrowski „Defektoskopia penetracyjna”, Instytut Metalurgii Żelaza im St. Staszica, Gliwice 1983.
4. J. Czuchryj, S. Sikora „Badania penetracyjne połączeń spawanych, odlewów i odkuwek”, Wydawnictwo KaBe, Krosno 2008.
5. Poradnik inżyniera: spawalnictwo, t. 1-4, pod red. J. Pilarczyka, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003.
6. Z. Pawłowski „Badania nieniszczące. Poradnik”, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich, Warszawa 1984.

7. PN-EN 571 Badania nieniszczące -- Badania penetracyjne -- Zasady ogólne
8. A. Lewińska-Romicka Badania magnetyczne. Podręcznik, t. II, Biuro Gamma, Warszawa 1998.
9. Norma PN-EN 1290:2000 Badania nieniszczące złączy spawanych - Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych