

Paweł Irek\*, Jacek Słania, Leszek Grolik  
Instytut Spawalnictwa, Zakład Badań Nieniszczących, Gliwice

# Czas wywoływania w badaniach szczelności metodą penetracyjną w aluminium i jego stopach

## Development time in the leak testing by penetrant method in aluminum and its alloys

### ABSTRACT

In the work, leak testing by penetrant method tests were carried out using the AlMg5 aluminum alloy method with plates simulating slits from the above-mentioned material. The tests were aimed at checking the influence of individual factors, such as the fracture depth, the position of penetrant application and the number of applications for developing time. The research was based on the measurement of development time depending on the set factors influencing this process. The dependencies determined allow the estimation of the minimum development time to detect leaks in the penetration method. Information in this field should make it easier to make decisions about the release of a product into service or its repair.

**Keywords:** *imperfection, defect, quality assurances, penetrant testing, leak testing*

### STRESZCZENIE

W wyniku spawania mogą pojawić się nieszczelności, które znacząco obniżają wytrzymałość złączy spawanych, a ich małe rozmiary mogą uniemożliwić ich wykrycie. Z punktu widzenia szczelności połączenia oraz jego trwałości eksploatacyjnej jest to cecha niepożądana. W celu wykrycia nieszczelności stosuje się badania nieniszczące szczelności, wśród których można wyróżnić jedną z najbardziej popularnych metod, a mianowicie badania szczelności metodą penetracyjną. Jest to metoda, która bazuje na metodzie penetracyjnej wykrywającej niezgodności powierzchniowe. Po oczyszczeniu złącza nanosi się w pierwszej kolejności wywoływacz od strony lica spoiny, a po odparowaniu cieczy nośnej należy nanieść penetrant na przeciwległą powierzchnię.

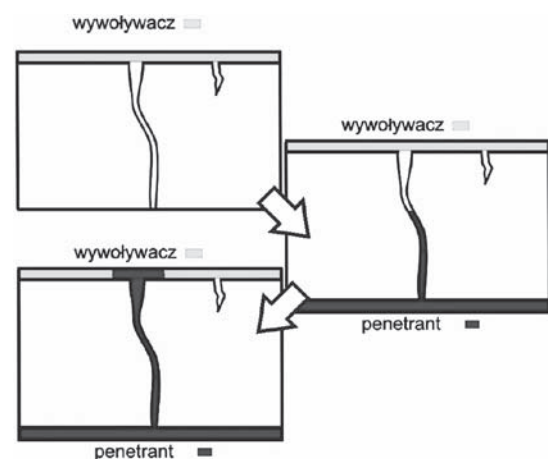
**Słowa kluczowe:** *niezgodność, wada, zapewnienie jakości, badania penetracyjne, badania szczelności*

### 1. Wprowadzenie

W wyniku spawania mogą pojawić się nieszczelności, które znacząco obniżają wytrzymałość złączy spawanych, a ich małe rozmiary mogą uniemożliwić ich wykrycie. Z punktu widzenia szczelności połączenia oraz jego trwałości eksploatacyjnej jest to cecha niepożądana. W celu wykrycia nieszczelności stosuje się badania nieniszczące szczelności, wśród których można wyróżnić jedną z najbardziej popularnych metod, a mianowicie badania szczelności metodą penetracyjną. Jest to metoda, która bazuje na metodzie penetracyjnej wykrywającej niezgodności powierzchniowe. Po oczyszczeniu złącza nanosi się w pierwszej kolejności wywoływacz od strony lica spoiny, a po odparowaniu cieczy nośnej należy nanieść penetrant na przeciwległą powierzchnię (rys. 1).

Metoda ta może ułatwić podejmowanie decyzji o dopuszczeniu badanego wyrobu do wykorzystania lub jego naprawie. Czas wywoływania (czas przejścia penetrantu przez nieszczelność na przeciwległą powierzchnię) w badaniach szczelności metodą penetracyjną jest bardzo zróżnicowany i zależy od rodzaju materiału, grubości złącza, pozycji nanoszenia środka czy też ilości jego aplikacji. W obecnej literaturze naukowo-technicznej brakuje informacji na ten temat, a jedyne informacje to zalecenia normy do badań penetracyjnych PN EN ISO 3452-1, gdzie czas wywoływania ustalono na 10 ÷ 30 minut. Praktyka natomiast pokazuje, iż czas wywoływania w badaniach szczelności metodą penetracyjną może się wahać od kilku sekund do nawet kilkudziesięciu godzin. W niniejszym artykule opisano wpływ

podstawowych parametrów na czas wywoływania w badaniach szczelności przy użyciu techniki barwnej. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem stopu aluminium EN AW-5019 (AlMg5), który współcześnie stanowi jeden z podstawowych materiałów stosowanych na konstrukcje spawane o dużej odporności na korozję [1-10].



Rys. 1. Schemat badań szczelności metodą penetracyjną  
Fig. 1. Scheme of leak testing by the penetration method

### 2. Próbkki do badań

W celu wyznaczenia wpływu parametrów na czas wywoływania w badaniach szczelności złączy spawanych z aluminium i jego stopów metodą penetracji barwnej wykorzystano symulację tych nieciągłości (nieszczelności) w postaci szczelin

\*Autor korespondencyjny. E-mail: pawel.irek@is.gliwice.pl

między blachami, wykonanymi ze stopu aluminium. Próbki przeznaczone do badań miały wymiary 100 x 68 x 6 mm i 100 x 31 x 6 mm. Powierzchnie blach zostały obrabiane mechanicznie i poddano je dokładnemu czyszczeniu, polegającemu na usunięciu pozostałości procesu obróbczego oraz odfuszczeniu powierzchni przeznaczonej do badań w myjce ultradźwiękowej, stosując benzynę ekstrakcyjną i zmywacz rozpuszczalnikowy. Po umyciu blach zastosowano ich suszenie strumieniem powietrza pod ciśnieniem o temperaturze ok. 20°C.

### 3. Przeprowadzone badania i ich wyniki

Badania penetracyjne próbek z zasymulowanymi nieszczelnościami przeprowadzono z zastosowaniem penetracji barwnej, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3452-1. Próbki były umieszczane w urządzeniu wykonanym ze stali S960QL pokazanym na rys. 2 pomiędzy stalowym stołem o grubości 30 mm, a podkładką o grubości 10 mm.



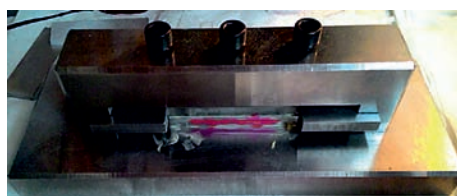
Rys. 2. Przyrząd, na którym były wykonywane badania  
Fig. 2. The apparatus on which the tests were carried out

Tab. 1. Schemat badań  
Tab. 1. Research scheme

Proces numer	Głębokość szczeliny mm	Pozycja nanoszenia penetrantu	Ilość aplikacji penetrantu
1	31	PA	1
2	31	PA	3
3	31	PC	1
4	31	PC	3
5	31	PE	1
6	31	PE	3
7	68	PA	1
8	68	PA	3
9	68	PC	1
10	68	PC	3
11	68	PE	1
12	68	PE	3

Próbki były dociskane za pomocą śrub widocznych na rysunku numer 2 z momentem siły wynoszącym 10 N·m, dociskając tym samym od góry podkładkę. W celu zapewnienia w miarę możliwości równomiernego docisku zastosowano trzy śruby rozmieszczone w równych odstępach oraz zamocowano je w płycie dociskającej o grubości 40 mm, w celu uniknięcia odkształceń podczas docisku. Szczelina, która się utworzyła pomiędzy dociśniętymi do siebie płytkami miała głębokość odpowiednio 68 i 31 mm. Na tak przygotowaną szczelinę nakładano penetrant w pozycji podolnej, naściennej oraz sufitowej. Pozostałe konfiguracje badań to jednorazowa aplikacja penetrantu i 3-krotna w odstępach wynoszących 15 minut oraz różne głębokości szczeliny podczas badania. Schemat badań został

przedstawiony w tablicy numer 1. Pozycje nanoszenia penetrantu podano zgodnie z normą PN-EN ISO 6947. Zakładał on 12 procesów, gdzie dla danej głębokości szczeliny były stosowane różne pozycje nanoszenia penetrantu oraz różna ilość aplikacji. Na rysunku numer 3 przedstawiono sposób nanoszenia penetrantu, który był nanoszony na szczelinę utworzoną pomiędzy blachami symulującymi nieciągłość. Powierzchnie styku płytek z przyrządem zostały zabezpieczone smarem, aby penetrant nie wnikał w te szczeliny dając tym samym fałszywe wskazania, a jedynie w szczelinę utworzoną pomiędzy płytkami z aluminium.



Rys. 3. Widok przyrządu do badań wraz z płytkami symulującymi szczelinę po naniesieniu penetrantu w pozycji naściennej  
Fig. 3. View of the test device with plates simulating the gap after applying the penetrant in the wall position

Tab. 2. Wyniki badań  
Tab. 2. Test results

Proces numer	Głębokość szczeliny, mm	Pozycja nanoszenia penetrantu	Ilość aplikacji penetrantu	Czas po którym pojawiło się wskazanie, godz.
1	31	PA	1	0,05
2	31	PC	1	1,5
3	31	PC	3	0,6
4	31	PE	1	6
5	31	PE	3	1
6	68	PA	1	0,16
7	68	PC	1	9
8	68	PC	3	0,75
9	68	PE	1	18
10	68	PE	3	2

Wyniki badań zestawiono w tablicy numer 2. Każdy proces został powtórzony 3 razy, a wynik to średnia arytmetyczna z trzech prób. Ilość procesów zmniejszyła się z 12 do 10. Wynikło to z faktu, iż przy nanoszeniu penetrantu w pozycji podolnej czas wywoływania był krótszy niż 15 minut, w wyniku czego nie było zasadne nanoszenie kolejnych aplikacji penetrantu, które zgodnie z założeniami były nanoszone w odstępach 15 minut.



Rys. 4. Widok otrzymanego wskazania po jednym z procesów  
Fig. 4. View of the received indication after one of the processes

Na rysunku numer 4 pokazano widok otrzymanego wskazania po jednym z procesów. Wskazania nie mogły pojawić się na brzegach płytek, gdyż mogło to świadczyć o nieprawidłowym przebiegu procesu, a mianowicie przejście penetrantu

po bocznej krawędzi płytek, a nie przez płaszczyzny pomiędzy nimi. Prawidłowy przebieg procesu umożliwił wcześniej wspomniany smar, który nie tylko zabezpieczał czolowe powierzchnie płytek, ale także boczne.

Wśród wyników można zaobserwować, iż czasy wywoływania zależą istotnie od każdego z badanych czynników. W największym stopniu zależą one od pozycji nanoszenia penetrantu, gdzie w pozycji podolnej penetrant najszybciej przechodzi na wskroś przez szczelinę i czas wywoływania wynosi zaledwie kilka do kilkunastu minut. Wynik ten jest zgodny z przypuszczeniami, gdyż w tej pozycji wnikanie penetrantu jest wspomagane siłą grawitacji, która ma ten sam kierunek co wnikający penetrant. W pozycji naściennej czasy wywoływania można już liczyć w godzinach, co świadczy o bardzo dużym wydłużeniu tych czasów i jest spowodowane brakiem dodatniego wpływu siły grawitacji na proces wnikania penetrantu. Najdłuższe czasy wywoływania wystąpiły dla pozycji sufitowej, co jest zrozumiałe, gdyż penetrant musi wnikać na zasadzie kapilarności w głąb szczeliny na przekór sile grawitacji. Czasy wywoływania w tej pozycji sięgnęły nawet 18 godzin i były średnio 7,5 razy dłuższe względem czasów w pozycji naściennej. Kolejnym istotnym czynnikiem, który wpływa na czas wywoływania była ilość aplikacji penetrantu. Wśród wyników można zaobserwować, iż wielokrotna aplikacja penetrantu w każdym z badanych przypadków skraca czas wywoływania. Trzykrotna aplikacja penetrantu w odstępach 15 minut względem jednorazowej aplikacji skraca czas wywoływania średnio siedmiokrotnie. Ostatnim z badanych czynników była głębokość szczeliny, przez którą musiał przeniknąć penetrant. Zgodnie z przypuszczeniami czasy wywoływania okazały się dłuższe dla większej głębokości szczeliny w każdym z badanych procesów. Użyte głębokości do badań stanowią duże wartości, w związku z czym można przypuszczać, iż czasy wywoływania dla elementów o znacznie mniejszej grubości np. 4 mm będą o wiele krótsze i analogicznie czasy wywoływania dla elementów o znacznie większej grubości np. 100 mm będą znacznie dłuższe. Wyniki uzyskane w badaniach świadczą o minimalnych czasach wywoływania, jakie należy zachować przy badaniach szczelności połączeń wykonanych z aluminium. W praktyce czasy te mogą być znacznie dłuższe, gdyż w badaniach blachy były dokładnie obrobione z powierzchnią chropowatości na poziomie 1 Ra. W rzeczywistości nieszczelności stanowią z reguły pęknięcia, których powierzchnia chropowatości mieści się w zakresie od około 1 do 13 Ra. Czym większa chropowatość powierzchni pęknięcia tym czas wywoływania się wydłuża. Kolejny ważny aspekt to geometria nieszczelności, która w badaniach ma charakter prostopadły względem płaszczyzny, na którą jest nanoszony penetrant, a w badaniach praktycznych niekoniecznie. Przebieg rzeczywistego pęknięcia może być prostopadły, ale może także mieć całkowicie inną trajektorię przebiegu.

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania szczelności metodą penetracyjną próbek z powierzchniami symulującymi nieszczelności na wskroś wykazały, że osiągnięto cel podjętej pracy. Wyznaczone zależności umożliwiają oszacowanie minimalnego czasu wywoływania w wyrobach z aluminium i jego stopów w zależności od pozycji nanoszenia penetrantu, jego grubości czy też ilości aplikacji. Informacje z tego zakresu powinny ułatwić podejmowanie

decyzji o długości czasu wywoływania niezbędnego w celu wykrycia nieszczelności. Należy również zauważyć, że w większości przypadków czas wywoływania przekraczał zalecenia normy PN EN ISO 3452-1 wynoszący 10-30 minut, a sięgał nawet 18 godzin. Planuje się kontynuowanie pracy z uwzględnieniem innych materiałów podstawowych wykorzystywanych na konstrukcje spawane.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- 1) Analiza wyników wykonanych badań penetracyjnych wykazuje, że maksymalny czas wywoływania wskazań na powierzchniach z aluminium i jego stopów może wynosić nawet kilkanaście godzin;
- 2) Pozycja nanoszenia penetrantu ma największy wpływ na czas wywoływania, gdzie najkrótsze czasy są dla pozycji podolnej, pośrednie dla pozycji naściennej i najdłuższe czasy wywoływania dla pozycji sufitowej;
- 3) Ilość aplikacji penetrantu znacząco wpływała na czas wywoływania i wraz ze wzrostem ilości aplikacji penetrantu czas wywoływania ulegał skróceniu;
- 4) Głębokość szczeliny poddawanej penetracji ma istotne znaczenie na czas wywoływania, gdzie wraz ze wzrostem głębokości szczeliny czas wywoływania się wydłużał;
- 5) Przeprowadzone metodą penetracji barwnej badania pozwoliły na osiągnięcie celu pracy polegającego na uzyskaniu możliwości oszacowania czasu wywoływania w badaniach szczelności wyrobów z aluminium i jego stopów;
- 6) Praca powinna być kontynuowana z wykorzystaniem innych materiałów podstawowych stosowanych na konstrukcje spawane.

#### 5. Literatura/References

- [1] R. Ostrowski, Defektoskopia penetracyjna, Wydawnictwo IMŻ oraz Resortowego Ośrodka Doskonalenia Kadry, Gliwice – Chorzów, 1983.
- [2] J. Czuchryj, S. Sikora, Podstawy badań penetracyjnych wyrobów przemysłowych, Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2007.
- [3] P. Irek, "Czynniki materiałowe w badaniach penetracyjnych", *Przegl. Spaw.*, vol. 88, no. 2, pp. 41-45, 2016. DOI 10.26628/ps.v88i2.570
- [4] P. Irek, Ł. Rawicki, K. Kaczmarek, "Badania penetracyjne techniką barwną złączy spawanych z aluminium i jego stopów", *Biuletyn IS*, vol. 60, no. 3, pp. 32-38, 2016. DOI 10.17729/ebis.2016.3/2
- [5] P. Irek, J. Ślania, "Material factors in relation to development time in liquid-penetrant inspection. Part 1. Material factors", *Arch. of Met. and Mat.*, vol. 61, no. 2, pp. 509-514, 2016. DOI 10.1515/amm-2016-0089
- [6] P. Irek, K. Kaczmarek, Ł. Rawicki, "Badania penetracyjne techniką barwną złączy spawanych z niklu i jego stopów", *Biul. Inst. Spawalnictwa*, vol. 60, no. 4, pp. 64-70, 2016. DOI 10.17729/ebis.2016.4/7
- [7] P. Irek, J. Ślania, "Material factors in relation to development time in liquid-penetrant inspection. Part 2. Investigation programme and preliminary tests", *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 61, no. 3, pp. 1351-1362, 2016. DOI 10.1515/amm-2016-0276
- [8] J. Czuchryj, P. Irek, "Evaluation of Pore Sizes in Welded Joints Made in Various Constructional Materials on the Basis of Penetrant Testing by Colour Method", *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 62, no. 1, pp. 19-25, 2017. DOI 10.1515/amm-2017-0003
- [9] P. Irek, J. Ślania, "Material Factors in Relation to Development Time in Liquid-Penetrant Inspection. Part 3. Testing of Model Plates", *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 62, no. 1, pp. 41-49, 2017. DOI 10.1515/amm-2017-0006
- [10] P. Irek, Ł. Rawicki, K. Kaczmarek, L. Grolik, "Badania penetracyjne techniką barwną złączy spawanych ze stali konstrukcyjnej", *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, vol. 61, no. 3, pp. 42-47 w papierze, 2017. DOI 10.17729/ebis.2017.3/4