

# Metody nieniszczące w badaniach połączeń spawanych wirnika wentylatora

## Non-destructive methods in the tests on welded joints of the rotor fan

### Streszczenie

W pracy zaprezentowano krótką charakterystykę metod nieniszczących używanych do badań połączeń spawanych. Badaniom poddano wirnik wentylatora WPK 5.0 celem sprawdzenia jego przydatności do dalszej eksploatacji. Płytę czołową oraz łopaty wirnika wykonano ze stali S355. Podczas badań metodą magnetyczno-proszkową wykryto pęknięcia w niektórych złączach spawanych wirnika. Po naprawie pęknięć dokonano ponownie badań nieniszczących metodą ultradźwiękową nie stwierdzając dalszych uszkodzeń wirnika.

**Słowa kluczowe:** badania nieniszczące, złącza spawanie, nieciągłość spoiny

### Abstract

The paper presents a brief description of the methods used for non-destructive testing of welded joints. Rotor fan type WPK 5.0 was examined to verify its suitability for continued service. The front plate and the rotor blades are made of steel S355. During the test cracks by magnetic-particle were detected in some of the welded joints of the rotor. Non-destructive testing (ultrasonic method) was repeated after repairing cracks. This did not confirm further damage to the rotor.

**Keywords:** non-destructive testing, welded joint, discontinuity of weld seam

## Wstęp

W obecnym czasie konstrukcjom i urządzeniom pracującym w przemyśle stawia się niezwykle wysokie wymagania, dotyczące ich trwałości i niezawodności pracy. Do takich urządzeń należą wentylatory pracujące w większości zakładów górniczych wydobywających węgiel kamienny w Polsce. Wentylatory te zabudowane i pracujące w stacjach wentylatorów głównych, przy szybach usuwających zużyte powietrze z wyrobisk górniczych, należą do ważnych urządzeń. Zostały zaprojektowane na wyciąganie zużytego i zanieczyszczonego powietrza z wyrobisk górniczych i zasysanie czystego powietrza o odpowiednim składzie i temperaturze, niezbędnego do bezpiecznej pracy górników oraz urządzeń pracujących głęboko pod ziemią. Dlatego tak istotne jest, żeby praca wentylatorów w stacjach wentylatorów głównych odbywała się możliwie bezawaryjnie.

Obowiązujące przepisy [1] określają m.in.:

- niezbędne prędkości powietrza w szybie i w wyrobisku,
- wytwarzanie określonego podciśnienia statycznego,
- konieczność zabudowy rezerwowego wentylatora,
- czas w przypadku awarii wentylatora, w którym rezerwowo wentylator powinien rozpocząć pracę,
- przerywanie pracy i ewakuację górników w razie awarii wentylatorów trwającej dłużej niż 20 min.

W świetle przepisów, jak i potrzeby bezawaryjnej pracy, przeprowadza się przeglądy wentylatorów. Terminy badań, przeglądów i remontów określa producent w dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR), odpowiednie przepisy i upoważniony rzeczoznawca. Zwyczaj czas między przeglądami wynosi 10 tys. godz. pracy wentylatora.

Upoważniony rzeczoznawca często skraca czas pomiędzy wymaganymi przeglądami okresowymi, gdy

podczas wcześniejszego badania stwierdzono uszkodzenia w elementach wentylatora, które następnie zostały naprawione. Ze względu na wystąpienie uszkodzeń wymaga się kontrolnego badania sprawdzającego i potwierdzającego prawidłowo wykonaną naprawę.

W tego typu urządzeniach często dochodzi do nieprawidłowości związanych z występowaniem wad (pęknięć) eksploatacyjnych złączy spawanych wirnika wentylatora. Do wykrywania i lokalizacji tych wad stosuje się metody nieniszczące, głównie metodę magnetyczno-proszkową oraz ultradźwiękową.

Celem pracy są badania nieniszczące złączy spawanych łopat wirnika wentylatora WPK.

## Metody nieniszczące

Badania nieniszczące pozwalają już na etapie produkcji urządzenia wyeliminować wady, które w wyrobie finalnym mogłyby stanowić zagrożenie dla ludzi lub grozić uszkodzeniem konstrukcji [2]. Metody badań nieniszczących możemy podzielić na metody powierzchniowe i objętościowe.

Do *metod powierzchniowych* zalicza się metody:

- wizualną (VT),
- magnetyczno-proszkową (MT),
- penetracyjną (PT),
- prądów wirowych (ET).

Metoda magnetyczno-proszkowa jest często stosowana w badaniach obiektów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych. Polega na magnesowaniu obiektu pokrytego zawieszoną magnetyczną. W miejscu występowania wady powstaje strumień magnetycznego rozproszenia zawiesziny magnetycznej. Metoda ta pozwala wykrywać nieciągłości położone do 2 mm pod powierzchnią. Przy prawidłowym wykonaniu badania możliwe jest wykrycie wad od ok. 0,3 mm.

Do *metod objętościowych* zalicza się metody:

- radiologiczną (RT),
- ultradźwiękową (UT),
- emisji akustycznej (EA).

Metoda ultradźwiękowa umożliwia, w zależności od stosowanych rodzajów fal, wykrycie nieciągłości zarówno wewnętrznych, jak i powierzchniowych. Polega ona na wprowadzeniu do obiektu badanego wiązki fal ultradźwiękowych, o częstotliwości zazwyczaj 2÷4 MHz, za pomocą skanującej głowicy przyłożonej i przemieszczanej po powierzchni obiektu badanego, a następnie detekcji (wykrywania) sygnałów wywołanych przez wiązkę ultradźwiękową. W metodzie tej można wyróżnić metody: echa, cienia i rezonansu.

Metoda echa ma największe zastosowanie i oparta jest na odbiciu fal od powierzchni i nieciągłości obiektu.

Metoda cienia (przepuszczania) oparta jest na przysyłaniu wiązki fal przez obiekt. W metodzie tej stosuje się dwie głowice ustawione naprzeciwko siebie po obu stronach obiektu, z czego jedna głowica jest nadajnikiem, a druga odbiornikiem.

Metoda rezonansu polega na wytworzeniu w badanym obiekcie fali stojącej, która powstaje w wyniku interferencji fal padających i odbitych, oraz wyznaczeniu maksimum amplitudy tej fali.

## Metodyka badań

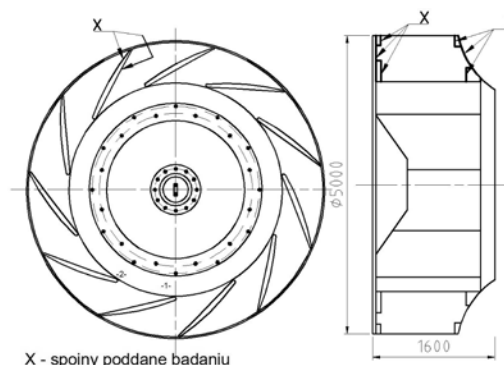
Badaniom nieniszczącym poddano wirnik wentylatora promieniowego kopalnianego WPK 5,0 używanego w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny, zgodnie z normami [3÷10]. Do badań zastosowano metodę magnetyczno-proszkową i ultradźwiękową. Płytę czołową oraz łopaty wirnika wykonano ze stali S355 (18G2A), której właściwości mechaniczne podano w tablicy I.

Na rysunku 1 pokazano schemat badanego wirnika. Parametry techniczne wentylatora przedstawiono w tablicy II. Przed przystąpieniem do badań magnetyczno-proszkowych i ultradźwiękowych zostały określone wymagania dotyczące personelu przeprowadzającego badania [3]. Sposób wykonywania badań realizowano na podstawie obowiązującej metodyki badań i szczegółowej instrukcji.

Tablica I. Właściwości mechaniczne stali S355

Table I. Mechanical properties of S355 steel

Materiał	R <sub>e</sub> , MPa	R <sub>m</sub> , MPa	E, GPa	A <sub>5</sub> , %
S355	368	578	210	30



Rys. 1. Kształt i wymiary wirnika WPK

Fig 1. Shape and dimensions of WPK rotor

Tablica II. Dane techniczne wentylatora WPK

Table II. WPK rotor specifications

Średnia wirnika, mm	Prędkość obrotowa, obr/min	Wydajność, m <sup>3</sup> /s	Spiężenie całkowite, Pa	Sprawność
5000	375	365	4542	0,85

Określono warunki badania i poziomy jakości według norm spawalniczych [4, 5] oznaczone symbolem C, w których opisano dopuszczalne wielkości nieciągłości, takie jak:

- a) spawalnicze powierzchniowe, w których:
  - nie dopuszcza się pęknięć,
  - dopuszcza się występowanie pęcherza powierzchniowego o wymiarze max = 3 mm,

- nie dopuszcza się niepełnego wtopienia (przyklejenia),
- nie dopuszcza się niepełnego przetopienia grani,
  - b) spawalnicze wewnętrzne, w których:
- nie dopuszcza się pęknięć,
- dopuszcza się występowanie pęcherza gazowego o wymiarze maks. 4 mm,
- nie dopuszcza się łańcuchów pęcherzy.

Badania magnetyczno-proszkowe złączy spawanych prowadzono przy użyciu defektoskopu jarzmowego AC 230 z ruchomymi nabiegownikami pokazanymi na rysunku 2, które dopasowuje się do kształtu powierzchni badanego obiektu.



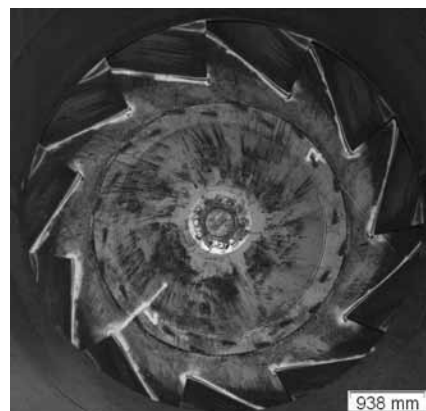
**Rys. 2.** Defektoskop jarzmowy AC 230 do badań MT  
**Fig 2.** AC 230 flow detector for MT testing

Zastosowano metodę barwną, ze środkiem kontrastowym, nanosząc białą farbę na powierzchnię badaną. Następnie na powierzchni badanej rozpyła się czarną zawiesinę magnetyczną przy jednoczesnym magnesowaniu w celu wykrycia wad. Badania prowadzono przy natężeniu oświetlenia min. 500 lx i wartości magnetycznego pola stycznego na powierzchni badanej, wynoszącej 2÷6 kA/m. Spoiny oraz strefa wpływu ciepła (SWC) zostały oczyszczone mechanicznie (za pomocą szlifierki kątovej z wykorzystaniem głowicy drucianej) z powłok lakierniczych, następnie została naniesiona biała, podkładowa farba kontrastowa na obszar badań (rys. 3). Wirnik pokazany na rysunku 3 składa się z 11 łopatek. Pierwsza z nich została oznaczona za pomocą linii z numerem 1, kolejne oznaczano zgodnie z ruchem wskazówek zegara (rys. 3 – łopata 7). Badania złączy spawanych rozpoczęto, magnesując obszar badania w dwóch różnych kierunkach tak, żeby umożliwić ujawnienie nieciągłości (wad) znajdujących się pod różnymi kątami na obiekcie. Pierwszy kierunek to ustawienie defektoskopu pod kątem ok. 45° w stosunku do długości złącza, a drugi pod kątem ok. 90° w stosunku do kierunku pierwszego; magnesując jednocześnie badane miejsce, nanosi się zawiesinę magnetyczną i obserwuje powierzchnię badaną w celu stwierdzenia nieciągłości.

Do badań objętościowych użyto metody ultradźwiękowej (metody echa), która jest często stosowana do badań w warunkach eksploatacyjnych (przemysłowych), gdzie dostęp do obszarów badanych jest utrudniony. W badaniu wykorzystano defektoskop ultradźwiękowy USM 35 wraz z głowicami i wzorcem (rys. 4). W przypadku badania ultradźwiękowego niezbędne jest oczyszczenie obszaru badanego (spoiny i SWC do ok. 25 mm

z każdej strony, tj. lica i grani). W praktyce istnieje potrzeba oczyszczenia większej powierzchni, w zależności od sposobu wprowadzenia wiązki ultradźwiękowej i zastosowanej głowicy. W przypadku głowicy czołowej, w której wiązka ultradźwiękowa wprowadzana jest do obiektu prostopadle, przygotowana powierzchnia obejmuje tylko interesujący nas obszar. Stosując głowicę kątową, wielkość przygotowanej powierzchni określa się kątem wprowadzania wiązki i grubością badanego obiektu. Najczęściej stosuje się głowice o kątach 45, 60 i 75°. Podczas skanowania (badania) złączy spawanych głowicą czołową lub kątową poszukujemy sygnałów odbić wiązki ultradźwiękowej. Przemieszczając głowicę wzdłuż spoiny, dostajemy informację w postaci sygnału o wielkości wady (długości, szerokości), a brak sygnału zwrotnego zwykle świadczy o niewystępowaniu wad. Odbicia te zostają zobrazowane na ekranie defektoskopu w postaci impulsów odbitych sygnałów, o znanej odległości ( $S_a$  na ekranie defektoskopu) od czoła głowicy. Kierunek wprowadzanej wiązki ultradźwiękowej musi przebiegać prostopadle do nieciągłości, ponieważ w innym przypadku nie będziemy mogli jej stwierdzić. Jeżeli głowica zostanie umieszczona obok złącza, dostaniemy odbicie od dna badanego obiektu (grubość badanego materiału np.  $S_a = 20$  mm), które nie będzie wadą.

Niewielkie rozmiary defektoskopu ultradźwiękowego wraz z głowicami umożliwiają bezpieczne i efektywne prowadzenie badań oraz wykrycie nieciągłości znajdujących się wewnątrz obiektu.



**Rys. 3.** Wirnik przygotowany do badań metodą MT  
**Fig 3.** Rotor prepared for MT method testing



**Rys. 4.** Defektoskop ultradźwiękowy USM 35 do badań UT  
**Fig 4.** USM 35 ultrasonic flaw detector for UT testing

## Wyniki badań i ich analiza

Badania magnetyczno-proszkowe obejmowały pachwinowe złącza spawane badane od strony czoła, co pokazano na rysunku 3. W wyniku badań magnetyczno-proszkowych ujawniono szereg istotnych nieciągłości (pęknięć). Na rysunku 5 można zauważyć pęknięcia, które w celu podkreślenia zaznaczono markerem. Podczas badań wszystkie wykryte nieciągłości zlokalizowane były w miejscu łączenia łopat z płytą czołową wirnika. Na rysunku 5 pokazano wykryte, przykładowe, pęknięcia dla łopat wirnika (w tym przypadku nr 1 i 4). Pęknięcie na rysunku 5a znajdowało się w miejscu połączenia materiału rodzimego (płyty czołowej wirnika) ze spoiną złącza spawanego i długość jego wynosi ok. 47 mm. Natomiast na rysunku 5b widoczne są trzy niezależne pęknięcia na brzegu spoiny i w środku spoiny. Maksymalna długość pęknięcia wynosi ok. 95 mm.

Nieciągłości te zostały poddane naprawie. Mechanicznie wycięto pękniętą spoinę, a następnie przygotowano rowek spawalniczy o kształcie 1/2V. W dalszej kolejności wykonano złącze spawaniem łukowym, elektrodą zasadową zgodnie z kartą operacyjną (WPS), w której określono parametry spawania, tzn. liczbę ściągów – 4, średnicę zastosowanej elektrody – 4 mm i odpowiadające im natężenia prądu spawania – 140÷170 A.

Następnie wirnik został ponownie zbadany metodą magnetyczno-proszkową (w szczególności miejsca łączenia łopat), w wyniku czego nie wykryto wad.

Badanie ultradźwiękowe (pachwinowych złączy spawanych wirnika) wykonano za pomocą głowicy czołowej i kątowej, po naprawie wadliwych złączy. Głowica czołowa przyłożona została do zewnętrznej strony płyty czołowej wirnika i przeprowadzono badanie, jak pokazano na rysunku 6a. Wprowadzając wiązkę ultradźwiękową poszukiwano nieciągłości, ułożonych prostopadle do kierunku wprowadzenia wiązki w złącze spawanym. Na rysunku 6b pokazano wynik badania, na którym widoczne są wskazania (odbicia wiązki ultradźwiękowej) pochodzące od grubości blachy czołowej (20 mm), niebędące wadami.

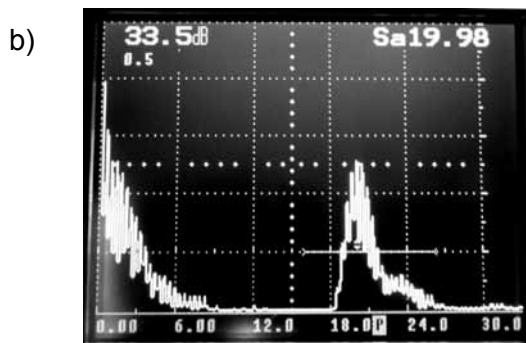
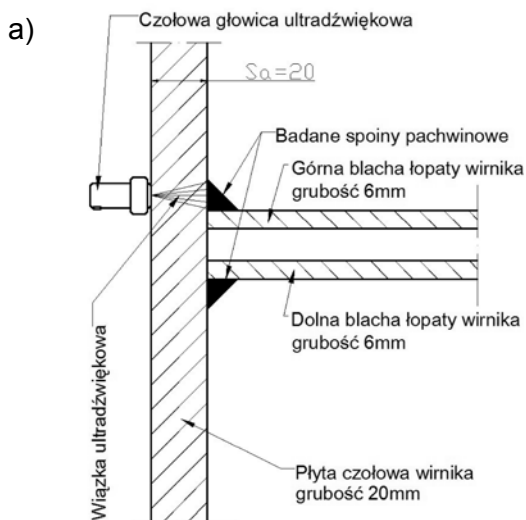
Następnie przeprowadzono badanie przy użyciu głowicy kątowej, przykładanej kolejno do obydwu stron złącza spawanego (rys. 7a – cztery położenia głowicy). Skanowanie wykonywano kolejno dla złączy od strony łopat i płyty czołowej wirnika, co umożliwiała kontrolę złączy spawanych z każdej strony. Na rysunku 7b pokazano wynik badania na ekranie defektoskopu, który wykazuje podobny efekt jak na rysunku 6b, czyli bez wad. Badania złączy spawanych wirnika wentylatora WPK ograniczyło się wyłącznie do lica spoiny, ponieważ grań ze względu na brak dostępu do niej nie została zbadana.

Nie ujawniono istotnych wad, co pozwoliło stwierdzić, że naprawa została wykonana poprawnie.



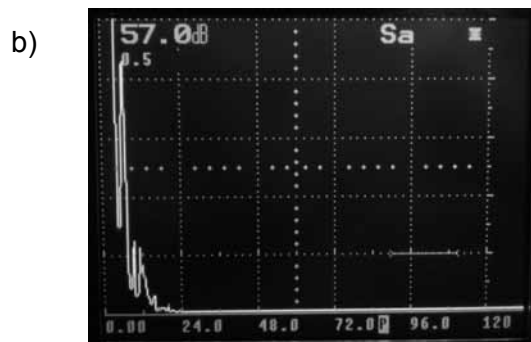
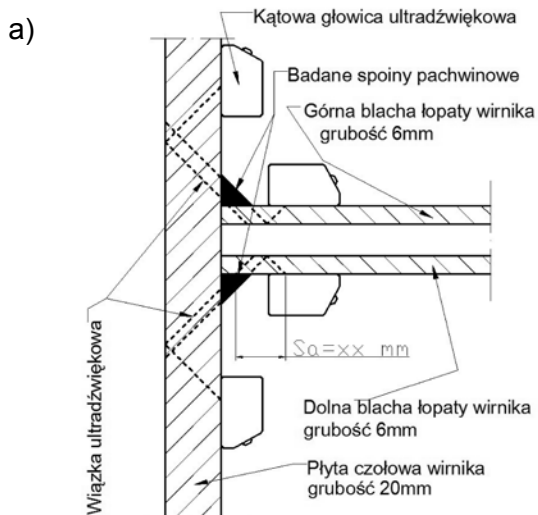
Rys. 5. Miejsca pęknięć łączenia łopat wirnika z płytą czołową: a) nr 1, b) nr 4

Fig. 5. Cracks detected in the rotor blades to the frontal plate connection: a) no. 1, b) no. 4



Rys. 6. Miejsce położenia głowicy czołowej: a) schemat, b) wynik badań

Fig 6. Place of location the frontal head: a) the scheme, b) test results



**Rys. 7.** Miejsce położenia czterech głowic kątowych: a) schemat, b) wynik badań

**Fig 7.** Place of location the four angular heads: a) the scheme, b) test results

## Podsumowanie

Metodę magnetyczno-proszkową zastosowano ze względu na jej dużą skuteczność oraz to, że jest ona szybka i tania w lokalizacji nieciągłości powierzchniowych. Z tego też powodu jest bardzo popularna w badaniach materiałów ferromagnetycznych. Badania magnetyczno-proszkowe pozwoliły wykryć istotne nieciągłości występujące w złączach spawanych wirnika wentylatora, które zostały naprawione i ponownie zbadane.

Badania ultradźwiękowe są znacznie bardziej skomplikowane, wymagają większej staranności przygotowania obiektu badań. Występujące nieciągłości muszą być ułożone prostopadle do wprowadzanej wiązki ultradźwiękowej, aby otrzymać sygnał zwrotny widoczny w postaci impulsów

na ekranie defektoskopu. Podczas ponownych badań naprawionych złączy spawanych wirnika wentylatora nie wykryto istotnych nieciągłości w jego objętości.

Badania nieniszczące, niezależnie od użytych metod, są stosowane w ocenie elementów konstrukcji i urządzeń celem dalszej ich eksploatacji. W ekonomiczny i zarazem szybki sposób pozwalają one wykryć niebezpieczne nieciągłości liniowe.

W zakładach górniczych prowadzi się cykliczne badania pracujących urządzeń, mające na celu wykrywanie i monitorowanie miejsc uszkodzonych oraz przeprowadza się ich naprawę przedłużającą trwałość.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139, poz. 1169, z 2006 r. Nr 124, poz. 863 oraz z 2010 r. Nr 126, poz. 855) w Dziale IV „Przewietrzanie i klimatyzacja” szczegółowo określające warunki pracy, parametry i wymagania stawiane pracującym wentylatorom.
- [2] Lewińska-Romicka A.: Badania nieniszczące, Podstawy defektoskopii, WNT, 2001.
- [3] PN-EN ISO 9712 Badania nieniszczące, Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących, PKN, 2012.
- [4] PN-EN ISO 5817 Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych, PKN, 2009.
- [5] PN-EN ISO 6520-1 Spawanie i procesy pokrewne – Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach, część 1: Spawanie, PKN, 2009.
- [6] PN-EN ISO 17638 Badanie nieniszczące spoin – Badania magnetyczno-proszkowe, PKN, 2010.
- [7] PN-EN ISO 23278 Badanie nieniszczące spoin – Badania magnetyczno-proszkowe spoin – Poziomy akceptacji, PKN, 2010.
- [8] PN-EN ISO 17635 Badania nieniszczące spoin – Zasady ogólne dotyczące metali, PKN, 2010.
- [9] PN-EN ISO 11666 Badanie nieniszczące spoin – Badania ultradźwiękowe złączy spawanych – Poziomy akceptacji, PKN, 2011.
- [10] PN-EN ISO 17640 Badanie nieniszczące spoin – Badania ultradźwiękowe złączy spawanych, PKN, 2011.