

## Zastosowanie metody ultradźwiękowej do oceny stanu złączy spawanych spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej

### Streszczenie

W artykule przedstawiono akredytowaną procedurę badań nieniszczących metodą ultradźwiękową, wykorzystywanych do kontroli jakości elementów maszyn i urządzeń, na etapie ich wytwarzania i użytkowania. Zaprezentowano wyniki badań nieciągłości wewnętrznych złączy spawanych elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, na podstawie których podjęto próbę określenia wpływu obciążenia stosowanego podczas cyklicznych badań zmęczeniowych sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, na jakość złączy spawanych.

### Summary

Accredited procedure for non-destructive tests with use of ultrasonic method to control quality of machines components at the stage of their manufacture is presented. The results of internal discontinuity of welded joints of powered roof support, used to determine the impact of load during load cycles of fatigue test on the quality of welded joints are given.

## 1. Wprowadzenie

Elementy podstawowe sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej wykonywane są za pomocą technik spawalniczych. W celu określenia bezpieczeństwa ich użytkowania prowadzona jest kontrola jakości spoin, zarówno na etapie produkcji, jak również w czasie eksploatacji.

W wymaganiach ofertowych dotyczących zakresu remontu sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, pęknięcia spoin, obok ubytków korozyjnych blach poszycia i tężników, wygięcia sworzni, rozkalibrowania otworów w parach obrotowych oraz deformacji konstrukcji, wymieniane są jako jedno z podstawowych uszkodzeń.

Wyszczególnione uszkodzenia wpływają na wytrzymałość elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej i mogą stanowić przyczynę wypadków, jak w przypadku zdarzeń zaistniałych w KWK „Katowice-Kleofas” i KWK „Zofiówka”, opisanych w Raporcie z oceny bezpieczeństwa pracy w kopalniach węgla kamiennego [13].

Celem identyfikacji uszkodzeń wewnętrznych spoin powstałych w procesie spawania oraz monitorowania występowania wad w czasie eksploatacji maszyn i urządzeń, jak również dla oceny stanów poawaryjnych i poremontowych wykorzystywane są nieniszczące badania metodą ultradźwiękową. Zastosowanie tego nieinwazyjnego narzędzia do wykrywania nieciągłości materiałowych umożliwia wielokrotną ocenę jakości wykonania oraz stopnia zużycia elementu obiektu badań i nie powoduje osłabienia jego parametrów wytrzymałościowych [1÷4, 6, 12, 15, 17].

Badania ultradźwiękowe metodą echa polegają na wykrywaniu wad wewnętrznych przy wykorzystaniu zjawiska odbicia fali przechodzącej przez badany materiał od granicy z drugim ośrodkiem. Na podstawie obserwacji tego zjawiska można wnioskować o występowaniu nieciągłości w materiale. Wynik pomiaru czasu, jaki upływa od chwili wystąpienia fali ultradźwiękowej w głąb badanego materiału, do chwili jej powrotu po odbiciu, stanowi podstawę określenia położenia i wymiaru nieciągłości [1, 5, 7].

W artykule przedstawiono przykład badań ultradźwiękowych złączy spawanych w spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, przeprowadzonych przez akredytowane Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska Instytutu KOMAG w Gliwicach. Zaprezentowano kryteria oceny jakości złączy spawanych, procedurę badań oraz analizę wyników badań w świetle przyjętych wymagań jakości [11, 16]. W niniejszym artykule zaprezentowano również wyniki oceny stanu złączy spawanych, dokonywanej sukcesywnie podczas cyklicznych badań zmęczeniowych sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej.

## 2. Kryteria oceny jakości złączy spawanych

Obowiązek kontroli stanu technicznego złączy spawanych w ramach badania technicznego, którego celem jest ustalenie czy sekcja obudowy zmechanizowanej spełnia warunki techniczne producenta określone w dokumentacji, zawarto w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych

zakładach górniczych [14]. Kontroli podlegają elementy podstawowe sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po jej demontażu, w tym: stropnica, spągnica, osłona odzawałowa i łączniki układu lemniskatowego. Zgodnie z załącznikiem 4 do wyżej wymienionego rozporządzenia nie dopuszcza się pęknięć w spoinach nośnych ww. elementów sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej [14].

W związku z powyższym przyjęto [16], że w przypadku stosowania ultradźwiękowej metody badań złączy spawanych za niedopuszczalne uznaje się wartości wysokości echa fali odbitej większe niż 1,5 mm + 8 dB. Powyższy zapis oznacza, że niedopuszczalna jest nieciągłość, dla której wysokość echa fali odbitej jest o 8 dB większa od wskazania dla referencyjnego otworu płaskodennego o średnicy 1,5 mm.

### 3. Badania ultradźwiękowe

#### 3.1. Obiekt badań

Badania ultradźwiękowe przeprowadzono w ramach cyklicznych badań zmęczeniowych sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej, oceniając stan wytypowanych złączy spawanych spągnicy, po 30, 60 i 100 tysiącach cykli obciążenia, realizowanego z amplitudą obciążenia zewnętrznego stanowiącą 1,12 nominalnego obciążenia statycznego. Po przeanalizowaniu budowy spągnicy do badań wytypowano dziesięć odcinków złączy spawanych o łącznej długości wynoszącej 7,1 m i podstawowych parametrach zestawionych w tabeli 1.

#### 3.2. Cel, zakres i przebieg badań

Celem badań było porównanie wartości parametrów ultradźwiękowych uzyskanych dla złączy spawanych spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej poddanej 30, 60 i 100 tysiącom cykli obciążenia oraz wskazanie złączy, dla których wartość wskazania defektoskopu była większa niż wartość dopuszczalna, określona jako 1,5 mm + 8 dB.

Zakres badań nieniszczących złączy spawanych obejmował identyfikację nieciągłości wewnętrznych podłużnych metodą ultradźwiękową.

Algorytm procedury badań ultradźwiękowych przedstawiono na rysunku 1.

Badania prowadzono w czterech etapach.

W pierwszym przeprowadzono kontrolę wizualną badanych złączy spawanych i przystąpiono do przygotowania powierzchni obiektu badań, po której przesuwano głowicę ultradźwiękową. W celu zapewnienia dobrego i równomiernego przylegania głowicy oraz swobodnego jej przesuwania oczyszczono powierzchnie badanego obszaru poprzez usunięcie powłok ochronnych i zanieczyszczeń, za pomocą miejscowego szlifowania i czyszczenia przy użyciu zmywacza.

Przed przystąpieniem do badań ultradźwiękowych, w etapie drugim, przeprowadzono sprawdzenie aparatury, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12668-3:2003+A1:2006, obejmujące [9]:

Wybrane parametry badanych złączy spawanych w spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej [11, 16]

Tabela 1

Element sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej	Oznaczenie złącza spawanego	Parametry złącza spawanego			
		rodzaj złącza	rodzaj spoiny	długość złącza [mm]	grubość blach połączonych złączem [mm]
Spągnica	S1	kątowe	½ V	1000	25
	S2	doczołowe	V	1000	25
	S3	kątowe	½ V	1000	25
	S4			1000	25
	S5	doczołowe	V	1000	25
	S6	kątowe	½ V	1000	25
	S7			400	25
	S8			150	25
	S9			400	25
	S10			150	25

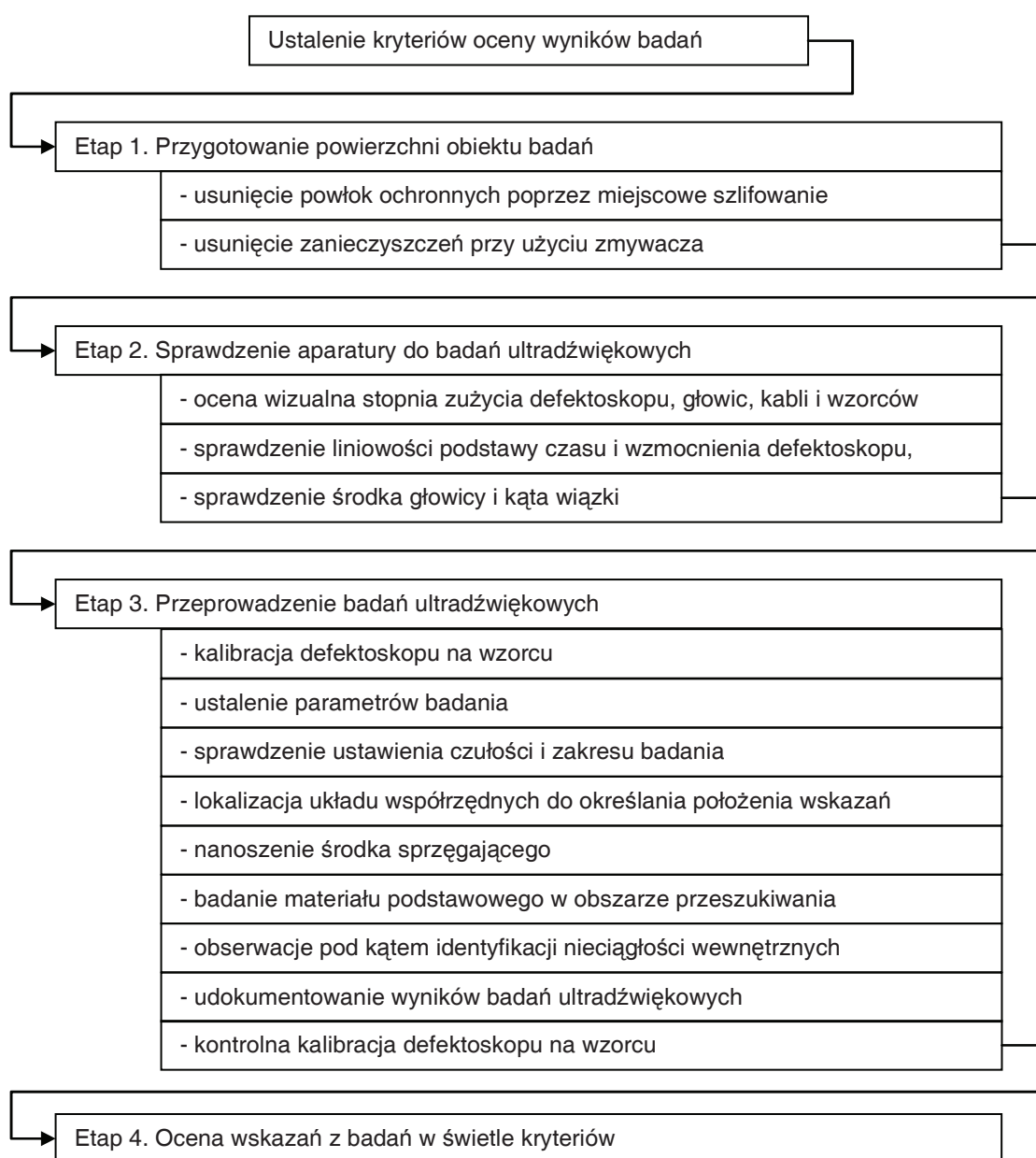
- wizualną kontrolę defektoskopu ultradźwiękowego, głowic, kabli i wzorców pod kątem stwierdzenia czy nie są one uszkodzone lub zużyte,
- sprawdzenie liniowości podstawy czasu i wzmocnienia defektoskopu,
- sprawdzenie środka głowicy i kąta wiązki.

W etapie trzecim przeprowadzono badania ultradźwiękowe techniką impulsową echa.

Na wstępie przeprowadzono kalibrację defektoskopu ultradźwiękowego na wzorcu do badań Nr 2. Następnie, zgodnie z normą PN-EN 1714:2002+A1:2005+A2:2005, ustalono parametry badania - tabela 2.

Sprawdzenie ustawienia czułości i zakresu badania wykonano metodą DGS, w której do oceny wysokości echa reflektorów stosuje się teoretyczne krzywe opisujące zależność odległość – wzmocnienie dla reflektorów tarczowych [8]. W badaniach uwzględniono poprawkę na straty przeniesienia, wynoszącą 4 dB.

Układ współrzędnych prostokątnych do określania położenia wskazań zlokalizowano zgodnie z ustaleniami normy PN-EN 1714:2002+A1:2005+A2:2005 (rys. 2), przy czym oś x jest równoległa do osi podłużnej złącza, a oś z pionowa.

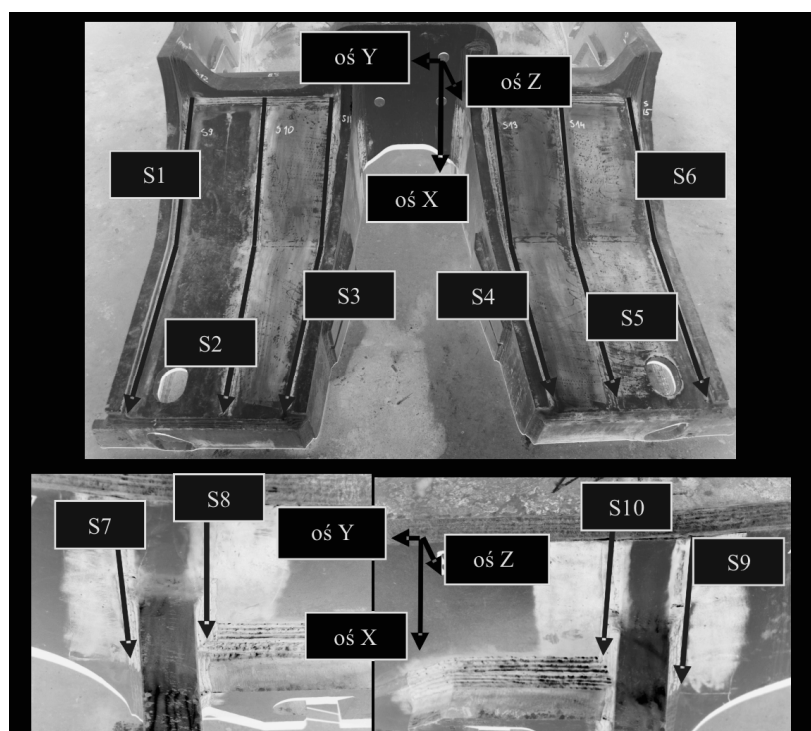


Rys.1. Algorytm procedury badań [8, 10]

**Parametry badania ultradźwiękowego złączy spawanych ustalone według normy  
PN-EN 1714:2002+A1:2005+A2:2005 [11, 16]**

Tabela 2

Nazwa parametru	Wartość parametru
poziom badania	A
zakres badania	100% spoiny
częstotliwość badania	4 Hz
kierunek wprowadzania fal	70 °
ustawienie głowicy	położenie A, przeszukiwanie L
zakres podstawy czasu	0 – 200 mm
poziom odniesienia	1,5 mm
metoda nastawy czułości	2-DGS



Rys.2. Lokalizacja złączy spawanych w spągnicy i przyjętych układów współrzędnych prostokątnych [11, 16]

Przed rozpoczęciem badań na oczyszczonej powierzchni obiektu w obszarze badań naniesiono środek sprzęgający ZG-F, zapewniający przechodzenie drgań emitowanych przez głowicę do badanego materiału. Przeszukiwania rozpoczęto od badań materiału podstawowego, w celu wykrycia w nim ewentualnych wad, np. rozwarstwień, zakłócających wskazania uzyskiwane dla badanych spoin.

Przeszukiwania objętości spoin przeprowadzono ręcznie przy zastosowaniu przesuwu zygzakowego głowicy ultradźwiękowej, zapewniającego skuteczność wykrywania nieciągłości oraz uzyskania informacji o ich lokalizacji i wielkości.

Nieciągłości klasyfikowano zgodnie z kształtem obwiedni:

- niezgodności punktowe określono w przypadku zobrazenia typu A w postaci pojedynczego

ostrego wskazania z amplitudą rosnącą do maksimum i następnie opadającą do 0,

- niezgodności liniowe określano w przypadku zobrazenia typu A w postaci pojedynczego ostrego wskazania z amplitudą rosnącą do maksimum, następnie utrzymującą się bez zmian lub ze zmianami i opadającą do 0.

Długość nieciągłości liniowych określono metodą 6 dB spadku echa.

Uzyskane wyniki udokumentowano w kartach pomiaru oraz oszacowano ich niepewność pomiaru.

Po zakończeniu badań przeprowadzono kontrolną kalibrację defektoskopu ultradźwiękowego na wzorcu do badań Nr 2.

W etapie czwartym dokonano oceny na podstawie badań ultradźwiękowych, w świetle ustalonego kryterium.

### 3.3. Wyniki badań

Badania ultradźwiękowe przeprowadzone dla 10 odcinków złączy spawanych w spągnicy wykazały występowanie:

- jednego wskazania przekraczającego wartość dopuszczalną w złączach spawanych po 30 tysiącach cykli obciążenia,
- trzech wskazań przekraczających wartość dopuszczalną w złączach spawanych po 60 tysiącach cykli obciążenia,
- dziewięciu wskazań przekraczających wartość dopuszczalną w złączach spawanych po 100 tysiącach cykli obciążenia.

Wyniki badań ultradźwiękowych przedstawiono w tabeli 3, a lokalizację zidentyfikowanych nieciągłości złączy spawanych na rysunku 3.

Analizując uzyskane wyniki badań stwierdzono wzrost liczby i długości uszkodzonych złączy spawanych (nr S2 i S5) po 60 i 100 tysiącach cykli obciążenia, w odniesieniu do 30 tysięcy cykli obciążenia. Wraz z rosnącą liczbą cykli obciążenia stwierdzono wzrost wartości przekraczających wartość graniczną, wynoszącą 1,5 mm + 8 dB, od 1 do 9 dla spągnicy po 100 tysiącach cykli obciążenia.

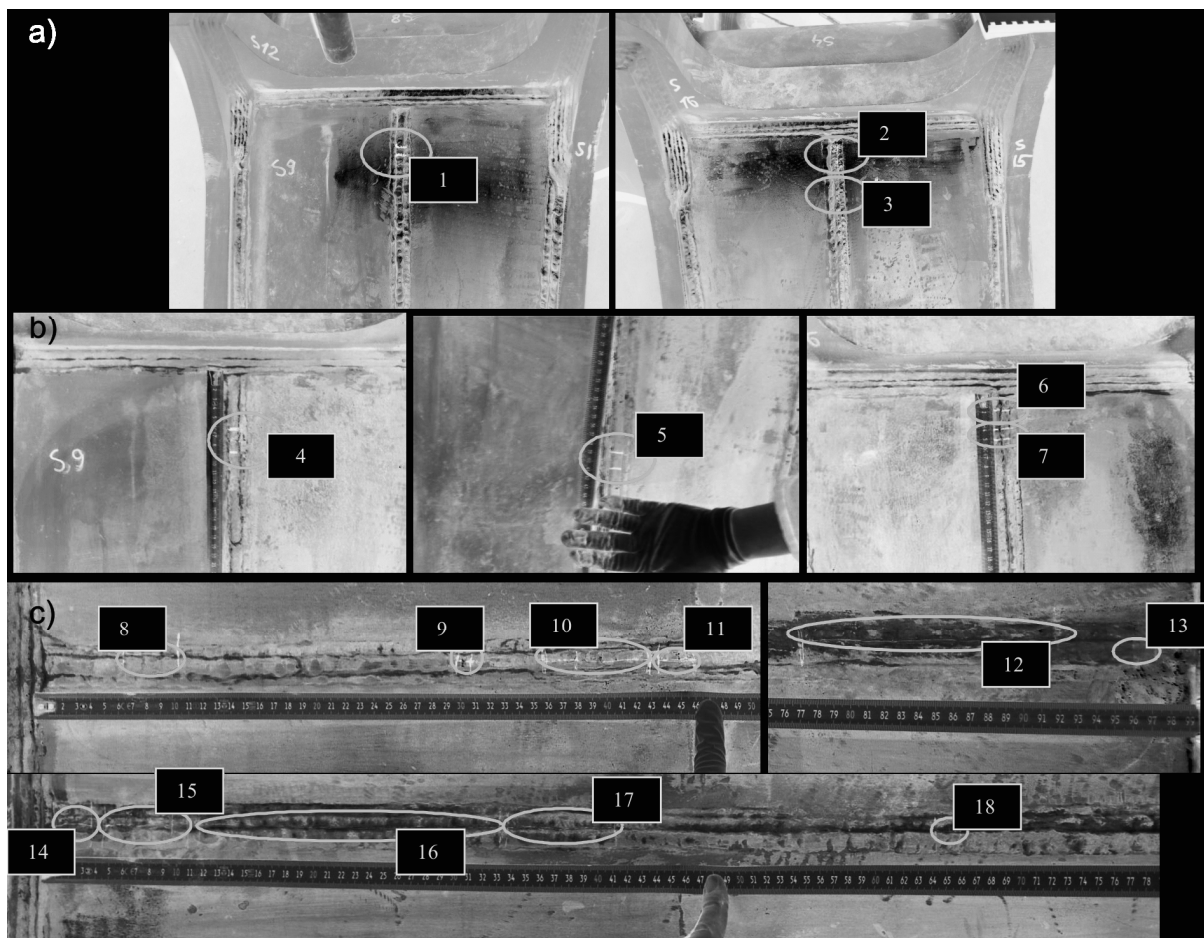
Uszkodzenia wystąpiły w dwóch spośród dziesięciu badanych złączy spawanych, łączących tężniki środkowe z blachami zamykającymi przedniej części spągnicy.

**Wyniki badań ultradźwiękowych złącza spawanego S8 [11, 16], przy poziomie akceptacji do 8 dB**

Tabela 3

Oznaczenie złącza spawanego	Oznaczenie na rysunku	Współrzędne położenia wskazania			Długość wskazania Lx [mm]	Wysokość echa względem poziomu odniesienia $\Delta H$ [dB]	Ocena	Niepewność U [%]
		X [mm]	Y [mm]	Z [mm]				
spągnica sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po 30 tysiącach cykli wytrzymałości zmęczeniowej								
S2	1	60	0	20	15	+10,0	NA	15
S5	2	20	0	22	10	+7,0	A	
	3	40	0	22	10	+6,5	A	
spągnica sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po 60 tysiącach cykli wytrzymałości zmęczeniowej								
S2	4	60	0	22	25	+11,0	NA	15
	5	385	0	24	20	+7,0	A	
S5	6	20	0	23	15	+9,0	NA	
	7	40	0	23	15	+8,5	NA	
spągnica sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po 100 tysiącach cykli wytrzymałości zmęczeniowej								
S2	8	60	0	22	40	+16,0	NA	15
	9	295	10	24	10	+6,0	A	
	10	355	10	24	75	+11,3	NA	
	11	435	10	23	25	+14,0	NA	
	12	770	12	22	150	+10,0	NA	
	13	960	10	21	12	+8,5	NA	
S5	14	0	10	23	35	+14,5	NA	
	15	40	10	23	60	+7,3	A	
	16	115	0	22	115	+9,3	NA	
	17	335	10	23	75	+13,5	NA	
	18	640	-5	23	20	+8,5	NA	

Oznaczenia: A – wskazanie akceptowalne, NA – wskazanie nieakceptowane



Rys.3. Lokalizacja zidentyfikowanych nieciągłości w złączach spawanych [11, 16]: a) złącza spawane spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po 30 tysiącach cykli obciążenia, b) złącza spawane spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po 60 tysiącach cykli obciążenia, c) złącza spawane spągnicy sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej po 100 tysiącach cykli obciążenia

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań potwierdzają przydatność metody ultradźwiękowej do identyfikacji nieciągłości złączy spawanych. Zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. badanie takie należałoby przeprowadzać po zakończeniu całego programu cyklicznego obciążenia zmęczeniowego sekcji.

Analizując przedstawione w pracy wyniki badań wykonanych po poszczególnych etapach cyklicznych prób zmęczeniowych można stwierdzić, że badania metodą ultradźwiękową umożliwiają wskazanie, już po początkowym etapie cyklicznych prób zmęczeniowych, tych odcinków złączy spawanych, które mogą ulec uszkodzeniu w trakcie następnych badań. Ustalenie obiektywnych prekursorów wskazujących na propagację nieciągłości wymaga dalszych badań.

#### Literatura

1. Czuchryj J., Stachurski M.: *Badania nieniszczące w spawalnictwie*, Instytut Spawalnictwa, Gliwice, 2005.
2. Gryniewicz-Bylina B.: *Zastosowanie badań materiałowych nieniszczących do oceny stanu technicznego komponentów sekcji obudowy zmechanizowanej*. *Maszyny Górnicze* 2007 nr 4 s. 14-18.
3. Gryniewicz-Bylina B., Jaszczuk M.: *Badania nieniszczące elementów podstawowych sekcji obudowy zmechanizowanej*. W: *Nowoczesne, niezawodne i bezpieczne systemy mechanizacyjne dla górnictwa*. KOMTECH 2008. Centrum Mechanizacji Górnictwa KOMAG, 2008.
4. Gryniewicz-Bylina B., Rakwicz B.: *Badania materiałowe niezbędnym elementem oceny jakości maszyn i urządzeń górniczych*. W: *Innowacyjne techniki i technologie dla górnictwa. Bezpieczeństwo - Efektywność - Niezawodność*, KOMTECH 2010. Instytut Techniki Górniczej KOMAG, 2010.
5. Karpiński S., Moszumański J., Radwan-Wiatrowski K.: *Laboratorium z podstaw spawalnictwa*, Politechnika Koszalińska, Skrypt Wydziału Mechanicznego, Koszalin 2001.

- 
6. Klimpel A.: Kontrola i zapewnienie jakości w spawalnictwie. Tom 1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
  7. Morawski t.: Podstawy standardowej oceny jakości spoin. W: Krajowa Konferencja badań radiograficznych, Popów 2010.
  8. PN-EN 1714:2002+A1:2005+A2:2005 Badania nieniszczące złączy spawanych - Badanie ultradźwiękowe złączy spawanych.
  9. PN-EN 12668-3:2003+A1:2006 Badania nieniszczące - Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej - Część 3: Aparatura kompletna.
  10. Procedura badawcza PB-DLS/08 „Badania nieniszczące”, wyd. 8. Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska ITG KOMAG, Gliwice 2011, (materiały nie publikowane).
  11. Rakwicz B., Wojtynek R., Gryniewicz-Bylina B.: Weryfikacja kompetencji pracowników Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska w zakresie badań nieniszczących. Instytut Techniki Górniczej, Gliwice 2011 - 2013 (materiały nie publikowane).
  12. Rakwicz B., Wojtynek R.: Ocena stanu złączy spawanych w elementach sekcji ścianowej obudowy zmechanizowanej oraz odkuwek elementów zawiesi za pomocą badań nieniszczących. Maszyny Górnicze 2012, nr 2 s. 13-21.
  13. Raport z oceny bezpieczeństwa pracy w kopalniach węgla kamiennego wydany przez Zespół Koordynacyjny powołany zarządzeniem nr 88 Ministra Gospodarki z dnia 18 grudnia 2006 r., Warszawa, kwiecień 2007 r.
  14. 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. 2002 nr 139, poz. 1169 z późn. zm.
  15. Ślania J., Marcinkiewicz H., Kiełbik M.: Plan spawania elementu obudowy kopalnianej – osłony odzawalowej, Przegląd Spawalnictwa 2012 nr 2.
  16. Sprawozdania z badań nieniszczących Laboratorium Inżynierii Materiałowej i Środowiska. KOMAG, Gliwice 2010 (materiały nie publikowane).
  17. Szymański A.: Kontrola i zapewnienie jakości w spawalnictwie. Tom 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998 r.

*Artykuł wpłynął do redakcji w sierpniu 2013 r.*