

SŁAWOMIR STRASZAK
ARTUR WIKTOR

Osie kół linowych górniczych wyciągów szybowych – trudności i ograniczenia w ocenie stanu technicznego podczas badań eksploatacyjnych

W artykule omówiono trudności i ograniczenia w możliwości oceny stanu technicznego osi kół linowych podczas badań w eksploatacji wynikające z braku dostępu do wielu obszarów powierzchni zewnętrznej osi ze względu na zabudowane łożyska i osadzone koła linowe, jak i wynikające ze skomplikowanego kształtu niektórych typów osi. Podano przykłady eksploatacyjnych uszkodzeń osi i omówiono przyczyny ich powstawania. Dodatkowo przedstawiono informacje dotyczące podstaw prawnych wykonywania badań nieniszczących osi kół linowych w czasie eksploatacji; wymagań technicznych dla osi kół linowych; obszarów krytycznych występujących w osiach; teoretycznych podstaw badań ultradźwiękowych oraz technik prowadzenia badań wraz z najnowszą metodą phased array.

Słowa kluczowe: badania ultradźwiękowe, głowica ultradźwiękowa, nieprawidłowości, osie kół linowych, pęknięcia, trudności i ograniczenia

1. WSTĘP

Okresowe badania osi kół linowych jako elementu wyciągu szybowego, dla którego wymagany jest szczególnie wysoki stopień bezpieczeństwa, prowadzone są w górnictwie węgla kamiennego już od ponad trzydziestu lat.

Do oceny stanu technicznego osi kół linowych stosuje się przede wszystkim badania nieniszczące. Badania te są prowadzone metodami:

- wizualną (VT),
- ultradźwiękową (UT),
- magnetyczno-proszkową (MT).

Nieniszczący charakter badań, tzn. niepowodujący ograniczenia w dalszej przydatności eksploatacyjnej elementu, jego uszkodzenia, jest szczególnie przydatny przy badaniach osi kół linowych.

W trakcie eksploatacji osi w celu uniknięcia konieczności jej demontażu do badań najczęściej stosuje się metodę ultradźwiękową. Jest to metoda dająca w większości przypadków wynik jakościowy, czyli po-

zwalający na uzyskanie informacji co do położenia nieciągłości, przybliżonej jej wielkości, a czasem nawet co do jej rodzaju (pęknięcie eksploatacyjne, wada materiałowa itp.) [1]. Uzyskane wyniki badań mogą stanowić podstawę do oceny przydatności osi do dalszej eksploatacji z wytrzymałościowego i technologicznego punktu widzenia. Systematyczna okresowa kontrola pozwala na wczesne wykrycie ewentualnych wad eksploatacyjnych osi, śledzenie ich rozwoju, czyli tzw. procesu propagacji pęknięć w czasie pracy, przedłużając okres eksploatacji osi. Wykrycie pęknięć eksploatacyjnych w początkowej fazie powstawania oraz monitorowanie ich propagacji daje również odpowiednią ilość czasu potrzebnego do wymiany osi.

W niniejszym artykule skupiono się na trudnościach i ograniczeniach w ocenie stanu technicznego osi podczas badań w czasie eksploatacji, omówiono genezę oraz podstawy prawne badania osi, przedstawiono obowiązujące wymagania jakościowe osi, opisano różne techniki badań ultradźwiękowych oraz nieprawidłowości wykrywane w osiach podczas prowadzenia badań.

2. GENEZA ORAZ PODSTAWY PRAWNE BADAŃ OSI KÓŁ LINOWYCH

W związku z awarią zmęczeniowego pęknięcia osi koła linowego w urządzeniu wyciągowym szybu „Jan Henryk” KWK „Lenin”, która miała miejsce w 1985 r. Departament Górnictwa Węglowego MGİE w piśmie z dnia 1.04.1985 r. znak GW4.11/209/85 i Komunikacie nr 4/85 z dnia 14.05.1985 r. ustalił zakres doraźnych działań profilaktycznych obejmujących:

- nadzwyczajne badania ultradźwiękowe osi kół linowych i ocenę poprawności ich konstrukcji w czynnych urządzeniach wyciągowych,
- obowiązek systematycznych badań nieniszczących osi kół linowych w okresach nie dłuższych niż pięć lat.

Badania, o których mowa wyżej, zlecono Centralnemu Laboratorium Badawczemu KWK „Ziemowit”, protoplaście obecnego CBIĐGP.

Obecnie badania osi kół linowych w zakładach górniczych reguluje pkt 3.12.6.5 Załącznika nr 4 do *Rozporządzenia Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. z późniejszymi zmianami w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych* [2].

W CBIĐGP – ORiP jako jednostce rzeczoznawczej wykonującej między innymi trzyletnie badania kół linowych, sprawę badań osi regulują odpowiednie metodyki badań i instrukcje [3, 4].

3. OBOWIĄZUJĄCE WYMAGANIA DOTYCZĄCE OSI KÓŁ LINOWYCH

Osie kół linowych pracujące w górniczych urządzeniach wyciągowych wykonuje się jako wielostopniowe, podparte w dwóch miejscach, z odkuwek stalowych.

Zgodnie z normą PN-G-46203:1996 „Górnice wyciągi szybowe. Koła linowe kierujące. Wymagania i badania” osie należy wykonywać jako odkuwki swo-

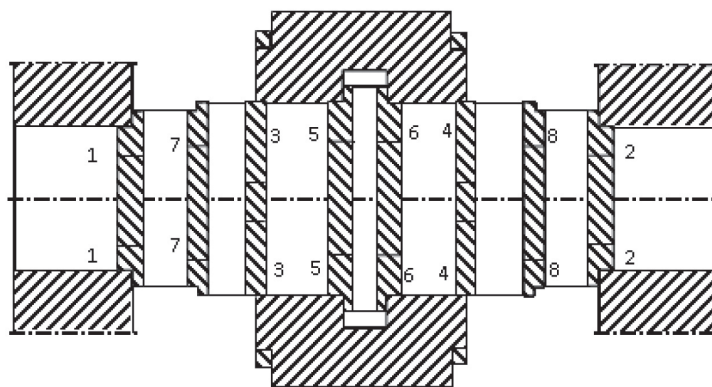
bodnie kute rodzaju A, kategorii RR, ze stali w stanie normalizowanym, w klasie jakości odkuwki nie gorszej niż 3 według BN-86/0601-09: *Stal. Badania nieniszczące wyrobów hutniczych. Badania odkuwek metodą ultradźwiękową* [5]. Aktualnie norma ta została już wycofana i zastąpiona normą PN-EN 10228-3:2016-07, norma wprowadza cztery klasy jakości odkuwki [6]. Generalnie należy założyć, że wymagania co do klasy jakości odkuwki, z której wykonana ma być oś, określa konstruktor, podając, jakiej normy wymagania muszą być spełnione. Określenie klasy jakości odkuwki następuje po badaniu przeprowadzonym metodą ultradźwiękową. Najczęściej w przypadku osi kół linowych stosuje się odkuwki klasy jakości 3 i 4.

W celu uniknięcia działania karbu przejścia między stopniami osi zaokrągla się stosunkowo dużymi promieniami. Wysokość odsadzeń, ze względów wytrzymałościowych, na ogół nie powinna przekraczać $h \leq 0,1d$, gdzie d jest średnicą osi [7]. Obydwa końce osi są swobodne. Osie kół linowych współpracują z łożyskami tocznymi lub ślizgowymi.

4. OBSZARY NIEBEZPIECZNE (KRYTYCZNE) W OSIACH

Osie kół linowych narażone są głównie na obciążenia zginające obustronnie zmienne. W osiach kół linowych występuje nierównomierny rozkład obciążenia. Wynika to z charakteru obciążenia i kształtu osi dostosowanego do współpracy z kołami linowymi. Dlatego można wyodrębnić obszary bardziej podatne na powstawanie pęknięć. Obszary te nazywa się miejscami niebezpiecznymi (krytycznymi) (rys. 1) [7]. W osiach obszary niebezpieczne występują:

- w strefie odsadzenia czopów łożyskowych (1, 2),
- w strefie krawędzi osadzenia koła linowego (3, 4, 5, 6),
- w innych odsadzeniach uwarunkowanych konstrukcją montażową (7, 8).



Rys. 1. Szkic rozmieszczenia obszarów niebezpiecznych w osi koła linowego

Wymiary obszarów niebezpiecznych ustala się stosownie do średnicy osi w strefie obszaru niebezpiecznego. Dla elementów o profilu cylindrycznym wymiar ten wynosi 0,25 wymiaru średnicy [7].

5. TEORETYCZNE PODSTAWY BADAŃ ULTRADŹWIĘKOWYCH

Badania ultradźwiękowe polegają na wykorzystaniu wzajemnego oddziaływania fal ultradźwiękowych i badanego obiektu. Metoda umożliwia wykrywanie nieciągłości zarówno we wnętrzu, jak i na powierzchni badanego elementu.

W badaniach ultradźwiękowych stosowanych jest wiele technik (echa, rezonansu, przepuszczania, *phased array* itp.), jednak najpopularniejsza jest tzw. technika echa, którą stosuje się również do badań osi kół linowych.

Zasada metody echa polega na nadawaniu fal ultradźwiękowych i ich odbiorze po odbiciu od nieciągłości w materiale lub odbiciu od powierzchni granicznych.

Nadawanie impulsów fal ultradźwiękowych odbywa się za pomocą głowicy o określonej częstotliwości i wymiarach przetwornika.

Wytworzona przez głowicę fala ultradźwiękowa rozchodzi się w badanym materiale i odbija od wad, nieciągłości, względnie powierzchni ograniczających badanego przedmiotu. Fala ultradźwiękowa po odbiciu powraca do przetwornika w głowicy i pobudza go do drgań. Drgania te zamieniane są na impulsy elektryczne, które po odpowiedniej obróbce w układzie elektronicznym defektoskopu dają nam na ekranie obraz w postaci piku (echa) [1].

Mierząc czas przejścia fali ultradźwiękowej i znając prędkość rozchodzenia się tej fali w danym materiale, można dokonać lokalizacji wykrytych nieciągłości.

Do badania osi kół linowych stosuje się zazwyczaj pojedyncze i podwójne głowice fal podłużnych oraz głowice skośne, kątowe fal poprzecznych, gdzie fala ultradźwiękowa wprowadzana jest w materiał pod odpowiednim kątem. W zależności od struktury badanego materiału (ziarnistości, tłumienia) najczęściej stosuje się głowice o częstotliwościach od 1 MHz do 4 MHz.

Specyficzną odmianą głowicy skośnej jest głowica fal powierzchniowych. W głowicy tej kąt, pod którym zostaje wprowadzona fala ultradźwiękowa, wynosi 90°. Głowice takie szczególnie przydatne są przy badaniu osi kół linowych współpracujących z łożyskami ślizgowymi, pozwalając na wykrywanie pęknięć lub naderwań w strefie odsadzeń, co w praktyce eliminuje

konieczność stosowania badań metodą magnetyczno-proszkową.

6. TRUDNOŚCI I OGRANICZENIA W PROWADZENIU BADAŃ NIENISZCZĄCYCH OSI KÓŁ LINOWYCH

Do oceny stanu technicznego osi kół linowych stosuje się przede wszystkim metodę ultradźwiękową. Badania ultradźwiękowe osi kół linowych w trakcie eksploatacji można wykonywać tylko w ograniczonym zakresie z uwagi na brak dostępu do całej powierzchni badanej osi, która jest w znacznym stopniu zasłonięta przez osadzone na osi koła oraz łożyska, których demontaż jest w warunkach ruchowych zazwyczaj niemożliwy.

Poza ograniczonym dostępem do wielu fragmentów powierzchni zewnętrznej osi dodatkowymi utrudnieniami w badaniu są nierówności powierzchni (zarysowania, korozja) oraz wadliwość wewnętrzna (wytwórcza, hutnicza – dotyczy osi wyprodukowanych przed wprowadzeniem norm jakościowych).

Diagnostykę stanu technicznego osi metodą ultradźwiękową zawsze poprzedza się wstępnym i oględzinami obiektu w stanie przygotowanym do badań.

W przypadku osi z łożyskami tocznymi będą to odsłonięte obydwie powierzchnie czołowe osi, a dla osi z łożyskami ślizgowymi dodatkowo odsłonięte powierzchnie ślizgowe czopów łożyskowych po zdjęciu górnych pokryw i półpanewek.

Wobec tego można rozróżnić następujące przypadki prowadzenia badania:

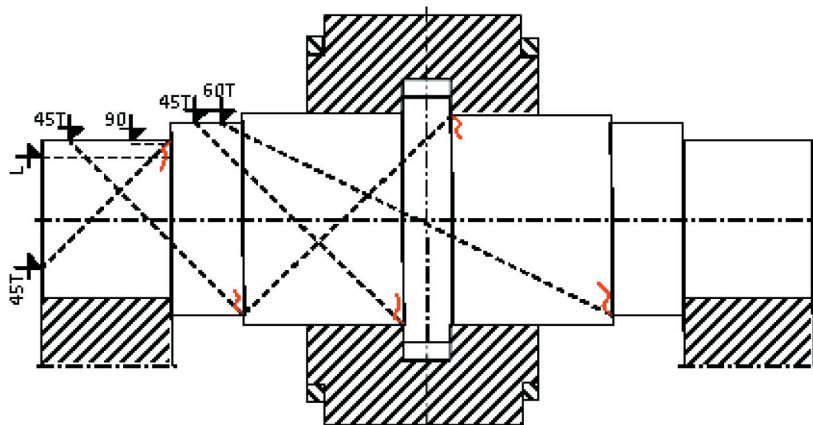
- z obydwu powierzchni czołowych i częściowo z powierzchni bocznej w obszarach czopów łożysk – osie współpracujące z łożyskami ślizgowymi (rys. 2),
- z obydwu powierzchni czołowych przy całkowitym braku dostępu do powierzchni bocznej – osie kół z łożyskami tocznymi.

W przypadku osi z łożyskami ślizgowymi podstawowym badaniem jest kontrola z powierzchni bocznej głowicami fal poprzecznych (T) o kącie załamania 45°, 60° oraz głowicami fal powierzchniowych 90°. Dodatkowo przeprowadza się badanie z obydwu powierzchni czołowych głowicami normalnymi fal podłużnych (L) (rys. 2). W przypadku stwierdzenia ech na ekranie defektoskopu sugerujących występowanie pęknięć w osi wadliwe obszary poddaje się badaniu metodą magnetyczno-proszkową (pod warunkiem, że miejsca ewentualnych pęknięć są widoczne i niezastłonięte elementami konstrukcyjnymi współpracującymi z osią) w celu ostatecznej weryfikacji wskazań.

Badanie osi z łożyskami tocznymi prowadzone jest jedynie z obydwu powierzchni czołowych, w kilku fazach, przy użyciu fal podłużnych i ewentualnie poprzecznych. Początkowo wykonuje się badania głowicami normalnymi o wysokiej energii umożliwiającymi spenetrowanie falami materiału osi na całej długości. W przedniej części osi poszukuje się echa od pęknięć pojawiających się głównie w miejscach zmian przekroju lub pod krawę-

dziami elementów współpracujących (łożyska, piasty kół linowych). W tylnej części osi obserwuje się echa odsadzeń, których obecność ma znaczenie kontrolne.

Następna w razie potrzeby faza to badanie szczegółowe przy zastosowaniu głowic skośnych. Umożliwia to kierowanie wiązki fali ultradźwiękowej w naroże, jakie tworzy hipotetyczne pęknięcie z powierzchnią boczną osi (rys. 2).

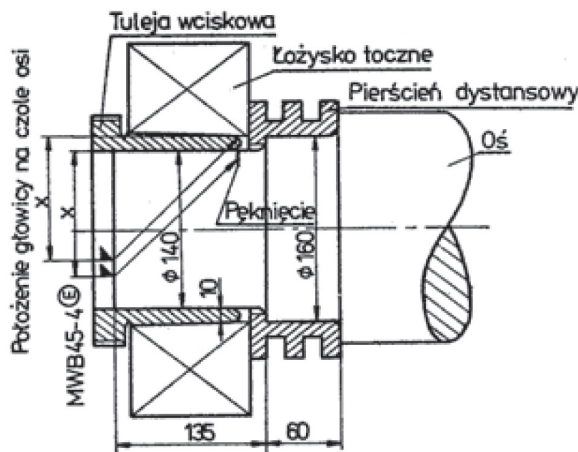


Rys. 2. Badanie ultradźwiękowe osi koła linowego z łożyskami ślizgowymi

W trzecim etapie prowadzone są badania wyjaśniające w celu uniknięcia błędnej interpretacji wyników kontroli. Stosowane są głowice skośne, głównie o kącie załamania 45° .

Jednym z takich przypadków jest rozróżnienie odbić fali ultradźwiękowej pochodzących bądź od krawędzi tulei wciskowej łożyska tocznego, bądź od

pęknięć zmęczeniowych powstających w osi pod tą krawędzią. Wskutek dobrego przylegania tulei do osi oraz wypełnienia szczeliny smarem fale ultradźwiękowe przenikają przez powierzchnię styku między tymi elementami i odbijają się od krawędzi tulei. Miejsce odbicia fal identyfikuje się na podstawie położenia głowicy na powierzchni czołowej osi (rys. 3) [8].



Rys. 3. Rozróżnienie echa krawędzi tulei wciskowej łożyska tocznego od pęknięcia zmęczeniowego osi [8]

Dużym utrudnieniem kontroli ultradźwiękowej osi kół linowych jest znaczne zróżnicowanie ich kształtów i wymiarów (rys. 4 i 5).

Z tego powodu otrzymujemy wiele wskazań pozornych na ekranie defektoskopu. Są to echa:

- związane z układem defektoskop–głowica,
- powstające w wyniku transformacji fal ultradźwiękowych w miejscach odsadzeń, wpustów itp.

W związku z tym jedynie dysponowanie szczegółowymi rysunkami osi i duże doświadczenie kadry badawczej umożliwia prawidłową interpretację wskazań.

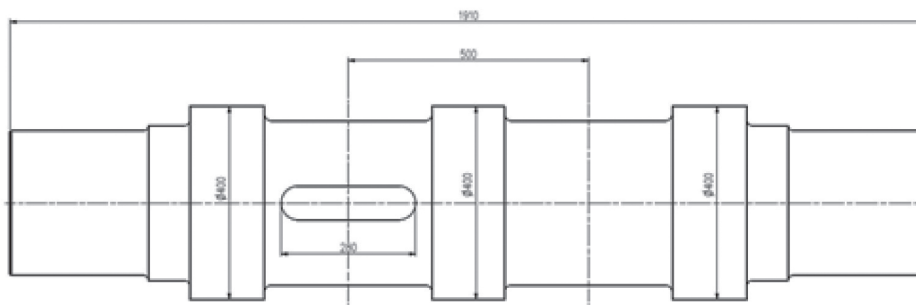
Duże możliwości co do wczesnego wykrycia pęknięć osi kół linowych daje metoda ultradźwiękowa *phased array*. W technice tej stosowane są głowice wieloprzetwornikowe (mozaikowe) sterowane fazowo współpracujące z wielokanałowymi defektoskopami.

Jeżeli podczas badań wykonanych standardowym defektoskopem stwierdzi się podejrzenie występowania pęknięć eksploatacyjnych, uzyskane wyniki można zweryfikować właśnie za pomocą techniki *phased array*.

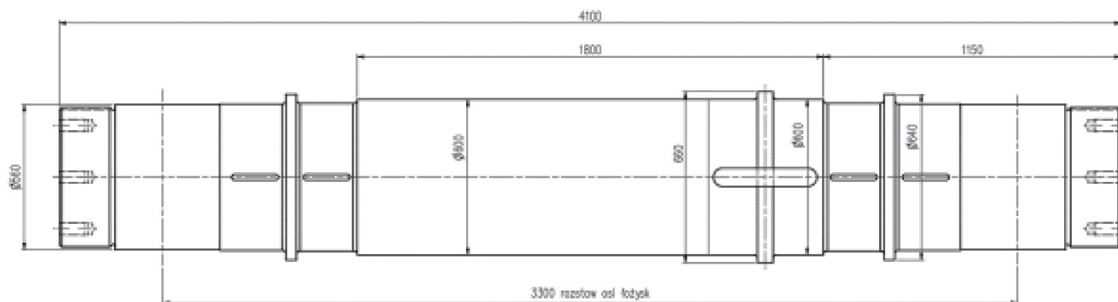
Technika ta w stosunku do metody konwencjonalnej ma przewagę polegającą na tym, że dysponując tylko jedną głowicą, poprzez pobudzenie w odpowiednim czasie poszczególnych przetworników można kształtować wiązkę fali ultradźwiękowej (zmieniać kąty wprowadzenia wiązki oraz ją ogniskować). Dzięki temu można dobrać optymalne kąty wprowadzenia wiązki w stosunku do wykrytej nieciągłości (np. 18°). Podczas badań standardowym defektoskopem musielibyśmy dysponować kilkoma głowicami i wieloma podkładkami kątowymi o różnych nietypowych wartościach kątów.

Zastosowanie techniki *phased array* w przypadku badania osi i wałów:

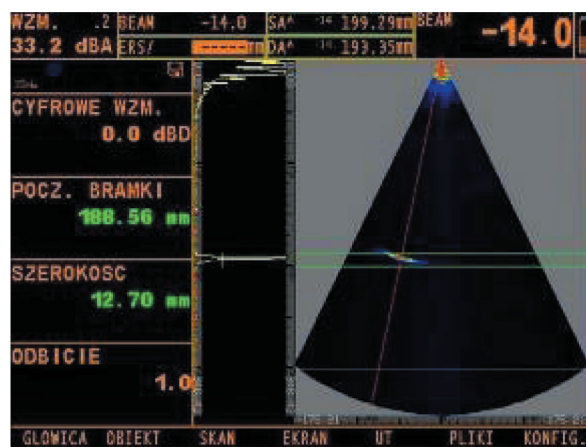
- zwiększa skuteczność badania – umożliwia wykrycie pęknięć eksploatacyjnych w początkowej fazie ich powstawania (skanowanie w pełnym zakresie kątów użytecznych, a nie tylko kilkoma skanami, tak jak ma to miejsce w przypadku zwykłego badania UT),
- umożliwia skrócenie czasu badania – ze względu na mniejszą ilość stosowanych głowic (ustawień defektoskopu),
- ułatwia interpretację wyników (łatwa zmiana kątów wprowadzenia wiązki – można określić, przy jakim kącie mamy największy sygnał od ewentualnego pęknięcia, przedstawienie wskazania np. na S-skanie) (rys. 6).



Rys. 4. Przykład osi kół dwulinowych



Rys. 5. Przykład osi kół czterolinowych



Rys. 6. Zobrazowanie od pęknięcia zmęczeniowego w osi koła jednolinowego uzyskane w technice *phased array* (głowica B2SPA16 – 16-elementowa 2 MHz, $\pm 30^\circ$; maksymalne wskazanie od pęknięcia uzyskano dla kąta wprowadzenia wiązki 14°)

7. WYKRYWANE NIEPRAWIDŁOWOŚCI W OSIACH KÓŁ LINOWYCH

Podczas badań osi kół linowych stwierdza się występowanie wielu nieprawidłowości w stanie technicznym samych osi, węzłów łożyskowych i połączeń piast kół i osi, obniżających trwałość eksploatacyjną osi bądź wręcz wykluczając ich eksploatację.

Metodą ultradźwiękową są wykrywane następujące wady:

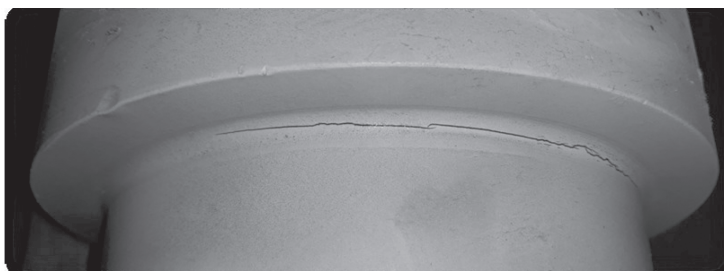
- Pęknięcia zmęczeniowe. Zazwyczaj są one spowodowane nieprawidłowym wykonaniem osi, tzn. zbyt małymi promieniami przejścia pomiędzy kolejnymi odsadzeniami, co przyczynia się do wystąpienia efektu działania karbu w obszarach krytycznych osi, bądź zbyt dużym zestopniowaniem średnic prowadzącym do nadmiernego spiętrzenia naprężeń w tych obszarach. Dotyczy to głównie osi w konstrukcjach dwulinowych (rys. 6 i 7). Czasem inicjatorem pęknięć zmęczeniowych są wżery korozyjne występujące często na styku oś – piasta koła.
- Zbyt duża wadliwość wewnętrzna (tzn. zbyt duża wielkość i nasilenie wad pochodzenia hutniczego) w obszarach niebezpiecznych. Dotyczy to głównie osi starych wyciągów szybowych. Wady te nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla bezpiecznej eksploatacji osi, ale w pewnych sprzyjających okolicznościach (spiętrzenie naprężeń w tych obszarach w wyniku przeciążeń bądź stanów awaryjnych urządzenia wyciągowe) mogą być przyczyną powstawania pęknięć.

Nieprawidłowości stwierdzane podczas badania wizualnego w przypadku osi z łożyskami tocznymi dotyczą raczej samych łożysk i połączenia osi z piastą koła.

Nieprawidłowości dotyczące osi z łożyskami ślizgowymi:

- ostre, głębokie (do ok. 2 mm) obwodowe wgłębienia spowodowane nadmiernym zużyciem panewki dolnej, co skutkuje osiadaniem osi i tarciem jej o obudowę łożyska (rys. 8),
- rysy obwodowe na powierzchni ślizgowej czopów spowodowane dostawaniem się zanieczyszczeń do oleju (rys. 8),
- plamy korozyjne i przytarcia na powierzchni ślizgowej czopów spowodowane nieprawidłowym smarowaniem,
- łagodne, płytkie, obwodowe wytarcia spowodowane uszczelnieniem filcowym korpusów łożysk,
- luźne pierścienie smarujące.

Osie z pęknięciami zmęczeniowymi należy bezwzględnie wymienić na nowe w technicznie możliwie najkrótszym terminie, a do czasu wymiany propagacja pęknięć monitorowana jest badaniami ultradźwiękowymi prowadzonymi w odpowiednio krótkich okresach czasowych. Pozostałe nieprawidłowości wymagają niezwłocznego usunięcia przyczyn ich powstania, a uszkodzenia osi kontrolowane są podczas kolejnych nieniszczących badań okresowych.



Rys. 7. Pęknięcia zmęczeniowe wykryte podczas badania ultradźwiękowego osi koła jednolinowego (na drugim odsadzeniu) – zobrazenie z wykorzystaniem metody magnetyczno-proszkowej (MT)



Rys. 8. Rysy obwodowe na powierzchni czopa łożyskowego osi

8. PODSUMOWANIE

Prawidłowa ocena stanu technicznego osi podczas eksploatacji – pomimo utrudnień i ograniczeń w badaniu osi kół linowych – jest możliwa dzięki odpowiedniemu wyposażeniu badawczemu oraz certyfikowanemu personelowi z wieloletnim doświadczeniem w badaniach ultradźwiękowych.

Wczesne wykrycie pęknięć eksploatacyjnych daje użytkownikowi odpowiedni zapas czasu potrzebny do przygotowania się na wymianę osi przy jednoczesnym zapewnieniu bezpiecznej eksploatacji.

Okresowe badania nieniszczące osi kół linowych z jednej strony zapobiegają powstawaniu stanów awaryjnych, z drugiej zaś przyczyniają się do przedłużenia okresu bezpiecznej eksploatacji kół linowych górniczych wyciągów szybowych.

Literatura

- [1] Pawłowski Z.: *Badania nieniszczące. Metody ultradźwiękowe*. PWN, Warszawa 1976.
- [2] *Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. z późniejszymi zmianami w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych: Załącznik nr 4. Dz.U. 2017, poz. 1118.*

- [3] *Metodyka postępowania rzeczoznawcy ds. badań nieniszczących materiałów i urządzeń górniczych. Instrukcja nr DM/MRS/40. CBiDGP wyd. VII, 25.09.2019 [praca niepublikowana].*
- [4] *Wykonywanie badań defektoskopowych osi kół linowych i odciśkowych, instrukcja techniczna nr DM/MRS/40-2. CBiDGP wyd. VII, 25.09.2019 [praca niepublikowana].*
- [5] PN-G-46203:1996. *Górnice wyciągi szybowe. Koła linowe kierujące. Wymagania i badania*. 24.10.1996.
- [6] PN-EN 10228-3:2016-07. *Badania nieniszczące odkuwek stalowych. Część 3: Badanie ultradźwiękowe odkuwek ze stali ferrytycznych lub martenzytycznych*. 22.07.2016.
- [7] Antoniuk J.: *Maszyny górnicze. Część III. Transport kopalniowy*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
- [8] Skorupa A., Jędrzejczak Z., Hyrnik E., Kucowicz E.: *Badania ultradźwiękowe elementów urządzeń wyciągowych*. Zeszyty Naukowe AGH, 1273. Mechanika, 21, Kraków 1989: 51–60.

mgr inż. SŁAWOMIR STRASZAK

mgr inż. ARTUR WIKTOR

Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego

w Łędzinach

Ośrodek Rzeczoznawstwa i Pomiarów

w Mysłowicach

Ośrodek Rzeczoznawstwa

i Dozoru Urządzeń Górniczych

{a.wiktor; s.straszak}@cbidgp.pl