

Wykrywanie pęknięć zmęczeniowych metodą ultradźwiękową w osiach pojazdów szynowych

Grzegorz Hottowy

W artykule przedstawiono podstawowe zasady diagnostyki ultradźwiękowej osi eksploatowanych zestawów kołowych pojazdów szynowych. Wskazano potencjalne przyczyny powstawania pęknięć zmęczeniowych i uzasadniono potrzebę systematycznego monitorowania stanu osi. Scharakteryzowano pęknięcia osi, które mogą być wykrywane metodą ultradźwiękową. Omówiono metodykę badań, stosowane próbki odniesienia, aparaturę defektoskopową i wzorce. Przedstawiono specjalne oprzyrządowanie ułatwiające prowadzenie badań eksploatacyjnych. Określono wymagane kwalifikacje personelu.



mgr inż.
Grzegorz Hottowy
Przedsiębiorstwo
„Eksplast” Sp. z o.o.
eksplast@xl.wp.pl

Istotnym elementem wyposażenia spółek przewozowych i transportowych oraz zakładów naprawczych jest sprzęt diagnostyczny służący do oceny stanu technicznego taboru szynowego. Badania powinny zapewniać możliwość oceny stopnia i prawidłowości zużycia eksploatacyjnego badanych podzespołów, a także umożliwiać wykrywanie uszkodzeń powstających w trakcie eksploatacji. Systematycznych badań wymagają zwłaszcza podzespoły układów biegowych pojazdów, w tym zestawy kołowe. Okresowe badania nieniszczące, w tym ultradźwiękowe, powinny przede wszystkim zapewnić skuteczne wykrywanie poprzecznych pęknięć zmęczeniowych, które mogą prowadzić do złamań osi i w konsekwencji do wykolejenia pojazdu.

Nie brakuje głosów podważających potrzebę częstych badań eksploatacyjnych, wykonywanych między okresowymi przeglądami i ew. remontami zestawów kołowych. Podstawą takich poglądów jest stosunkowo niska statystyczna awaryjność osi, np. w Wielkiej Brytanii częstotliwość poważnych uszkodzeń osi kolejowych zestawów kołowych ocenia się na 1÷2 w roku (na przestrzeni ostatnich 30 lat), podczas gdy równie niebezpieczne pęknięcia szyn zdarzają się kilkaset razy w roku [2]. Taki stan rzeczy powodował dotąd małe zainteresowanie problematyką badań eksploatacyjnych osi. Dodatkowym argumentem przeciwników badań są kłopoty powodowane przez błędy w montażu maźnic oraz zanieczyszczenia

łożysk, zdarzające się przy okazji badań ultradźwiękowych prowadzonych z powierzchni czołowych czopów osi – nieprawidłowo pracujące łożysko może się zakleszczyć i doprowadzić do ukręcenia czopa osi.

Dla zapewnienia wysokiej niezawodności eksploatacyjnej osi główny nacisk kładzie się na jakość ich wykonania. Zasady projektowania osi są znormalizowane i wciąż doskonalone. Ostatnie aktualizacje norm dotyczących konstrukcji osi zestawów kołowych tocznych (PN EN 13103+A1:2011) i napędowych (PN EN 13104+A1:2011) oraz wymagań dotyczących wyrobu (PN-EN 13261:2011) ukazały się w lutym 2011 roku. Poza zgodnym z normami projektem, wysoką jakość powinny zapewnić: zastosowanie właściwego materiału, ścisłe przestrzeganie założonej technologii wytwarzania we wszystkich fazach produkcji oraz wszechstronne, dokładne badania odbiorowe, w tym badania ultradźwiękowe, które powinny być realizowane zgodnie z normą ISO 5948:1994. Nie dopuszcza się jakichkolwiek korekt kształtu osi, polegających na tulejowaniu, napawaniu lub metalizowaniu. Wymaga się także ścisłego przestrzegania technologii montażu zestawów kołowych w celu uniknięcia ew. uszkodzeń, które mogłyby powstać przy wtłaczaniu kół na oś. Zakłada się, że prawidłowo wykonana i eksploatowana oś powinna być zdolna do pracy wysokocyklowej tj. bez limitowanego przebiegu i czasu eksploatacji. Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych określono w normie PN-EN 15313:2010.

Przekonanie o wysokich parametrach jakościowych osi zestawów kołowych, nie powinno jednak zwalniać z obowiązku systematycznej diagnostyki technicznej, tym bardziej, że nie ma praktycznie możliwości bieżącego monitorowania warunków w jakich zestawy, a więc i osie, są eksploatowane. Ustalanie zasad – przede wszystkim częstotliwości i zakresu – nieniszczących badań eksploatacyjnych pozostaje jak dotąd w gestii użytkowników taboru kolejowego oraz zakładów naprawczych i opiera się na

lokalnych przepisach. W poszczególnych krajach, także o obrębie Unii Europejskiej, istnieją przepisy i akty prawne o różnej randze (czasem funkcjonujące nieformalnie, jak np. polskie normy branżowe), dotyczące zasad bezpiecznego użytkowania taboru kolejowego, w tym prowadzenia ww. badań. Brak jednolitych, międzynarodowych uregulowań prawnych w tym zakresie, w sytuacji gdy przewoźnicy swobodnie przekraczają granice państwowe, powoduje że niejasne stają się zasady i podstawy prawne odpowiedzialności za skutki ew. wypadków czy katastrof spowodowanych nieprawidłową eksploatacją lub niedostateczną diagnostyką techniczną taboru kolejowego.

Punktem zwrotnym w podejściu do nieniszczących badań eksploatacyjnych osi kolejowych zestawów kołowych w Unii Europejskiej stała się katastrofa w Viareggio (północne Włochy), w czerwcu 2009 roku. Pociąg złożony z lokomotywy i 14 cystern wypełnionych płynnym gazem (LPG) wykoleił się wskutek pęknięcia i złamania osi zestawu kołowego pierwszej cysterny w składzie. Wybuch gazu spowodował ofiary wśród osób postronnych: 32 ofiary śmiertelne i 27 rannych. Pożar okolicznych budynków wywołany katastrofą, spowodował duże straty materialne. Do wypadku doszło, mimo że wagony cysterny służące do przewozu materiałów niebezpiecznych są objęte specjalnym nadzorem technicznym, a wykolejona cysterna przeszła na początku 2009 roku remont połączony z wymianą dwóch zestawów kołowych. Przyczyną złamania osi było wcześniejsze, noszące ślady korozji pęknięcie, które przed katastrofą osiągnęło powierzchnię przekraczającą 50% przekroju poprzecznego osi [3].

W związku z katastrofą w Viareggio, Europejska Agencja Kolejowa i Komisja Europejska zobowiązały krajowe władze bezpieczeństwa (National Safety Authority – NSA) państw członkowskich UE do przeprowadzenia identyfikacji potencjalnych zagrożeń o podobnym charakterze oraz podjęcia odpowiednich działań prewencyjnych.

W październiku 2009 roku Prezes Urzędu Transportu Kolejowego (UTK) skierował do instytucji eksploatujących pojazdy kolejowe i do zakładów naprawczych taboru kolejowego pismo [3], w którym zalecił m.in.:

- zweryfikowanie stanu własnych możliwości diagnostyki eksploatowanego taboru kolejowego oraz procedur gwarantujących właściwą ocenę zgodności posiadanego taboru z wymaganymi standardami (...),
- informowanie o sposobie zapewnienia ciągłości łańcucha odpowiedzialności w trakcie napraw pojazdów kolejowych (...), w tym o sposobie zapewnienia właściwych odbiorów, z uwzględnieniem kompetencji osób i dokumentacji w tym zakresie.

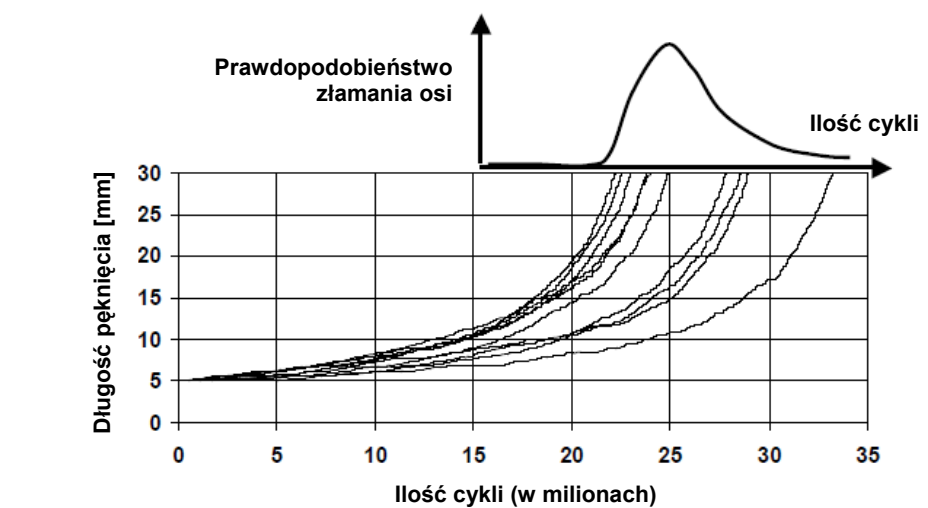
Zalecenia Prezesa UTK należy odczytywać jako wezwanie do porządkowania przepisów i działań związanych z utrzymaniem i diagnostyką taboru, ze szczególnym uwzględnieniem kontroli stanu osi, w tym eksploatacyjnych badań nieniszczących.

Pożądane jest m.in. ujednolicenie podstawowych zasad diagnostyki defektoskopowej osi w Polsce. Należy przy tym dążyć do zwiększenia skuteczności kontroli, zaktualizowania metodyki, technologii i instrukcji badań, uzupełnienia i unowocześnienia wyposażenia technicznego. Konieczne jest także podnoszenie kwalifikacji personelu badań nieniszczących, w tym prowadzenie szkoleń i certyfikacji wg zasad określonych w odpowiednich normach.

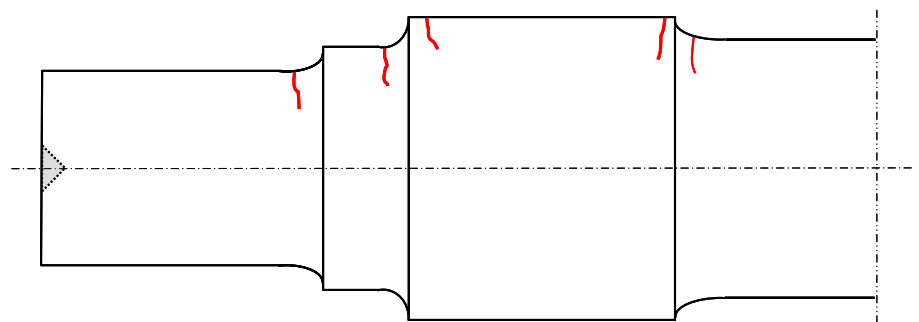
Przyczyny powstawania pęknięć zmęczeniowych osi

Obciążenia eksploatacyjne mają charakter zmienny (cykliczny) i działają wielokierunkowo, wywołując momenty sił zginające i skręcające oś. Podstawowe obciążenia osi to nacisk pojazdu, siły bezwładności pojazdu przy hamowaniu (ew. przy przyspieszaniu), siły odśrodkowe na zakrętach i zwrotnicach oraz momenty sił wywoływane przez aktywne elementy układów hamulcowych i napędowych. Sposoby obliczania rozkładu naprężeń eksploatacyjnych są opisane w normach PN EN 13103+A1:2011 i PN EN 13104+A1:2011 i wykorzystywane przy projektowaniu osi. Szczegółowe informacje na temat rozkładu naprężeń w podzespołach układów biegowych, w tym w konkretnych typach osi zestawów kołowych, można uzyskać w Instytucie Pojazdów Szynowych "TABOR" w Poznaniu – jednostce badawczo-rozwojowej kompleksowo realizującej prace związane z projektowaniem, konstruowaniem oraz badaniami pojazdów szynowych.

Teoretyczna zdolność osi zestawu kołowego do pracy wysokocyklowej opiera się na założeniu, że w czasie eksploatacji nie są przekraczane dopuszczalne projektowe ob-



1. Przykład prognozy rozwoju pęknięcia i prawdopodobieństwa złamania osi w funkcji ilości cykli obciążeń [2]



2. Usytuowanie najczęściej występujących pęknięć zmęczeniowych w osi zestawu kołowego [1]

ciążenia, a kształt osi i stan powierzchni nie ulegają istotnym zmianom. Nieprzewidziane przeciążenia osi oraz mechaniczne lub korozyjne uszkodzenia powierzchni mogą powodować inicjowanie pęknięć zmęczeniowych. Szczególnie niebezpieczne pęknięcia poprzeczne powstają przede wszystkim w miejscach koncentracji naprężeń i zmian przekroju wzdłużnego osi.

W osiach występują także stałe naprężenia technologiczne, np. naprężenia rozciągające, powstające w czasie włączania kół, działające wzdłuż tworzącej podpięcia, osięgające największe wartości po stronie środkowej części osi. Naprężenia technologiczne również mogą się przyczyniać do inicjowania pęknięć zmęczeniowych [1] tym bardziej, że mogą im towarzyszyć uszkodzenia powierzchni spowodowane nieprawidłowym montażem nowego lub remontowanego zestawu kołowego.

Pęknięcia zmęczeniowe rozwijają się stopniowo i zanim doprowadzą do złamania osi, osięgają głębokość od kilkunastu do kilkadziesiąt milimetrów. Prognozowany rozwój pęknięcia w danym przekroju osi jest podstawą do określenia minimalnej głębokości pęknięcia h_{min} , przy której pęknięcie powinno być wykryte w czasie badania ultradźwiękowego oraz do wyznaczenia odstępu czasu (przebiegu) między kolejnymi badaniami – można np.

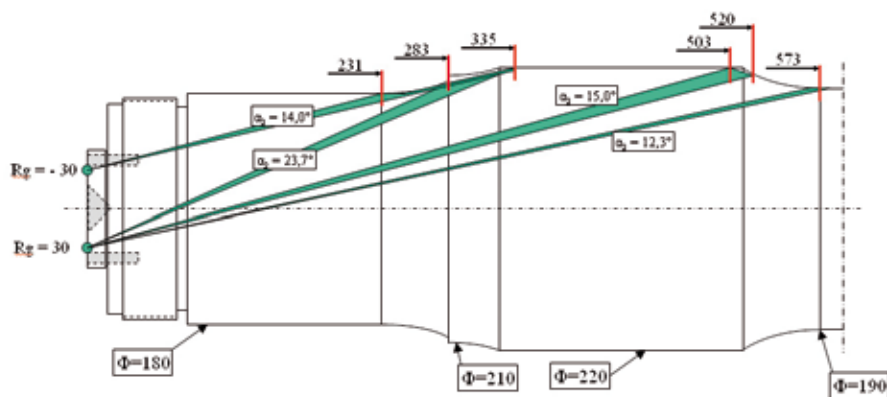
założyć, że odstęp ten powinien odpowiadać 1/3 czasu rozwoju pęknięcia od h_{min} do głębokości krytycznej (grożącej złamaniem osi). Przykład teoretycznej prognozy rozwoju pęknięcia i prawdopodobieństwa złamania konkretnej osi, w funkcji ilości cykli założonych obciążeń, przedstawia rysunek 1 [2].

Charakterystyka poszukiwanych nieciągłości

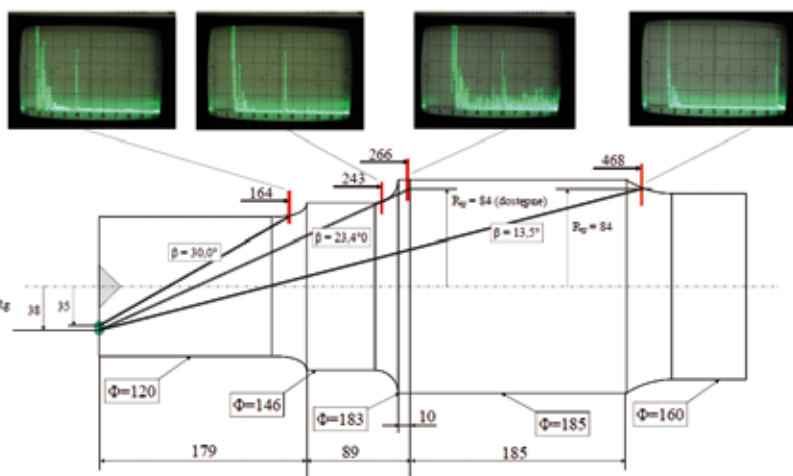
Badanie metodą ultradźwiękową eksploatowanych osi zestawów kołowych ma na celu wykrywanie poprzecznych pęknięć zmęczeniowych o następujących cechach:

- kierunek pęknięcia: najczęściej prostopadły do osi geometrycznej osi,
- kształt: płaski lub sferyczny (o dużym promieniu)
- typ nieciągłości: naroże = powierzchnia pęknięcia + boczna powierzchnia osi

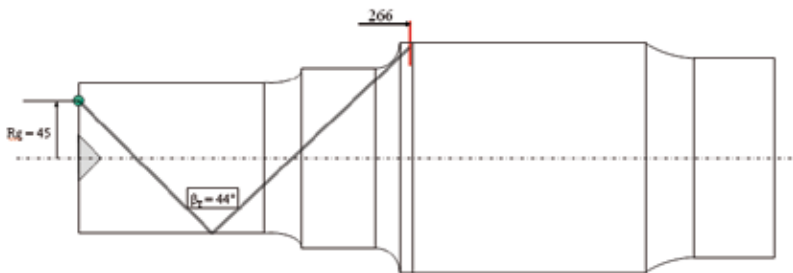
Strefy potencjalnie zagrożone pęknięciami wyznacza się na podstawie analizy rozkładu naprężeń, uwzględniając miejsca osadzania na osi pozostałych elementów zestawu kołowego. Miejsca, w których najczęściej występują pęknięcia zmęczeniowe, pokazano na rysunku 2, przy czym najliczniejsze są pęknięcia w podpięciu [1], mimo że projektowe współczynniki bezpieczeństwa są w tej strefie największe.



3. Oś lokomotywy EP09. Badanie od czoła głowicami skośnymi fal podłużnych



4. Badanie osi wagonowej $\Phi 120 \times 179 \times \Phi 185$ (A-120). Zakres obserwacji 0÷500 mm dla fali podłużnej w stali



5. Wykrywanie reflektora 266/ $\Phi 185$ w osi wagonowej A-120 z wykorzystaniem odbicia od powierzchni bocznej (porównaj rysunek 4)

W osiach zestawów napędowych, miejscami dodatkowo narażonymi na pękanie, są rowki na wpusty i kliny, wykonywane na podpiąsściach kół jezdnych i kół zębatych.

Metodyka ultradźwiękowych badań osi eksploatowanych

Zmęczeniowe pęknięcia poprzeczne rozpoczynające się od powierzchni osi, tworzą reflektory typu naroże, odbijające fale ultradźwiękowe w kierunku, z którego fala pada (w kierunku głowicy) pod warunkiem, że fala jest propagowana w płaszczyźnie przekroju osiowego. Pęknięcia mogą być wykrywane:

- z powierzchni czołowych czopów osi: głowicami skośnymi, propagującymi fale ultradźwiękowe w kierunkach dobranych do kształtu osi, zapewniającymi wykrywanie pęknięć w założonych strefach,
- z cylindrycznych powierzchni bocznych osi: głowicami skośnymi o standardowych kątach załamania (45°) lub kątach dobranych do geometrii osi.

W przypadku prowadzenia badań wyłącznie z powierzchni czołowych (badania uproszczone), nie jest wymagane wymontowywanie zestawu kołowego spod pojazdu, konieczny jest jedynie bezpośredni dostęp do powierzchni czołowych obu czopów osi. Jeżeli istnieje możliwość zastosowania ob-

rotnika zestawu kołowego w czasie badania, należy wykorzystać naprężenie rozciągające, wywoływane na górnej tworzącej osi przez nacisk pojazdu na czopy – naprężenie to powoduje „otwieranie” ewentualnych pęknięć co ułatwia ich wykrywanie metodą ultradźwiękową.

Przy badaniu od czoła, głowice należy prowadzić po torach kołowych, z zachowaniem prawidłowej orientacji przestrzennej, zapewniającej optymalny kierunek padania wiązki fali na powierzchnię ew. pęknięcia. Promień toru jest dobierany z uwzględnieniem kąta propagacji fali, odległości poszukiwanych nieciągłości od czoła i średnicy osi w badanej strefie.

W przypadku gdy kształt czoła osi ogranicza możliwości zmiany promienia toru głowicy, należy stosować głowice o ściśle określonych kątach załamania. Dotyczy to np. osi lokomotywy EP09, której badanie przedstawiono na rysunku 3. Głowice mogą się tu poruszać wyłącznie po torze o promieniu 30 mm. Ilość typów głowic można ograniczyć, jeżeli miejsca potencjalnych pęknięć są „widoczne” z czoła pod zbliżonymi kątami. Na rysunku 3 pokazano wykrywanie 6 reflektorów przy użyciu 4 głowic – różnice między nominalnymi kątami załamania głowic i optymalnymi kierunkami dla wykrywania pęknięć nie przekraczają $\pm 1^\circ$.

Jeżeli powierzchnia czopa umożliwia prowadzenie głowic po torach o różnych promieniach można tymi samymi głowicami wykrywać reflektory w różnych strefach i/lub w osiach różniących się wymiarami. Dysponując np. 5 głowicami o kątach załamania $13,5^\circ$; $16,6^\circ$; $23,4^\circ$; $26,8^\circ$ i 30° , można badać 3 typy osi wagonów towarowych A-120, A-130 i B(130), wybierając 3 lub 4 głowice z kompletu i – badanie osi A-120 z zastosowaniem 3 wybranych głowic przedstawiono na rysunku 4.

Pęknięcia ukryte częściowo w cieniu akustycznym spowodowanym kształtem osi, jak np. reflektor 266/ $\Phi 185$ (patrz rysunek 4), mogą być wykrywane z wykorzystaniem odbicia wiązki fali od powierzchni bocznej osi. Opcję badania strefy zawierającej wymieniony reflektor, głowicą o kącie załamania 44° , przedstawiono na rysunku 5.

Przykłady ultradźwiękowych badań osi z powierzchni czołowych czopów, przedstawione na rysunkach 3 – 5, zostały zaczerpnięte z autorskich opracowań Przedsiębiorstwa Eksplast w Gliwicach.

Strefy trudno dostępne od czoła mogą być dodatkowo badane głowicami kątowymi fal poprzecznych, prowadzonymi po powierzchniach bocznych osi (o ile są dostępne) – patrz rysunek 6. Zakłada się, że ten sposób badania (częściowo uproszczony) jest realizowany po wybudowaniu zestawu kołowego z wózka pojazdu. Możliwość badania określonego miejsca z dwóch różnych

kierunków ułatwia interpretację wyników –
– eliminujemy w ten sposób przynajmniej część zakłóceń spowodowanych np. echami ultradźwiękowymi związanymi z kształtem osi pojawiającymi się w strefach zmian przekroju, czy echami elementów osadzonych na osi (kół jezdnych, łożysk, zębatach kół napędowych itd.).

Badanie jest tym łatwiejsze i skuteczniejsze, im mniej elementów zestawu jest osadzonych na osi. Unika się jednak ściągania łożysk czy stłaczania kół wyłącznie dla potrzeb badań nieniszczących, ale wykorzystuje się sytuację, w której operacje te są związane z prowadzonymi pracami remontowymi. Wyjątek stanowią przypadki, kiedy wynik badania sugeruje niebezpieczeństwo występowania pęknięć pod bieżnią łożyska czy piastą koła.

Próbki (wzorce) porównawcze osi

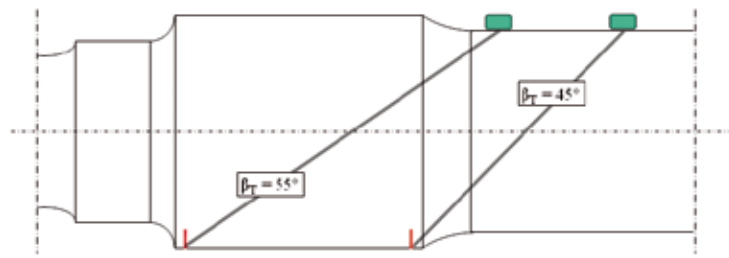
Punktem wyjścia do opracowania skutecznej technologii i metodyki badania ultradźwiękowego jest prawidłowe określenie lokalizacji, kształtów i rozmiarów reflektorów odniesienia w próbkach (wzorcach) porównawczych osi. Projektowanie próbek porównawczych opiera się na analizie stanu naprężeń i na możliwie dużej ilości wyników badań eksploatacyjnych.

Technologia badania musi zapewniać wykrywanie wszystkich reflektorów odniesienia i równoważnych im (w sensie akustycznym) nieciągłości w badanej osi. Próbki (wzorce) porównawcze wykonuje się z osi bez wad naturalnych. Kształt i materiał próbki powinien być zgodny z typem badanych osi. Reflektorami odniesienia są rowki o przekroju prostokątnym, nacinane w płaszczyźnie przekroju poprzecznego osi, w miejscach narażonych na pęknięcia zmęczeniowe. Głębokości rowków zawierają się w przedziale od 2 do 8 mm (wyjątkowo do kilkunastu mm).

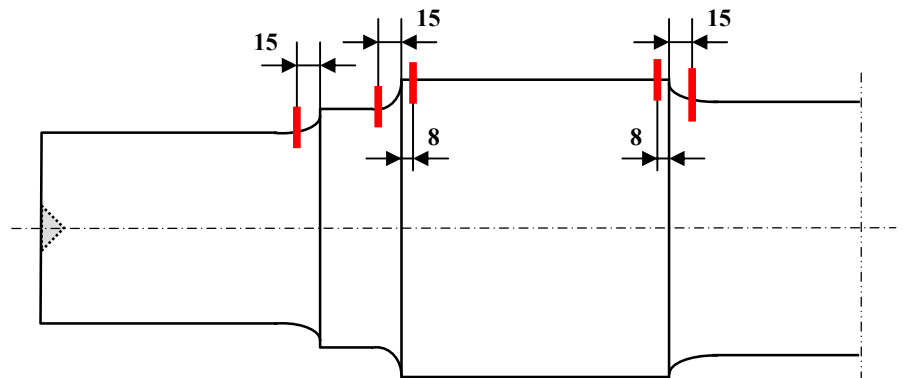
Reflektory odniesienia służą do ustalania czułości badania w trakcie kalibracji aparatury defektoskopowej – im mniejsza głębokość rowka, tym większa wymagana czułość (większe wzmocnienie odbiornika defektoskopu) przy badaniu danej strefy osi.

Próbki odniesienia stanowią obowiązkowe wyposażenie komórek organizacyjnych realizujących badania ultradźwiękowe – konieczne jest posiadanie próbek wszystkich typów osi poddawanych badaniom defektoskopowym.

Na rysunku 7 przedstawiono przykład lokalizacji reflektorów odniesienia w próbkach (wzorcach) porównawczych osi wagonowych. Nacięcia są wykonywane w ustalonych odległościach od charakterystycznych elementów kształtu osi (porównaj rysunek 2).



6. Przykłady wykrywania pęknięć zmęczeniowych z powierzchni bocznych osi głowicami kątowymi fal poprzecznych



7. Lokalizacja reflektorów odniesienia w osiach wagonów

Aparatura defektoskopowa do badania osi

Do wykrywania pęknięć zmęczeniowych w osiach zestawów kołowych pojazdów szynowych zaleca się stosowanie cyfrowego, przenośnego, 1-kanalowego defektoskopu ultradźwiękowego, przeznaczonego do badań ręcznych.

Wybrane, istotne parametry techniczne defektoskopu:

- szerokość zakresu obserwacji dla fali podłużnej w stali: minimum 3 m przy stosowaniu impulsowej techniki echa,
- dwubramkowy monitor sygnalizujący obecność/zanik echa, z płynną regulacją progu komparacji amplitudy echa,
- możliwość „zamrażania” obrazu na ekranie defektoskopu,
- możliwość cyfrowego pomiaru odległości do wykrytego reflektora z rozdzielczością 0,1 mm (pożądana funkcja opóźnionego pomiaru na podstawie zarejestrowanego obrazu typu A – patrz niżej),
- rejestracja wyników badania: zapamiętanie obrazu typu A i podstawowych nastaw parametrów pracy defektoskopu (pożądane łatwe przenoszenie zarejestrowanych wyników do komputera),
- duży zakres zmian częstotliwości powtarzania cyklu pracy, ze względu na niebezpieczeństwo występowania ech pozornych przy badaniu głowicą normalną z powierzchni czołowych osi (pożądana funkcja wizualnego ujawniania ech pozornych).

Do badań zmechanizowanych można dodatkowo zastosować multiplexer umożliwiający jednoczesne dołączenie np. 4 głowic do defektoskopu 1 kanałowego lub zastosować defektoskop wielokanałowy.

Głowice ultradźwiękowe do badania osi

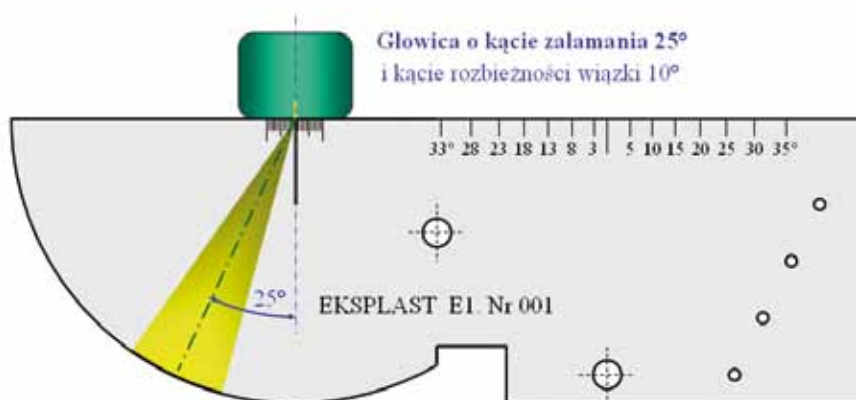
Do badań ultradźwiękowych osi eksploatowanych stosuje się standardowe głowice normalne i specjalne głowice kątowe fal podłużnych, poprzecznych i powierzchniowych, o częstotliwościach 2 MHz (opcjonalnie 4 MHz), z pojedynczymi przetwornikami okrągłymi o średnicach $\Phi 20 \div \Phi 24$ mm lub kwadratowymi o wymiarach od 14×14 do 20×20 mm. W przypadku małej ilości miejsca na czole osi stosuje się mniejsze średnice przetworników (i głowic) – dotyczy to zwłaszcza osi tramwajowych. Głowice powinny być konstrukcyjnie przystosowane do instalowania na powierzchniach roboczych foliowych nakładek ochronnych lub (opcjonalnie) nakładek kątowych i profilowych z polimetakrylanu metylu.

Głowice normalne fal podłużnych są używane do wykrywania od czoła wewnętrznych nieciągłości materiałowych i głębokich pęknięć poprzecznych oraz do oceny jakości materiału osi na podstawie amplitudy echa przeciwnego czoła osi. Stosuje się je także do wykrywania, z cylindrycznych powierzchni bocznych osi, wewnętrznych nieciągłości materiałowych.

Głowice kątowe fal podłużnych są używane do wykrywania od czoła poprzecz-



8. Głowica kątowa 35° na wzorcu nr 1 (PN-EN 12223)



9. Głowica kątowa 25° na wzorcu nr E1

nych pęknięć zmęczeniowych. Stosuje się specjalne głowice kątowe fal podłużnych lub głowice normalne z nakładkami kątowymi, instalowanymi doraźnie na powierzchni roboczej głowicy. Zakres stosowanych kątów załamania: od kilku do 30°.

Głowice kątowe fal poprzecznych prowadzone po cylindrycznych powierzchniach bocznych osi, są używane do wykrywania poprzecznych pęknięć zmęczeniowych osi. Stosuje się głowice kątowe fal poprzecznych (standardowe lub specjalne) z wymiennymi nakładkami profilowymi lub głowice normalne z wymiennymi nakładkami profilowo-kątowymi instalowanymi doraźnie na powierzchni roboczej głowicy. Zakres stosowanych kątów załamania: 37° ÷ 55°. Nakładki profilowe zapewniają dopasowanie powierzchni roboczych głowic do kształtu badanych elementów, dzięki czemu uzyskuje się: precyzyjne prowadzenie głowicy w czasie badania, utrzymywanie właściwego kierunku propagacji fal, większą energię wprowadzaną do materiału badanego (większą czułość badania) oraz stabilne sprzężenie akustyczne, w mniejszym stopniu zależne od stosowanego ośrodka sprzęgającego.

Głowice fal powierzchniowych prowadzone po cylindrycznych powierzchniach bocznych, są używane do wykrywania poprzecznych pęknięć zmęczeniowych osi, zwłaszcza w otoczeniu rowków na wpusty

i kliny, wykonywanych na podpiąsściach jezdnych kół napędowych i kół zębatych. Stosuje się głowice z płaskimi powierzchniami roboczymi (ew. z nakładkami profilowymi).

Poza ww. głowicami stosuje się także inne głowice specjalne. Warunki badania obowiązujące w kolejach niemieckich (VPI) przewidują np. badanie z wykorzystaniem głowic stożkowych wprowadzanych do otworów nakielka [4]. Głowicami tymi wykrywa się poprzeczne pęknięcia w czopach osi, a dodatkowo ocenia się jakość osadzenia wewnętrznych bieżni łożysk na czopach.

Planuje się (także w Polsce) zastosowanie do badań ultradźwiękowych osi wieloelementowych głowic fazowych (PA – Phased Array), charakteryzujących się możliwością elektronicznego kształtowania wiązki i sterowania kątem propagacji fali. Metodyka badań jest aktualnie w fazie opracowania. Ewentualne zastosowanie głowic PA będzie wymagało dodatkowo zakupu specjalnych defektoskopów ultradźwiękowych.

Wzorce do kalibracji zakresu obserwacji defektoskopu

Podstawowym wzorcem zalecanym do stosowania przez praktycznie wszystkie instrukcje badań ultradźwiękowych osi, jest wzorzec nr 1 wg PN-EN 12223 (patrz rysunek 8). Wzorzec ten może być stosowany

w przypadku badań z użyciem głowic normalnych i głowic skośnych o kątach załamania większych od 35°.

Ponieważ głowice skośne stosowane do badania osi kolejowych od czoła mają kąty załamania mniejsze od 35° – konieczne jest użycie dodatkowego wzorca specjalnego, przystosowanego do głowic o małych kątach załamania. Jako przykład może posłużyć wzorzec w postaci tarczy półcylindrycznej zatopionej w szkło organicznym, zalecany przez warunki badania VPI stosowane przez koleje niemieckie, lub zaprojektowany i produkowany przez Przedsiębiorstwo Eksplast wzorzec E1 (patrz rysunek 9).

Uchwyty głowic do badania osi od czoła

Do wykrywania pęknięć zmęczeniowych z powierzchni czołowych czopów stosuje się specjalne głowice kątowe fal podłużnych lub głowice normalne z nakładkami kątowymi. Głowice normalne z nakładkami kątowymi, prowadzone ręcznie po powierzchni czołowej czopa, są kłopotliwe w stosowaniu – zapewnienie wymaganej precyzji i powtarzalności badania jest bardzo trudne. Głównym problemem jest utrzymanie stałego promienia toru głowicy i prawidłowego kierunku propagacji fal.

Od kilkunastu lat są produkowane i stosowane specjalne uchwyty, w postaci tarczy wyposażonej w gniazda do szybkiego instalowania głowic (patrz rysunek 10), umożliwiające operatorowi precyzyjne prowadzenie głowic po torach kołowych o żądanych promieniach. Prototyp uchwytu został zaprojektowany na zlecenie i przy współpracy Centralnego Ośrodka Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa (obecnie Instytut Kolejnictwa) w Warszawie. W produkowanych aktualnie uchwytach mogą być instalowane głowice okrągłe o średnicach obudów 36 lub 30 mm. Ilość gniazd głowic i ich odległości od osi uchwytu (promienie torów głowic) zależą od konkretnego zastosowania. Producentem uchwytów oraz głowic kątowych fal podłużnych i poprzecznych, przeznaczonych do badań ultradźwiękowych osi od czoła, jest Przedsiębiorstwo Eksplast w Gliwicach.

Ocena wyników badań

Operator ocenia wykryte wady na podstawie amplitud i pozycji ech ultradźwiękowych widocznych na ekranie defektoskopu. Porównanie amplitudy echa wykrytej nieciągłości z amplitudą echa odpowiedniego reflektora odniesienia pozwala oszacować orientacyjną wielkość nieciągłości, np. głębokość wykrytego pęknięcia.

Lokalizację wady jednoznacznie określa pozycja echa ultradźwiękowego na ekranie defektoskopu, przy prawidłowo ustawionym

zakresie obserwacji i przy uwzględnieniu kąta propagacji fali. Wiele defektoskopów umożliwia ponadto cyfrowy pomiar odległości do reflektora fali ultradźwiękowej – pomiar może być realizowany wzdłuż drogi fali ultradźwiękowej od głowicy do reflektora lub w rzucie tej drogi na kierunek równoległy do osi geometrycznej osi (wynikiem pomiaru jest tu np. odległość pęknięcia od czoła czopa).

Kwalifikacje personelu badań nieniszczących

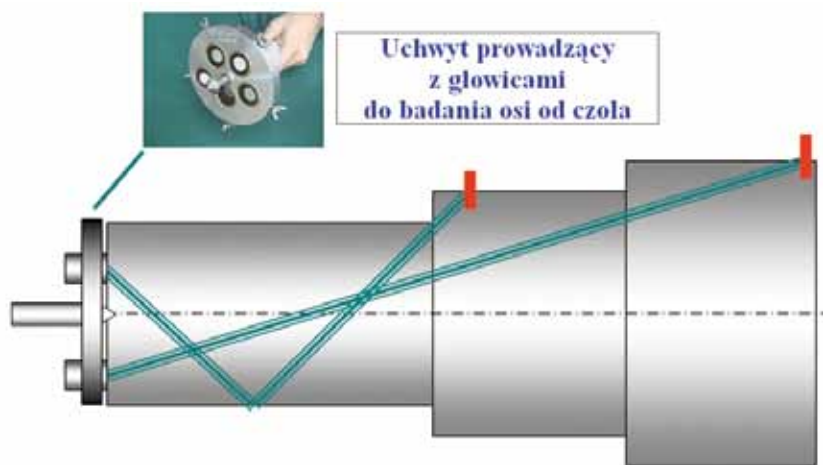
Profesjonalne, specjalistyczne wyposażenie do badań nieniszczących nie zapewni prawidłowej kontroli jakości badanych obiektów, jeżeli posługujący się nim operator nie ma odpowiedniej wiedzy i kwalifikacji. Zasady kwalifikacji i certyfikacji personelu wykonującego przemysłowe badania nieniszczące są w Unii Europejskiej ściśle określone – stanowią przedmiot normy PN-EN 473. Uzyskanie świadectwa potwierdzającego wymagane kwalifikacje (zgodne z PN-EN 473) jest warunkiem koniecznym dopuszczenia operatora do prowadzenia badań. Zakres uprawnień operatora zależy od uzyskanego stopnia kwalifikacji.

Oś kolejowa jest obiektem trudnym do badania metodą ultradźwiękową, zwłaszcza jeżeli jest badana jako element kompletnego zestawu kołowego. Ograniczony dostęp do badanego obiektu oraz zakłócenia wprowadzane przez elementy osadzone na osi – m.in. dodatkowe echa ultradźwiękowe – powodują, że prawidłowa interpretacja uzyskiwanych wyników wymaga gruntownej wiedzy teoretycznej i bogatego doświadczenia praktycznego.

Institucje odpowiedzialne za szkolenie i certyfikację personelu badań nieniszczących w Polsce, reagując na przywołane we wstępie pismo Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego z października 2009 roku, podjęły działania zmierzające do uruchomienia specjalistycznych szkoleń dla personelu prowadzącego badania elementów taboru kolejowego. M.in. w ramach systemu szkolenia i certyfikacji funkcjonującego pod nadzorem Urzędu Dozoru Technicznego uruchomiono szkolenie w sektorze przemysłowym nr 8: „Utrzymanie ruchu kolei”. Kursy są organizowane w Instytucie Kolejnictwa w Warszawie, a egzaminowanie i potwierdzanie kwalifikacji do prowadzenia badań realizuje Jednostka Certyfikująca Osoby UDT-CERT.

Wnioski

1. Systematyczne nieniszczące badania eksploatacyjne podzespołów układów bieżących pojazdów, w tym osi zestawów kołowych, są istotnym czynnikiem zapewnienia bezpieczeństwa transportu szynowego.



10. Badanie osi zestawu kołowego od czoła, z wykorzystaniem uchwytu – tarczy oraz głowic kątowych fal podłużnych i poprzecznych

2. Należy dążyć do aktywnego udziału wszystkich zainteresowanych instytucji w przedsięwzięciach prowadzących do ustalenia jednolitych zasad badań ultradźwiękowych osi zestawów kołowych pojazdów szynowych, zarówno w Polsce, jak i w Unii Europejskiej. Warto zadbać o to, aby uzgodnione, nowe przepisy (normy) nie przekreśliły dotychczasowego dorobku polskich instytucji współtworzących zasady badań nieniszczących elementów taboru kolejowego.
3. Pożądane jest doskonalenie stosowanych technik badań nieniszczących oraz parametrów specjalistycznego sprzętu defektoskopowego stosowanego do diagnostyki taboru szynowego oraz systematyczne podnoszenie kwalifikacji personelu badań nieniszczących.
4. Aktualizowanie zasad diagnostyki ultradźwiękowej osi powinno być traktowane jako rozszerzenie stosowanych dotąd rozwiązań i zakładać korzystanie w maksymalnym możliwym zakresie z posiadanego wyposażenia do badań.
5. Należy przestrzegać zasady ustalania czułości badania, wyłącznie z bezpośrednim wykorzystaniem reflektorów odniesienia w próbkach (wzorcach) porównawczych wykonanych z osi odpowiednich typów.
6. Tam gdzie to jest możliwe, zamiast głowic z nakładkami kątowymi, należy stosować specjalne głowice skośne, które zapewniają większą skuteczność i stabilność badania.
7. Przy badaniu osi z powierzchni czołowych czopów należy stosować uchwyty głowic, jeżeli zakładamy, że głowice mają być prowadzone po ściśle określonych torach.
8. Przy badaniu osi z cylindrycznych powierzchni bocznych należy zalecać stosowanie głowic profilowanych lub głowic z nakładkami profilowymi. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Bawolski Roman, Chmiel Eugeniusz, Skibika Czesław, Świdorski Zdzisław (praca zbiorowa). Defektoskopowe badanie elementów pojazdów szynowych. WKŁ Warszawa, 1979.
- [2] Hillmansen Stuart & Smith RA. Assessing fatigue crack growth in railway axles. Railway Research Group, Department of Mechanical Engineering, Imperial College London SW7 2AZ, UK, 2005.
- [3] Jarosiewicz Wiesław, Prezes UTK. Pismo TTN-512-129/JN/09 dotyczące zaleceń związanych z przypadkami pęknięcia osi zestawów kołowych w taborze kolejowym. Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa, październik 2009.
- [4] Krautkrämer J., Krautkrämer H. Ultrasonic Testing of Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990.