

Bezpieczeństwo eksploatacji osi kolejowych i badania ultradźwiękowe

Safety of operation of railway axles and ultrasonic tests

Streszczenie

W artykule przedstawiono obecny stan badań nieniszczących osi kolejowych pełnych. Podano czynniki mające istotny wpływ na badania ultradźwiękowe prowadzące do poprawy niezawodności osi. Czynniki te opisano, uwzględniając stan dzisiejszy oraz zaproponowano kroki prowadzące do jego poprawy – w tym wykorzystanie nowoczesnej aparatury, przeprowadzanie analizy geometrycznej dla każdego typu osi, zobrazowania przestrzenne wyników badań, sposoby eliminacji fałszywych wskazań, usprawnienie organizacji i kontroli badań.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, osie kolejowe, UT

Abstract

In this article current state of non-destructive tests of railway axles is presented. Significant factors that have impact on ultrasonic test that are resulting in improving reliability of axles were given. Those factors were described (regarding current situation) and propositions for improvement were presented – including usage of modern devices, conducting of geometrical analysis for each type of an axle, spatial visualisation of test results, methods of elimination of false indications, improving of organization and control of tests.

Keywords: Safety, rail axes, UT

Wprowadzenie i rys historyczny

Otwarcie pierwszych odcinków kolejowych w Europie i na świecie wiązało się z awariami układów tocznych. Jedną z osób, która podjęła kroki mające ograniczyć ich liczbę, był pracujący m.in. na Dolnym Śląsku August Wöhler. Jego pionierskie prace w zakresie zmęczenia materiałów umożliwiły projektowanie osi bardziej odpornych na awarie. Nie wyeliminowało to ich jednak całkowicie.

Awarie układów tocznych mają charakter systematyczny i przypadkowy. Awary systematyczne to pęknięcie osi na skutek zmęczenia materiału. Awary przypadkowe powstają w wyniku działania różnych przyczyn (np. zatarcie łożyska, przeciążenie) i często nie jest możliwe ich wcześniejsze wykrycie. Charakter dominujący mają jednak awary systematyczne.

Wprowadzone ponad pół wieku temu badania niszczące osi miały na celu ograniczenie występujących systematycznie awarii i obejmowały badania metodami

powierzchniowymi i metodą ultradźwiękową (UT). Od początku badania UT były badaniami opartymi na porównaniu wskazań ze wskazaniami na wzorcu. Modelem wady krytycznej było nacięcie prostopadłe do osi. Po wprowadzeniu badań uzyskano istotny postęp w ograniczeniu awarii systematycznych. Zaowocowało to utrzymaniem się jedynie tego podejścia po dzień dzisiejszy. Wytworzyło się również powszechne odczucie, że użyty wzorec determinuje bezpieczeństwo eksploatacji.

W rzeczywistości jest to uproszczenie nie całkiem zgodne z prawdą. Dzięki badaniom UT istnieje możliwość zwiększenia poziomu bezpieczeństwa eksploatacji osi w wyniku wykrycia zagrożenia, tj. początku pęknięcia zmęczeniowego. Jednak prawdopodobieństwo jego wykrycia i uzyskanie istotnej poprawy niezawodności osi zależne jest również od wielu innych czynników, podanych poniżej. W niniejszym artykule omówiono te czynniki w zakresie badań UT i wskazano sposoby poprawy ich oddziaływania na niezawodność osi.

Mgr inż. Władysław Michnowski, mgr inż. Piotr Machała, mgr inż. Patrik Uchroński – Zakład Badań Materiałów ULTRA; **dr inż. Jarosław Mierzwa** – Politechnika Wrocławska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: piotr.machala@ultra.wroclaw.pl

Czynniki w badaniach UT mające istotny wpływ na niezawodność osi

- Czulość badań (stosunek amplitudy użytecznej do poziomu szumu)
- Geometria badania
- Właściwe dopasowane wzorce do typu osi
- Mobilność badań
- Czynniki ludzki (szkolenia, certyfikacja, kontrola, programy wspomagające)
- Archiwizacja i statystyka wyników badań
- Eliminacja fałszywych wskazań spowodowanych geometrią osi
- Eliminacja fałszywych wskazań spowodowanych przejściem fali do innej przestrzeni (np. czop – łożysko, podpięcie – koło) lub transformacją fal
- Zobrazowania wyników badań pomocne w identyfikacji fałszywych wskazań
- Nowoczesność aparatury i częstotliwość badań.
- Czynniki organizacyjne i ich systematyczna kontrola
- Statystyka na bazie danych o awariach, ich analiza

Czulość badań (stosunek amplitudy użytecznej do poziomu szumu)

Fundamentalnym warunkiem bezpiecznej eksploatacji osi kolejowych jest wykrywanie pęknięć na jak najwcześniejszym etapie ich propagacji. Natomiast ograniczeniem możliwości wykrywania dowolnie małych nieciągłości są ograniczenia fizyczne metody ultradźwiękowej, tzn. możliwy do uzyskania dla każdej użytej głowicy stosunek sygnału użytecznego do szumu. Usprawnienia w tym fundamentalnym obszarze dla podwyższenia stopnia bezpiecznej eksploatacji osi są domeną producentów aparatury. Natomiast nie istnieją akty normatywne, które pomogłyby nabywcom selekcjonować i wybierać najkorzystniejsze oferty. Dość prosty test w tym zakresie jest dostępny pod adresem (www.ultra.wroclaw.pl). Zdumiewające jest to, że przestarzałe normy z epoki analogowej dotyczące aparatury ultradźwiękowej (z serii PN EN 12668) nie zostały dotąd wycofane.

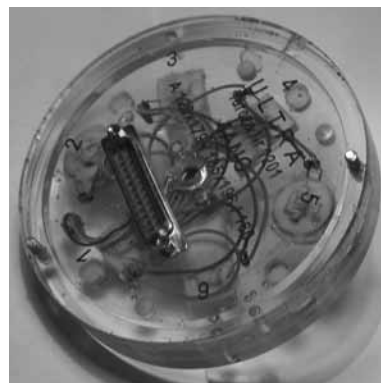
Geometria badania osi

Niedoceniana zarówno w obowiązujących normach do badań, jak i w potocznej praktyce jest analiza geometrii badania osi. Geometria jest drugim elementem po czulości badania, który zoptymalizowany umożliwia istotny postęp w skuteczności badań i podwyższeniu stopnia bezpiecznej eksploatacji osi. Współcześnie wykonanie analizy geometrycznej badania osi byłoby anachronizmem, gdyby nie było wykonywane programem komputerowym, np. AutoCAD-em. Prawdopodobnie

nie jest to tematem szkolenia na żadnym kursie UT. Analiza geometryczna przy użyciu takiego programu jest zupełnie oczywista. Uzyskane informacje to m.in. dobór optymalnego kąta i miejsca przyłożenia głowic ultradźwiękowych, wyłączenie obszarów badania bez fizycznego sensu, przyczyny powstawania wskazań pozornych itp. Znalezienie wartości optymalnych parametrów geometrycznych to pierwszy etap optymalizacji. W etapie drugim weryfikuje się je na wzorcu.

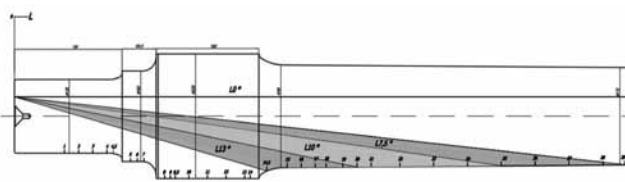
W trzecim końcowym etapie optymalizacji geometrii badania są ustalane geometryczne parametry badania danego typu osi. Przykład efektu końcowego podano na rysunkach 1 i 2 w postaci tarczy głowic ultradźwiękowych oraz podziału osi na obszary i przyporządkowane im miejsca przyłożenia i kąty głowic ultradźwiękowych.

Wprowadzenie dokładnych analiz geometrycznych (AutoCAD) na etapach pisania norm i procedur jest powszechne, a nawet powinno być obowiązkowe. Natomiast na etapie szkolenia personelu na początek wydaje się wystarczające wprowadzenie tej wiedzy i umiejętności na szkoleniu na poziomie UT3, ewentualnie UT2.



Rys. 1. Tarcza głowic ultradźwiękowych. Rozstawienie przetworników (głowic) ultradźwiękowych jest następstwem analizy geometrycznej

Fig. 1. Disc of ultrasonic probes. Arrangement of ultrasonic transducers (probes) is succession of geometrical analysis



Rys. 2. Przykładowy, częściowy podział osi na obszary badania. Na osi zaznaczono nacięcia wzorcowe. Przedstawiono rozchodzenie się wiązki i obszary badane przez 3 głowice o kątach 13, 10 i 7,5°

Fig. 2. Exemplary, partial division of an axle into test areas. On the axle cuts are marked. Ultrasonic beams and areas tested by three probes (with 13, 10 and 7,5° angles) are presented

Typ osi i jego wzorec

Pomimo dużej ilości eksploatowanych osi ograniczona jest liczba ich typów. Każdy typ osi różni się od siebie wymiarami.

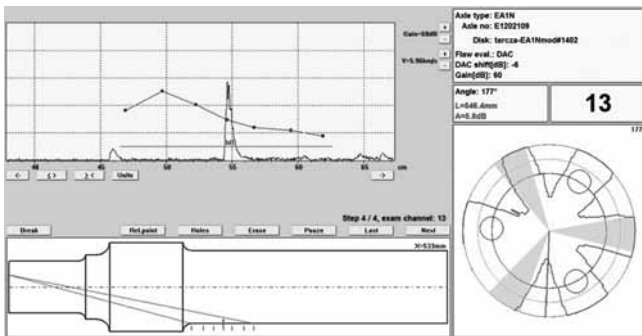
Upoważnia to do wprowadzenia wymogu, aby dany typ osi był badany tylko z użyciem wzorca wykonanego dla osi tego samego typu.

Przy kosztach pomijalnych jest to rozwiązanie bardzo korzystne. Przykładami uzyskiwanych efektów są: otrzymanie kompletnego, niezmiennego opisu wzorca oraz jego planszy, ograniczona ilość zapisów kalibracji aparatury w pamięci, jednoznaczne uporządkowanie dokumentacji badań itp. Są to cechy systemu CUD BO WiFi.

Mobilność i częstotliwość badań

Przez mobilność systemu badań rozumiemy wszystkie cechy związane z jego funkcjonalnością, łatwością obsługi i adaptacji oraz praktycznością. Z wielu czynników tworzących mobilność badań omawiamy tylko jeden – zobrazowanie badań systemu CUD BO WiFi.

Lewa górna część rysunku 3 przedstawia ekran defektoskopu (A-scan) z echem od nacięcia i krzywą DAC. Poniżej znajduje się rysunek osi, na którym zaznaczono pionowymi kreskami położenia nacięć wzorcowych oraz badany obszar. Prawa strona reprezentuje zarejestrowane amplitudy w danym obszarze, jako procent wysokości ekranu dla badanego przekroju w funkcji kąta.



Rys. 3. Zrzut z ekranu komputera podczas badań systemem CUD BO

Fig. 3. Screenshot during tests with CUD BO WiFi system

Czynnik ludzki (szkolenia, certyfikacja, kontrole)

Uregulowania systemowe

Na terenie UE na ogół uznawane są tylko badania wykonywane przez personel posiadający potwierdzenie kwalifikacji stopnia UT1, UT2 lub UT3. Ponadto w badaniach zestawów kołowych wymaga się potwierdzenia kwalifikacji w sektorze utrzymania ruchu kolei. Uregulowania w tym zakresie są zawarte w normie ISO 9712. Egzaminy i pisemne potwierdzenia kwalifikacji wydają instytucje posiadające akredytacje, np. w Polsce PCA. Osiągnięty w Polsce poziom w tym zakresie jest akceptowany przez audytorów zagranicznych od lat. Natomiast w Polsce nie znajduje się śladów takiej działalności audytorów w jakiejś formie zorganizowanej.

Czynniki subiektywne

Jest oczywiste, że występują, ale nie będą bliżej omawiane.

Archiwizacja i statystyka wyników badań

Współcześnie w badaniach ręcznych i zmechanizowanych osi kolejowych dominuje sposób badań, który można określić jako „historyczny”. Obecny jest od początku tych badań, a jego przebieg jest następujący. Do uniwersalnego defektoskopu (czasami analogowego) podłącza się głowice ultradźwiękowe normalne wraz z kątowymi nakładkami. Po skalowaniu na wzorcu przystępuje się do badań określonych miejsc na obwodzie osi. Wprowadzony postęp przez kilkadziesiąt lat polega ewentualnie na zastąpieniu jednej głowicy z nakładkami kilkoma głowicami o stałym kącie oraz wprowadzeniu obrotnika osi. Cała dokumentacja takiego badania to zapis odręczny operatora, że dana oś jest dobra lub zła oraz podstawowe informacje np. kto, gdzie, kiedy itp.

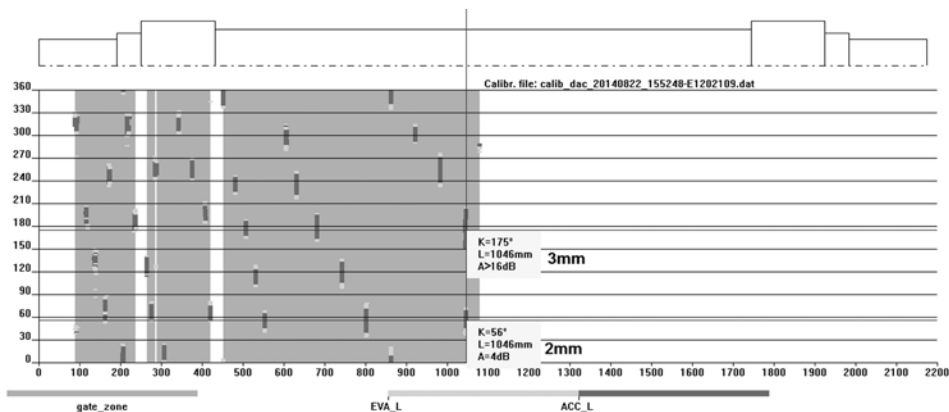
Nowoczesny sprzęt projektowany jest z myślą o rejestracji całego przebiegu badania. Jest to znacząca zmiana w stosunku do urządzeń stosowanych do tej pory, ponieważ pozwala na prowadzenie statystyk przeprowadzonych badań i ich wyników. Wnioski z ich analizy mogą być podstawą zmian w procedurach w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa. Przykładem takiego rozwiązania jest system badań CUD BO WiFi. Wynik badania przedstawiany jest we współrzędnych walcowych (rys. 4). Wskazania powyżej progu akceptacji (np. nacięcia wzorcowe jak na rysunku 4) zaznaczane są kolorem czerwonym, natomiast obszary zbadane szarym.

Eliminacja fałszywych wskazań spowodowanych geometrią osi

Osie są elementami o dość skomplikowanym kształcie, a występujące krawędzie i łuki mogą być źródłem fali odbitej o dużej amplitudzie. Dokładne ustalenie położenia aktualnie badanego punktu osi umożliwia ich identyfikację (w systemie CUD BO WiFi na rysunku 5 uwidocznione jest to jako białe paski). W tym przypadku eliminacja fałszywych wskazań jest oczywista.

Eliminacja fałszywych wskazań spowodowanych przejściem fali do innej przestrzeni (np. czop – łożysko, podpięcie – koło) lub transformacją fali

Fałszywe wskazania na osiach zabudowanych są problemem złożonym. W praktyce okazuje się, że każdy układ (oś wraz z odpowiadającymi jej łożyskami, kołami itd.) charakteryzuje się indywidualnymi fałszywymi



Rys. 4. Przykład wyników badania systemem CUD BO WiFi
Fig. 4. Example of test results with CUD BO WiFi system

wskazaniami. Utrudnia to badania ręczne. Wiarygodność badań zapewnia wcześniejsze wykonanie analizy geometrycznej oraz wykorzystanie nowoczesnej aparatury o bogatych zobrazowaniach (system CUD BO WiFi). Identyfikacja wskazań fałszywych odbywa się w wyniku:

- ustalenia na jakiej odległości wystąpiło wskazanie,
- analizie, czy wskazanie występuje na całym obwodzie osi (360°).

Zobrazowania wyników badań pomocne w identyfikacji fałszywych wskazań

Podstawowym warunkiem poprawnej identyfikacji wskazań jest wiedza na temat aktualnie badanego obszaru. Oprócz klasycznego ekranu A-scan operator powinien również mieć informacje na temat odległości na osi na której wystąpiło wskazanie i jego położenia kąтового (rys. 3). Po zakończeniu badania identyfikacja wskazań od geometrii osi jest możliwa dzięki przedstawieniu wyników we współrzędnych walcowych (rys. 4).

Nowoczesność aparatury i częstotliwość badań

Przywrócenie badań od strony części czołowej czo-pa z omówionymi wyżej usprawnieniami pozwala na

zwiększenie częstotliwości badań i ma oczywisty istotny wpływ na poprawę niezawodności osi i paradoksalnie istotnie obniża koszty ich eksploatacji.

Czynniki organizacyjne i ich systematyczna kontrola

Polskie zakłady pracujące dla zagranicznych klientów poddawane są szczegółowej okresowej kontroli przez audytorów. Oczywiście ma to istotny wpływ na podniesienie poziomu badań i uzyskanie wyższej niezawodności osi. Nie ma w tym zakresie informacji o takich działaniach ze strony klientów polskich.

Statystyka na bazie danych o awariach i ich analiza

Wymagania dotyczące czułości badań i ich częstotliwości z powodu braku odpowiednich danych oparto na rozważaniach teoretycznych, życzeniowych lub nawet przypadkowych. Obecnie możliwa jest rejestracja całego przebiegu badania. Dzięki temu w pierwszej kolejności można prowadzić statystykę występowania nieciągłości. Natomiast po wystąpieniu awarii (urwaniu się osi) można wykonać analizę wyników badań tej konkretnej osi. W wyniku tego możliwe będzie oszacowanie prędkości propagacji nieciągłości prowadzącej do awarii.

Wnioski

Wprowadzenie badań ultradźwiękowych znacznie zmniejszyło liczbę awarii osi. Dalsza poprawa stanu bezpieczeństwa uzależniona jest od postępu i rozwoju czynników podanych w pkt. 2 i opisanych w artykule.

Literatura

- [1] Przewodnik VPI 09 Konserwacja wagonów towarowych Badania Nieniszczące.
- [2] Norma DIN 27201-7 Stan pojazdów kolejowych – podstawy i technologie wykonania Część 7: badania nieniszczące.