

Metodyka wykrywania pęknięć zmęczeniowych w osiach kolejowych a wymagania norm europejskich

Łukasz ANTOLIK¹

Streszczenie

W artykule scharakteryzowano źródła powstawania pęknięć zmęczeniowych osi kolejowych. Zestawiono wymagania w zakresie spójności wewnętrznej dotyczące odbioru nowej osi oraz osi będącej w eksploatacji. Przedstawiono dokumenty odniesienia regulujące metodykę badań i porównano zunifikowaną metodę badawczą z wizualizacją typu A według PN-EN 12668-1:2010 z wizualizacją typu D (*Phased Array*) nieokreśloną w tej normie, a powszechnie stosowaną w przemyśle. Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych prób stwierdzono, że *Phased Array* jest techniką przyszłościową, znacznie skracającą ultradźwiękowe skanowanie osi kolejowych i ograniczającą proces interpretacji wyników. Przed wdrożeniem techniki *PA* należy wykonać kosztowną i pracochłonną walidację metody oraz opracować instrukcję badań osi kolejowych. Niezbędne jest ustanowienie jednostki koordynującej działania w zakresie unifikacji krajowych wymagań stawianych eksploatowanym zestawom kołowym. Zadaniem tej jednostki byłoby także wdrażanie najnowszych technologii w utrzymaniu taboru kolejowego.

Słowa kluczowe: oś kolejowa, wykołowanie, niezawodność, badania ultradźwiękowe

1. Wprowadzenie

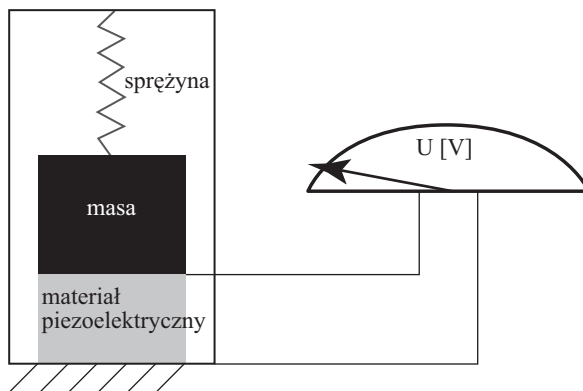
W ostatnich latach, po kilku poważnych wypadkach kolejowych spowodowanych pęknięciami osi kolejowych lub obręczy kół bosych, w tym po najpoważniejszym w 2009 roku wypadku w Viareggio we Włoszech, zwrócono uwagę na problem wytrzymałości eksploatacyjnej osi kolejowych, mając szczególnie na uwadze powstawanie pęknięć pochodzących od naprężeń zmiennych w materiale osi i dostateczny nadzór nad zestawami kołowymi będącymi w eksploatacji i wycofanymi z eksploatacji. Jednocześnie, postęp techniczny w dziedzinie badań niszczących został ogromnym sprzymierzeńcem w propagowaniu nadzoru nad elementami układów biegowych i eliminacji wadliwych podzespołów. Niestety,

¹ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa; e-mail: lantolik@ikolej.pl.

podobnie jak w wielu gałęziach przemysłu, również w kolejnictwie, legislacja nie nadąża za postępem technicznym. Jest to problem dotyczący eksploatacji sprzętu badawczego, który z jednej strony nie spełnia wymagań norm europejskich, z drugiej zapewnia znaczne przyspieszenie procesu badawczego, a co za tym idzie – zmniejszenie kosztów eksploatacji taboru.

2. Początki techniki ultradźwiękowej

Według ogólnie dostępnych materiałów, za symboliczny początek techniki bazującej na falach akustycznych można uznać 1819 rok, w którym Cognard de la Tour po raz pierwszy sztucznie wytworzył ultradźwięki, używając w tym celu syreny. Inni natomiast, za początek rozwoju techniki ultradźwiękowej uważają wyznaczenie w 1883 r. przez Galtona górnej granicy słyszalności. Przez wiele lat skonstruowana przez niego piszczałka była wzorcowym źródłem ultradźwięków o częstotliwości 50 kHz i w latach 1890–1930 była narzędziem do wielu podstawowych badań w dziedzinie ultradźwięków. Znaczącym momentem w rozwoju praktycznego zastosowania metody akustycznej były prace Langevina, który w 1917 roku po raz pierwszy wykorzystał zjawisko piezoelektryczne w kryształach kwarcu do generacji i detekcji ultradźwięków w cieczech. Samo zjawisko piezoelektryczne, polegające na wytwarzaniu pola elektrycznego w materiale piezoelektrycznym pod wpływem działania zewnętrznego nacisku odkryli Pierre & Jacques Curie w 1880 roku (rys. 1). W zjawisku piezoelektrycznym bardzo istotny jest fakt, że natężenie pola elektrycznego wytwarzanego przez piezoelektryk jest wprost proporcjonalne do wielkości nacisku mechanicznego.



Rys. 1. Schemat badania zjawiska piezoelektrycznego przez Pierre & Jacques Curie [rys. autora]

Już podczas II wojny światowej technika ultradźwiękowa stała się obiektem dużego zainteresowania, a jej techniczne możliwości szybko przeszły z fazy eksperymentalnej do komercyjnego wykorzystania. Wykorzystanie zjawiska propagacji fali ultradźwiękowej w każdym ośrodku (ciała stałe, ciecze i gazy oprócz próżni) stało się elementem wykorzystanym równolegle w przemyśle i medycynie do oceny struktury wewnętrznej materiałów.

3. Badania nieniszczące w sektorze kolejowym

Główną rolę w rozwoju badań nieniszczących w polskim kolejnictwie odgrywał od początku lat sześćdziesiątych XX w. Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa (COBiRTK), obecnie Instytut Kolejnictwa, w którym opracowano wiele norm branżowych i instrukcji na potrzeby badań taboru, przede wszystkim osi zestawów kołowych oraz obręczy kołowych, jak również elementów infrastruktury kolejowej – szyn. W 1975 roku ujednolicono i zredagowano ogólną instrukcję technologiczną badań defektoskopowych elementów pojazdów szynowych dla wszystkich zakładów naprawczych oraz producentów taboru. Istniał również funkcjonujący przez dziesięciolecia system szkoleń operatorów badań ultradźwiękowych obejmujący okresowe szkolenia oraz kursy doszkalające. System ten uwzględniał podstawowe metody badań nieniszczących:

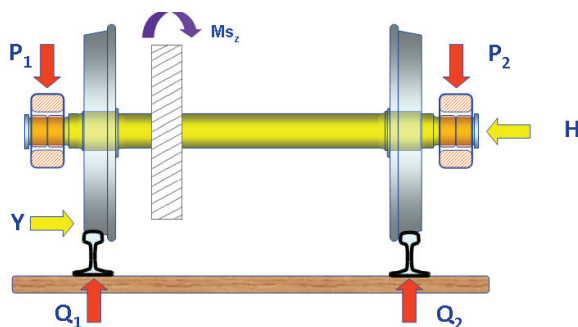
- metodę wizualną,
- metodę magnetyczno-proszkową,
- metodę penetracyjną
- metodę ultradźwiękową.

Możliwości tych metod w pełni wyczerpywały wymagania i zapewniały poziomy jakości wymagane przez normy branżowe. W 2004 roku, po akcesji Polski do Unii Europejskiej, byliśmy zobowiązani do obligatoryjnego uznania norm europejskich, a wszystkie wcześniej obowiązujące normy branżowe uznano za nieobowiązujące. Ta zmiana dotyczyła również stosowanej w ultradźwiękach metody badawczej i kompetencji personelu wykonującego przedmiotowe badania.

W odpowiedzi na nowe europejskie wymagania i tragiczne skutki katastrofy w Viareggio, Instytut Kolejnictwa rozpoczął intensywną współpracę z Urzędem Dozoru Technicznego mającą na celu utworzenie pierwszego w Polsce ośrodka szkolącego personel badań nieniszczących w sektorze „Utrzymanie ruchu kolei”. Ośrodek szkoleniowy rozpoczął swoją działalność w 2011 roku i do dziś organizuje systematycznie kursy szkoleniowe dla operatorów badań ultradźwiękowych (jedyna metoda pozwalająca skutecznie wykrywać ukryte pęknięcia zmęczeniowe w zmontowanych zestawach kołowych), pochodzących z krajowych i zagranicznych firm zajmujących się produkcją i eksploatacją taboru kolejowego.

4. Przyczyny pęknięcia osi kolejowych

Większość wyrobów stosowanych w przemyśle podlega złożonym stanom naprężeń, a jeszcze większe wyężenie materiału wywołują obciążenia cykliczne zmienne, powodujące zmianę naprężeń rozciągających na ściskające i odwrotnie. Do takich wyrobów zalicza się osie kolejowe, przez co są to wyroby szczególnie narażone na powstawanie pęknięć zmęczeniowych, a jednocześnie traktuje je się jako wyroby szczególnie odpowiedzialne. Osie kolejowe są zatem zaliczane do najwyższej 4 klasy jakości według [15], z której wymagania są zaimplementowane w [7]. Uproszczony schemat obciążeń zestawu kołowego pokazano na rysunku 2.



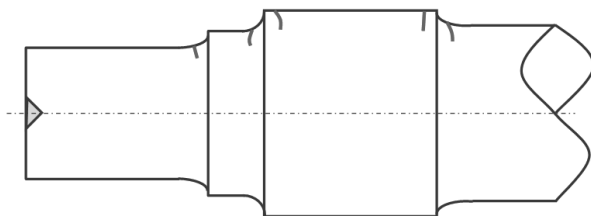
Rys. 2. Wybrane obciążenia działające na oś zestawu kołowego [6, 12]. Oznaczenia: P_1+P_2 – nacisk pojazdu na czopy osi, Q_1+Q_2 – reakcje szyn na nacisk, przenoszą się przez podpięcie do czopów osi, H – siła odśrodkowa, Y – reakcja szyny na siłę odśrodkową, M_{sz} – moment skręcający od przekładni (dotyczy osi napędnych)

Zgodnie z wytycznymi projektu wspólnych europejskich kryteriów utrzymania osi, zestawów kołowych i wagonów towarowych źródła powstania zagrożeń w eksploatacji osi kolejowych można podzielić na grupy:

- przeładowanie wagonu,
- przewóz niebezpiecznego towaru,
- upuszczenie ładunku przy ładowaniu / rozładunku,
- korozja cierna,
- zły stan infrastruktury.

Osie kolejowe są projektowane jako wyroby stworzone do pracy wysokocyklowej bez limitu przebiegu i czasu eksploatacji. Wykorzystywane są zatem do momentu, w którym kontrola wykaże niezdatność wyrobu do dalszego bezpiecznego spełniania swojej funkcji. Z uwagi na rozkład naprężeń zmiennych, gdzie największe momenty zginające występują na odcinku czop – przedpięcie – pod-

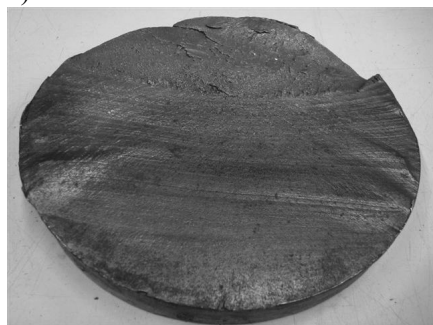
piąście – promień przejścia z podpiaścia w część środkową osi, tam jest spodziewane najczęstsze występowanie wad zmęczeniowych, wychodzących od powierzchni (rys. 3).



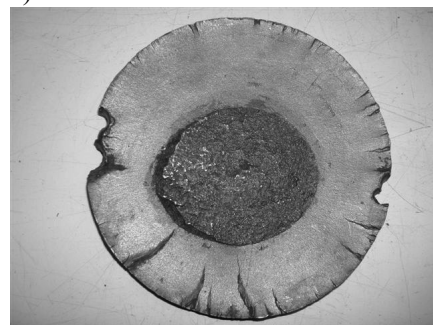
Rys. 3. Miejsca na osi kolejowej najbardziej narażone na wystąpienie wad zmęczeniowych

W przypadku osi wagonowych, wymuszona geometria wyrobu pozwala zachować wysoki współczynnik bezpieczeństwa, który pozwala rozwijać się nieciągłości obejmującej w skrajnych przypadkach aż 75% roboczego przekroju poprzecznego (dotyczy podpiaść wagonów) zanim dojdzie do ostatecznego pęknięcia osi. Potwierdzają to przeprowadzone w Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji symulacje metodą elementów skończonych oraz wyniki przeprowadzonych dotychczas wizji lokalnych zniszczonych zestawów kołowych, prezentowane na rysunku 4.

a)



b)



Rys. 4. Pęknięcie skrośne osi: a) przejście podpiaścia w część środkową osi wagonu towarowego, b) podpiaście wagonu towarowego, widoczne ślady po cięciu palnikiem piasty koła [fot. autora]

W Przemysłowym Instytucie Motoryzacji przeprowadzono doświadczenie polegające na cyklicznym przykładaniu siły zginającej do jednego z końców osi, przy czym oś miała nacięty karb na podpiaściu imitujący ognisko pęknięcia zmęczeniowego. Po kilku milionach cykli obciążeń okazało się, że pęknięcie praktycz-

nie nie propaguje, a złamanie osi nastąpiło dopiero po poddaniu jej obciążeniom znacznie przekraczającym maksymalne obciążenia przyjęte do projektowania. Powyższą regułę potwierdza jednocześnie katastrofa kolejowa w 2009 roku, w której śmierć poniosły 32 osoby. Była ona spowodowana niedostatecznym nadzorem, a w efekcie pęknięciem podpięcia osi wagonu towarowego przewożącego łatwopalną substancję.

Nasuwa się stwierdzenie, że personel techniczny ma dostatecznie dużo czasu na wykrycie wady eksploatacyjnej osi kolejowej. Jest to czas, w którym oś może pokonać nawet kilkadziesiąt tysięcy kilometrów i jest duże prawdopodobieństwo, że w tym czasie będzie ona poddana kontroli ultradźwiękowej. Wykrycie pęknięcia w spodziewanym miejscu przez doświadczony personel powinno być niemal pewne.

5. Wymagania norm europejskich a jakość wyrobu

Osie kolejowe są wynikiem wielu etapów procesu produkcyjnego. Ponieważ wstępny materiał w postaci wlewk kuziennych jest poddawany kuciu swobodnemu – osie kolejowe zalicza się do wyrobów kutych. Jest to etap, w którym oprócz wad przejętych z materiału wyjściowego, takich jak pęcherze, jamy usadowe czy wtrącenia, mogą powstać dodatkowe nieciągłości rdzenia w postaci pęknięć szczelinowych lub powierzchniowe w postaci pęknięć. Etapem zbliżającym wyglądem półfabrykat do gotowej osi kolejowej jest skurowanie, czyli zgrubne toczenie, w którym bryle nadaje się regularny kształt osiowo-symetryczny. Przed skurowaniem odkuwkę poddaje się procesowi normalizacji, czyli procesowi wygrzania materiału a następnie powolnego studzenia, najczęściej w temperaturze otoczenia. Proces ten ma na celu usunięcie naprężeń własnych i uzyskanie drobnoziarnistej struktury materiału, która dalej wpływa na polepszenie właściwości mechanicznych materiału. Natomiast w przypadku stali stopowych, po skurowaniu wykonuje się dodatkowo obróbkę cieplną mającą na celu dalsze podniesienie właściwości wytrzymałościowych materiału.

O ile podczas całego procesu produkcyjnego wady powierzchniowe lub geometryczne są widoczne gołym okiem lub możliwe do zauważenia podczas kontroli produkcji, o tyle wady strukturalne są niemożliwe do wychwycenia gołym okiem. Dlatego stosuje się dodatkowe narzędzia, takie jak kontrola ultradźwiękowa. W tablicy 1 opisano wymagania dla spójności wewnętrznej gotowego wyrobu.

Tablica 1

Wymagania dla spójności wewnętrznej stawiane osi nowej

Normy	Wymagania
<p>PN-EN 13261 + Ap1:2011 [15] PN-EN 13260 + Ap1:2011 [14] ISO 5948:1994 [7]</p>	<p>Wykonanie badania przepuszczalności metodą „T” według ISO 5948:1994. Poziom jakości – echo powrotne musi mieć wysokość co najmniej 50% FSH a wysokość szumów nie może przekraczać 10% FSH. Kalibracja: $V_{max} = 200 \text{ km/h} \rightarrow f = 2-3 \text{ MHz}$ – wysokość echa kalibracji – 40% FSH na wzorcu kalibracyjnym $V_{max} > 200 \text{ km/h} \rightarrow f = 5 \text{ MHz}$ – wysokość echa kalibracji – 90% FSH na wzorcu kalibracyjnym</p> <p>Wykonanie badania z powierzchni bocznej osi metodą DAC lub DGS Poziom jakości $V_{max} = 200 \text{ km/h} \rightarrow f = 2-3 \text{ MHz}$ – $\text{maxEFBH}^* = \Phi 3 \text{ mm}$ $V_{max} > 200 \text{ km/h} \rightarrow f = 5 \text{ MHz}$ – $\text{maxEFBH} = \Phi 1 \div 2 \text{ mm}$, Dla $V_{max} > 200 \text{ km/h}$ poziom jakości należy sprecyzować w kontrakcie.</p>

* EFBH (ang.) – *equivalent flat bottom hole* – wielkość równoważna wady podawana jako średnica równoważnego otworka płaskodennego.

Wymagane poziomy jakości odnoszą się do wyrobów szczególnie odpowiedzialnych, natomiast należy zauważyć, że normy te są stosunkowo młode w stosunku do średniego wieku osi eksploatowanych w Polsce. Ma to swoją konsekwencję w tym, że badań odbiorczych spójności wewnętrznej gotowych osi kolejowych wcześniej nie wykonywano lub że dotarcie do protokołów takich badań jest niemożliwe. Oznacza to, że przed właściwym badaniem eksploatacyjnym osi kolejowej należy wykonać dodatkową czynność – sprawdzić przepuszczalność (strukturę rdzenia osi oraz w przypadku wykrycia nieciągłości ocenić jej wielkość). Sprowadza się to do dodatkowych kosztów utrzymania taboru i często wydłuża czas niezbędny na wykonanie badania. Wykorzystywano wówczas wiedzę o tym, że największe siły gnące i momenty skręcające występują na powierzchni osi, a wady występujące w rdzeniu nie zagrażają istotnie wytrzymałości wyrobu, lecz w skrajnych przypadkach niekorzystna geometria nieciągłości lub pechowe umiejscowienie mogły stać się ogniskiem pęknięcia zmęczeniowego.

Po oddaniu gotowej osi kolejowej do eksploatacji, zaczynają obowiązywać inne wymagania, które precyzuje Norma Europejska [4]. Nie są one tak szczegółowe jak wymagania odbiorcze, ponieważ niniejsza norma ma za zadanie wywrzeć na zarządcy taboru ustalenie zasad nadzoru i poziomu utrzymania zestawów kołowych będących w eksploatacji lub z niej wycofanych. Dopiero z tymi zasadami wiąże się ustalenie, jakie wady eksploatacyjne są dopuszczalne, a jakie niedopuszczalne. Wiąże się z tym duży kłopot dla właścicieli taboru, gdyż do

stworzenia takich wymagań i zredagowania instrukcji badawczych potrzebni są specjaliści z doświadczeniem eksploatacyjnym, certyfikatem kompetencji co najmniej 2 stopnia w danej metodzie nieniszczącej oraz wykonaniem wielu badań doświadczalnych. Można przypuszczać, że współpraca właścicieli taboru, firm eksploatujących oraz jednostek naukowych jest nieodzowna w celu opracowania wymagań i rzetelnych instrukcji badawczych.

Tablica 2

Wymagania dla spójności wewnętrznej stawiane osi eksploatowanej

Normy	Wymagania
PN-EN 15313:2010 [4]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pęknięcia obwodowe mające charakter zmęczeniowy są niedopuszczalne. 2. Rysy są niedopuszczalne. 3. Dopuszczalna wielkość uszkodzeń w kierunku podłużnym powinna być zdefiniowana na podstawie doświadczenia serwisowego.

W tablicy 2 wyszczególniono ogólne wymagania nałożone na zarządcę taboru, natomiast wymagania szczegółowe powinny być określone na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego. W tym celu postanowiono zrzęczyć we wspólnej grupie sektorowej pod nazwą ERA Task Force wiele europejskich firm eksploatujących tabor towarowy, uruchomiono program obejmujący:

1. EVIC – program inspekcji wizualnej osi,
2. ESP – program nieniszczących badań wrywkowych osi zestawów kołowych,
3. EWT – program rejestracji zestawów kołowych.

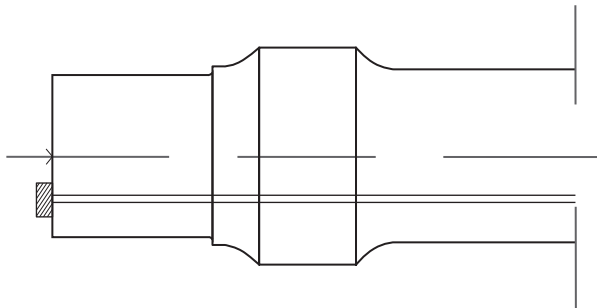
Program ma docelowo stworzyć wspólne europejskie kryteria utrzymania zharmonizowane z normą [4].

6. Metody wykrywania pęknięć zmęczeniowych osi kolejowych

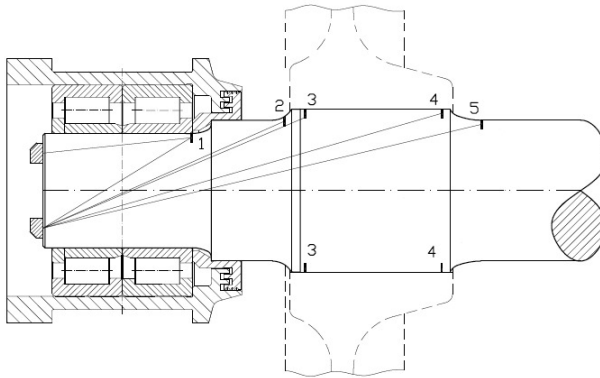
Podstawową metodą badawczą, pozwalającą na skuteczne wykrywanie wad eksploatacyjnych bez rozmontowywania zestawu jest badanie ultradźwiękowe. Jest to metoda zarazem łatwa i trudna. Łatwa ponieważ prowadzenie przetwornika jest bardzo prostą czynnością, natomiast bieżąca interpretacja wskazań wyświetlanych na wyświetlaczu defektoskopu jest niełatwa, czasami wręcz kłopotliwa. Dlatego w przemyśle stosuje się różne zabiegi polegające na częściowej lub pełnej automatyzacji procesu, np. badanie zanurzeniowe, wykluczające wpływ czynnika ludzkiego na niepewność pomiaru. Są to jednak zabiegi wymagające ogromnych nakładów inwestycyjnych, a i tak nadzór powinien sprawować doświadczony i certyfikowany personel.

Dzięki badaniom przeprowadzonym na początku lat siedemdziesiątych XX w. przez COBiRTK, w Polsce powstały normy branżowe, które w sposób szczegółowy opisywały procedurę badania eksploatacyjnego kilku typów osi kolejowych wagonowych i niektórych typów osi lokomotyw elektrycznych, spalinowych a także trakcji parowej. Nastawienie autorów norm było ukierunkowane na wykrywanie pęknięć zmęczeniowych oraz gruboziarnistej lub porowatej struktury rdzenia. Gdyby nie arkusze przedmiotowej normy branżowej [3] oraz uzupełniające ją prace COBiRTK, dziś nie byłoby żadnych polskich instrukcji opisujących metodykę badania ultradźwiękowego osi kolejowych, a właściciele taboru byłiby skazani na zakup licencji na instrukcje od zagranicznych ośrodków zrzeszających przewoźników sektorowych.

Jak opisano w poprzednim rozdziale, pierwszą czynnością przed zasadniczym badaniem eksploatacyjnym jest wykonanie tzw. badania przepuszczalności, które ma na celu ocenę zdatności materiału do badania ultradźwiękowego oraz wykrycie potencjalnych nieciągłości rdzenia osi. Zgodnie z obecnymi wymaganiami europejskimi, oś mająca niedopuszczalne nieciągłości lub charakteryzująca się nieprawidłową mikrostrukturą musi zostać odrzucona już na etapie badania odbiorczego u producenta. W trakcie zasadniczego badania, są używane specjalistyczne głowice o określonych częstotliwościach pracy przetwornika piezoelektrycznego, kierujące wiązkę ultradźwiękową w krytyczne obszary osi, gdzie na podstawie badawczego doświadczenia, pęknięcia zmęczeniowe są oczekiwane z największym prawdopodobieństwem. Dla każdego typu osi wymagane kąty padania wiązki na obszary krytyczne są nieco inne, stąd niezbędne jest posiadanie obszernej bazy sprzętowej, składającej się z defektoskopu, kilku głowic normalnych na fale podłużne, kilkunastu głowic o różnych kątach na fale podłużne i kilku głowic o różnych kątach na fale poprzeczne, nie wspominając już o głowicach z przylgami dopasowanymi do powierzchni przesuwu. Rysunek 5 przedstawia schemat badania przepuszczalności, a rysunek 6 najczęściej wykonywane w eksploatacji badanie zasadnicze metodą uproszczoną, które można wykonać po zdjęciu dekla maźnicy i odkręceniu obudowy łożyska z czoła czopa.

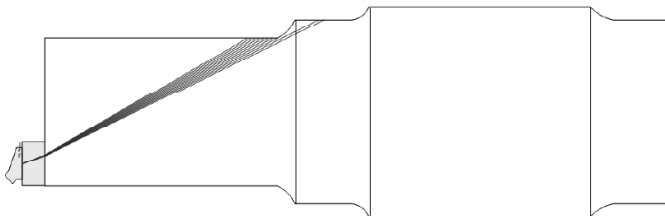


Rys. 5. Badanie przepuszczalności. Schemat prowadzenia głowicy i przenikania fali

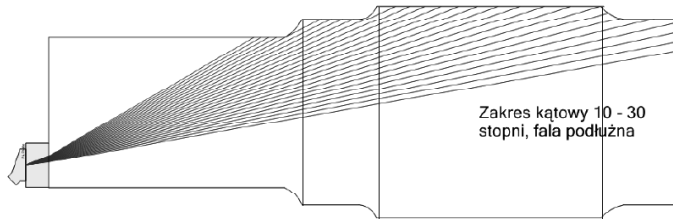


Rys. 6. Badanie metodą uproszczoną. Schemat wpuszczania fali ultradźwiękowej [rys. I. Mikłaszewicz]

Podczas badania eksploatacyjnego nastawionego na wykrywanie pęknięć poprzecznych, bardzo istotne jest właściwe ukierunkowanie wiązki ultradźwiękowej dokonane przez dobór właściwego kąta głowicy na fale podłużne oraz właściwe prowadzenie głowicy po powierzchni czoła czopa. W przypadku zmiany kąta głowicy, procedurę skalowania sprzętu należy zacząć od nowa, co przyczynia się do znacznego wydłużenia czasu badania. Receptą na to jest zastosowanie układu wielokanałowego, w którym defektoskop jest połączony z kilkoma głowicami jednocześnie, każdy kanał ma osobną kalibrację, natomiast wybór kąta głowicy sprowadza się do aktywacji poszczególnego kanału, z którego sygnał jest wyświetlany na ekranie defektoskopu (rys. 7). Wadą w tym przypadku jest nieporęczność lub przymus stosowania dodatkowego oprzyrządowania w postaci tarcz prowadzących głowice. Nowym rozwiązaniem stosowanym od kilku lat w przemyśle i medycynie jest *Phased Array* polegająca na stosowaniu jednej głowicy wieloprzetwornikowej. Podstawową zasadę techniki *Phased Array* pokazano na rysunku 8.



Rys. 7. Technika echa, głowica kątowa $\beta = 29^\circ$ na fale podłużne



Rys. 8. Technika *Phased Array*. Głowica wieloprzetwornikowa $\beta = (10-30)^\circ$ na fale podłużne

Ogromną zaletą metody *PA* jest zobrazowanie odbieranych sygnałów, które rewolucjonizuje badanie ultradźwiękowe tak jak ultrasonograf zrewolucjonizował medycynę. W zależności od rozdzielczości głowicy i częstotliwości próbkowania defektoskopu, powstaje ogromna ilość oscylogramów, które są składane w graficzne zobrazowanie typu D-scan, znacznie ułatwiające interpretację uzyskiwanych wskazań. Jest to jednak metoda nieuregulowana, gdyż brakuje przepisów dotyczących zasad przygotowywania sprzętu do badań, a zobrazowanie typu D-scan jest nieokreślone normą [11], przez co cały aparat jest zgodny z powyższą normą jedynie w trybie A-scan.

W celu zatwierdzenia metody *Phased Array* oraz zobrazowania typu D-scan niezbędne jest wykonanie wielu testów mających na celu walidację metody, jak również jest niezbędne stworzenie nowych instrukcji badawczych pozwalających na stosowanie najnowszej techniki badawczej w przemyśle kolejowym.

7. Podsumowanie

Osie kolejowe są bardzo odpowiedzialnymi wyrobami, przez co cały ich cykl życiowy, od momentu projektowania, przez eksploatację i nadzór nad wyrobami wycofanymi z eksploatacji jest uregulowany przepisami europejskimi, które muszą być ściśle przestrzegane.

Oś kolejowa jest poddawana wysokocyklowym obciążeniom zmiennym, które bardzo negatywnie wpływają na żywotność wyrobu. Wymiary osi są często ograniczone przez współpracujące elementy układów biegowych, co skłania konstruktorów i technologów do wykorzystywania coraz to lepszych materiałów i wykorzystywania techniki ulepszania w celu osiągnięcia wymaganych parametrów wytrzymałościowych.

Technika ultradźwiękowego badania odbiorczego jest w dobrym stopniu uregulowana przez europejskie dokumenty odniesienia, natomiast szczegóły ultradźwiękowego badania eksploatacyjnego powinny być określone przez odpowiednie instrukcje wewnętrzne zarządców taboru na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego.

Wykorzystywana od wielu dziesięcioleci technika ultradźwiękowa jest nadal jedyną skuteczną techniką używaną do wykrywania wad eksploatacyjnych bez rozmontowywania zestawu kołowego. Bardzo szybki postęp techniczny pozwala już powszechnie stosować sprzęt cyfrowy, wielokanałowy, techniki zautomatyzowane, które przyczyniają się do zwiększania wykrywalności wad materiałowych w osiach kolejowych i zwiększenia tempa badania.

Najnowsza technika *Phased Array* jest świetnym uzupełnieniem obecnie stosowanej techniki lecz niezbędne jest wykonanie walidacji metody w celu dopuszczenia jej do wykorzystywania przed wydaniem norm określających warunki stosowania nowej, łatwiejszej w użytkowaniu metody.

Literatura

1. Antolik Ł.: *Instrukcja badania ultradźwiękowego metodą uproszczoną osi kolejowych typu B/130*, Materiały szkoleniowe niepublikowane. Warszawa 2012.
2. Antolik Ł.: *Kierunki rozwoju badań ultradźwiękowych w kolejnictwie na przykładzie badań osi kolejowych*, Problemy Kolejnictwa, Zeszyt nr 163, Warszawa 2014.
3. BN-77/3582-02: *Nieniszczące metody badań. Badania ultradźwiękowe osi zestawów kołowych w wagonach eksploatowanych*.
4. EN 15313:2010: *Railway applications. In-service wheelset operation requirements. In-service and off-vehicle wheelset maintenance*.
5. Gójski I.: *Europejski program działań w zakresie utrzymania osi, zestawów, wagonów towarowych*, Seminarium IGTL, Warszawa 2010.
6. Hottowy G.: *Powstawanie i rozwój pęknięć zmęczeniowych w osiach kolejowych*, Materiały szkoleniowe niepublikowane, Warszawa 2010.
7. ISO 5948:1994: *Railway rolling stock material – ultrasonic acceptance testing*.
8. Mikłaszewicz I.: *Ultradźwiękowe badanie osi kolejowych zestawów kołowych*, Materiały szkoleniowe niepublikowane. Warszawa 2012.
9. Miś R.: *Badania ultradźwiękowe w taborze kolejowym. Nowe technologie i nowe możliwości*, Materiały szkoleniowe niepublikowane, Warszawa 2013.
10. PN-EN 10228-3:2000: *Badania nieniszczące odkuwek stalowych. Badanie ultradźwiękowe odkuwek ze stali ferrytycznych i martenzytycznych*.
11. PN-EN 12668-1:2010: *Badania nieniszczące. Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej. Część 1: Aparatura*.
12. PN-EN 13103 +A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych tocznych. Zasady konstrukcji*.
13. PN-EN 13104 +A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie zestawów kołowych napędnych. Zasady konstrukcji*.

14. PN-EN 13260 + A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Zestawy kołowe. Wymagania dotyczące wyrobu.*
15. PN-EN 13261+A1:2011: *Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Osie. Wymagania dotyczące wyrobu.*

Methodology of Fatigue Cracks Detection in Railway Axles in Comparison with European Standards Requirements

Summary

In this paper, the sources of fatigue cracks formation in railway axles are presented. There is shown a comparison of internal integrity requirements that need to be met for a new railway axis and for a one that has been already in-service. The source documents are presented, which regulate the research methodology with a comparison of a unified research methodology with a type A visualization according to PN-EN 12668-1:2010 and with a type D visualization (*Phased Array*), which is inconsistent with PN-EN 12668-1:2010 and widely used in industry.

The carried tests and the analysis of the results allow the conclusion that Phased Array technique is a technique for future, much shortening ultrasonic scanning of railway axis and partially eliminating the process of results interpretation. However, there is a serious barrier to be overcome before the PA technique will be successfully implemented. The method validation must be performed, which is expensive and time-consuming, as well as, the research instructions of railway axis, taking into account new technique, must be developed.

The obtained results indicate the need for detailed tests to validate the method in order to place it in service by railway carriers. It is necessary though to establish a coordinating body to take action in terms of design and unification of national requirements for wheelsets in-service with the European railway market in order to maintain the rolling stock in-service at the highest possible level.

Keywords: railway axis, derailment, reliability, ultrasonic testing