

Badania defektoskopowe szyn kolejowych

Defectoscopic examinations of railway rails



Łukasz Rawicki

Mgr inż.

Łukasiewicz - Instytut
Spawalnictwa w Gliwicach

lukasz.rawicki@is.gliwice.pl



Jacek Ślania

Prof. dr hab. inż.

Łukasiewicz - Instytut
Spawalnictwa w Gliwicach

Streszczenie: Badania nieniszczące stanowią kluczowy element zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonowania nawierzchni kolejowej. Pozwalają one na wykrywanie nieciągłości powstałych zarówno na etapie wytwarzania, jak i eksploatacji. Jednak badania nieniszczące wykazują pewne ograniczenia, które wynikają z ich natury. W zdecydowanej większości są one metodami pośrednimi, w których o występowaniu nieciągłości wnioskuje się na podstawie przebiegu określonych zjawisk fizycznych. Metody badań nieniszczących dostarczają informacji o właściwościach badanego obiektu. Ich cele to wykrywanie oraz ocena charakteru nieciągłości. W artykule przybliżono niektóre z metod możliwych do zastosowania przy badaniu szyn kolejowych takie jak badania wizualne oraz badania ultradźwiękowe. Zwrócono również uwagę na badania niekonwencjonalne stosowane w praktyce i pozwalające na wykrycie nieciągłości takie jak metodę strumienia pola rozproszenia oraz pomiar pola prądu przemiennego.

Słowa kluczowe: *Badania VT; Metoda MFL; Metoda MPM; Metoda AFCM; Metoda UT; Technika PA*

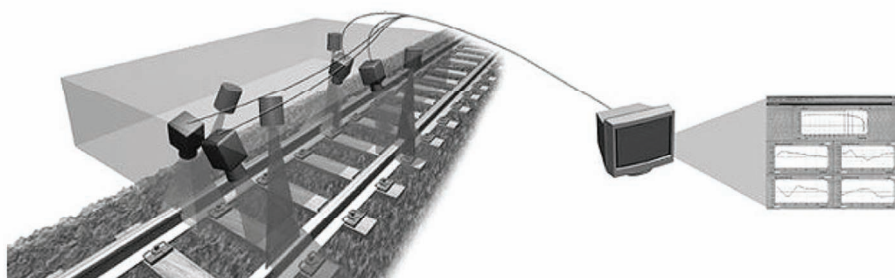
Abstract: Non-destructive testing is a key element in ensuring the safe operation of the railway track. They allow for the detection of discontinuities arising both at the stage of production and operation. However, non-destructive testing has some limitations due to its nature. The vast majority of them are indirect methods in which the occurrence of discontinuities is inferred from the course of specific physical phenomena. Non-destructive testing methods provide information about the properties of the tested object. Their goals are to detect and estimation the nature of the discontinuities. The article presents some of the methods that can be used in the examination of railway rails, such as visual and ultrasonic tests. Attention was also paid to unconventional tests used in practice and allowing the detection of discontinuities, such as the method of the scatter field flux and the measurement of the alternating current field.

Keywords: *VT research; MFL method; MPM method; AFCM method; UT method, PA technique*

Defektoskopia odgrywa bardzo ważną rolę w procesie wykrywania pęknięć szyn. Utrzymanie na właściwym poziomie nawierzchni kolejowej wymaga przeprowadzania systematycznych badań. Łączenie szyn odbywa się przez zgrzewania oporowe lub przez spawanie termitowe. Wymienione technologie łączenia generują możliwość występowania wad, które wykrywane są metodami diagnostycznymi w tym m.in. badaniami wizualnymi, magnetycznymi czy ultradźwiękowymi. Stanowi ona czynnik decydujący o bezpieczeństwie sieci kolejowych. Zasada oceny wad w badaniach defektoskopowych polega na porównaniu wielkości wad z ich wzorcami. Parametrami branymi pod

uwagę są wielkości geometryczne takie jak długość czy pole wady. Bez względu na zasady funkcjonowania każdej z kolei, utrzymanie dróg kolejowych wymagać będzie zawsze usuwania pewnej części szyn z powodu ich pęknięć lub zniszczeń powstałych w procesie produkcyjnym lub podczas ich eksploatacji. Ważne jest więc monitorowanie zachowania się szyn w torze, dzięki czemu

zarówno użytkownicy jak i producenci mogą skupić swoje wysiłki na podnoszeniu jakości i jednocześnie poprawiać warunki ich eksploatacji [1]. Podstawowymi badaniami w kontroli wizualnej szyn kolejowych jest zastosowanie szybkich kamer [2]. Podczas przejazdu pociągu inspekcyjnego następuje rejestracja obrazu, który następnie analizowany jest przy użyciu odpowiedniego oprogra-



1. Kontrola toru kolejowego za pomocą kamer [2]

mowania. Systemy kontroli wzrokowej wykorzystywane są do pomiaru profilu główki szyny, poluzowań w stykach szyn. Zastosowanie kontroli wizualnej nie daje pełnych informacji i wykrycia wad wewnętrznych możliwych do uzyskania z zastosowaniem badań ultradźwiękowych. Systemy wizualne dają natomiast możliwość sprawdzenia całej powierzchni szyny jak również sprawdzenia braku przytwierdzeń, podkładów czy podsypki. Na rysunku 1 pokazano przykład kontroli toru kolejowego za pomocą kamer [2].

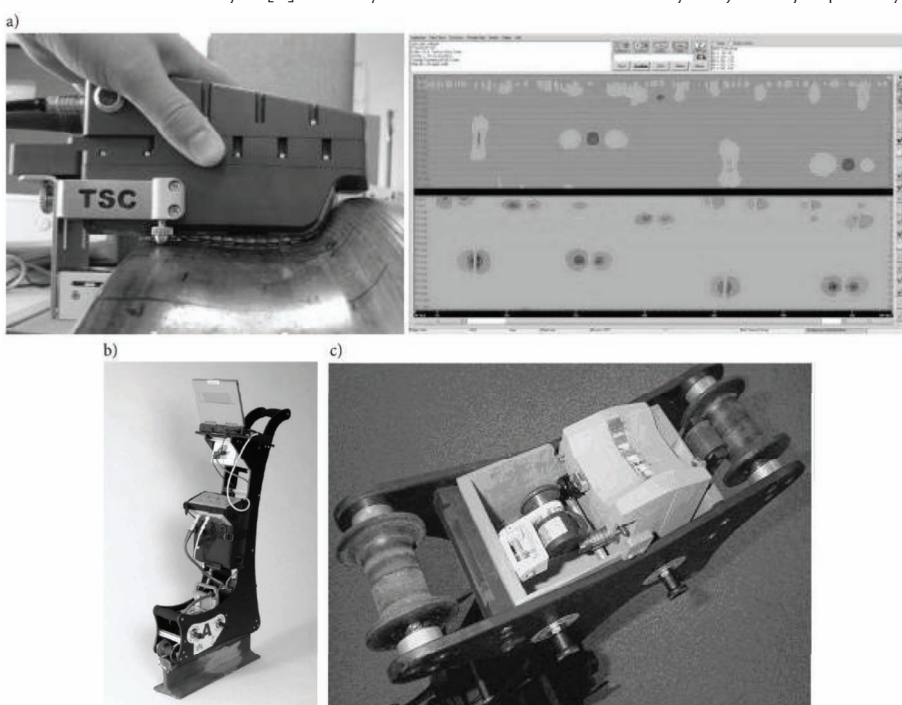
Wśród badań nieniszczących wykorzystywane są również metody magnetyczne stosowane w mobilnej diagnostyce szyn kolejowych. Do występujących tutaj metod można zaliczyć metodę strumienia pola rozproszenia oraz pomiar pola prądu przemiennego [3]. Metoda magnetycznego strumienia rozproszenia MFL wykorzystywana jest do wykrywania nieciągłości w zbiornikach, w stalowych linach, jak również w elementach podawanych ciągłej eksploatacji. Metoda MFL wykorzystywana jest do badania materiałów ferromagnetycznych i polega na uzyskaniu odpowiedniego nasycenia polem magnetycznym w obszarze materiału badanego [3]. W sąsiedz-

twie nieciągłości wzrasta opór do indukowania pola magnetycznego a przy wystarczająco wysokiej wartości, pole magnetyczne rozchodzi się wokół nieciągłości materiałowych. Rozproszenie pola magnetycznego mierzone jest za pomocą czujników magnetycznych znajdujących się w pobliżu powierzchni. Wysokość czujników reguluje wzmocnienie sygnału MFL. Metoda MFL jest znacznie prostsza pod względem interpretacji w stosunku do innych metod elektromagnetycznych. Poza sygnałem amplitudy można określić położenie sygnału od wad. Liczba czujników wpływa na dokładność wykonania pomiaru. Przeprowadzenie badania wymaga odpowiedniej kalibracji urządzenia, a interpretacji sygnałów może być obciążona błędem do geometrii powierzchni czy jej stanem oraz grubości powłoki. Zaletami metody MFL jest zdolność do bezkontaktowej kontroli szyn przy zachowaniu szczeliny od 8-10 mm między powierzchnią badanej szyny, wysoka prędkość wagonu defektoskopowego i wysoka wiarygodność w różnym zakresie temperatur. Obraz na defektogramach w zakresie elementów konstrukcyjnych toru takich jak podkłady kolejowe, krzyżownice [4].

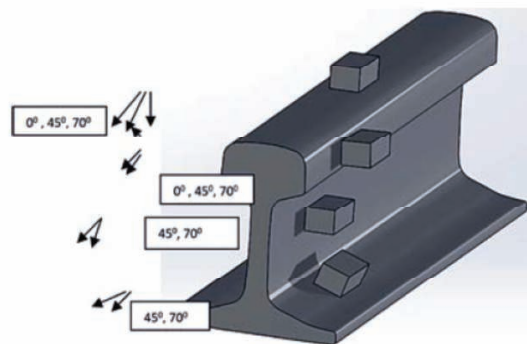
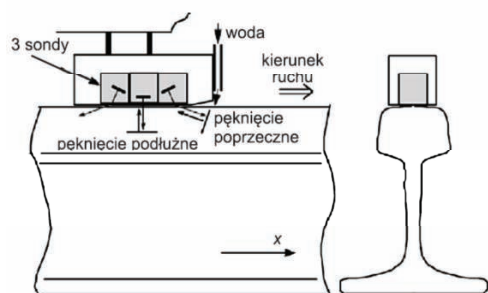
Metoda magnetycznej pamięci

metal MPM opiera się na rejestracji lokalnych pól rozproszenia na powierzchni badanego przedmiotu w celu ustalenia stref koncentracji naprężeń, jednorodności struktury metalu. Zastosowanie metody nie wymaga zastosowania specjalnych urządzeń magnesujących. Badanie może być wykonywane bez wstępnego przygotowania kontrolowanej powierzchni. Do wykonywania badania potrzebne są urządzenia z niezależnym zasilaniem charakteryzujących się niewielkimi wymiarami [5]. Metoda MPM umożliwia wstępną diagnozę zużycia zmęczeniowego oraz przewidywanie niezawodności obiektu. Do istotnych wad rozpatrywanej metody zalicza się słabą powtarzalność wyników. Metoda znajduje zastosowanie do badania szyn kolejowych zarówno w trybie ręcznym jak i automatycznym. Do badań automatycznych znajdują zastosowanie wagony defektoskopowe [6].

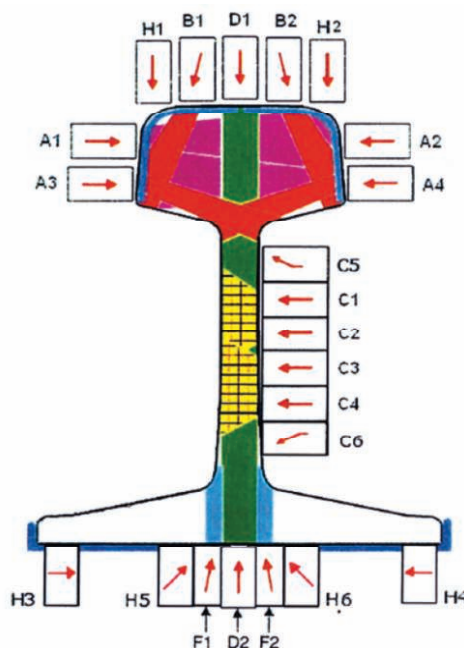
Metoda pomiaru pola prądu przemiennego (ACFM) znalazła zastosowanie w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku jako metoda bezstykowego potencjalnego spadku prądu przemiennego [1, 7]. Wykorzystywana była do pomiaru głębokości pęknięć. Jest to elektromagnetyczna metoda pomiaru głębokości pęknięć w metalach. Badanie polega na przepływie prądu przemiennego blisko powierzchni przewodnika i nie zależy od geometrii elementu. W elementach bez nieciągłości prąd elektryczny przepływa bez zakłóceń. W momencie natrafienia na nieciągłości przepływ prądu elektrycznego jest zakłócony. Przepływa wokół końców oraz w dół pęknięcia. Pole magnetyczne powyżej powierzchni metalu które związane jest z prądem ulega również zakłóceniu. Badanie nie wymaga kontaktu elektrycznego ani magnetycznego wykorzystywanych czujników. Może być stosowane bez usuwania powłoki ochronnej (farba, olej, rdza). Po usunięciu czujników natężenie prądu spada proporcjonalnie do kwadratu. Sygnał spada wolno nawet po odłączeniu od badanej po-



2. Technika ACFM [7]



3. Prowadzenie głowic podczas badania szyn [8]



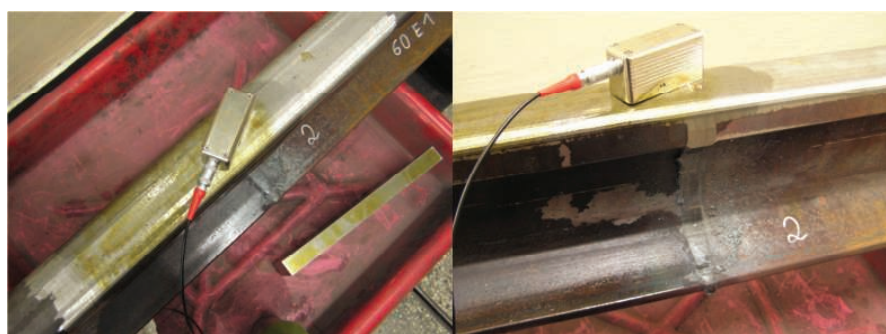
4. Układ głowic do badania szyn na ostatnim etapie wytwarzania [8]

wierzchni na odległość większą od 5 mm [3]. Nierówność powierzchni lub grubsza warstwa powłoki ochronnej stwarza mniej problemów niż przy badaniu wykonywanym za pomocą czujników prądów wirowych umieszczonych w mniejszej odległości niż w metodzie pomiaru pola prądu przemiennego. Technologia znalazła zastosowanie w przemyśle kolejowym jak również w badaniu szyn. Skupiono tutaj uwagę na wymiarowanie pęknięć zmęczeniowych na szynach, gdzie nie jest to możliwe z wykorzystaniem badań ultradźwiękowych oraz kontroli wzrokowej. W badaniach metodą ACFM wykorzystywane są czujniki ołówkowe jak również wieloelementowe czujniki matrycowe. Wykrywanie wad jest możliwe w każdym kierunku jednak najlepiej jeśli wady są pod kątem 0-30° i 60°-90° względem kierunku sondy. Na rysunku 2 przedstawiono sprzęt i zobrazowanie w trakcie wykonywania badania ACFM [3,7].

Odpowiedzią na pytanie, co znajduje się w objętości elementu badanego dają badania ultradźwiękowe. Umożliwiają one wykrycie wad wewnętrznych oraz oceny ich wielkości. Podobnie jak w badaniach wizualnych istnieje możliwość monitorowania rozwoju wady i porównywania

ich z wcześniej przeprowadzonymi badaniami [8, 9]. Wykrywanie wad w szynach jest jednym z pierwszych zastosowań badań ultradźwiękowych. Układy defektoskopowe stosowane na stanowiskach kontrolnych w hutach i w ruchomych urządzeniach do badań torowych są bardzo zaawansowane. Zastosowanie odpowiedniej ilości głowic umożliwia objęcie badania obszaru przekroju szyny za wyjątkiem części stopki. Wadami nie dającymi się wykrywać w trakcie badań

ultradźwiękowych są wady powstające pod powierzchnią i rozwijające się w postaci poziomego pęknięcia. Poprzeczne pęknięcia zmęczeniowe są szczególnie niebezpieczne. Głowicami używanymi do badań są pojedyncze i podwójne głowice fal podłużnych oraz głowice fal poprzecznych o kącie wprowadzenia wiązki 45° i 70° [8]. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono sposoby przyłożenia głowic ultradźwiękowych w trakcie prowadzenia badań ultradźwiękowych



5. Przykład wykorzystania ultradźwiękowej techniki echa [10]

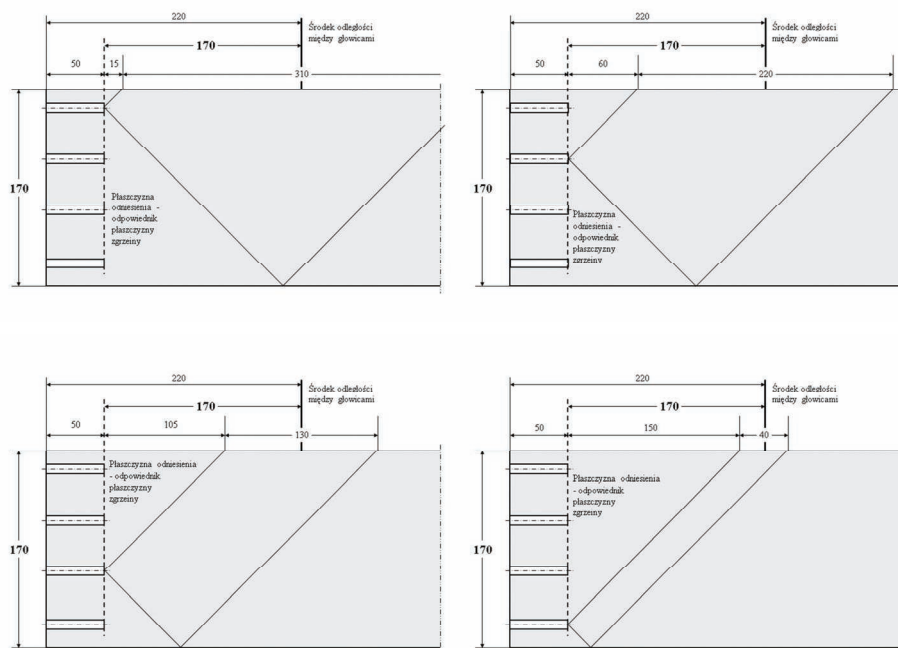
Badanie szyn zamocowanych na torze powoduje wprowadzanie fal ultradźwiękowych z powierzchni głowki przez warstwę cieczy sprzęgającej z powierzchnią badania. Niemożliwy jest dostęp z powierzchni stopki i nie można wykryć rozwijających się pęknięć eksploatacyjnych w stopce. Poprzeczne pęknięcia na szynach zaczynają się najczęściej na zewnętrznych krawędziach stopki. Nie wykryte wcześniej prowadzą do zniszczenia. Zestawy głowic ze sprzężeniem cieczowym nie dają właściwych efek-

tów przy wykrywaniu pionowych pęknięć w głowce, które powstają najczęściej w części środkowej głowki. Niekorzystna orientacja i rozwój pęknięć w kierunku podłużnym i poprzecznym są bardzo niebezpieczne. Celem badania złączy spawanych złączy szynowych jest wykrycie wad występujących w całym przekroju złącza. Badaniom podlegają spoiny i zgrzeiny wykonywane w trakcie napraw nawierzchni oraz inne w zależności od potrzeb [2]. W technice echa stosuje się pojedynczą głowicę, która

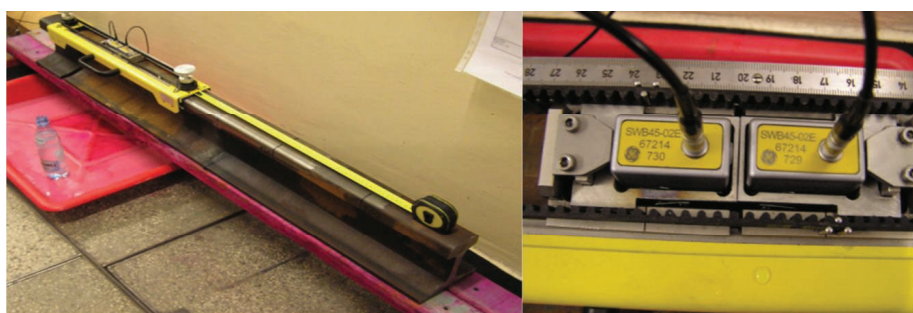
początkowo stanowi nadajnik impulsów, a następnie zostaje „przełączona” i odgrywa rolę odbiornika. Sygnał wysyłany przez głowicę do materiału odbija się od nieciągłości lub od przeciwległej powierzchni i wraca do głowicy. Mierząc czas upływający od momentu wysłania impulsu do momentu jego powrotu i odebrania przez głowicę można określić, znając prędkość fali ultradźwiękowej w materiale, odległość głowicy od przeszkody. Na podstawie wysokości echa niezgodności na ekranie defektoskopu, można określić jej przybliżony wymiar. Na rysunku 5 przedstawiono przykład badania przy pomocy ultradźwiękowej techniki echa.

W technice tandem używa się układu dwóch głowic kątowych, nadawczej i odbiorczej, ustawionych w stałej odległości od siebie podczas przesuwania złącza. Dla zbadania całej objętości złącza układ głowic przesuwa się kilkakrotnie wzdłuż spoiny zmieniając odległość między głowicami tak, aby za każdym razem przesukać inny obszar spoiny [9]. Sposób usytuowania głowic w technice tandem i lokalizacji wskazań na przykładzie próbek odniesienia pokazano na rysunku 6. Natomiast na rysunku 7 widać przyrząd do badania szyn w technice tandem. Na specjalnych prowadnicach osadzone są głowice 2T45°. Podziałka milimetrowa ułatwia ustawienie głowic w odpowiednich położeniach względem siebie. Przewody zasilające wyprowadzone od góry ułatwiają przesuwanie głowic względem siebie i umożliwiają ich stabilne zamocowanie [10, 11].

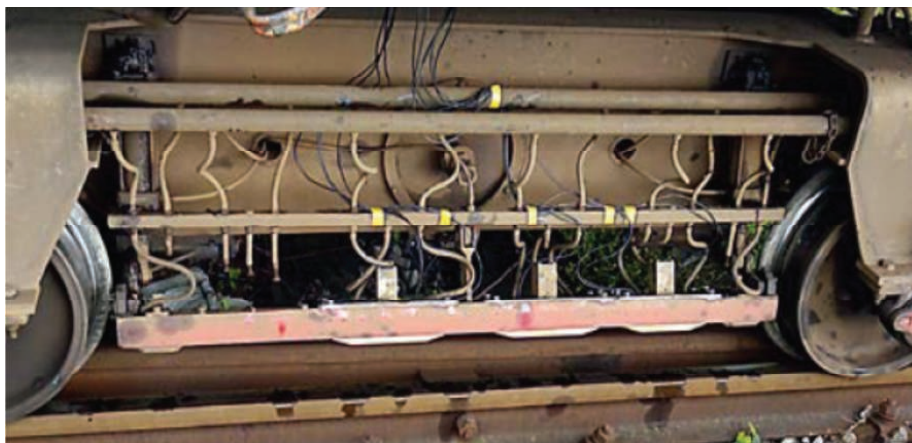
Badanie z powierzchni tocznej szyny daje możliwość zastosowania defektoskopów wielokanałowych z zastosowaniem pojedynczych i podwójnych głowic ultradźwiękowych o różnych kątach wprowadzenia fali ultradźwiękowej co pokazano na rysunku 8. Prędkość wagonów inspekcyjnych wynosi około 50 km/h. Do wykonania i kontaktu głowicy z powierzchnią toczną szyny konieczne jest zastosowanie środka sprzęgającego jakim jest woda.



6. Przykłady lokalizacji wskazań na przykładzie próbek z reflektorami wzorcowymi [10]



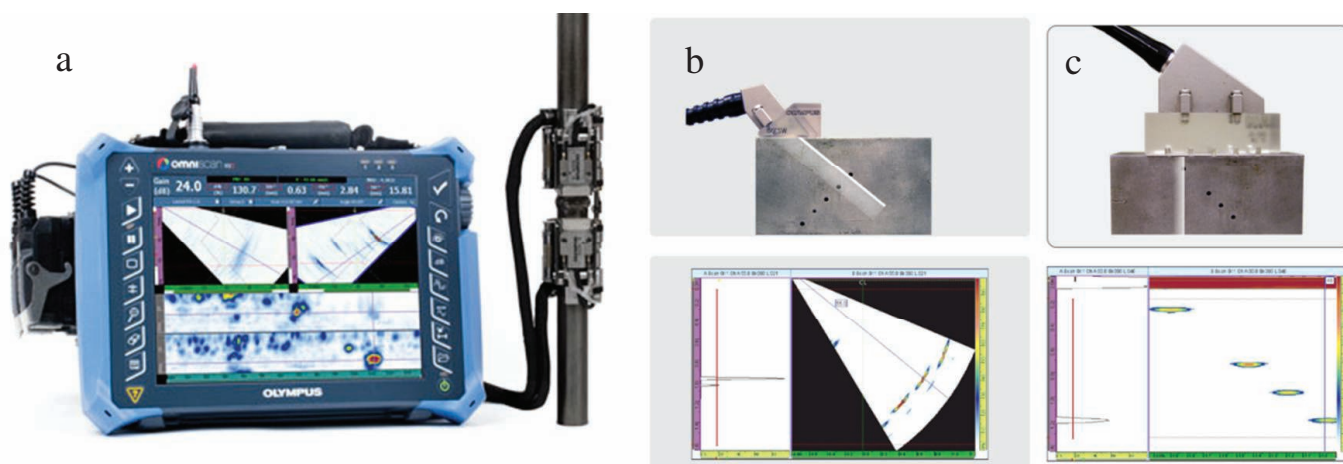
7. Przyrząd do badania techniką Tandem [10]



8. Płoza wózka wagonu z zamontowanymi głowicami UT [8]



9. Wózek RDM-12 do badania szyn kolejowych [8]



10. Aparatura do badania techniką PA: a) defektoskop i skaner, b) głowica skośna i wyniki badania z wykorzystaniem skanu sektorowego, c) głowica prosta i wyniki badania z wykorzystaniem skanu liniowego [12]

Obrazy przeglądane na monitorach dają możliwość kwalifikacji wad. Zastosowanie wózków do badania szyn w zakresie lokalnego badania przy zastosowaniu głowic fal podłużnych i poprzecznych o kątach 0° , 45° , 70° . Rejestracja badania wykonywana jest za pomocą systemu komputerowego dającego możliwość podglądu badania w dowolnym momencie. Połączenia szyn z krzyżownicami rozjazdów wymagają zastosowania badań ręcznych. Proste odcinki szyn mogą być badane z zastosowaniem wózków ręcznych oraz wózków inspekcyjnych co pokazano na rysunku 9.

Przełomem w zastosowaniu badań ultradźwiękowych jest technika *Phased Array PA*, która stanowi rozwinięcie konwencjonalnych badań ultradźwiękowych techniką echa. W technice *Phased Array* znalazły zastosowanie głowice mozaikowe, zawierające pewną liczbę niewielkich, nie-

zależnie sterowanych przetworników (zazwyczaj 16-64) [12]. Zastosowanie głowicy mozaikowej umożliwia wprowadzenie serii wiązek ultradźwiękowych, przetworzenie otrzymanych sygnałów i ich analizę w postaci graficznej z amplitudą kodowaną paletą barw. Powstały w ten sposób S-skan obrazujący położenie wskazań na tle konturu rowka spoiny znacznie ułatwia późniejszą ocenę i charakteryzowanie wykrytych wskazań [12].

W technice *Phased Array* możliwe jest sterowanie kątem wprowadzenia wiązki ultradźwiękowej, co daje możliwość uzyskania dowolnych kątów padania lub załamania wiązki poprzez pobudzenie wskazanych przetworników głowicy w zaprogramowanych sekwencjach. Jedną głowicą daje możliwość przeprowadzenia skanów przy różnych kątach. Zaletą tej techniki jest również skrócenie czasu badań co wiąże się m.in.

z brakiem konieczności wymiany głowic, a co za tym idzie ponownych kalibracji sprzętu [13]. Na rysunku 8 pokazano przykład bloku kalibracyjnego oraz głowicy w badaniach PA. Zobrazowanie niezgodności oraz system do badania półautomatycznego PA przedstawione są na rysunku 9. W technice PA do obiektu badanego w celu przeszukania objętości badanego materiału wprowadza się wiązkę ultradźwiękową przy wykorzystaniu fal poprzecznych. Stosowane częstotliwości, zakresy stosowanych przetworników jak również stosowane charakterystyki wiązek ultradźwiękowych nie różnią się od stosowanych w tradycyjnych badaniach ultradźwiękowych. Zasada badania jest bardzo zbliżona do klasycznej metody ultradźwiękowej. Akceptacja wskazań polega na pomiarze maksymalnej amplitudy echa w odniesieniu do ustalonego echa reflektora wzorc-

wego [14]. Na rysunku 10a pokazano defektoskop wraz ze skanerem do przeprowadzania badań PA. Na ilustracjach b i c widoczne są przykłady zobrażeń skanu liniowego i sektorowego. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Makuch J.: Prezentacja. Diagnostyka szyn, wady w szynach. Katedra Mostów i Kolei. Politechnika Wroclawska. Wrocław 2015
- [2] Lesiak P., Wlazło M.: Badania wad Head Checking w szynach kolejowych metodą optyczną, Prace naukowe Politechniki Warszawskiej, Transport zeszyt 104, 2014
- [3] Nichoha V, Shkliarskiy V.: Metoda strumienia rozproszenia pola magnetycznego w diagnostyce szyn kolejowych oraz jej miejsce wśród mobilnych środków badania nieniszczącego, Problemy kolejnictwa Zeszyt 180, wrzesień 2018, s.23-27
- [4] Costain J., Pearson N.R.: Możliwo- ści współczesnych skanerów den zbiorników działających w oparciu o metodę strumienia rozproszenia pola magnetycznego. Badania Nieniszczące i Diagnostyka, 2017, nr 1–2, s. 20–23.
- [5] Roskosz M., Witoś M., Żurek Z.H., Fryczkowski K.: Porównanie możliwości diagnostycznych metod magnetycznej pamięci metalu, szumu Barkhausena i niskoczęstotliwościowej impedancji. Przegląd Spawalnictwa, 2016, nr 10, s. 57–62.
- [6] Sikora R., Chady T.: Badania nieniszczące metodami elektromagnetycznymi. Przegląd Elektrotechniczny, 2016, nr 9, s. 1–7.
- [7] Cost H.: Pomiar głębokości pęknięć – aktualna technika pomiarowa. Tech Control.
- [8] Kowalczyk D., Antolik Ł., Mikłaszewicz I.: Wady szyn kolejowych, a badania ultradźwiękowe Badania nieniszczące i diagnostyka, 2019, nr.4, s.9-13
- [9] Deputat J.: Nowe Techniki Badań Ultradźwiękowych. Pracownia Ultradźwiękowych badań materiałów. IPPT PAN Warszawa
- [10] Hottowy G.: Materiały własne firma Ekstplast.
- [11] Wytyczne PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Id-17:2005.: Wytyczne ultradźwiękowych badań złączy szynowych, zgrzewanych i spawanych. Warszawa 2005
- [12] Kaczmarek K.: Prezentacja. Nowoczesne techniki badań ultradźwiękowych oraz ich zastosowanie. Gliwice 2017
- [13] Mackiewicz S.: Badania złączy spawanych techniką Phased Array w świetle wymagań PN-EN ISO 13588. Przegląd Spawalnictwa nr 12/2015, s. 101-106
- [14] Mackiewicz S.: Ultradźwiękowe badania złączy spawanych techniką Phased Array. XXI Nieniszczące Badania Materiałów. Zakopane 18-20 marca 2015.



14. MIĘDZYNARODOWE TARGI KOLEJOWE

TRAKO

[21–24.09.2021]
GDAŃSK – TRAKOTARGI.PL

warto **TU** być

