

Łukasz Sarniak^{1*}, Maciej Szwed¹, Aleksandra Krawczyk², Mateusz Andrzejczyk², Andrzej Zagórski¹

¹Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska

²Huta Bankowa Sp. z o.o., Dąbrowa Górnicza

Wdrożenie technologii zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy, przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, metodą ultradźwiękową

Implementation of automated quality control technology of rings and rims, intended for rolling stock producers, by ultrasonic testing

ABSTRACT

Huta Bankowa, which is the only Polish manufacturer of rims for rolling stock manufacturers, as part of the development of its research potential and the quality of the products it offers, is planning to implement automated ring and rim ultrasonic testing technology in the near future. In this paper, the entire technological system of automated rim testing, owned currently by Huta Bankowa, was presented, with a special discussion of the ultrasonic examination stand. The assumptions concerning the designed testing system, using the latest technological solutions and selected results of numerical simulations of ultrasonic tests, made by CIVA software, on the basis of which the assumptions were made were also presented

Keywords: ultrasonic testing; rolling stock; rims; rings; Phased Array

STRESZCZENIE

Huta Bankowa, która jest jedynym polskim producentem obręczy przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, w ramach rozwoju swojego potencjału badawczego i podwyższenia jakości oferowanych wyrobów, w najbliższym czasie planuje wdrożyć technologię zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy metodą ultradźwiękową. W ramach niniejszego artykułu zaprezentowano cały ciąg technologiczny badania obręczy w cyklu zautomatyzowanym, będący obecnie na wyposażeniu Huty Bankowej, ze szczególnym omówieniem stanowiska do badań ultradźwiękowych. Przedstawiono także założenia dotyczące projektowanego stanowiska badawczego, wykorzystującego najnowocześniejsze rozwiązania technologiczne oraz wybrane wyniki symulacji numerycznych badań ultradźwiękowych, wykonanych za pomocą oprogramowania CIVA, na których podstawie przeprowadzono weryfikację przyjętych założeń.

Słowa kluczowe: badania ultradźwiękowe; tabor kolejowy; obręcze; pierścienie; Phased Array

1. Wstęp

Celem zwiększenia potencjału badawczego Huty Bankowej jest uzyskanie możliwości oferowania na rynku wyrobów kuto-walcowanych o jakości potwierdzonej w wiarygodnym oraz innowacyjnym procesie badań i kontroli, realizowanym z wykorzystaniem najnowocześniejszych rozwiązań w przyjętych założeniach konstrukcyjnych. Firma stoi przed wyzwaniem spełnienia wysokich oczekiwań odbiorców co do powtarzalności jakości produktów oraz skrócenia czasu realizacji zamówień. Celem nadrzędnym jest spełnienie rygorystycznych wymagań związanych z bezpieczeństwem transportu kolejowego, a obręcze kuto-walcowane jako element zestawu kołowego stanowią wyroby szczególnego ryzyka.

Huta Bankowa jako jedyny polski producent obręczy, od wielu lat angażuje się w przedsięwzięcia mające na celu poprawę bezpieczeństwa w transporcie kolejowym oraz sukcesywne podwyższanie jakości stosowanych technologii i materiałów. W tym kontekście, w najbliższej przyszłości, wszystkie produkty firmy przechodziły będą pełny cykl

badania automatycznego, uwzględniającego pomiary twardości i badania ultradźwiękowe. Badania mają na celu wykrycie defektów mogących pojawić się na etapie wytwarzania, takich jak zakucia, zawalcowania, pęknięcia, nieciągłości pochodzenia metalurgicznego – zażużlenia, wtrącenia etc.

Ponieważ konkurencję na rynku pierścieni kuto-walcowanych stanowią producenci zagraniczni, o renomowanej marce, ugruntowanej pozycji i bogatym zapleczu aparaturowym, inwestycja w rozwój metodyki badawczej jest szczególnie istotna w kontekście zachowania wysokiej konkurencyjności firmy.

2. Opis obecnego stanowiska do badań ultradźwiękowych

Obecnie ciąg technologiczny badania obręczy w cyklu zautomatyzowanym składa się z następujących urządzeń:

- Stanowiska śrutownicy - do mechanicznego oczyszczenia powierzchni obręczy ze zgorzeli;
- Manipulatora transportowego - do przemieszczania obręczy między stanowiskami;
- Stanowiska do badań ultradźwiękowych (UMT 45);
- Stanowiska odkładczego z segregacją obręczy na dobre

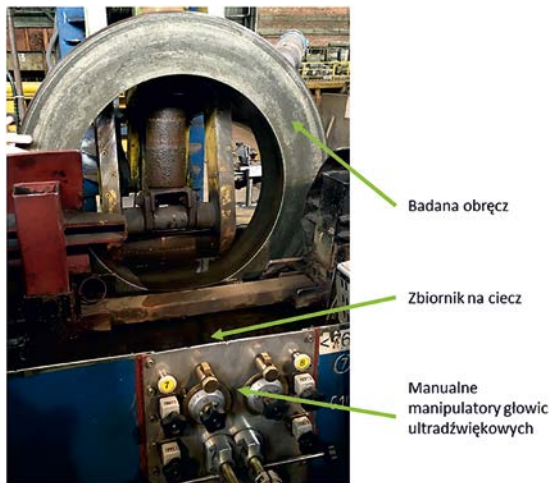
*Autor korespondencyjny. E-mail: lukasz.sarniak@pw.edu.pl

i wadliwe;

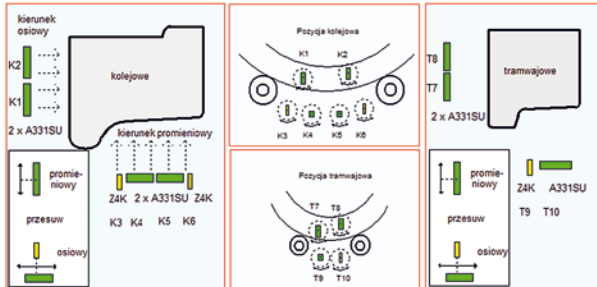
- Stanowiska do pomiarów twardości.

Badanie ultradźwiękowe obręczy realizowane jest za pomocą zautomatyzowanego stanowiska UMT 45

(Rys. 1), wykorzystującego głowice ultradźwiękowe w układzie zanurzeniowym, zorientowane w kierunku osiowym i promieniowym. Badanie ultradźwiękowe obręczy realizowane jest za pomocą statycznego zestawu głowic rozmieszczonych po obwodzie i po szerokości obręczy obracającej się w wannie.



Rys. 1. Zdjęcie stanowiska UMT 45
Fig. 1. UMT 45 stand picture



Rys. 2. Rozmieszczenie oraz typy głowic dla profili kolejowych i tramwajowych
Fig. 2. Location and types of probes for rail and tram profiles

Badanie obręczy jest realizowane w dwóch zakresach wymiarowych. Wanna ma dwa zespoły rolek napędowych - dla obręczy mniejszych, o średnicy zewnętrznej poniżej 760 mm oraz dla obręczy większych, o średnicy zewnętrznej powyżej 760 mm. Do badania profili kolejowych przewidziano sześć głowic, w tym cztery od strony powierzchni tocznej (K3, K4, K5 i K6) ze względu na skomplikowaną powierzchnię. Z kolei do badania profili tramwajowych zastosowano 4 głowice, w tym tylko 2 głowice od strony powierzchni tocznej (T9 i T10), ze względu na mniejszą szerokość i prostą powierzchnię toczną. Na Rys. 2 przedstawiono rozmieszczenie głowic dla pozycji kolejowej i tramwajowej.

Każda z głowic kontroluje inny obszar obręczy, a manipulacja przesuwami (osiowym i promieniowym) umożliwia dostosowanie obszaru kontroli dla różnych średnic i szerokości obręczy.

3. Opis projektowanego stanowisko do badań ultradźwiękowych

W celu zwiększenia potencjału badawczego Huty Bankowej zdecydowano się na wdrożenie technologii zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy, przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, z inteligentnym systemem identyfikacji i pomiaru wad wewnętrznych metodą ultradźwiękową. Założony cel jest realizowany poprzez prowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych, pozwalających na rozwój metodyki badawczej i rozwiązanie zidentyfikowanych zagadnień technologicznych. W tym kontekście wykorzystywane jest między innymi zaawansowane oprogramowanie do badań ultradźwiękowych CIVA [1, 2, 3].

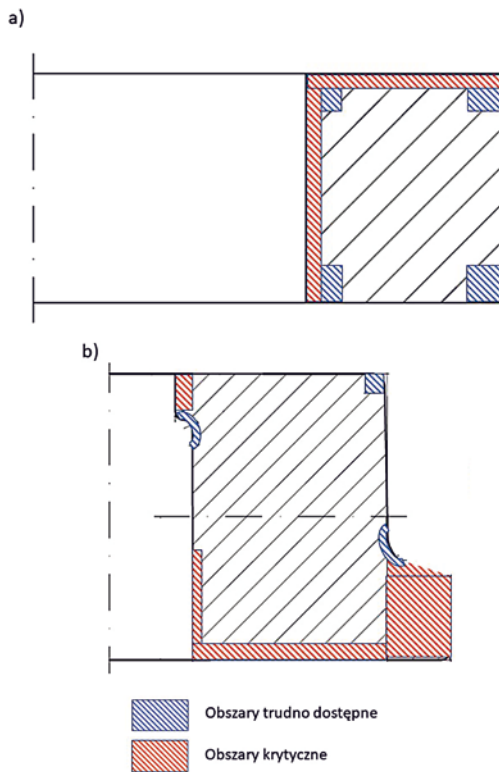
Obecny proces kontroli ultradźwiękowej obręczy wielkoseryjnych, prowadzony na stanowisku badawczym UMT-45 generuje pewne problemy, wynikające z ograniczonych możliwości głowic jednoprzetwornikowych, a proces kontroli pierścieni oraz obręczy niskoseryjnych wciąż prowadzony jest ręcznie. Zastosowanie techniki Phased Array pozwoli na dokładne zaprojektowanie wiązki względem oczekiwanych stref przeszukiwania, co umożliwi diagnostykę niedostępnych obszarów krytycznych dotychczas niebadanych, w tym grzebienia obręczy, a w przypadku pierścieni profilowanych o skomplikowanych kształtach – całego przekroju wyrobu bez konieczności zastosowania kilku głowic jednoprzetwornikowych o różnych kątach wprowadzanej wiązki ultradźwiękowej lub czasochłonnego wielokrotnego badania ze zmianą położenia głowic lub elementu badanego (Rys. 3). Skrócenie czasu badania oraz pełna detekcja nieciągłości wewnętrznych poprawi wiarygodność procesu kontroli.

Obecnie analiza wyników badań oparta jest o ocenę zobrazowań typu A (A-Scan), dającą ograniczone możliwości w kontekście precyzyjnej identyfikacji defektów i wymagającą odpowiedniego doświadczenia operatora. Zastosowanie techniki Phased Array i głowic wieloprzetwornikowych umożliwi tomograficzne zobrazowanie badanego elementu, pozwalające na precyzyjną ocenę uzyskanych wyników - lokalizację, wymiarowanie, określenie orientacji i morfologii defektów oraz znaczne ograniczenie błędów ludzkich [4].

Zastosowanie głowic wieloprzetwornikowych w trybie zanurzeniowym pozwoli dodatkowo na ograniczenie „strefy martwej”, przy zachowaniu dotychczasowej czułości badania [4, 5]. Oszacowano, że przełoży się to na około dwukrotne zmniejszenie obszaru niebadanego, a co za tym idzie, objęcie diagnostyką stref podpowierzchniowych szczególnie narażonych na występowanie defektów, wynikających z jakości materiałów wsadowych, jak również ze specyfiki stosowanych procesów przeróbki plastycznej. Zmniejszenie strefy martwej jest kluczowe w kontekście diagnostyki nadmiaru materiału usuwanego podczas obróbki mechanicznej. Wady występujące w tym obszarze mogłyby pojawić się dopiero na etapie usuwania nadmiaru, narażając na dodatkowe koszty.

Zastosowanie techniki zanurzeniowej w diagnostyce pierścieni gorącowałowanych, badanych dotychczas ręcznie, pozwoli wyeliminować wpływ niedoskonałości powierzchni (zadziory, ubytki, wgnioty) na wynik badania oraz

uniknąć możliwych uszkodzeń lub szybkiego zużycia się aparatury badawczej. Automatyzacja procesu tego badania pozwoli dodatkowo na znaczne skrócenie badania i wzrost wydajności operacji kontrolnych, co bezpośrednio wpłynie na skrócenie czasu realizacji zamówień. Obecnie kontrolowane jest jedynie około 30% wyprodukowanych pierścieni i obręczy niskoseryjnych. W najbliższej przyszłości planuje się, aby wszystkie produkty wytwarzane przez Hutę Bankową przechodziły pełny cykl badania automatycznego, w celu wykrycia wad znajdujących się pod powierzchnią (m.in. zawałców, zakuć) oraz nieciągłości pochodzenia metalurgicznego przeniesione ze wsadu, jak zażużenia czy wtrącenia. Jest to kluczowe w kontekście zapewnienia wysokiej jakości produktów dostarczanych klientom.

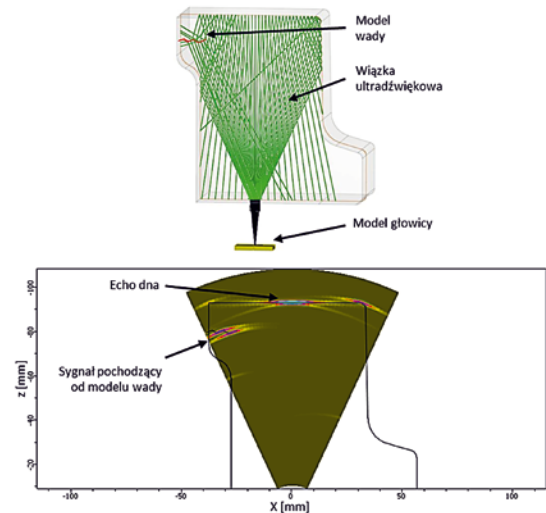


Rys. 3. Rozmieszczenie obecnie nie badanych obszarów krytycznych i trudno dostępnych: a) pierścień, b) obręcz
Fig. 3. Fig. 3. Arrangement of currently untested critical areas and hardly accessible areas: a) ring, b) rim

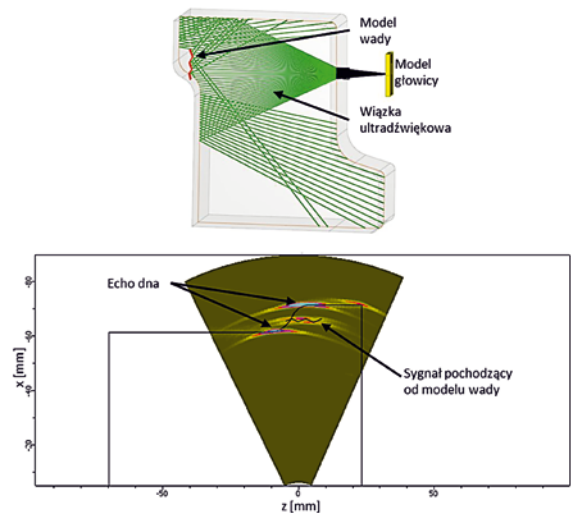
W ramach projektowanego stanowiska, badania ultradźwiękowe prowadzone będą metodą zanurzeniową, za pomocą systemu wyposażonego w głowice wieloprzetwornikowe i system Phased Array. Zastosowanie głowic wieloprzetwornikowych pozwoli na skanowanie całej objętości elementu z uwzględnieniem obszarów obecnie niebadanych, a narażonych na występowanie nieciągłości, a także szczególnie obciążonych podczas eksploatacji gotowych elementów (Rys. 3). Wykorzystanie profilowania wiązki ultradźwiękowej w badanych wyrobach umożliwi, w przypadku produktów o geometrii prostej (przekrój prostokątny lub kwadratowy), skanowanie obszarów trudno dostępnych (m.in. naroża), a w przypadku wyrobów profilowanych (obrace, pierścienie łożyskowe), pozwoli na koncentrowanie wiązki ultradźwiękowej w celu dokładniejszego wykrywania

wad w strefach krytycznych (m.in. grzebienie obręczy lub powierzchnie profilowane pod bieżnie łożysk).

Na Rysunkach 4 - 7 przedstawiono wybrane wyniki symulacji badań ultradźwiękowych, przeprowadzone za pomocą oprogramowania CIVA. Na Rysunku 4 i 5 przedstawiono model profilu kolejowego z zaimplementowanym modelem wady w postaci pęknięcia, zlokalizowanym w obszarze trudno dostępnym. Rysunki przedstawiają także symulację interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami dla badania w trybie sektorowym (ang. Sectorial Scan) oraz zobrazowanie typu S.



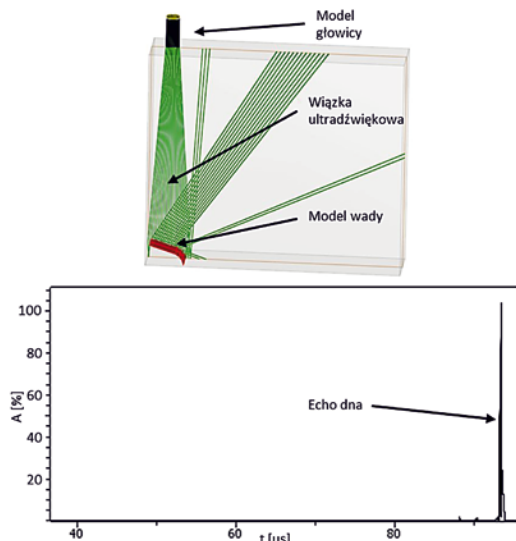
Rys. 4. Model profilu kolejowego i model głowicy wieloprzetwornikowej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami - kierunek osiowy
Fig. 4. Rail profile model, Phased Array probe model and simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors - axial direction



Rys. 5. Model profilu kolejowego i model głowicy wieloprzetwornikowej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami - kierunek promieniowy
Fig. 5. Rail profile model, Phased Array probe model and simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors - radial direction

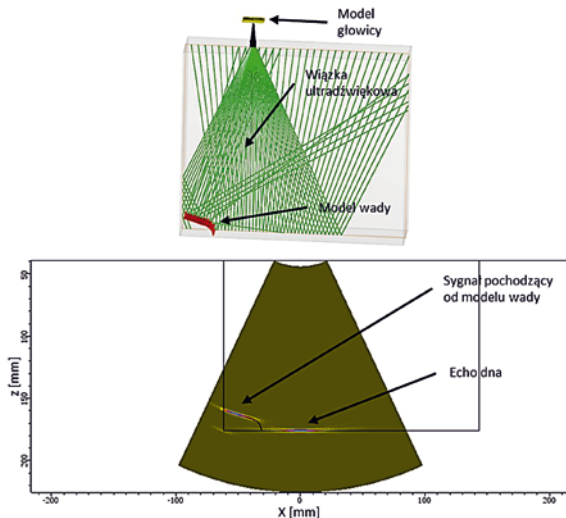
Wyniki przeprowadzonych symulacji jednoznacznie dowodzą, że wady umiejscowione w obszarach krytycznych,

oznaczonych na Rys. 3, będą mogły zostać skutecznie wykryte za pomocą zaprojektowanego systemu.



Rys. 6. Model profilu kolejowego i model głowicy konwencjonalnej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami i uzyskane zobrazowanie typu A

Fig. 6. Rail profile model, conventional probe model, simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors and obtained A-Scan



Rys. 7. Model profilu kolejowego i model głowicy wieloprzetwornikowej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami i uzyskane zobrazowanie typu S

Fig. 7. Rail profile model, Phased Array probe model, simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors and S-Scan

Na Rysunku 6 i 7 przedstawiono model pierścienia łożyskowego z zaimplementowanym modelem wady w postaci zawałowania/zakucia, zlokalizowanego blisko powierzchni. Na Rys. 6 przedstawiono symulację interakcji fali ultradźwiękowej z zaimplementowanym modelem wady dla konwencjonalnej głowicy zanurzeniowej oraz uzyskane zobrazowanie typu A. Z kolei na Rys. 7 przedstawiono symulację dla głowicy wieloprzetwornikowej w trybie sektorowym oraz uzyskane zobrazowanie typu S.

Stwierdzono, że w przypadku głowicy konwencjonalnej, zorientowanej normalnie w stosunku do powierzchni wnika fali ultradźwiękowej, na obrazowaniu typu A, sygnały pochodzące od wady są praktycznie niewidoczne – widoczne jest jedynie silne echo dna, które w praktyce zlewałoby się z sygnałami odbitymi od nieciągłości. Z kolei dla badania w trybie sektorowym, za pomocą głowicy wieloprzetwornikowej sygnał pochodzący od modelu wady jest doskonale widoczny i możliwy do odróżnienia od echa dna.

4. Wnioski

Wdrożenie przedstawionej metodyki badawczej pozwoli Hucie Bankowej na zwiększenie jakości produkowanych wyrobów kuto-walcowanych, potwierdzonej w wiarygodnym oraz innowacyjnym procesie badań i kontroli, realizowanym z wykorzystaniem najnowocześniejszych rozwiązań. Przeprowadzone symulacje numeryczne, których wybrane wyniki zaprezentowano w ramach niniejszej publikacji, wykazały, że dobrana metodyka badawcza pozwoli na skanowanie całej objętości elementu z uwzględnieniem obszarów obecnie niebadanych, a narażonych na występowanie nieciągłości i szczególnie obciążonych podczas eksploatacji gotowych elementów. Wdrożenie umożliwi spełnienie wysokich oczekiwań odbiorców odnośnie do powtarzalności jakości produktów oraz skrócenia czasu realizacji zamówień. Jednocześnie, obniżając ryzyko wystąpienia wad wytwarzania w obręczach kuto-walcowanych, które są kluczowym elementem zestawu kołowego, zapewni bezpieczeństwo transportu kolejowego. Inwestycja w rozwój metodyki badawczej pozwoli również na utrzymanie wysokiej konkurencyjności firmy na arenie międzynarodowej.

Badania i symulacje prowadzone były w ramach pracy: „Symulacja interakcji fali ultradźwiękowej z defektami; określenie rozkładu ciśnienia akustycznego i energii wiązki ultradźwiękowej w badanym detalu; utworzenie modeli wad; rozróżnienie wskazań pochodzących od wad i od kształtu detalu; uzyskanie modeli obrazowań typu D i/lub typu S dla modeli próbek z zaimplementowanymi modelami wad”, która realizowana była w ramach projektu nr POIR.01.01.01-00-0208/17 pt. „Automatyczna linia kontroli i badania jakości pierścieni i obręczy z inteligentnym systemem identyfikacji i pomiaru wad wewnętrznych metodą PA, pomiaru błędów kształtu przy użyciu głowic pomiarowych 3D oraz badania własności mechanicznych SMART-HARD”, współfinansowanego ze środków EFRR na lata 2014-2020.

5. Literatura/References

- [1] P. Calmon, S. Mahaut, S. Chatillon, R. Raillon, “CIVA: “An expertise platform for simulation and processing NDT data”, *Ultrasonics* 44, 2006
- [2] P. Calmon, S. Leberre, T. Sollier, P. Benoist, “CIVA, An integration software platform for the simulation and processing of NDT data”, *Review of Progress in QNDE*, 2006
- [3] G. Neau, D. Hopkins, “The Essential Role of Simulation in Optimizing Probes and Inspection Strategies, *Simulation in NDT*”, www.ndt.net, 2010
- [4] Olympus NDT, “Advances in Phased Array, *Ultrasonic Technology Applications*”, 2007
- [5] <https://www.ndt.net/forum/thread.php?msgID=62184>, 08.2019