ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: MATEMATYKA-FIZYKA z. 33 Nr kol. 622

Andrzej KOBYLECKI
Bronisław SIKORA
Józef TABIN

WPŁYW TŁUMIENIA FAL ULTRADŹWIĘKOWYCH NA DOKŁADNOŚĆ BADAŃ DEFEKTOSKOPOWYCH OBRĘCZY KOLEJOWYCH

Streszczenie. Badania defektoskopowe falami ultradźwiękowymi obręczy taboru kolejowego są stosowane w skali masowej zabezpieczając kolejnictwo przed ogromnymi stratami. Przeprowadzone pomiary tłumienia fal ultradźwiękowych wykazały, że tłumienie to wprowadza błędy powodujące niedokładność rzędu 20% w ocenie średnicy równoważnej wady. Ilość procentowa obręczy niewłaściwie zakwalifikowanych wskutek tych błędów jest jednak wielokrotnie mniejsza.

1. WPROWADZENIE

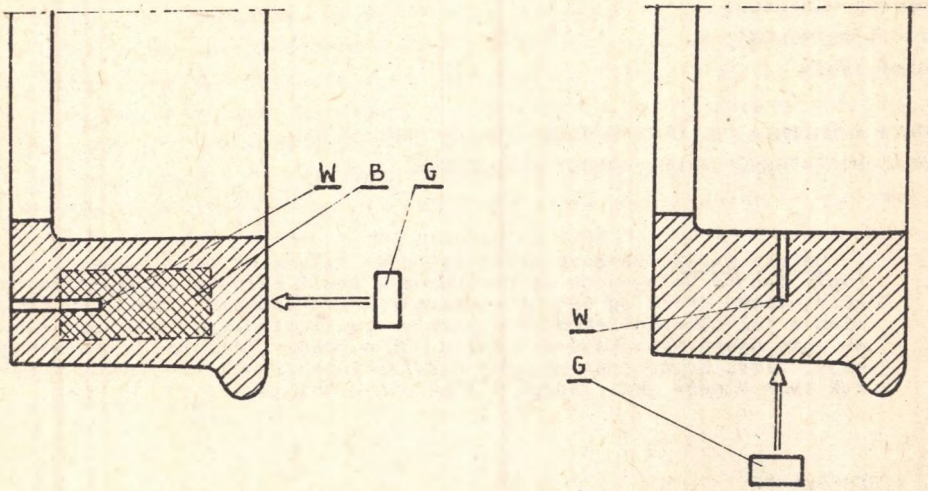
Stały postęp techniczny kolejnictwa - zwiększenie prędkości jazdy oraz gabarytów pojazdów - pociąga za sobą również wzrost wymagań stawianych poszczególnym elementom taboru, między innymi obręczom kół taboru, które niejednokrotnie ulegają awariom. Awarie takie powodują duże szkody ekonomiczne w skali krajowej rzędu wielu dziesiątków milionów złotych. Stąd też rosną wymagania dla dokładności badań nieniszczących oraz wynika potrzeba analizy czynników wpływających na tę dokładność. W publikacji tej omówiono wpływ tłumienia fal ultradźwiękowych na tę dokładność.

2. STAN ZAGADNIENIA

Badania ultradźwiękowe obręczy kół taboru kolejowego wprowadzono w Polsce w roku 1953 [1]. W tym czasie była to nowość na skalę światową [2]. Opracowaną wówczas metodę badania i aparaturę stale doskonalono [3, 4]. W ostatnich latach stosuje się metodę badania określoną przez normy międzynarodowych instytucji [5], przewidujące badania wiązką ultradźwiękową skierowaną równolegle do osi. Praktyka wykazała jednak potrzebę uzupełnienia tych badań przez badania wiązką skierowaną wzdłuż promienia. Stosuje się przy tym bądź sprzężenie zanurzeniowe bądź stykowe.

Norma dopuszcza w całej obręczy 10 wad odbijających echa ultradźwiękowe większe niż echo wzorcowej wady płaskodennej o średnicy 3 mm, umieszczonej w pobliżu środka przekroju obręczy (rys. 1). Wady jednak rzadko

występują w krytycznej ilości, przeważają obręcze zupełnie bez wad. W przypadku pojawienia się wad w obręczy występują one przeważnie w ilościach znacznie większych niż 10.



Rys. 1. Schemat badania ultradźwiękowego obręczy:
W - otwór płaskodenny (tylko w obręczy wzorcowej), G - głowica ultradźwiękowa, B - obszar występowania wad

W literaturze brak jest pozycji omawiających wpływ tłumienia fal ultradźwiękowych na dokładność badań obręczy. Nawet ewentualna pojawienie się takich danych nie wyczerpałoby zagadnienia, gdyż w różnych hutach stosuje się różne technologie wytwarzania obręczy i w związku z tym możliwe są znaczne różnice tłumienia fal ultradźwiękowych.

3. ZJAWISKO TŁUMIENIA FAL ULTRADŹWIĘKOWYCH

Należy odróżnić zjawisko tłumienia fal powodowane ubytkiem energii ultradźwiękowej ze strumienia tej energii od zmniejszenia się natężenia powodowanego czynnikiem geometrycznym - rozbieżnością wiązki fal ultradźwiękowych [6]. Tłumienie powodowane jest pochłanianiem i rozpraszaniem energii.

Pochłanianie powodowane zmianami temperatury przy zgęszczeniach i rozrzedzeniach stali i związane z tym rozpraszanie ciepła jest niewielkie[7]. Większe wartości przybiera tłumienie związane z tarciem wewnętrznym, większe w miękkich niż w twardych gatunkach stali. Dominujący jednak wpływ na tłumienie fal ultradźwiękowych ma mikrostruktura krystaliczna stali. Poszczególne ziarna są mniej lub więcej stochastycznie zorientowane i wskutek anizotropii ich stałych sprężystości na granicach ziarn występuje

odbicie i ugięcie fal ultradźwiękowych a w wyniku nie tylko ich rozproszenie, ale także wzrost pochłaniania zarówno na rozproszenie ciepła jak i tarcie wewnętrzne.

Teoria tych zjawisk jest tak skomplikowana, że trudno ją zastosować w praktyce [7, 10]. Dla celów opisanych w tej publikacji pomiarów istotne są wnioski, że tłumienie fal ultradźwiękowych może mieć różne wartości nie tylko w różnych egzemplarzach obręczy ale nawet w różnych miejscach tej samej obręczy. Oprócz tego w obręczach obrabianych cieplnie fale ultradźwiękowe winny ulegać znacznie mniejszemu tłumieniu ze względu na znacznie bardziej jednorodną i drobnoziarnistą strukturę.

4. METODA POMIAROWA

W pracy tej zastosowano metodę ech wielokrotnych, mierząc stosunek pierwszego do drugiego echa dna. Metoda ta odznacza się dużą prostotą przy stosunkowo dużej dokładności uzyskanej dzięki wyeliminowaniu błędu pochłaniania energii przy wprowadzaniu fal ultradźwiękowych do badanego przedmiotu (rys. 2).

Fale ultradźwiękowe z głowicy poprzez warstwę cieczy sprzęgającej wnikają do badanego przedmiotu w punkcie $x = 0$, przy czym powstają znaczne i trudne do oszacowania straty a. Na odcinku od $x = 0$ do $x = L$, gdzie L grubość badanego przedmiotu, natężenie fal się zmniejsza skutkiem tłumienia i rozbieżności fal ultradźwiękowych. W punkcie $x = L$ straty odbicia od ścianki tylnej badanego przedmiotu wynoszą b, przy czym z reguły b a. Równocześnie kierunek biegu fal zmienia się na przeciwny, by dotrzeć w punkcie $2L$ do ścianki przedniej, gdzie występują straty $c + b$ złożone ze strat odbicia jak i pochłaniania energii ultradźwiękowej przez głowicę pomiarową.

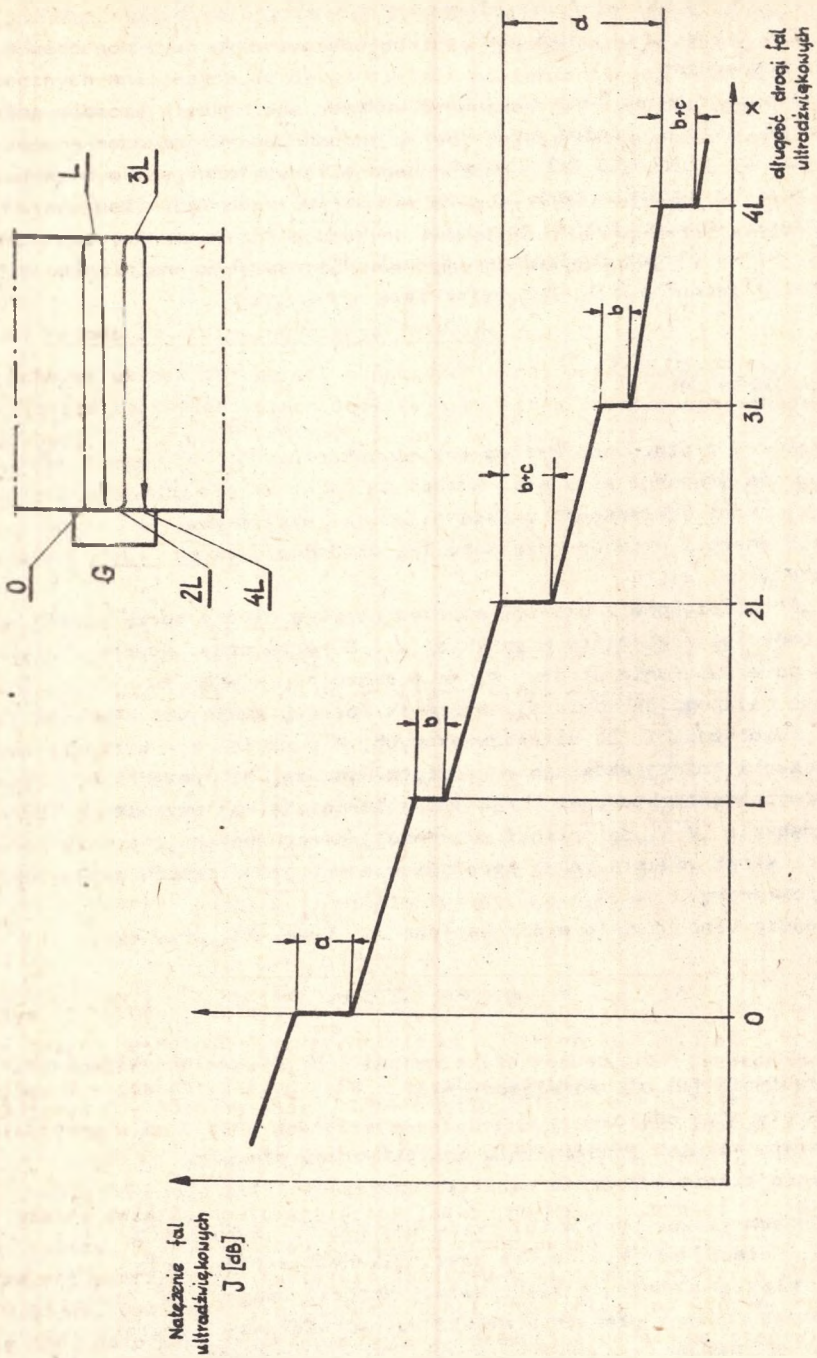
Wielkością bezpośrednio mierzoną jest d (rys. 2), przy czym:

$$d = t + 2b + c + r, \tag{1}$$

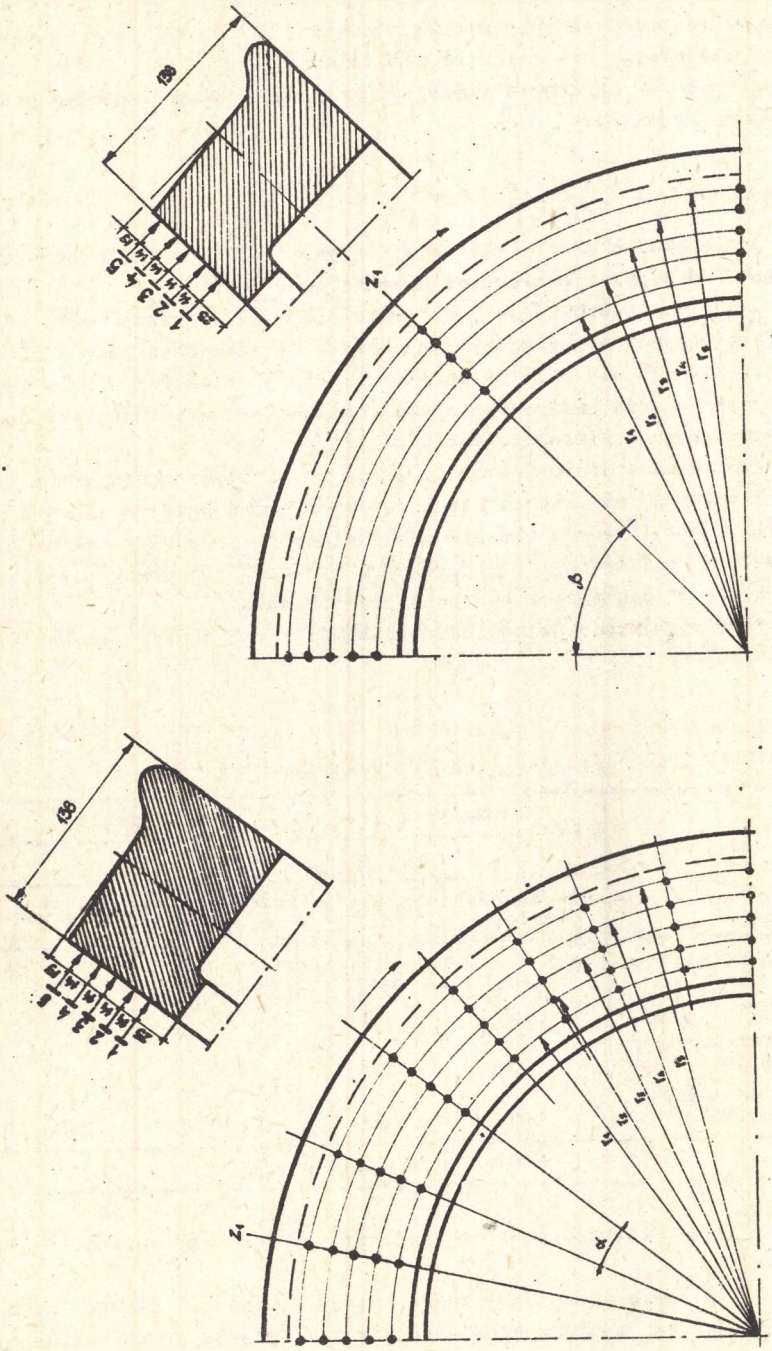
gdzie:

- t - tłumienie fal ultradźwiękowych,
- b - straty przy odbiciu,
- c - straty wskutek pochłaniania energii przez głowicę,
- r - zmniejszenie natężenia wskutek rozbieżności fal ultradźwiękowych.

W warunkach stosowanych w tej pracy wartość r wynosi 6 db [13, 6], zaś c nie więcej niż 0,6 db, to jest kilkanaście razy mniej niż przy pomiarach wiązkę równoległą [14]. Należy zwrócić uwagę, że wielkość r jest związana tylko z geometrią wiązki ultradźwiękowej i rozrzut jej wartości jest minimalny, natomiast wielkość c ulega wielu zmianom zarówno stochastycznym jak i systematycznym w sposób niekontrolowany. Dla dokład-



Rys. 2. Natężenie pola ultradźwiękowego (dB) w funkcji długości drogi ultradźwiękowej X:
1 - grubość badanego przedmiotu (138 mm) objaśnienia w tekście



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w I i II serii pomiarów $\alpha = 10^{o}$, $\beta = 45^{o}$

ności pomiaru bardzo ważne jest, aby wartość średnia c była niewielka. Warunek ten w przypadku badania wiązką rozbieżną jest spełniony. Wielkość b pomijano, zakładając, że jest ona niewielka [15, 16, 17]. Tym samym wartość tłumienia t na drodze równej dwukrotnej grubości badanego przedmiotu obliczono ze wzoru:

$$t = d - r - c_{śr} = d - 6{,}4 \text{ dB}. \qquad (2)$$

Pomiary przeprowadzono defektoskopem seryjnym DI-22, wyposażonym w skalowaną co 1 dB regulację czułości o zakresie 80 dB.

Czułość zmieniano nastawiając dwukrotnie tak, aby pierwsze echo dna a następnie drugie echo dna osiągnęły na ekranie tę samą określoną wielkość, przy czym d równało się różnicy położeń regulacji czułości. Przy takim pomiarze unikano błędów związanych z nieliniowością charakterystyki dynamicznej defektoskopu i zmianami jego czułości.

Pomiary realizowano w poprzek linii przerobu plastycznego w jednym kierunku: równoległym do osi. Wyniki tych pomiarów można przyjąć jako miarodajne również i dla kierunku badania promieniowego, gdyż kierunek ten biegnie również prostopadle do linii przerobu. W ramach tej pracy nie dysponowano aparaturą do pomiarów w kierunku promieniowym.

Miejsca pomiarów przedstawiono na rysunku 3. Ilość punktów pomiarowych przedstawia tablica 1.

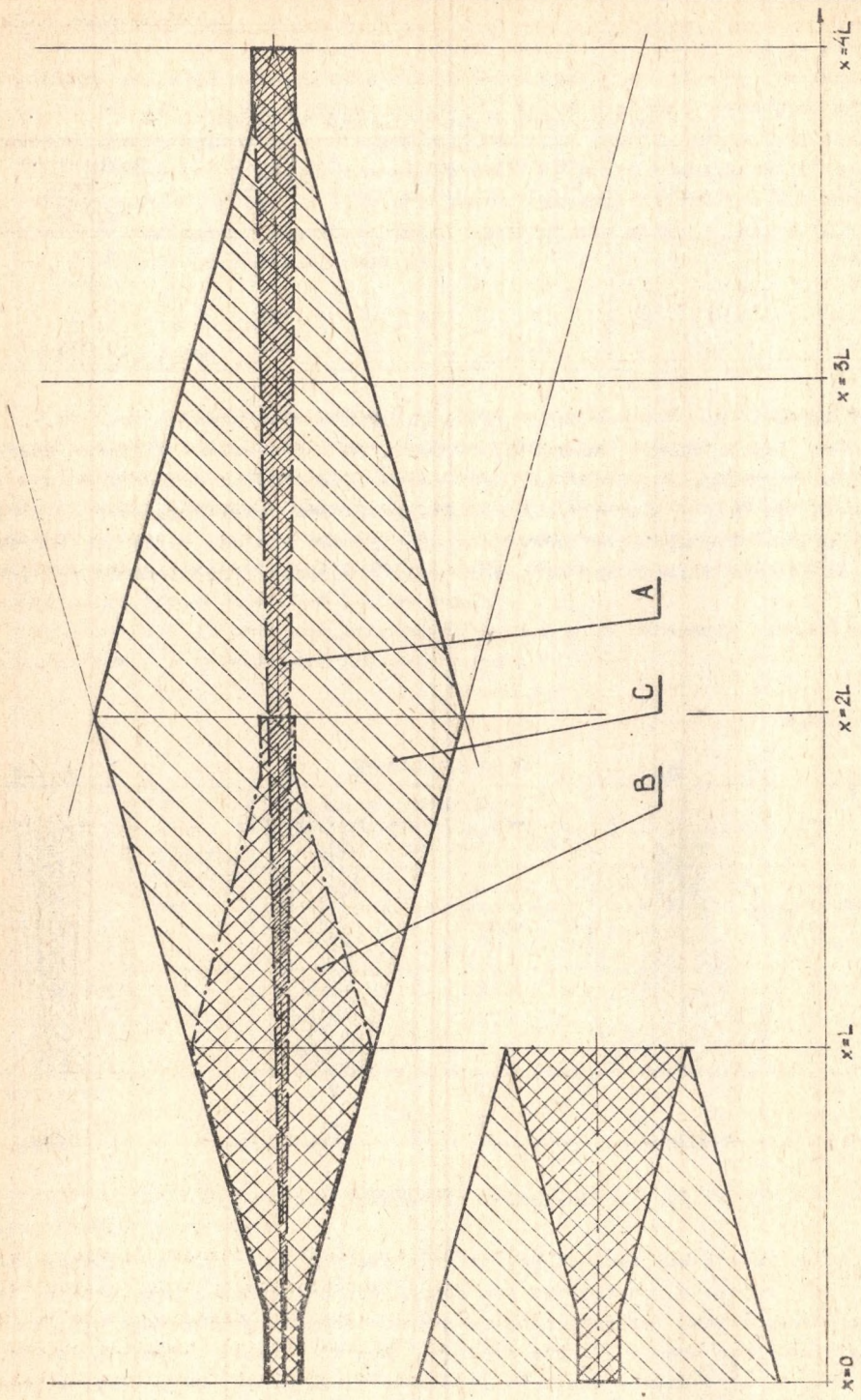
Tablica 1

Ilość punktów pomiarowych

	Seria I		Seria II	
	dla obręczy			
	ulepszanych cieplnie	surowych	ulepszanych cieplnie	surowych
Stosowane częstotliwości MHz	2-6	1-2	2-6	1-2
Ilość obręczy	1	1	6	6
Ilość punktów pomiarowych na 1 obręczy	180	180	40	40
Ilość punktów pomiarowych w całości	180	180	240	240
R a z e m	840 punktów pomiarowych			

Pomiary wykonano stosując głowice produkcji INCO w sprzężeniu stykowym.

Umowne granice wiązek ultradźwiękowych poszczególnych głowic podają rys. 4 i 5. Wiązki te są stosunkowo szerokie i w związku z tym nasuwa się pytanie, czy na wynik pomiaru wpływa tłumienie w całej objętości zajętej wiązką czy też w jej części.



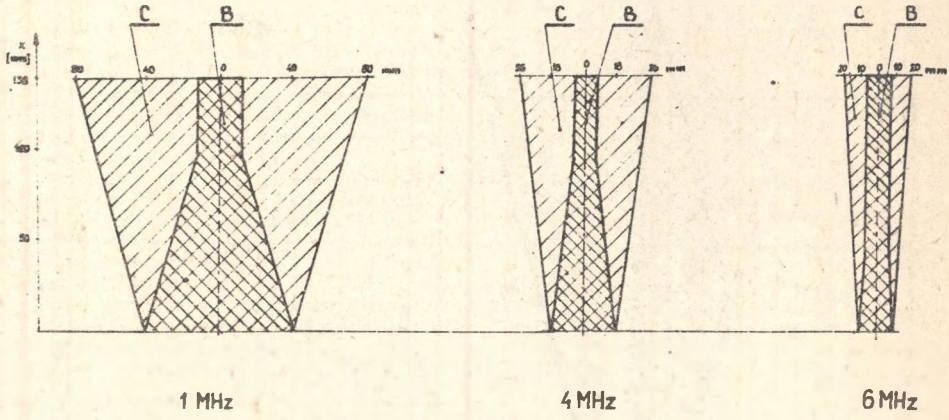
Rys. 4. Wiązka ultradźwiękowa głowicy 2

Tablica 2

Głowice ultradźwiękowe stosowane w badaniach

Lp.	Typ (ozn. firmowe)	Średnica przetw. mm	Częst. MHz	Dł. strefy bliskiej mm	Rozbieżność wiązki $\sin\frac{\alpha}{2}$
1	1LN25	25	1	26	0,28
2	2LN13	13	2	15	0,27
3	4LN13	13	4	29	0,13
4	6LN16	16	6	64	0,075

Zdawałoby się, że ponieważ wiązka na odcinku pomiarowym od x = 2L do x = 4L jest znacznie szersza od długości fali przeto w obszarze wiązki można by pominąć ugięcie fali i tym samym obszar badany przedstawiałby się jak A na rys. 4. Jednak za lokalnymi obszarami większego tłumienia występuje półcień ultradźwiękowy, który stopniowo zanika: w obszar ten dopływa energia z sąsiednich obszarów dzięki ugięciu fal ultradźwiękowych.



Rys. 5. Obszary pomiarowe głowic 1 ... 4

Stosując zasadę wzajemności [6] określa się obszar czułości głowicy przy odbiorze zupełnie identycznie jak obszar napromieniowany przy granicy fal ultradźwiękowych. Tym samym umowne granice obszaru pomiarowego będą jak B dla pierwszego echa i C dla drugiego. Wynikowy obszar badania pokazuje rys. 5, przy czym w obszarze środkowym czułość jest dwukrotnie większa niż w obszarze bocznym.

Wynika stąd ważny wniosek, że wyniki pomiarów są uśrednione na znacznym obszarze, a co więcej, na wynik pomiaru wpływają odbicia od ścianek bocznych obręczy (wewnętrznej i tocznej). Wpływ ten jest trudny do oszacowania. Pominięcie tego oszacowania w tym opracowaniu jest tym uzasadnione, że identyczny wpływ ścianki bocznej zawierają również wyniki badań defektoskopowych. Przez to przy określaniu wpływu tłumienia na dokładność badań defektoskopowych zjawisko odbić bocznych nie wpłynie na wynik końcowy, co będzie uzasadnione później.

5. WYNIKI POMIARÓW

W serii I wykonano pomiary w 5 współśrodkowych pasach po 36 pomiarów w pasie, po czym oddzielnie przeprowadzono test statystyczny dla każdego pasa, każdej obręczy i każdej częstotliwości. Badano czy istnieje istotna różnica między średnimi obliczonymi z 36 punktów a średnimi wybranymi z 8 punktów w każdym pasie. Test ten dał we wszystkich przypadkach wynik negatywny na poziomie ufności 0,95 [14, 18]. Wobec tego w serii II ograniczono ilość pomiarów do 8 w każdym pasie.

Wyniki drugiej serii pomiarów wg wzoru 2 oraz w rutynowym opracowaniu statystycznym przedstawiają się następująco:

Tablica 3

Wyniki pomiarów

	Częstotliwość MHz	Tłumienie na drodze podwójnej grubości obręczy (2 x 138 mm)		Tłumienie na 1 m	
		wartość średnia A dB	rozrzut średniokwadratowy S(A) dB	wartość średnia dB/m	rozrzut średniokwadratowy dB/m
Obręcze ulepszane cieplnie	2	3,3	2,2	12,0	8,0
	4	20,3	2,9	73,5	10,5
	6	25,2	2,6	91,3	9,4
Obręcze surowe	1	2,9	1,5	10,5	5,4
	2	7,3	2,1	26,4	7,6

Próby znalezienia prawidłowości rozkładu tłumienia w obręczy nie dały jednoznacznych wyników.

6. WIELKOŚĆ BŁĘDÓW BADAŃ DEFEKTOSKOPOWYCH WNOSZONYCH PRZEZ TŁUMIENIE

Zgodnie z zasadami rachunku statystycznego należy przyjąć, że tłumienie w obręczach może wynosić $A \pm 2 \cdot S(A)$ tab. 3 nie mniej jednak oczywiście niż 0.

Przy 2 MHz w obręczach ulepszanych cieplnie tłumienie t wynosi od 0 do 7,7 dB na całej grubości obręczy.

Błędy określenia echa jednej wady wyniosą więc w obręczy normalizowanej dla częstotliwości 2 MHz:

$$\Delta 1 = 3{,}8 \text{ dB}$$

$$\Delta 2 = 1{,}9 \text{ dB}$$

$$\Delta 3 = 3{,}5 \text{ dB}$$

$$\Delta 4 = 1{,}0 \text{ dB}$$

Przy czym $\Delta 1$ oznacza wartość błędu, wnoszonego przez tłumienie, gdy wzorzec i badana obręcz krańcowo różnie tłumią fale ultradźwiękowe, zaś wada naturalna mieści się w tej samej odległości od powierzchni co wada we wzorcu.

$\Delta 2$ oznacza wartość dodatkowego błędu powodowanego tłumieniem, gdy wada w badanej obręczy zajmuje krańcowe położenie.

$\Delta 3$ jest to błąd podany dla porównania, powodowany przez rozbieżność wiązki dla wady krańcowo położonej i stykowego sprzężenia głowicy.

$\Delta 4$ jest to analogiczny błąd dla badania głowicę sprzężoną zanurzeniowo.

Przeliczając to na wielkość wady można stwierdzić, że 3,8 dB odpowiada błędnemu określeniu wielkości wady o około 20%. Nie jest to błąd wielki. Błąd ten można dwukrotnie zmniejszyć przez wykonanie otworów wzorcowych w obręczy w miejscu, gdzie tłumienie ma wartość bliską średniej.

Jednak błędy te w minimalnym tylko stopniu wpłyną na ilość obręczy wybrakowanych przez badania ultradźwiękowe. Błędy te mogą zmienić zaklasyfikowanie obręczy tych pod następującymi warunkami:

Ilość wad jest bliska 10, to jest wynosi 9, 10 lub 11. Pośród nich co najmniej jedna wada o wielkości różniącej się od krytycznej w krańcowym położeniu nie więcej niż o 20% znajdzie się w miejscu, gdzie równocześnie tłumienie ma wartość krańcową.

Z tablicy 3 wynika, że również obręcze nie obrobione cieplnie (surowe) można badać przy zastosowaniu częstotliwości 1 względnie 2 MHz.

7. WNIOSKI

Tłumienie ultradźwięku wprowadza błędy w ocenie równoważnej średnicy wady w krańcowych przypadkach rzędu 20%. Ze względu na prawidłowości występowania wad błąd ten jednak mało wpływa na ilość odrzutów obręczy w wyniku badania ultradźwiękowego.

W pracy uzasadniono dodatkowo możność rozszerzenia badań również na obręcze nie obrabiane cieplnie.

LITERATURA

[1] Tabin J., Kurek M.: Sprawozdanie Instytutu Metalurgii Żelaza nr 470, 1953 (niepublikowane).

[2] Beaujard R., Husarek V., Vasset A.: Revue Metallurgie t. 53, 1955, ss. 240-248.

[3] Tabin J., Kurek M., Habelok A., Glowalla J.: Patent 45957 (1962).

[4] Tabin J., Kurek M.: Zeszyty Problemowe Nauki Polskiej, t. 26, 1965, ss. 432-438.

[5] UIC (Union International des Chemies de Fer) Technical Recomendation 1972.

[6] Tabin J.: Technika ultradźwiękowa w hutnictwie, WGH 1966.

[7] Malecki I.: Teoria fal i układów akustycznych. PWN, Warszawa 1964.

[8] Zarocienciew W.J.: Diefektoskopija 1966, t. 2, nr 1-2 ss. 13-21.

[9] Sokołow S.J.: Dokł. Ak. Nauk, SSSR, 1948, t. 59 nr 5, ss. 883-886.

[10] Mierkułow Ł.G.: Żurn. Tiechn. Fizyki, 1956, t. 26, ss. 64-75.

[11] Hirone S., Kamigaki R.: J. Japan Inst. Metals 1954, t. 18, s. 545 i 1955, t. 19, s. 92-94.

[12] Wehr J.: Pomiary prędkości i tłumienia fal ultradźwiękowych, PWN Warszawa, 1971.

[13] Filipczyński L.: Praca badawcza IPTT PAN 1955 (niepublikowane).

[14] Kobylecki A.: Wpływ tłumienia fal ultradźwiękowych na dokładność badań defektoskopowych obręczy kolejowych: Praca dyplomowa, Instytut Fizyki Politechniki Śląskiej Gliwice, 1977.

[15] Kulik A.: Diefektoskopija, 1973, t. 9, nr 1, s. 102.

[16] Miechnikow: Diefektoskopija, 1970, t. 6, nr 6, s. 133.

[17] Gołodajew B.: Zaw. Łab, 1969, nr 3, s. 300.

[18] Volk R.: Statystyka stosowania dla inżynierów, WNT Warszawa 1965.

ВЛИЯНИЕ ПОДАВЛЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН НА ТОЧНОСТЬ ДЕФЕКТОСКОПНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАНДАЖА

Р е з ю м е

Дефектоскопные исследования ультразвуковыми волнами бандажа железнодорожного парка применяются в широком масштабе и помогают железнодорожному транспорту избежать больших потерь. Проведенные измерения подавления ультразвуковых волн показали, что эти подавления дают ошибки, вызывающие неточность (20%) в оценке диаметра равковеликого дефекта. Однако, число (в процентах) неправильно заквалифицированных бандажей из-за этих ошибок значительно меньше, чем при других методах.

THE EFFECT OF ULTRASONIC WAVES ATTENUATION ON THE PRECISION OF DEFECTOSCOPIC INSPECTION OF RAILWAY WHEEL BANDS

S u m m a r y

Checking railway wheel bands for flaws using ultrasonic waves is a widely used procedure which helps to aveid great financial losses. Masurements of ultrasonic waves attenuation show that this effect leads to the error in the evaluation of the diameter of equivalent flaw amounting to ca 20%. The percentage of wheel bands abusively qualified due to these errors is, however, significantly lower.