

Nowe rozwiązania w zakresie generowania fal ultradźwiękowych w ośrodkach stałych bez użycia ośrodka sprzęgającego akustycznie

Zdzisław Pęski

W artykule zaprezentowano głowice do generowania fal: poprzecznej, podłużnej oraz powierzchniowej w ośrodku stałym bez użycia ośrodka sprzęgającego akustycznie („na sucho”). Przedstawiono zakres częstotliwości opracowanych głowic. Opisano sposób pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej za pomocą opracowanej techniki pomiarowej bez użycia ośrodka sprzęgającego oraz opisano przydatność metody dla badań ultradźwiękowych.

Miernictwo ultradźwiękowe jest podstawową formą badań nieniszczących. Każde badanie ultradźwiękowe rozpoczyna się od rozpoznania ośrodka badanego poprzez pomiar prędkości i wielkości tłumienia fal ultradźwiękowych. Na podstawie uzyskanych informacji można odpowiednio do potrzeb kontroli badanych elementów zaproponować rodzaj badań i zaprojektować właściwe głowice ultradźwiękowe.

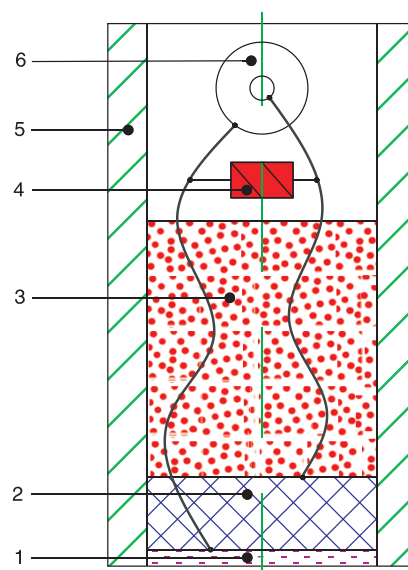
Głowice ultradźwiękowe służą do nadawania i odbioru fal ultradźwiękowych. W ultradźwiękowej technice pomiarowej spotykamy najczęściej głowice piezoelektryczne o częstotliwościach powyżej 40 kHz. W zależności od rodzaju nadawanych i odbieranych fal ultradźwiękowych rozróżnia się głowice: fal podłużnych (L), fal poprzecznych (T) i fal powierzchniowych (R). W zależności od wykonania głowice dzielimy na normalne, wprowadzające fale prostopadłe do powierzchni badanego elementu oraz skośne, wprowadzające fale ukośnie względem tej powierzchni [1, 7].

W całej przeszło 50-letniej historii techniki ultradźwiękowej w Polsce, integralnym elementem ultradźwiękowego systemu pomiarowego była ciekła warstwa sprzęgająca akustycznie badany ośrodek z głowicą defektoskopową, o impedancji akustycznej możliwie zbliżonej do wartości $Z_x = \sqrt{Z_{\text{piezoceramiki}} \cdot Z_{\text{ośrodka}}}$. Ośrodek sprzęgający umożliwiał wprowadzenie fali ultradźwiękowej do badanego materiału częściowo niwelując straty energii podczas transmisji fali akustycznej przez poszczególne ośrodki [1]. Niekiedy obecność warstwy sprzęgającej bywa kłopotliwa i uniemożliwia wykonanie pewnej grupy badań ultradźwiękowych np. materiałów porowatych i higroskopijnych. Opisane niedogodności związane z zastosowaniem warstwy sprzęgającej mogą być pokonane przez zastosowanie opracowanych w 1993 r. metody i urządzenia do generowania fali powierzchniowej w dowolnym ośrodku i bez konieczności używa-

nia ośrodka sprzęgającego akustycznie (Patent Polski nr 142739). Ponadto w 2006 r. opracowano metodę i urządzenie do generowania fali poprzecznej i podłużnej bez użycia ośrodka sprzęgającego w dowolnym ośrodku stałym [8].

Konstrukcja impulsowej głowicy ultradźwiękowej

Skonstruowanie głowic nowej generacji jest możliwe w szerokim paśmie częstotliwości, pożądanym w technice impulsowej. Wytlumienie przetwornika elektroakustycznego oraz wykonanie głowicy muszą zapewnić zamianę krótkich impulsów z postaci elektrycznej na akustyczną i odwrotnie, bez zniekształcenia ich kształtu. Najpowszechniej stosowanymi głowicami impulsowymi są głowice normalne fal podłużnych z przetwornikiem drgającym grubościowo (rys. 1).



Rys. 1. Przekrój normalnej głowicy ultradźwiękowej. 1 – przesłodka przed przetwornikiem – membrana, 2 – przetwornik piezoceramiczny, 3 – obciążnik przetwornika, 4 – układ dopasowujący układ drgający, 5 – oprawa przetwornika – obudowa głowicy, 6 – wtyk koncentryczny

Zdzisław Pęski, właściciel Ultra ZiP, Warszawa

W praktyce przetwornik umieszcza się najczęściej pod płytą-membraną wykonaną z metalu albo z ceramiki o półfalowej grubości. Membrana graniczy zewnętrzną stroną z ośrodkiem, w którym rozchodzą się fale. Musi być tak wykonana, aby fale ultradźwiękowe przechodziły przez nią z małymi stratami. Zgodnie z zasadami przechodzenia dźwięku przez płytę, dźwięk będzie przechodził bez odbicia wtedy, gdy grubość płyty wynosi $n \cdot \lambda/2$. Oprawa i płyty półfalowe nie pozostają bez wpływu na drgania przetwornika, powodując zawsze dodatkowe tłumienie, które wywołuje silniejsze nagrzewanie się przetwornika. Sprzęgnięte z przetwornikiem płyty wpływają bardzo korzystnie na pole interferencyjne, gdyż na skutek tłumienia mniej uwytłumiają się maksima i minima interferencji niż przy swobodnie drgającym przetworniku w kształcie tłoka. Natomiast przy złym wykonaniu układu, natężenie pola wzdłuż osi przetwornika będzie większe niż w przypadku przetwornika swobodnego, co zwiększy nierównomierności wypromiowanego pola. Niepożądanemu zwiększeniu ulegnie stosunek największego natężenia do średniego natężenia dźwięku w polu [2].

Warstwa sprzęgająca

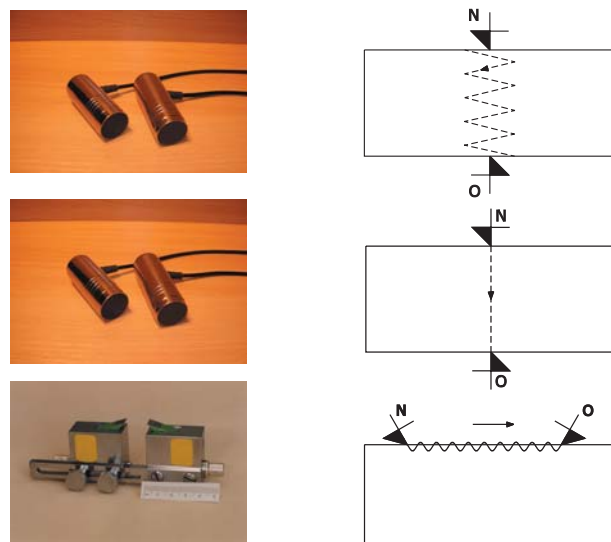
Poza konstrukcją przetwornika, w badaniach ultradźwiękowych kluczową rolę pełni warstwa sprzęgająca głowicę z badanym ośrodkiem. Praktycznie cała literatura dotycząca badań ultradźwiękowych (np. [1]) wymienia konieczność dopasowania impedancji akustycznej użytej głowicy pomiarowej do badanego ośrodka właśnie za pomocą ośrodka sprzęgającego. Do dzisiaj nieodłącznym elementem badań była więc cienka warstwa oleju, miodu, epidianu bądź innych materiałów o wartości impedancji akustycznej leżącej pomiędzy wartościami impedancji dla piezoceramiki i badanego ośrodka. Było to do tego stopnia związane z miernictwem ultradźwiękowym, że zaprzestano nawet dyskusji na temat niewątpliwych wad warstwy sprzęgającej, nie wspominając już o samej uciążliwości jej aplikacji. Przede wszystkim obecność cienkiej warstwy zmienia *de facto* właściwości każdego badanego ośrodka, w szczególności materiałów porowatych, higroskopijnych (np. dla kredy nie wyznaczono doświadczalnie prędkości rozchodzenia się fali akustycznej między innymi z tego powodu). Ponadto niektóre próbki materiałów, po zastosowaniu dla nich ośrodka sprzęgającego, nie mogą być ponownie użyte, co znacznie utrudnia wykonanie pomiarów korygujących lub referencyjnych. Unieumożliwia to również wyznaczenie wpływu operatora i/lub techniki pomiarowej na uzyskane wyniki. Kolejną sprawą, o której warto tu wspomnieć, jest sama konieczność gromadzenia ośrodka sprzęgającego niezbędnego do pomiarów. Jest to, dla przykładu, główne ograniczenie zasięgu defektoskopowych składów kolejowych wykorzystywanych w dynamicznych badaniach jakościowych szyn. Możliwość nawet nieznacznej zmniejszenia ilości użytego ośrodka (obecnie

2000–3000 litrów/100 km) znacznie zmniejszałaby koszty i zwiększałaby zasięg składu, całkowite zaś wyeliminowanie uciążliwego ośrodka byłoby prawdziwym przełomem w tej dziedzinie.

Wyniki badań

Na podstawie wieloletnich badań i doświadczeń okazało się, że możliwe jest dopasowanie nadajnika i odbiornika fal ultradźwiękowych w ten sposób, że nie jest konieczna obecność ośrodka sprzęgającego. Należy tu podkreślić, że głowice wykonane są w niemalże identyczny jak poprzednio sposób oraz nie zastosowano dodatkowych czynności, mających na celu ukrycie ośrodka w przetworniku, oraz nie użyto żadnego materiału zastępczego. Za pomocą opracowanej metody wykonano głowice ultradźwiękowe do pomiaru prędkości fal ultradźwiękowych: poprzecznej i podłużnej. Głowice te zostały użyte w badaniach, które przedstawiono w dalszej części artykułu.

Kilka słów o głowicy normalnej do generowania fali poprzecznej T w ośrodku stałym – głowica ma przetwornik piezoceramiczny generujący drgania ścinania. Natomiast w głowicy normalnej do generowania fal podłużnych L, przetwornik wykonuje drgania grubościowe (rys. 2).

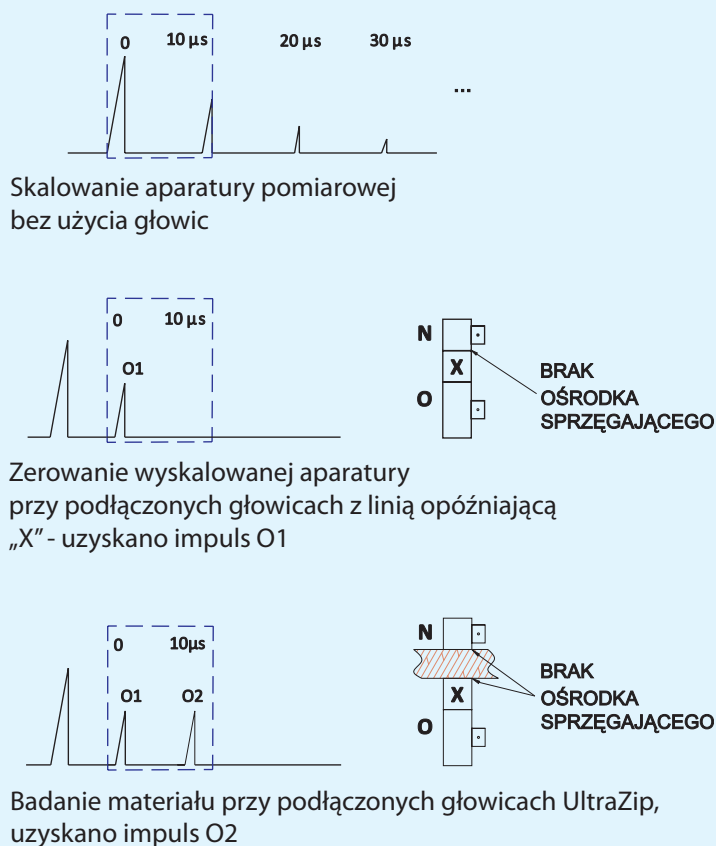


Rys. 2. Pracujące „na sucho” głowice do fal T i L (opracowane w 2006 r.) oraz fal R (opracowane w 1993 r.)

Prezentowane głowice do fal T i L generują fale o kierunku rozchodzenia prostym do powierzchni badanej próbki (rys. 2) oraz pracują w układzie nadawczo-odbiorczym (metoda przepuszczania). Głowica odbiorcza ma linię opóźniającą wykonaną z pleksiglasu. Linia opóźniająca wyznacza początek pomiaru na osi X oraz przesuną go poza strefę martwą głowicy. Zasadę działania ilustruje rys. 3.

Za pomocą wykonanych głowic dokonano pomiarów parametrów szeregu materiałów – miedź, mosiądz, aluminium, pleksi, szkło, kreda, piaskowiec, cement i in. Zastosowany układ głowic jest wyjątko-

Schemat pomiarów w układzie N-O przy użyciu głowic specjalnych firmy UltraZip



Rys. 3. Zasada działania opracowanych głowic ze sprzężeniem „na sucho” do fal poprzecznych T i fal podłużnych L

wo korzystny dla propagacji fal ultradźwiękowych ze względu na minimalizację liczby ośrodków, przez które przechodzi fala ultradźwiękowa. Szczególnie dla fali poprzecznej (generowanej prostopadle do powierzchni badanej) stanowi to nadzwyczajne udogodnienie, dotychczas było to możliwe i praktykowane z użyciem ośrodka sprzęgającego akustycznie typu

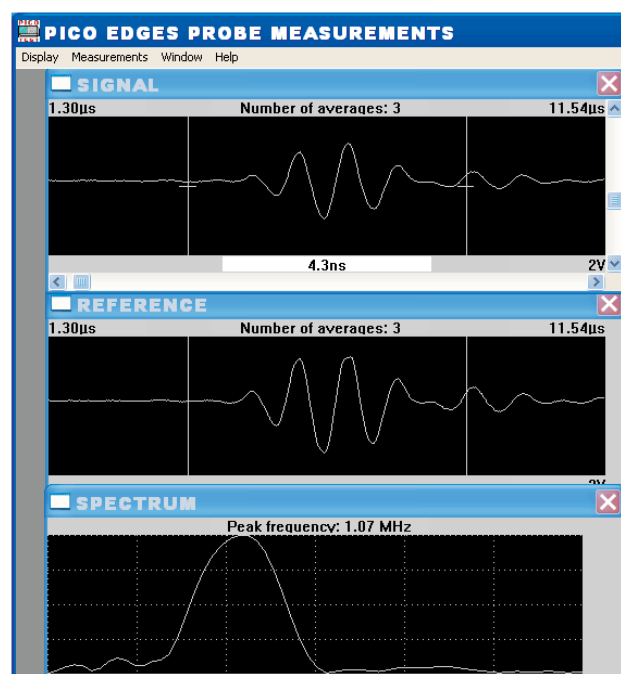


Rys. 4. Stanowisko pomiarowe

miód lub żywica epoksydowa. W opracowanym układzie uzyskano minimalną stratę energii nawet dla materiałów takich jak mosiądz czy miedź – kłopotliwych do pomiaru, ze względu na stosunkowo duże tłumienie. Wart podkreślenia jest fakt, że użyte próbki materiałów porowatych (cement, piaskowiec, kreda) – rys. 4 – mogą być przebadane ponownie w analogiczny sposób, wyniki będą takie same, co poprzednio w pewnych warunkach nie było możliwe.

Praktyczne znaczenie mają cyfrowe pomiary prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych bazujące na wyznaczaniu czasu przejścia przez znaną drogę. Pomiary cienkich warstw bez ośrodka sprzęgającego są dokładniejsze dzięki cyfrowej technice pomiarowej wraz ze specjalizowanym oprogramowaniem, uzyskana dokładność jest rzędu 0,1 ns (wg P. Gutkiewicza z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN) – rys. 5 i tab. 1.

Przeprowadzone badania i próby laboratoryjne dla głowic generujących różne rodzaje fal oraz dla różnych częstotliwości potwierdziły przydatność nowego układu głowic. Tab. 1 przedstawia zestawienie porównawcze prędkości rozchodzenia się fal ultradźwiękowych w wybranych ośrodkach stałych, wg danych katalogowych [2] oraz wg nowej metody i nowego układu głowic.



Rys. 5. Przykładowy przebieg sygnału pomiarowego z głowicy odbiorczej



Rys. 6. Różne typy głowic ultradźwiękowych „na sucho”

Tab. 1. Prędkości fal ultradźwiękowych C (m/s), fala podłużna L, fala poprzeczna T, fala powierzchniowa R

Rodzaj fali Material	wg danych z [2]		wyniki uzyskane nową metoda „na sucho”		
	L	T	L	T	R
Miedź	4700	2260	4840	2150	1380
Mosiądz	4430	2120	4340	2000	1785
Aluminium	6320	3130	6380	3050	2780
Pleksi	2730	1430	2710	1410	1237
Szkło	5570	3510	5880	3770	3030
Kreda (szkolna)	b.d.	b.d.	1760	1090	5000

Tab. 2. Wykaz głowic wykonanych i przebadanych bez użycia ośrodka sprzęgającego

Dla fal (MHz)		
poprzecznych	podłużnych	powierzchniowych
0,5	0,2	0,5
1,0	0,5	1,0
2,0	1,0	2,0
4,0	2,0	4,0
6,0	5,0	
	11,0	

Na rys. 6 i w tab. 2 przedstawiono opracowane różne typy głowic ultradźwiękowych do pomiarów bez użycia ośrodka sprzęgającego, a przykłady zastosowania w [5, 6 i 8].

Podsumowanie

Pomiar prędkości fal ultradźwiękowych nową metodą „na sucho” jest dużą innowacją, mogącą w przyszłości całkowicie zmienić podejście do badań ultradźwiękowych. Ośrodek sprzęgający akustycznie był stosowany przez 50 lat wykonywania badań ultradźwiękowych w Polsce. Metodą „na sucho” uzyskano bardzo dokładny pomiar prędkości propagacji fal ultradźwiękowych, analogiczny do danych katalogowych, uzyskanych w przeszłości. Brak warstwy dopasowującej może ułatwić wykonanie badań oraz znacznie zmniejszyć ich koszt, a także usunąć niektóre bariery technologiczne uznawane dotychczas za właściwości metody pomiarowej, które należy (z większym lub mniejszym powodzeniem) omijać. Otwierają się nowe możliwości dla miernictwa ultradźwiękowego: m.in. do wyznaczania stałych fizycznych ośrodka, do wyznaczania właściwości fizyczno-mechanicznych badanych materiałów, do pomiarów cienkich warstw – mikropłótek. Metoda umożliwia również badanie materiałów porowatych oraz innych, dla których użycie ośrodka sprzęgającego utrudnia pomiary. Za pomocą fali R możliwe jest badanie monokryształów, m.in. wyznaczanie osi polaryzacji lub kierunków anizotropii i in. [3 i 4]. Powyższe zalety nowej metody „na sucho” pomogą w opracowaniu nowych technologii. W chwili obecnej jest opracowywany model fizyczny opisujący wykonanie pomiarów bez użycia warstwy sprzęgającej.

Bibliografia

1. Obraz J.: *Ultradźwięki w technice pomiarowej*, WNT, Warszawa 1983.

2. Mateuszek J.: *Technika ultradźwięków*, WNT, Warszawa 1961.

3. Pęski Z., Królikowski J., Ranachowski J.: *Surface acoustic wave probe for nondestructive testing*, *Ultrasonics International 93*: Conference proceedings, Vienna, Austria, s. 157, 1993.

4. www.ultrazip.pl/projekty_lostrzowe.html

5. Skłodowski M.: *Micro-cores Technology for Testing of Historical Materials*. [w:] Proc. Int. Conf. Heritage Protection-construction aspects. Red. J. Radic, V. Rajcic, R. Zarnic, pp. 205-211, Dubrovnik, Croatia, Oct. 14-17, 2006.

6. Skłodowski M.: *Quasi-Non-Destructive Testing of Historical Materials using Microcores*. [w:] Structural Analysis of Historical Constructions, Red. P.B. Lourenco, P.Roca, C.Modena, S. Agraval, pp. 859-865, MACMILLAN INDIA Ltd., Advanced Research Series 2007.

7. Lipnicki M. K.: *PN-EN 14 127*, Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących – PTBN, Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej – SIMP: *Badania Materiałów*, nr 6 (18), wrzesień 2005, s. 5-8.

8. Pęski Z.: *Nowości w miernictwie ultradźwiękowym: Fala poprzeczna na sucho - badanie mikropłótek falą T-L i R-*, Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących – PTBN, Polskie Towarzystwo Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej – SIMP: *Badania Materiałów*, nr 7 (19), maj 2007, s. 45-46. ■