



## Pomiar prędkości dźwięku w metalach

*Barbara Pukowska  
Andrzej Kaczmarek  
Krzysztof Sokalski  
Instytut Fizyki UJ*

### Ćwiczenie studenckie dla I Pracowni Fizycznej

Eksperymenty z dziedziny akustyki są ciekawe, spektakularne, opierają się na uniwersalnych prawach natury. Są bezpieczne, pouczające i względnie tanie. Wśród szerokiej gamy doświadczeń studenckich z zakresu akustyki brakuje w laboratoriach dla początkujących studentów ćwiczeń z zakresu akustyki ciała stałego, które z jednej strony dotyczyłyby zagadnień związanych z propagacją i tłumieniem dźwięku w ciałach stałych, a z drugiej strony były proste w wykonaniu i opierały się na podstawowych definicjach. Propozycją ćwiczenia spełniającego te warunki jest pomiar prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w metalach wykonany metodą „echa”.

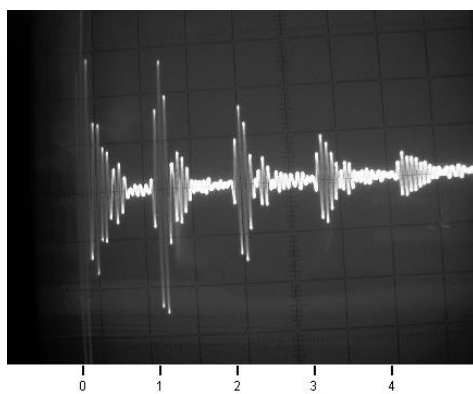
W opisywanych dotychczas układach eksperymentalnych [1] stosowano jedną głowicę ultradźwiękową, która sterowana skomplikowaną aparaturą elektroniczną spełniała rolę nadajnika i odbiornika. Podstawowym elementem modyfikacji opisywanego doświadczenia do pomiaru prędkości ultradźwięków w metalach jest wprowadzenie dwóch głowic ultradźwiękowych, odbiorczej i nadawczej. Układ taki od kilku lat funkcjonuje w I Pracowni Fizycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Ogólny widok aparatury pomiarowej przedstawia Rys. 1.



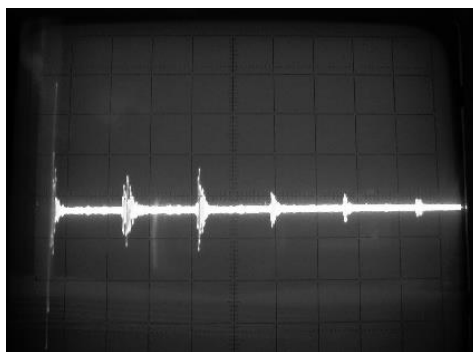
Rys. 1 Ogólny widok aparatury pomiarowej

### Przebieg eksperymentu

Celem eksperymentu jest wyznaczenie prędkości dźwięku w trzech różnych metalach: stali, mosiądzu i aluminium. Wielkość tę wyznacza się z równania definicyjnego ( $v = s/t$ ), tzn. wyznaczając drogę  $s$  i czas  $t$  potrzebny na przebycie tej drogi przez falę ultradźwiękową w badanym materiale. Drogi sygnału w materiale wyznaczają wysokości próbek (próbki są walcami o średnicy ok. 20 mm i wysokościach od ok. 5 mm do ok. 40 mm). Wymiary geometryczne badanych próbek można zmierzyć śrubą mikrometryczną lub suwmiarką. Czasy przelotu przez próbkę impulsu generowanego przez głowicę nadawczą wyznacza się z obrazu na ekranie oscyloskopu, Rys. 2a.

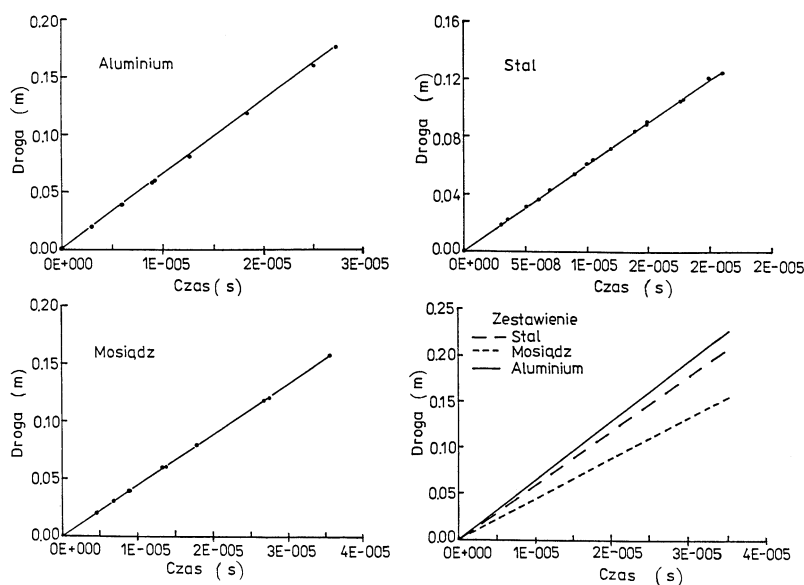


Rys. 2a Sygnał zarejestrowany przez głowicę odbiorczą, obserwowany na ekranie oscyloskopu dla próbki bez defektów



Rys. 2b Sygnał zarejestrowany przez głowicę odbiorczą, obserwowany na ekranie oscyloskopu dla próbki z defektami struktury wewnętrznej

Otrzymane wyniki, tzn. czasy przelotu impulsów i drogi przebyte przez nie w materiale jednego rodzaju, naniesione na wykres – Rys. 3, dają linię prostą. Z nachylenia tej prostej można wyznaczyć średnią wartość prędkości dźwięku w badanym metalu. Znając prędkość rozchodzenia się dźwięku  $v$ , można, korzystając z zależności  $v = \sqrt{E/\rho}$  [2] przy niewielkim nakładzie pracy wyznaczyć również moduł Younga  $E$  jako jeden z parametrów, od których zależy prędkość rozchodzenia się dźwięków w metalach. W tym celu należy wyznaczyć gęstości badanych metali  $\rho$ .

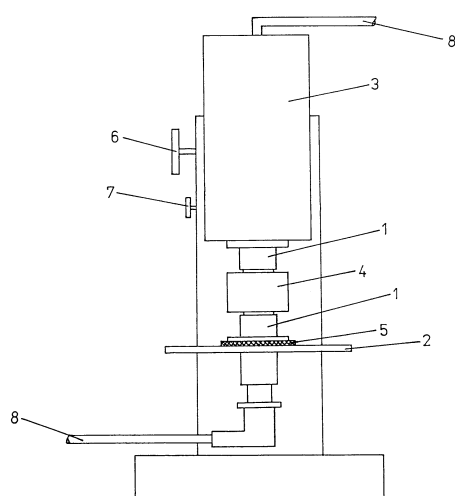


Rys. 3 Przykładowe wyniki pomiarów

Prezentowana poniżej aparatura umożliwi również zilustrowanie zasady działania defektoskopu ultradźwiękowego. Przy obserwacji obrazów „echa” dla próbek o większych wymiarach obserwuje się na ekranie oscyloskopu szereg sygnałów odbitych od defektów struktury wewnętrznej, Rys. 2b. Dla próbki bez defektów sygnał z generatora odbija się tylko od jej podstaw. W wyniku tego do głowicy odbiorczej w równych odstępach czasu docierają sygnały z amplitudą malejącą eksponencjalnie i taki obraz obserwujemy na ekranie oscyloskopu, Rys. 2a. W przypadku próbki z defektami wewnętrznymi obserwowany obraz nie jest już taki łatwy do interpretacji. Oprócz równoodległych sygnałów, „ech” impulsu z generatora odbitych od podstaw, pojawiają się sygnały w innych odległościach od siebie niż wskazywałyby na to wymiary próbki. Natężenia tych sygnałów także są inne niż w przypadku próbek bez defektów, Rys. 2b. Świadczy to

o tym, że sygnał z generatora zanim trafił do głowicy odbiorczej przebył w metalu inną drogę (odbijając się od defektów struktury) niż ten, który został zarejestrowany bezpośrednio po odbiciu od obu podstaw próbki.

Aparatura składa się z: generatora impulsów prostokątnych, oscyloskopu i statywu na próbki wraz z uchwytami na głowice ultradźwiękowe. Sygnał z generatora jest podawany na jedną z głowic ultradźwiękowych zamontowanych w statywie. Po między głowicami umieszcza się badaną próbkę. Druga głowica odbiera sygnał, który przeszedł przez próbkę i podaje go na oscyloskop pracujący z włączonym generatorem podstawy czasu. Statyw złożony jest z dwóch głowic ultradźwiękowych (Rys. 4).



Rys. 4 Statyw na próbki

- 1 – głowice ultradźwiękowe
- 2 – stolik
- 3 – ruchomy tubus
- 4 – próbka
- 5 – podkładka gumowa
- 6 – pokrętko do przesuwu tubusu wraz z górną głowicą ultradźwiękową
- 7 – śruba kontruująca
- 8 – kable doprowadzające i odprowadzające sygnały

Jedna głowica zamocowana jest nieruchomo na statywie, druga umieszczona została w ruchomym tubusie. Dolna głowica ultradźwiękowa (1) jest zamocowana na stoliku (2) tak, aby mogła dopasowywać się do ewentualnych nierównoległości podstaw mierzonych próbek. Na dolnej głowicy umieszcza się badaną próbkę (4)

i do jej górnej powierzchni dociska górną głowicę (1) zamocowaną w ruchomym tubusie (3). Na jedną z głowic ultradźwiękowych jest podawany prostokątny impuls z generatora. Druga głowica odbiera przechodzące przez próbkę sygnały i podaje je na wejście oscyloskopu. Przy włączonej podstawie czasu na ekranie oscyloskopu otrzymuje się szereg równoodległych impulsów o malejącej eksponencjalnie amplitudzie – Rys. 2a. Pierwszy sygnał o maksymalnym natężeniu (na Rys. 2a zaznaczony jako „0”) odpowiada zarejestrowaniu przez głowicę odbierającą impulsu, który został wysłany przez generator i przeszedł przez próbkę. Drugi i wszystkie następne sygnały to tzw. „echo”, tzn. impulsy, które zostały odbite od podstawy próbki przeciwległej do głowicy nadawczej, przeszły przez całą próbkę, odbiły się powtórnie od podstawy przylegającej do głowicy nadawczej i zostały odebrane przez głowicę odbiorczą. Na Rys. 2a zaznaczone zostały kolejnymi numerami „echa” – 1, 2, 3, ... Im więcej kolejnych odbić od zewnętrznych powierzchni, tym słabszy sygnał (mniejsza amplituda). Pierwsze „echo” to impuls, który przebył dwa razy wysokość próbki względem pierwszego, obserwowanego na ekranie oscyloskopu. Drugie „echo” odpowiada czterokrotnemu przejściu generowanego impulsu przez próbkę itd. Ogólnie – droga przebyta przez impuls w materiale próbki jest równa jej wysokości pomnożonej przez  $2n$ , gdzie  $n$  jest kolejnym numerem „echa”.

Zadaniem eksperymentatora jest:

- zmierzenie wysokości badanych próbek – pozwoli to określić drogę impulsu przebytą w metalu;
- identyfikacja impulsów odpowiadających „echom” na ekranie oscyloskopu;
- obliczenie czasu  $t$  potrzebnego na przebycie każdej z dróg:  $t = l \cdot m$ , gdzie  $l$  – odległość między sygnałem zerowym i każdym kolejnym „echem”, mierzona w jednostkach skali ekranu oscyloskopu;  $m$  – stała podstawy czasu oscyloskopu, mierzona w jednostkach czasu na jedną jednostkę skali ekranu oscyloskopu;
- sporządzenie wykresu zależności drogi impulsu w metalu od czasu, w którym ta droga została przebyta;
- obliczenie na podstawie wykresu średniej wartości prędkości w każdym metalu;
- wyznaczenie gęstości  $\rho$  badanych metali na podstawie pomiaru masy  $m$  i objętości  $V$  ( $\rho = m/V$ );
- obliczenie modułu Younga  $E$  ( $E = v^2 \cdot \rho$ ).

Opisana aparatura pozwala na wykonanie ciekawego doświadczenia i prostą interpretację otrzymanych wyników.

#### Literatura

- [1] C. Kittel, *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN, Warszawa 1974, str. 139  
 [2] J. Obraz, *Ultradźwięki w technice pomiarowej*, WNT, Warszawa 1983

Redakcja poleca artykuły w *Postęпах Fizyki* **51**, zeszyt 6 (2000), strony: 306 i 310.