

ULTRADŹWIĘKI

I. Cel ćwiczenia: zapoznanie ze sposobem wytwarzania i zastosowania ultradźwięków przy wykorzystaniu defektoskopu DI-4P, pomiar prędkości dźwięku w różnych materiałach sprężystych i w wodzie, wyznaczenie akustycznej oporności falowej $\rho \cdot v$, modułów Younga E , modułu ściśliwości K dla wody.

II. Przyrządy: defektoskop ultradźwiękowy DI-4P, głowice ultradźwiękowe.

III. Literatura:

1. R. Wyrzykowski – Dźwięki i ultradźwięki,
2. L. Filipczyński, Z. Pawłowski, J. Wehr – Ultradźwiękowe metody badań materiałów,
3. R. Resnick, D. Holliday – Fizyka t.1 rozdz.20,
4. F.C. Crawford – Fale rozdz.4.

IV. Wprowadzenie.

1. Wstęp.

Ultradźwiękami nazywamy mechaniczne zjawiska falowe występujące w ośrodkach stałych, cieczech i gazach o częstości większej niż górna granica słyszalności ucha ludzkiego, a więc większej niż 20000 herców.

Warunki rozchodzenia się fal ultradźwiękowych są zależne od własności ośrodka, w którym one występują. Stąd też wynika możliwość badania własności ośrodka za pomocą fal ultradźwiękowych, szczególnie ciał stałych, w których nie rozchodzą się fale elektromagnetyczne w postaci światła.

Obszar, w którym rozchodzą się fale dźwiękowe nazywamy polem ultradźwiękowym. Pole to możemy opisać za pomocą wychyleń bądź prędkości cząsteczek lub atomów, ciśnienia względnie naprężenia. W gazach i cieczech możemy mówić o fali ciśnienia, natomiast w ciałach stałych o falach naprężenia. Dla fali płaskiej biegnącej w jednym kierunku spełniona jest następująca zależność między naprężeniem lub ciśnieniem p , a prędkością cząsteczki u , gęstością ρ i prędkością fali v :

$$\frac{p}{u} = \rho \cdot v \quad (1)$$

Iloczyn $\rho \cdot v$ jest wielkością charakteryzującą własności ośrodka zwaną akustyczną opornością falową. Biegnąca fala niesie w kierunku swego ruchu energię, którą wytwarza źródło fali. Możemy rozpatrywać również moc przenoszoną przez falę. Stosunek tej mocy do powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali nazywamy natężeniem fali I :

$$I = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Gdy fala płaska pada na granicę dwóch ośrodków, wówczas zachodzi zjawisko odbicia i przenikania. Dla kąta padania równego zeru zjawisko to charakteryzują najlepiej współczynniki odbicia k_I i przenikania q_I określone wzorami:

$$k_I = \frac{I_{odb}}{I_{pad}} = \left[\frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \right]^2 \quad (3)$$

$$q_I = \frac{I_{przen}}{I_{pad}} = \frac{4\rho_1 v_1 \rho_2 v_2}{(\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2)^2} \quad (4)$$

gdzie I_{pad} – natężenie fali padającej,
 I_{odb} – natężenie fali odbitej,
 I_{przen} – natężenie fali przenikającej,
 $\rho_1 v_1$ – falowa oporność akustyczna 1 ośrodka,
 $\rho_2 v_2$ – falowa oporność akustyczna 2 ośrodka.

Z obserwacji i pomiarów wynika, że współczynnik odbicia jest szczególnie duży przy przejściu fali z ośrodka stałego czy cieczy do gazu lub na odwrót. Tym wyjaśnia się fakt, że fale ultradźwiękowe rozchodzą się w ciałach stałych lub też cieczach praktycznie nie przenikając do otaczającego je powietrza.

Dotychczas rozważaliśmy ośrodek, w którym rozchodzą się fale ultradźwiękowe za doskonale sprężyste. W ośrodku takim potencjalna energia sprężysta przechodzi bez strat w energię kinetyczną ruchu drgającego cząsteczki ośrodka i odwrotnie. Na skutek tarcia wewnętrznego, przewodnictwa cieplnego itd., część energii podczas tej przemiany jest jednak stale tracona. W rezultacie natężenie fali zmniejsza się w funkcji odległości. Mówimy, że fala jest tłumiona. Za miarę tłumienia przyjmujemy współczynnik tłumienia γ , który określamy jako względną zmianę natężenia fali przypadającą na jednostkę długości. Wówczas natężenie fali płaskiej I w funkcji odległości x możemy opisać wyrażeniem:

$$I = I_0 e^{-\gamma x} \quad (5)$$

gdzie I_0 jest natężeniem fali w odległości $x = 0$.

Współczynnik tłumienia jest wielkością zależną od rodzaju ośrodka, a ponadto od częstości.

2. Rozchodzenie się fali ultradźwiękowej w ośrodku.

Fala ultradźwiękowa rozchodzi się we wszystkich ośrodkach sprężystych. Ponieważ własności sprężyste ciał stałych są różne od cieczy i gazów, to i fale ultradźwiękowe w ciałach stałych różnią się od fal w ośrodkach ciekłych i gazowych. W cieczy i gazie rozchodzą się fale podłużne, natomiast w ciałach stałych mogą powstać zarówno fale podłużne jak i poprzeczne. Można wykazać, że ogólnie prędkość rozchodzenia się fali jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z iloczynu współczynnika sprężystości ośrodka α i jego gęstości ρ .

$$v = \sqrt{\frac{1}{\alpha\rho}} \quad (6)$$

W szczególnym przypadku prędkość fali podłużnej v_L i poprzecznej v_T dla pręta o skończonych wymiarach można wyrazić wzorami

$$v_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad v_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (7)$$

gdzie G – moduł sztywności, E – moduł Younga.

Jednakże przy ściskaniu lub rozciąganiu pręta o rozmiarach nieograniczonych zmiana długości pociąga za sobą zmianę promienia i wyrażenia na prędkość są bardziej złożone

$$v_T = \sqrt{\frac{G}{\rho} \frac{1}{2(1+\mu)}} \quad v_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (8)$$

gdzie μ – współczynnik Poissona; $\mu = \frac{\Delta r}{r} / \frac{\Delta l}{l}$.

W gazie prędkość fali zależy od tego, czy zmiany ciśnienia p zachodzą izotermicznie, czy też adiabatycznie. I tak odpowiednio

$$v = \sqrt{\frac{p}{\rho}} \qquad v = \sqrt{\kappa \frac{p}{\rho}} \qquad (9)$$

gdzie $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ stosunek ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości.

Dla cieczy rolę modułu Younga lub ciśnienia odgrywa moduł ścisłości cieczy K i wobec tego wzór na prędkość fali w cieczy ma postać

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \qquad (10)$$

3. Ścisłość. Moduł ścisłości.

Jeżeli na powierzchnię ciała wywarte zostanie ze wszystkich stron ciśnienie, to wówczas zmienia się jego rozmiary, natomiast kształt pozostanie ten sam. Zmiana rozmiarów pociąga za sobą zmianę objętości ΔV . Miarą takiego odkształcenia będzie stosunek $\frac{\Delta V}{V}$ nazywany czasem rozszerzeniem objętościowym właściwym. Według prawa Hooke'a zmiana ciśnienia powodująca rozszerzenie będzie do tego rozszerzenia proporcjonalna:

$$\Delta p \sim \frac{\Delta V}{V} \qquad (11)$$

Tak więc stosunek tych wielkości jest stały. Jest on miarą wielkości nazwanej modułem sprężystości objętościowej lub modułem ścisłości:

$$\Delta p = -K \frac{\Delta V}{V} \qquad (12)$$

przechodząc do pochodnych cząstkowych mamy ostatecznie:

$$K = -V \frac{\partial p}{\partial V} \qquad (13)$$

Tak więc moduł ścisłości K opisuje ilościowo ścisłość – odwracalną zmianę objętości układu pod wpływem działającego ze wszystkich stron ciśnienia hydrostatycznego. Znak minus pochodzi stąd, że podczas zwiększania ciśnienia objętość się zmniejsza.

Z podanych tu definicji widać, że im większy jest moduł ścisłości danego materiału, tym większego trzeba użyć ciśnienia by wywołać odkształcenie objętości, tym odporniejszy będzie on na wszelkie zmiany objętości, tym będzie mniej ścisły. Ze wzoru (13) widać też, że wymiarem modułu ścisłości jest wymiar ciśnienia [KG/cm^2] lub [N/m^2] a liczbowo równa się on ciśnieniu wywołującemu względną zmianę objętości równą jedności.

Wyróżnia się ścisłość izotermiczną (temperatura $T = \text{const}$) i adiabatyczną (entropia $S = \text{const}$). Zależność między adiabatycznym i izotermicznym modułem ścisłości wyraża się w prosty sposób przez stosunek c_p/c_v

$$K_S = \frac{c_p}{c_v} K_T \qquad (14)$$

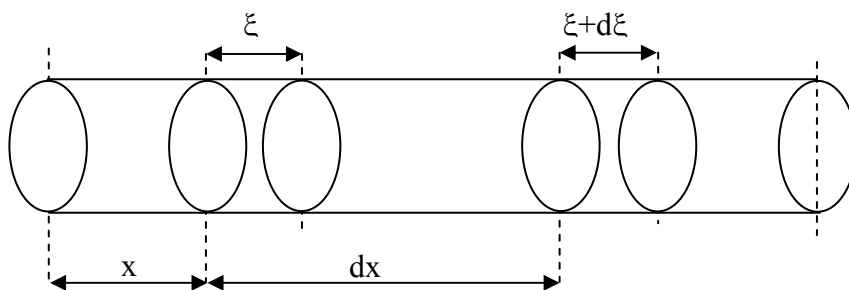
Ponieważ $c_p > c_v$, to $K_S > K_T$. Pomiary ścisłości cieczy przedstawiają duże trudności ze względu na ich małą ścisłość oraz na zmiany objętości naczyń zawierających ciecz przy dużych ciśnieniach.

Można je badać mierząc bezpośrednio zmiany objętości V lub gęstości ρ pod wpływem ciśnienia, np. za pomocą przyrządu zwanego piezometrem albo też wykonując pomiary prędkości fali ultradźwiękowej.

4. Równanie fali ultradźwiękowej. Prędkość fali w cieczy.

Rozpatrzmy najprostszy przypadek rozchodzenia się płaskiej fali dźwiękowej lub ultradźwiękowej w cylindrycznej warstwie cieczy ograniczonej dwoma przekrojami o polu S (rys.1).

Przeprowadźmy oś X w kierunku biegu fali. Niech odcięta pierwszego przekroju będzie x , drugiego $(x + dx)$. Odległość między przekrojami wynosi zatem dx . Ponieważ w cieczy biegnie fala podłużna, przekrój w czasie dt przemieści się o bardzo mały odcinek ξ .



rys.1

Wychylenie ξ cząsteczek cieczy z położenia równowagi zależy oczywiście od x i czasu t : $\xi = f(x, t)$.

Wychylenie w drugim przekroju będzie równe:

$$\xi + d\xi = \xi + \frac{\partial \xi}{\partial x} dx \quad (15)$$

gdzie $\frac{\partial \xi}{\partial x}$ jest szybkością zmian tego wychylenia w kierunku osi x . Z lewej strony na ciecz zawartą między tymi dwoma przekrojami działa ciśnienie p , z prawej strony zaś $(p + dp)$. Zatem siła działająca z lewej strony na cały przekrój będzie równa $p \cdot S$, a z prawej $-(p + dp) \cdot S$. Skorzystamy teraz z II zasady dynamiki Newtona:

$$ma = \sum F \quad (16)$$

Oznaczając gęstość cieczy przez ρ mamy: $m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot dx$. Ponieważ przemieszczenie rozważanej porcji cieczy wynosi ξ , to przyspieszenie $a = \partial^2 \xi / \partial t^2$. Natomiast suma sił działających na tę porcję wynosi $\sum F = p \cdot S - (p + dp) \cdot S = -S \cdot dp$.

Możemy więc napisać równanie (16) w postaci:

$$\rho \cdot S \cdot dx \cdot \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -S \cdot dp \quad (17)$$

stąd

$$\rho \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = - \frac{\partial p}{\partial x} \quad (17a)$$

Piszemy pochodną cząstkową $\frac{\partial p}{\partial x}$, gdyż p jest funkcją x i t .

Powróćmy teraz do wzoru (12) i wstawmy do niego odpowiednie wyrażenie na $dV = S \frac{\partial \xi}{\partial x} dx$ i $V = S \cdot dx$. Otrzymamy:

$$dp = -K \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (18)$$

Różniczkując (18) po zmiennej x otrzymujemy:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -K \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (19)$$

Podstawiając ostatnią zależność (19) do wzoru (17a) mamy:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{K}{\rho} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (20)$$

Oznaczając $\frac{K}{\rho} = v^2$ otrzymujemy równanie fali płaskiej:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (20a)$$

Zatem prędkość fali dźwiękowej lub ultradźwiękowej wzdłuż słupa cieczy wyraża wzór:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (21)$$

Zauważmy, że prędkość fali jest określona przez właściwości ośrodka, w którym fala się rozchodzi, zależy ona bowiem od K – cechy określającej sprężystość ośrodka oraz od ρ – cechy związanej z bezwładnością.

5. Przetworniki ultradźwiękowe.

Przetwornikami nazywa się takie elementy, za pomocą których przetwarza się jeden rodzaj energii w drugi. W naszym przypadku chodzi o zamianę energii drgań elektrycznych na energię drgań mechanicznych i odwrotnie. W zakresie drgań ultradźwiękowych wykorzystywanych do badania materiałów znajdują obecnie zastosowanie głównie dwa typy przewodników: kwarcowe i z tytanianu baru. W kryształach tych występuje zjawisko piezoelektryczne polegające na powstawaniu ładunków elektrycznych na określonych powierzchniach kryształu pod wpływem naprężenia lub odkształceń. Zjawisko to jest odwracalne, tzn. że pod wpływem przyłożonego napięcia elektrycznego w kryształach powstają odkształcenia.

Przetworniki z tytanianu baru (BaTiO_3) otrzymuje się dzięki oddziaływaniu silnego pola elektrycznego na próbkę materiału poddaną zmiennym warunkom temperaturowym. Pole to polaryzuje domeny w kierunku prostopadłym lub równoległym do wybranej osi symetrii X kryształu. Polaryzacja ta częściowo pozostaje po odjęciu pola elektrycznego.

Aby w ciele stałym powstały fale podłużne musimy wytworzyć na jego powierzchni okresowo zmienne naprężenie poprzez przyłożenie napięcia w kierunku polaryzacji, które pobudzi przetwornik do drgań w kierunku X . Należy tak dobrać wymiary przetwornika, aby częstość drgań własnych (rezonansowych) w kierunku osi X była równa częstości wymuszającej przyłożonego napięcia, natomiast częstość innego rodzaju drgań własnych przetwornika powinny możliwie daleko odbiegać od niej. Warunek rezonansu przetwornika zanurzonego w płynie, o grubości równej połowie długości fali w nim powstającej jest następujący:

$$d = \frac{\lambda}{2} = \frac{v}{2f} \quad (22)$$

gdzie f – częstość rezonansowa,

v – prędkość fali podłużnej w BaTiO_3 ($5700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).

Przetwornik wycina się najczęściej w kształcie krążka, którego średnica jest znacznie większa od grubości d .

6. Defektoskop ultradźwiękowy.

Opis przyrządu.

Defektoskop DI-4P umożliwia wykrycie pęknięć rozwarstwień zmiany struktury, obecności obcych ciał, złych spoin, porowatości oraz innych wad w przedmiotach wykonanych z metali, ceramiki, tworzyw sztucznych. Umożliwia również pomiar grubości elementów jednostronnie dostępnych i niektórych własności fizycznych materiałów. Badać można również żywe organizmy, a używając specjalnych głowic dokonuje się badań serca, gałki ocznej, wykrywa nowotwory itd.

Zasada działania defektoskopu polega na wytwarzaniu przez nadajnik krótkotrwałych impulsów elektrycznych, które przetwarza głowica nadawcza N na drgania ultradźwiękowe. Wprowadzona do badanego materiału fala ultradźwiękowa po odbiciu się od napotkanej wady (nieciągłości) w strukturze materiału wraca z powrotem do głowicy odbiorczej O, gdzie zostaje przetworzona na odpowiedni impuls elektryczny. Po wzmocnieniu i detekcji w odbiorniku impulsy elektryczne podawane są na płytki lampy oscyloskopowej. Na ekranie lampy oscyloskopowej otrzymujemy oscylogram w postaci szpilkowych impulsów, na podstawie którego można określić odległość między miejscem położenia głowicy, a powierzchnią odbijającą (wadą) oraz oszacować jej wielkość. Defektoskop może również pracować z jedną głowicą nadawczo – odbiorczą. W takim przypadku głowica ta jest jednocześnie źródłem i detektorem fal.

Wykrywalność wad jest zależna od szeregu czynników, a mianowicie; odległości wady od powierzchni przyłożenia głowicy, nierówności powierzchni badanego materiału oraz tłumienia w materiale. Czułość defektoskopu powinna zapewnić wykrycie wady sztucznej o średnicy $\varnothing 3\text{mm}$ w odległości $0,2\text{m}$ od głowicy $6\text{L}0^{020}\text{C}$ w stali przy maksymalnym wzmocnieniu 30dB . Zasięg minimalny (tzw. strefa martwa) przy zastosowaniu głowicy $6\text{L}0^{020}\text{C}$ dla stali i metody echa wynosi ok. 5mm .

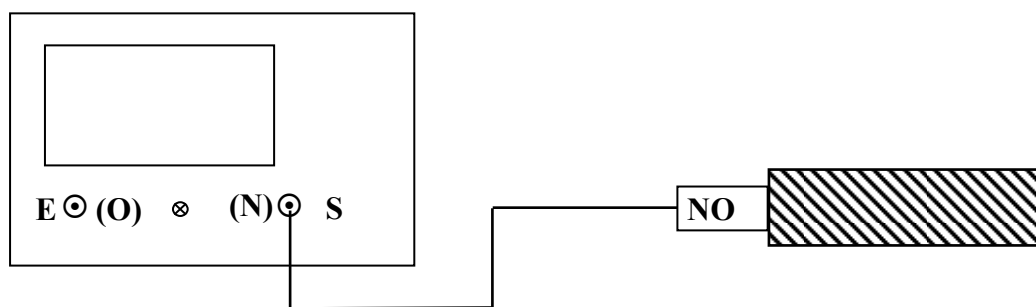
Defektoskop wyposażony jest w głowice nadawczo – odbiorcze różnych rodzajów. Głowice typu GNL wytwarzają fale podłużne, a nakręcenie na nie osłon skośnych OST powoduje powstanie fal poprzecznych. Głowice do wysokości gniazd koncentrycznych są wodoszczelne.

Metoda pracy.

Możliwe są dwa rodzaje pracy: praca metodą przepuszczania i metodą echa.

W metodzie przepuszczania głowicę odbiorczą łączymy kablem koncentrycznym z gniazdem E (nr 4 na rys.6 umieszczonym na końcu instrukcji), a głowicę nadawczą z gniazdem S (nr5 na rys.6). Należy przy tym wcisnąć przycisk P (nr1 na rys.6).

Przy pracy metodą echa głowica nadawca jest jednocześnie głowicą odbiorczą (głowica nadawczo – odbiorcza). Głowicę łączymy z gniazdem S (nr 5). Klawisz P (nr 1) jest wyciśnięty (zwolniony). Jest to najwygodniejsza metoda dla jednej osoby i taką metodą należy wykonać ćwiczenie (patrz rys.2).



Rys.2 Praca metodą echa. Głowica nadawcza jest jednocześnie głowicą odbiorczą.

Najkorzystniejszą częstotliwość najlepiej dobierać doświadczalnie. Badając materiały o strukturze gruboziarnistej zaleca się stosowanie częstotliwości niższych $0,5 \div 2$ MHz, natomiast powyżej 6 MHz dla cienkich materiałów o małym tłumieniu. Wzrost częstotliwości powoduje poprawę zdolności wykrywania małych wad i poprawia kierunkowość wysyłanych fal ale rośnie przy tym tłumienie w materiale. Każda głowica jest opisana pięciosegmentowym ciągiem symboli np. 2.0L 0° 10C. Znaczenie symboli jest następujące:

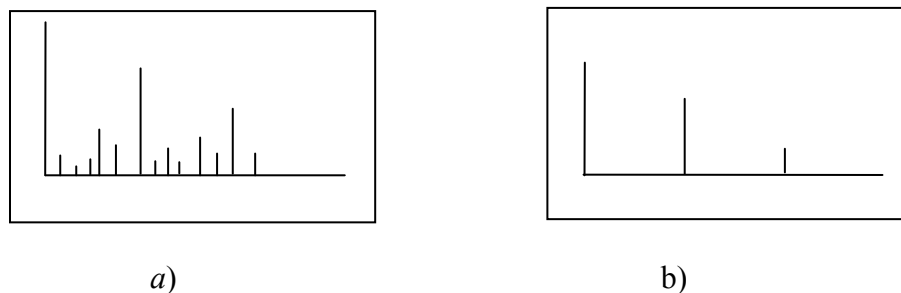
- 2.0 częstotliwość znamionowa w MHz,
- L fala podłużna – rodzaj wytworzonej fali ultradźwiękowej,
- 0° kąt wprowadzenia fali do materiału,
- 10 średnica przetwornika w mm,
- C ceramika piezoelektryczna – rodzaj przetwornika.

V. Zasada pomiaru prędkości fali.

Włączyć uziemiony przyrząd i po pojawieniu się na ekranie linii podstawy czasu sprawdzić jego działanie. Przycisk oznaczony nr1 jest wciśnięty (zwolniony) – praca z jedną głowicą nadawczo–odbiorczą. Po wyregulowaniu przyrządu i wybraniu odpowiedniej głowicy przeprowadzić skalowanie osi X podziałki ekranowej defektoskopu. Skalowanie polega na dostosowaniu szybkości pisania podstawy czasu do prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w badanym materiale. Do tego celu jako wzorca w ćwiczeniu używa się stalowego walca. Skalowanie przeprowadza się na zakresie 50cm (wciśnięte przyciski 5 i 10 regulacji zasięgu 12). Głowicę przyłożyć do walca Fe o długości $l = 0,3$ m. Impuls nadawczy ustawić na kresce 0 podziałki umieszczonej na ekranie lampy oscyloskopowej (pokrętło 7). Pokrętłem 14 (km/sek) regulować tak, aby pierwsze echo uzyskać na 6-tej podziałce osi X, co będzie odpowiadać długości walca równej 30cm (przy ustalonym wcześniej zasięgu 50cm). Dokładność pozostałych zakresów wynosi $\pm 10\%$.

Aby uniknąć błędów, jaki wprowadza impuls nadawczy, można za pomocą pokrętła 7 przesunąć obraz na lampie oscyloskopowej tak, aby na podziałce 0 znalazł się pierwszy impuls odbity. Regulacji amplitudy sygnału oglądanego na lampie oscyloskopowej dokonuje się korzystając z przełączników klawiszowych „Wzmocnienie” (nr 2 i 3). Pełną wartość wzmocnienia daje nam suma wartości nastawionych tymi dwoma przełącznikami. Zbyt duże wzmocnienie powoduje powstanie zbędnych impulsów utrudniających interpretację obrazu. Poprawę czytelności i przejrzystości obrazu jak również ułatwienie interpretacji oscylogramów osiąga się przez użycie dyskryminatora (tzw. „podcięcie” impulsu). Regulując pokrętłem 15 „podci-

namy” impulsy widoczne na ekranie od dołu eliminując wszelkie zakłócenia i szумы. Pokazuje to rysunek 3.



Rys.3 Obraz ekranu defektoskopu: a) bez podcięcia, b) z podcięciem

Powierzchnia badanego elementu, do którego przykładamy się głowicę powinna być możliwie gładka i posmarowana cieczą (woda, oliwa), aby umożliwić wprowadzenie energii fali ultradźwiękowej do badanego ośrodka. Najlepsze wyniki zapewnia olej silikonowy.

Przykładając głowicę do walca stalowego o nieznannej grubości, można odczytać bezpośrednio z ekranu jego wymiary (ale tylko dla stali).

Jeżeli znamy prędkość rozchodzenia się podłużnej fali dźwiękowej w stali ($v_{||} = 5930$ m/s), to możemy oś X wyskalować również w jednostkach czasu. Mianowicie, dla metody echa między prędkością fali, długością walca i czasem przebiegu fali zachodzi zależność:

$$2l = v_{||} t \quad (23)$$

lub

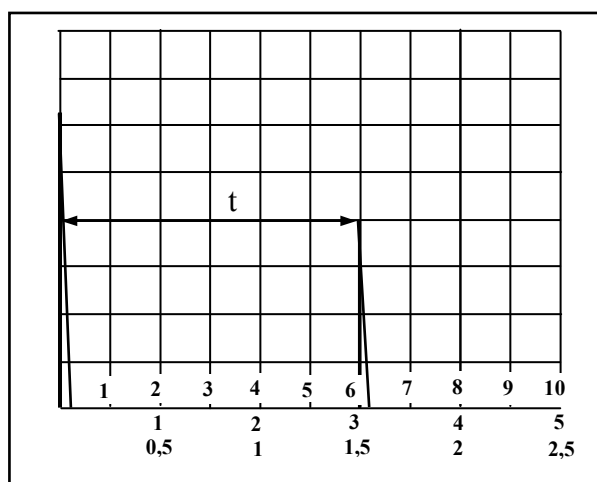
$$l = \frac{1}{2} v_{||} t \quad (23a)$$

gdzie $v_{||}$ – prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej,

t – czas przebiegu fali od nadajnika do odbiornika [na oscylogramie odległość między impulsem nadanym (padającym) i odbitym od dna],

l – długość walca.

Używając walca stalowego o długości $l = 0,3\text{m}$ do skalowania przy wykorzystaniu zależności i wskazówek, o których była mowa powyżej, powinniśmy otrzymać obraz jak na rysunku 4.



Rys.4 Oscylogram dla walca stalowego $l = 0,3\text{m}$

Czas przebiegu impulsu ultradźwiękowego w walcu wynosi zatem:

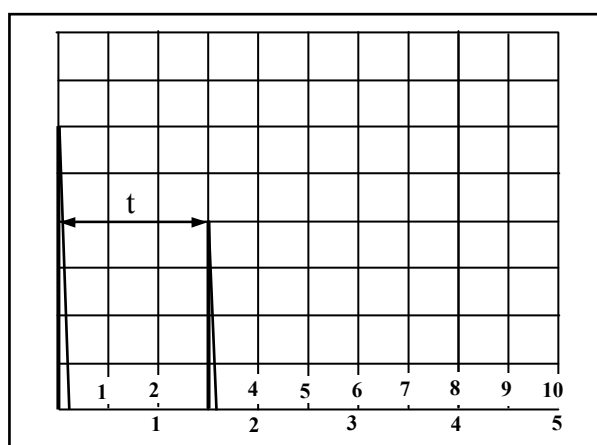
$$t = \frac{2l}{v_{llz}} = \frac{2 \cdot 0,3m}{5930m/s} = 101\mu s$$

Ponieważ $x = 6$ cm podziałki ekranowej odpowiada $101\mu s$, to 1cm skali ekranu odpowiada:

$$s_t = \frac{t}{x} = \frac{101\mu s}{6\text{ cm}} = 16,8 \frac{\mu s}{\text{cm}}$$

Współczynnik s_t o wymiarze czas/cm informuje użytkownika defektoskopu o czasie w jakim wiązka elektronów lampy przesuwa się poziomo o 1 cm w płaszczyźnie ekranu. Dla ustawionego zasięgu 50 cm ma on wartość $16,8 \mu s/cm$, dla innego zasięgu jego wartość będzie inna.

Weźmy teraz pręt wykonany z innego materiału np. z aluminium o długości l_x innej niż pręt stalowy używany do skalowania. Oscylogram może wyglądać następująco



Rys.5 Oscylogram dla materiału innego niż

$$\text{stalowy; } t = 3\text{ cm} \cdot 16,8 \frac{\mu s}{\text{cm}} = 50,4 \mu s.$$

Prędkość fali ultradźwiękowej w tym materiale (np. aluminium) obliczymy ze wzoru

$$v_x = \frac{2l_x}{t} \quad (24)$$

UWAGA! *Skalowanie można przeprowadzić bez warunku uzyskania pierwszego echa na zasięgu 30cm. Można je ustawić w dowolnym miejscu ekranu tak jednak, by oscylogramy innych materiałów zmieściły się na ekranie. Nie można wówczas wykorzystywać skali ekranu do bezpośredniego odczytu grubości materiałów ze stali.*

VI. Pomiary.

1. Podłączyć do gniazda defektoskopu oznaczonego symbolem S głowicę pomiarową za pomocą kabla koncentrycznego. Właściwą głowicę w zależności od badanego materiału dobrać w trakcie pomiarów próbnych. Przycisk rodzaju pracy P (nr1 na rys 6) powinien być wyciśnięty (zwolniony – praca z jedną głowicą nadawczo – odbiorczą).
2. Przeprowadzić skalowanie osi X defektoskopu opisane na początku punktu V.
 - Skalowanie polega na dostosowaniu szybkości pisania podstawy czasu do prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w badanym materiale. Jako wzorca do skalowania w ćwiczeniu używa się stalowego walca o długości $l = 0,3$ m.
 - Wybrać zasięg 50 cm, wciskając przycisk 5 cm i $\times 10$ (przyciski 12 rys.6).
 - Przyłożyć głowicę do żelaznego walca (powierzchnię styku badanego materiału i głowicy zwilżyć wodą).

- Impuls nadawczy ustawić (pokrętle 7) na kresce 0 podziałki umieszczonej na ekranie lampy oscyloskopowej.
 - Pokrętle 14 (km/sek) regulować tak, aby pierwsze echo uzyskać na podziałce 6 (odpowiada to zasięgowi $\frac{6}{10} \cdot 50 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$, czyli drodze $2l = 60 \text{ cm}$ przebytej przez falę). Aby uniknąć błędów, jaki wprowadza impuls nadawczy, można za pomocą pokrętła 7 przesunąć obraz na lampie oscyloskopowej tak, aby na podziałce 0 znalazł się pierwszy impuls odbity.
 - Korzystając z przełączników klawiszowych „Wzmocnienie” (nr 2 i 3) dokonać regulacji amplitudy sygnału oglądanego na lampie oscyloskopowej. Pełną wartość wzmocnienia daje nam suma wartości nastawionych tymi dwoma przełącznikami.
3. Zmierzyć dla walców z mosiądzu, miedzi i pleksiglasu oraz wszystkich aluminiowych czaśy przebiegu impulsu ultradźwiękowego oraz długości l tych walców. Wyniki zebrać w tabelach 1 i 2.

Aluminium

Tabela 1

Lp.	Długość walca l [cm]	Długość odcinka x na ekranie [cm]	$t = x \cdot 16,8 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}$ [μs]
1			
2			
⋮			

Tabela 2

Rodzaj materiału walca	Długość walca l [cm]	Długość odcinka x na ekranie [cm]	$t = x \cdot 16,8 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}$ [μs]
mosiądz			
miedź			
pleksi			

4. Zmierzyć czas przebiegu fali ultradźwiękowej w wodzie dla pięciu różnych wysokości h słupów wody (używając specjalnego naczynia przeznaczonego do tego celu lub menzurki z wodą).

Tabela 3

Lp.	Wysokość słupa wody h [cm]	Długość odcinka x na ekranie [cm]	$t = x \cdot 16,8 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}$ [μs]
1			
2			
⋮			

5. Przy pomocy kostki pleksiglasowej z nawierconym otworem zapoznać się z oscylogramem materiału wadliwego. Sprawdzić działanie sygnalizatora optyczno – akustycznego (monitora). Na schematycznym rysunku zaznaczyć miejsce występowania wady.
Pojawienie się odbicia od wady leżącej w części materiału objętej działaniem monitora sygnalizowane jest dźwiękowo. Włączenie monitora i regulację początku bramki dokonuje się pokrętkiem nr 13 (monitor), zaś regulację końca pokrętkiem nr 8. Monitor reaguje na każdy impuls leżący w zakresie obszaru bramki, jeśli amplituda impulsu jest większa niż 1cm.
6. Dokonać pomiaru grubości płytki stalowej (walca) metodą wielokrotnych odbić.

VII. Opracowanie wyników pomiarów.

1. Przedstawić na wykresie dla aluminium zależność przebytej przez falę drogi $2l$ od czasu t przebiegu fali. Wyznaczyć współczynnik nachylenia a otrzymanej prostej.
Oczekujemy zależności danej wzorem (23). Prędkość fali ultradźwiękowej w aluminium jest więc równa współczynnikowi nachylenia prostej $v_{II} = a$.
Dla pozostałych materiałów prędkość rozchodzenia się fali obliczyć wykorzystując wzór (24).
2. Przedstawić na wykresie dla wody zależność przebytej przez falę drogi $2h$ od czasu t przebiegu fali. Wyznaczyć współczynnik nachylenia a otrzymanej prostej.
Prędkość fali ultradźwiękowej w wodzie jest równa $v_w = a$.
3. Korzystając z obliczonych wartości prędkości wyznaczyć moduły Younga (wzór 7) oraz akustyczne oporności falowe $\rho \cdot v$ tych materiałów.
4. Obliczyć moduł ściśliwości K dla wody (przekształcając wzór (10)):

$$K = v^2 \cdot \rho$$
5. Przeprowadzić rachunek błędów wyznaczonych wielkości fizycznych i podać wnioski.

Przeznaczenie elementów regulacyjnych z rys. 6

1. Przełącznik rodzaju pracy (wyciśnięty przy pracy metodą echa)
2. Skokowa regulacja wzmacnienia co 10 dB
3. Skokowa regulacja wzmacnienia co 1 dB
4. Gniazdo odbiornika
5. Gniazdo nadajnika
6. Włącznik filtru
7. Regulacja odległości
8. Włącznik monitora, regulacja początku bramki monitora
9. Włącznik defektoskopu
10. Przełącznik szerokości impulsu
11. Przełącznik częstości powtarzania impulsów nadawczych
12. Regulacja zasięgu
13. Regulacja końca bramki monitora
14. Regulacja szybkości pisania podstawy czasu
15. Regulacja podcięcia (progu dyskryminacji)
16. Dioda stanu naładowania akumulatora.

RYS. 6 Płyta czołowa defektoskopu

