

Propagação do som em corpos sólidos

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM PARA AS ONDAS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS EM CORPOS SÓLIDOS.

- Determinação da velocidade de som para ondas longitudinais em 'poli-acrílico' (Poliacryl) pelos tempos de transmissão de um sinal de ultra-som.
- Medição da transmissão de ondas de som longitudinais e transversais no corpo sólido mediante uma placa inclinada, paralela ao plano.
- Determinação da velocidade de som para ondas longitudinais e transversais a partir dos ângulos limites da reflexão total.
- Determinação do módulo de elasticidade E , do módulo de desvio G e do coeficiente Poisson μ do corpo sólido de ambas as velocidades de som.

UE1070530
04/16 JS

FUNDAMENTOS GERAIS

Em gases e líquidos o som se propaga exclusivamente em forma de ondas longitudinais. Nisto a pressão oscila em volta de um valor de equilíbrio e produz zonas oscilantes com concentração e diluição. Através de corpos sólidos o som também penetra em forma de ondas transversais, nas quais a tensão de desvio oscila. Elas podem-se estender num corpo sólido, porque aí se encontram as forças elásticas de empurre necessárias para a sua transmissão.

As ondas longitudinais e as ondas transversais têm velocidades de som diferentes. Estas dependem da densidade ρ e as constantes elásticas do corpo sólido. Nisto a velocidade de som da onda longitudinal é

$$(1) \quad c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)}}$$

E : Módulo de elasticidade, μ : Coeficiente Poisson

maior do que a onda transversal

$$(2) \quad c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

G : Módulo de desvio

O módulo de elasticidade E e o módulo de desvio G de um corpo sólido estão ligados, um com o outro, pelo coeficiente Poisson μ :

$$(3) \quad \frac{E}{G} = 2 \cdot (1 + \mu)$$

Por isso podem-se calcular todas as grandezas elásticas, quando ambas as velocidades de som c_L e c_T são conhecidas.

Na experiência, primeiro se anotam num diagrama $s-t$ os tempos de transmissão t da passagem dum sinal de ultra-som de 1-MHz, medidos a través de três cilindros de Poliacyrl com comprimentos diferentes (ver fig. 1). A velocidade longitudinal em Poliacyrl resulta da subida da reta adaptada aos pontos de medição.

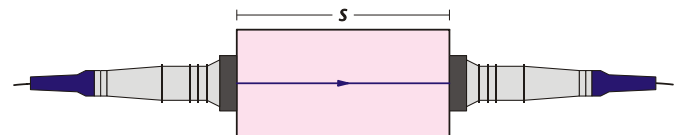


Fig. 1: Arranjo da medição de propagação para a passagem de um sinal de ultra-som através de um corpo sólido de comprimento s

A seguir se coloca uma bacia cheia com água na passagem do raio e se mede o tempo da passagem. Este será encurtado pela adição suplementar, paralela ao plano na entrada do raio, de uma placa fina de Poliacyrl ou de alumínio, devido a que o som se propaga mais rápido no material da placa do que na água. Mede-se agora mais preciso, atrás da bacia com água, dois sinais separados de ultra-som, que se podem atribuir ao transcurso de tempo diferenciado da velocidade de som longitudinal e transversal no corpo sólido (ver fig. 2).

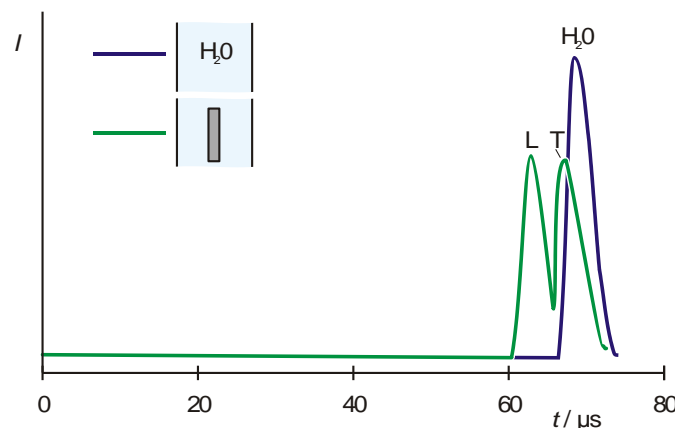


Fig. 2: Sinal de ultra-som após passagem pela bacia de água. (azul: sem placa paralela ao plano, verde: com placa paralela ao plano)

LISTA DE APARELHOS

1 Ecoscópio ultra-sônico GS200	1018616 (U100102)
2 Sonda ultra-sônica 1 MHz GS200	1018618 U10015
1 Conjunto “Ultra-som em corpos sólidos”	1002584 (U10020)
1 Placa de alumínio	1002585 (U10022)
1 Kit de 3 cilindros	1002588 (U10026)
1 Gel de contato para ultra-som	1002588 (XP999)

Exigência complementar:

1 CP com Windows

Se a placa esta num ângulo α oblíquo para o raio incidente, este será quebrado, segundo a lei de Snellius, em dois raios nos ângulos β_L e β_T (ver fig. 3).

$$(4) \frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_L}{\sin \beta_L} = \frac{c_T}{\sin \beta_T}$$

c: Velocidade do som na água

Como ambas as velocidades de som do corpo sólido c_L e c_T são maiores do que a velocidade c na água aparece conclusivamente, para as ondas longitudinais e transversais em separado, o fenômeno da reflexão total, no qual desaparecem completamente os sinais transmitidos. Dos dois ângulos limites α_L para as ondas longitudinais e α_T para as ondas transversais, podem-se calcular as velocidades de som:

$$(5) c_L = \frac{c}{\sin \alpha_L} \text{ e } c_T = \frac{c}{\sin \alpha_T}$$

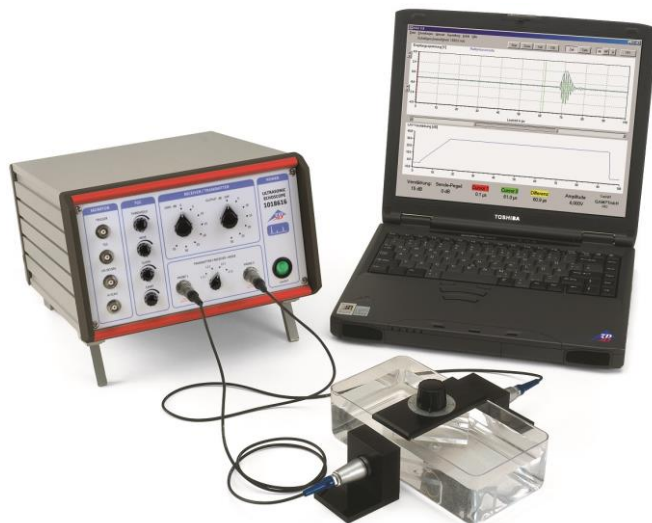
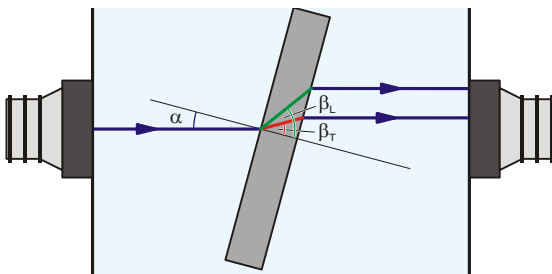


Fig. 3: Arranjo de medição para a determinação das velocidades longitudinais e transversais dum corpo sólido a partir dos ângulos limites da reflexão total.

MONTAGEM

- Conectar o ecoscópio ultra-sônico ao CP.
- Segundo o caso, instalar software de análise no CP.
- Fixar ambos os sondas ultra-sônicas no suporte de transdutor.
- Conectar o primeiro sonda na saída PROBE 1, o segundo na saída PROBE 2 do ecoscópio ultra-sônico.

EXECUÇÃO

- Ligar o ecoscópio ultra-sônico e iniciar o software de análise.

a) Medição da propagação de ondas longitudinais:

- Untar a área frontal dos sondas ultra-sônicas com uma grossa camada de gel de acoplamento para ultra-som e empurrar os sondas firmemente na área frontal do cilindro comprido de Polyacryl.
- Ajustar a potência do sinal OUTPUT dB, amplificação GAIN dB, assim como os parâmetros THRESHOLD, WIDE e SLOPE no ecoscópio ultra-sônico, para que um sinal de propagação o maior possível, mais sem exceder o comando, possa ser medido.
- Medir o tempo de propagação t desde o início do impulso de emissão até o início do impulso da recepção e anotar na Tab. 1.
- Efetuar a mesma medição no cilindro de Polyacryl médio e no curto e anotar os tempos de propagação na Tab. 1.

b) Ondas longitudinais e transversais:

- Substituir o cilindro de Poylacryl por uma bacia de som e apertar os sondas firmemente nos lados compridos.
- Encher a bacia de som com água.
- Ajustar a potência do sinal OUTPUT dB, amplificação GAIN dB, assim como os parâmetros THRESHOLD, WIDE e SLOPE no ecoscópio ultra-sônico, para que um sinal de propagação o maior possível, mais sem exceder o dial, possa ser medido.
- Marcar com o cursor o início do impulso de recepção sobre a tela.
- Inserir a placa de alumínio com suporte para ensaio verticalmente a passagem dos raios e observar a divisão e transposição do sinal de tempo de propagação.
- Virar a placa de alumínio e determinar o ângulo α_L , ao qual desaparece o sinal (à esquerda) provocado pelas ondas longitudinais.
- Continuar virando a placa de alumínio e determinar o ângulo α_T , ao qual desaparece também o sinal (à direita) provocado pelas ondas transversais.
- Trocar a placa de alumínio com suporte de ensaio pela placa de com suporte de ensaio e colocar verticalmente à passagem dos raios.
- Virar a placa de Polyacryl e determinar o ângulo α_L , ao qual desaparece o sinal (à esquerda) provocado pelas ondas longitudinais.
- Continuar virando a placa de Polyacryl e determinar o ângulo α_T , ao qual desaparece também o sinal (à direita) provocado pelas ondas transversais.

EXEMPLO DE MEDIÇÃO E ANÁLISE

a) Determinação dos tempos de propagação:

Tab. 1: tempos de propagação t em corpos de Polyacryl em comprimentos s

s / mm	$t / \mu\text{s}$
40	15,7
80	30,6
120	45,3

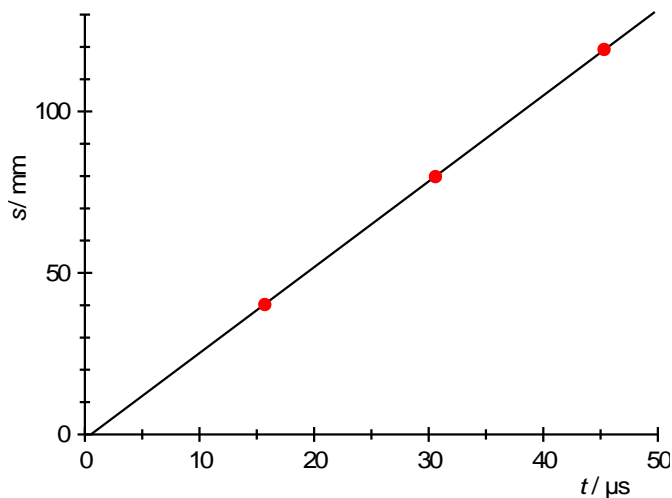


Fig. 4: Diagrama s - t do sinal de ultra-som em Poliacril.

Os dados de medição da Tab. 1 estão baseados num diagrama s - t e não numa reta de origem (ver Fig. 4), porque o tempo de propagação do sinal ultra-sônico através da camada de adaptação e segurança do sonda ultra-sônico é medido automaticamente junto. Não entanto pode-se determinar a velocidade do som longitudinal em Polyacryl, a partir da subida da reta. Obtém-se

$$v_L = 2660 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Ondas longitudinais e transversais:

Tab. 2: Tabela de medição com os ângulos limítrofes da reflexão total para ondas longitudinais e transversais.

	Polyacryl	Alumínio
α_L	33°	14°
$\sin \alpha_L$	0,54	0,24
$v_L / \text{m/s}$	2700	6100
α_T	86°	29°
$\sin \alpha_T$	0,998	0,48
$v_T / \text{m/s}$	1500	3100
μ	0,29	0,33
G / MPa	2700	25000
E / MPa	6900	67000
$\rho / \text{g/cm}^3$	1,2	2,7

Com a utilização da equação 5 são calculadas na Tab. 2 as velocidades de som na água, a partir dos ângulos limítrofes da reflexão total. Em isso o valor da velocidade do som em água

$$c = 1485 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

É inserido.

Das equações 1 até 3 resulta a equação de determinação do coeficiente Poisson μ

$$\mu = \frac{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}{\left(\frac{c_L}{c_T} \right)^2 - 1}$$

Com isto pode-se calcular, no caso de densidades conhecidas ρ as constantes elásticas.