



## Medindo o módulo de elasticidade com soluções de inspeção de espessura e defeitos

Esta nota de aplicação explica como medir o módulo de elasticidade usando soluções de inspeção de espessura e defeitos. Aprenda como determinar o módulo de elasticidade de Young, o módulo de elasticidade de cisalhamento e o coeficiente de Poisson em materiais de engenharia isotrópicos não dispersivos.



## Compreendendo o módulo de elasticidade

O **módulo de elasticidade de Young** é definido como a razão entre a tensão (força por unidade de área) e a tensão correspondente (deformação) em um material sob tensão ou compressão.

O **módulo de elasticidade de cisalhamento** é semelhante à razão entre tensão e deformação em um material sujeito a tensão de cisalhamento.

O **coeficiente de Poisson** é a razão da deformação transversal para a deformação axial correspondente em um material tensionado ao longo de um eixo.

Essas propriedades básicas do material, que são usadas em muitas aplicações de manufatura e pesquisa, podem ser determinadas por meio de cálculos baseados nas velocidades do som medidas e na densidade do material. A velocidade do som pode ser facilmente medida usando técnicas de pulso-eco ultrassônico com o equipamento apropriado.

O procedimento geral descrito abaixo funciona para qualquer material homogêneo, isotrópico e não dispersivo (a velocidade não muda com a frequência). Isso inclui os metais mais comuns, cerâmicas industriais e vidros, desde que as dimensões da seção transversal não estejam próximas do comprimento de onda da frequência de teste. Plásticos rígidos como poliestireno e acrílico também podem ser medidos, embora sejam mais desafiadores devido à maior atenuação de som.

A borracha não pode ser caracterizada pelo ultrassom por causa de sua alta dispersão e propriedades elásticas não lineares. Os plásticos macios exibem de forma semelhante uma atenuação muito alta no modo de cisalhamento e geralmente não podem ser testados. No caso de materiais anisotrópicos, as propriedades elásticas variam com a direção, assim como a velocidade do som da onda longitudinal e/ou de cisalhamento. A geração de uma matriz completa de módulos elásticos em espécimes anisotrópicos normalmente requer seis conjuntos diferentes de medições ultrassônicas. A porosidade ou granularidade espessa em um material pode afetar a precisão das medições do módulo ultrassônico, uma vez que essas condições podem causar variações na velocidade do som com base no tamanho e orientação do grão ou tamanho e distribuição da porosidade, independentemente da elasticidade do material.

## Equipamento de inspeção necessário para o cálculo do módulo

As medições de velocidade para o cálculo do módulo normalmente são realizadas com medidores de espessura de precisão, como o instrumento [38DL PLUS™](#) ou o [instrumento 45MG com software de elemento único](#), ou um detector de defeitos com recurso de medição de velocidade, como os instrumentos [EPOCH™ 650](#) ou [EPOCH 6LT](#). O medidor de espessura [72DL PLUS™](#) fornece medições de tempo de voo (TOF) de resolução mais alta, o que resulta em medições de velocidade mais precisas.

Este teste também requer dois transdutores apropriados para o material sendo testado para a medição da velocidade do som de pulso-eco nos modos longitudinal e de cisalhamento. Os transdutores comumente usados incluem um transdutor de onda longitudinal de banda larga M112 ou V112 (10 MHz) e um transdutor de onda de cisalhamento de incidência normal V156 (5 MHz). Eles funcionam bem para muitas amostras comuns de metal e cerâmica queimada. Diferentes transdutores serão necessários para amostras muito espessas, muito finas ou altamente atenuantes. Algumas aplicações também podem exigir o uso de técnicas de transmissão direta, com pares de transdutores posicionados em lados opostos da peça. Entre em contato conosco para obter recomendações específicas de transdutores e assistência com a configuração do instrumento.

A amostra de teste pode ter qualquer geometria que permita a medição de pulso/eco limpa do tempo de trânsito do som através de uma seção na espessura. Idealmente, a amostra deve ter pelo menos 12,5 mm (0,5 pol.) de espessura com superfícies lisas paralelas e uma largura ou diâmetro maior do que o diâmetro do transdutor usado. Tenha cuidado ao testar amostras estreitas devido a possíveis efeitos de borda que podem afetar o tempo de trânsito do pulso medido. A resolução será limitada ao usar amostras muito finas devido às pequenas mudanças no tempo de trânsito do pulso em trajetórias de som curtas. Por esse motivo, recomendamos que as amostras tenham pelo menos 5 mm (0,2 pol.) de espessura, ou, preferencialmente, que sejam mais grossas. Em todos os casos, a espessura da amostra de teste deve ser conhecida com precisão.

## Procedimento de cálculo de módulo usando soluções de inspeção de espessura e defeitos

Meça a velocidade do som da onda longitudinal e de cisalhamento da peça de teste usando os transdutores e a configuração do instrumento apropriados. A medição da onda de cisalhamento exige o uso de um acoplante especializado de alta viscosidade, como o nosso SWC-2. Os medidores de espessura 38DL PLUS ou 45MG com software de elemento único podem fornecer uma leitura direta da velocidade do material com base em uma espessura de amostra inserida. Os detectores de defeitos da série EPOCH podem medir a velocidade através de um procedimento de calibração da velocidade. Em ambos os casos, siga o procedimento recomendado para medição de velocidade conforme descrito no manual de operação do instrumento. Basta registrar o tempo de trânsito de ida e volta através de uma área de espessura conhecida com transdutores de onda longitudinal e de cisalhamento e, em seguida, calcular:

$$\text{Velocity} = \frac{\text{Thickness}}{\text{Round trip transit time} / 2}$$

Para medições de velocidade de alta precisão, recomendamos usar o medidor de espessura ultrassônico 72DL PLUS (+ ou - 10 picossegundos). Se necessário, converta unidades para obter velocidades expressas em polegadas por segundo ou centímetros por segundo (o tempo normalmente é medido em microssegundos, então, multiplique pol./uS ou cm/uS por 106 para obter pol./S ou cm/S). As velocidades obtidas podem ser inseridas nas seguintes equações:

$$\text{Poisson's Ratio } (\nu) = \frac{1-2 (V_T / V_L)^2}{2-2 (V_T / V_L)^2}$$

Where:  
 $V_T$  =Shear (transverse) velocity  
 $V_L$  =Longitudinal velocity

$$\text{Young's Modulus } (E) = \frac{V_L^2 \rho (1+\nu) (1-2\nu)}{1-\nu}$$

Where:  
 $V_L$  =Longitudinal velocity  
 $\rho$  =Density  
 $\nu$  =Poisson's Ratio

Observação sobre as unidades: se a velocidade do som for expressa em cm/S e a densidade em g/cm<sup>3</sup>, o módulo de Young será expresso em unidades de dinas/cm<sup>2</sup>. Se estiver usando as unidades inglesas de pol./S e lbs/pol.<sup>3</sup> para calcular o módulo em libras por polegada quadrada (PSI), lembre-se da distinção entre libra como uma unidade de força × unidade de massa. Uma vez que o módulo é expresso como uma força por unidade de área, ao calcular em unidades inglesas é necessário multiplicar a solução da equação acima por uma constante de conversão massa/força de (1/aceleração da gravidade) para obter o módulo em PSI. Como alternativa, se o cálculo inicial for feito em unidades métricas, use o fator de conversão 1 PSI = 6,89 × 10<sup>4</sup> dinas/cm<sup>2</sup>. Outra opção é inserir a velocidade em pol./S, a densidade em g/cm<sup>3</sup> e dividir por uma constante de conversão de 1,07 × 10<sup>4</sup> para obter o módulo em PSI.

$$\text{Shear Modulus} = \frac{\text{Thickness}}{\text{Round trip transit time} / 2}$$

Para o módulo de cisalhamento, basta multiplicar o quadrado da velocidade da onda de cisalhamento pela densidade. Novamente, use as unidades de cm/S e g/cm<sup>3</sup> para obter o módulo em dinas/cm<sup>2</sup> ou as unidades inglesas de pol./S e lbs/pol.<sup>3</sup> e multiplique o resultado pela constante de conversão massa/força.

## Referências

Para obter mais informações sobre a medição ultrassônica do módulo de elasticidade, leia os seguintes documentos:

1. Moore, P. (ed.), Nondestructive Testing Handbook, Volume 7, American Society for Nondestructive Testing, 2007, pp. 319-321.
2. Krautkramer, J., H. Krautkramer, Ultrasonic Testing of Materials, Berlin, Heidelberg, New York 1990 (Fourth Edition), pp. 13-14, 533-534.

## Related Product



### 38DL PLUS

O versátil medidor 38DL PLUS™ pode ser usado com transdutores de elemento duplo para a medição da espessura de tubos corroídos e para medições de espessura muito precisas de materiais finos ou multicamadas com um transdutor de elemento único.

Saiba mais ► [https://www.olympus-ims.com/\\$lang/38dl-plus/](https://www.olympus-ims.com/$lang/38dl-plus/)



### 45MG

O medidor de espessura ultrassônico avançado 45MG é fornecido com recursos de medição padrão e opções de software. Essa ferramenta de medição de espessura exclusiva é compatível com a nossa linha completa de transdutores de medidores de espessura de elemento duplo e elemento único.

Saiba mais ► <https://www.olympus-ims.com/pt/45mg/>



### 72DL PLUS

O medidor de espessura ultrassônico avançado 72DL PLUS™ oferece medições de espessura precisas em alta velocidade em um dispositivo portátil e fácil de usar. Compatível com transdutores de elemento único de até 125 MHz, esta ferramenta de medição de espessura inovadora é ideal para determinar a espessura de materiais ultrafinos, incluindo tintas multicamadas, revestimentos e plásticos. Ele pode exibir simultaneamente a espessura de até 6 camadas.

Saiba mais ► <https://www.olympus-ims.com/72dl-plus/>