



Medición del módulo de elasticidad mediante soluciones dedicadas a la inspección de espesores y defectos

A través de esta nota de aplicación, se explicará cómo medir el módulo de elasticidad utilizando soluciones dedicadas a la inspección de espesores y defectos. Aprenda a determinar el módulo de elasticidad de Young, el módulo de cizalladura (elasticidad transversal) y el coeficiente de Poisson para materiales de ingeniería isotrópicos y no dispersivos.



Funcionamiento del módulo de elasticidad

El **módulo de Young (elasticidad longitudinal)** se define como la relación entre el estrés (fuerza ejercida por área de unidad) y la tensión correspondiente (deformación) en un material bajo los efectos de tracción o compresión.

El **módulo de cizalladura (elasticidad transversal)** es similar al coeficiente de estrés a tensión en un material sujeto a la tensión de cizalladura.

El **coeficiente de Poisson** es la relación entre la tensión transversal y la tensión axial correspondiente a lo largo de un solo eje en el material bajo tensión.

Estas propiedades básicas del material, que son de gran interés en varias aplicaciones a nivel industrial y de investigación, pueden ser determinadas mediante cálculos basados en velocidades de propagación acústica y densidad de materiales. La velocidad acústica puede ser medida fácilmente por medio de las técnicas ultrasónicas de pulso-eco (pulse-echo) con el equipamiento adecuado.

El procedimiento que se describe a continuación es válido para cualquier material homogéneo, isotrópico y no dispersivo (la velocidad no es influenciada por la frecuencia). Entre ellos destacan los metales más comunes, las cerámicas industriales y los vidrios, siempre y cuando las dimensiones de corte transversal no sean cercanas a la frecuencia ni a la longitud de onda usadas para el ensayo. También es posible medir plásticos rígidos como el poliestireno y el acrílico, a pesar de ser más complejos debido a su atenuación acústica más alta.

Por otra parte, el caucho no puede ser caracterizado por un modo ultrasónico debido a su alta dispersión y a su propiedad elástica no lineal. Asimismo, los plásticos dúctiles exhiben una atenuación muy alta en el modo de cizalladura y normalmente no pueden probarse. Para los materiales anisotrópicos, las propiedades elásticas varían en función de la dirección, al igual que la velocidad del sonido de la onda transversal y/o longitudinal. Generar una matriz completa mediante los módulos de elasticidad en muestras anisotrópicas por lo general requiere seis diferentes grupos de mediciones ultrasónicas. La porosidad o granularidad gruesa en un material puede afectar la precisión de las medidas provenientes de los módulos ultrasónicos; ya que estas condiciones pueden causar variaciones en la velocidad acústica según el tamaño y la orientación del grano o el tamaño y la distribución de la porosidad, independientemente de la elasticidad del material.

Equipamiento de inspección necesario para calcular los módulos

Las mediciones de la velocidad para calcular los módulos por lo general se llevan a cabo mediante medidores de espesores precisos, como los instrumentos [38DL PLUS™](#) o [45MG dotado de la opción de software «Sonda monoelemento»](#), o mediante un detector de defectos que permite medir la velocidad, como los instrumentos de la serie [EPOCH™ 650 / EPOCH 6LT](#). El medidor de espesor [72DL PLUS™](#) ofrece mediciones de tiempo de vuelo (TOF) de resolución superior, que permiten realizar mediciones de velocidad de resolución superior.

En este ensayo también se requieren dos sondas (*tb.* conocidas como palpadores/transductores) apropiadas para el material destinado a la medición de velocidad acústica mediante el método pulso-eco (pulse-echo) de onda longitudinal y transversal. Entre las sondas que se usan comúnmente, destacan la sonda de onda longitudinal con banda ancha M112 o V112 (10 MHz) y la sonda de onda transversal con incidencia normal V156 (5 MHz). Estas funcionan bien con una amplia variedad de muestras comunes de metal y cerámica cocida. En el caso de muestras muy gruesas, muy delgadas o muy atenuantes se requerirá el uso otras sondas. A veces, también, puede que se requiera el uso de técnicas de transmisión directa, a través de dos sondas colocadas en lados opuestos de la pieza. Póngase en contacto con nosotros para conocer las recomendaciones específicas de la sonda y obtener asistencia con la configuración del instrumento.

La muestra de ensayo puede presentar cualquier geometría que permita una medición pulso-eco clara de la duración de la trayectoria acústica sobre un nivel de espesor. Idealmente, la muestra debe tener como mínimo 12,5 mm (0,5 pulg.) de espesor con superficies paralelas uniformes y una anchura o un diámetro superior al diámetro de la sonda usada. Es necesario prestar atención cuando se efectúan ensayos en muestras angostas debido a los posibles efectos borde que pueden afectar a la duración medida del recorrido del impulso. La resolución se verá limitada al utilizar muestras muy delgadas debido a los pequeños cambios en la duración del recorrido del impulso a través de trayectorias acústicas cortas. Por ese motivo, recomendamos que las muestras tengan un espesor de 5 mm (0,2 pulg.) como mínimo y cuanto más gruesas sean mejor. Y, en todos los casos, debe conocerse con precisión el espesor de la muestra de ensayo.

Procedimiento para calcular el módulo con ayuda de las soluciones dedicadas a la inspección de espesores y defectos

Mida la velocidad acústica de la onda longitudinal y transversal de la pieza bajo ensayo con la configuración apropiada de las sondas e instrumento. La medición de la onda transversal requerirá el uso de un acoplante especializado de alta viscosidad como nuestro SWC-2. Los medidores de espesores [38DL PLUS](#) o [45MG](#) — dotado de la opción de software «Sonda Monoelemento» — pueden ofrecer una lectura directa de la velocidad del material en función del espesor de la muestra introducida. El detector de defectos de la serie [EPOCH](#) puede medir la velocidad usando un procedimiento de calibración de velocidad. En ambos casos, siga el procedimiento recomendado para medir la velocidad acústica tal como se describe en el manual de usuario destinado al instrumento usado. Registre simplemente el recorrido de ida y vuelta a través de un área de espesor conocido con las sondas de onda longitudinal y transversal; después, calcule:

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

Para mediciones de velocidad de alta precisión, se recomienda usar el medidor de espesores ultrasónico [72DL](#)

PLUS (+ o – 10 picosegundos). Convierta las unidades según sea necesario para obtener las velocidades expresadas como pulgadas por segundo o centímetros por segundo (el tiempo suele medirse en microsegundos, por lo que deberá multiplicar pulg/uS o cm/uS por 106 para obtener pulg/S o cm/S). Las velocidades obtenidas pueden introducirse en las siguientes ecuaciones:

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

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

ρ =Density

ν =Poisson's Ratio

Nota sobre las unidades: si la velocidad acústica es expresada en cm/S y la densidad en g/cm³, el módulo de Young será expresado en unidades de dinas/cm². Si usa las unidades del sistema inglés de pulg./S y lbs/pulg.³ para calcular el módulo de elasticidad en libras por pulgada elevada al cuadrado (PSI), es necesario considerar la diferencia entre pulgada como unidad de fuerza y aquella como unidad de masa. Puesto que la medida del módulo es expresada como una fuerza por área de unidad, en el caso de las unidades de medida del sistema inglés, es necesario multiplicar la solución de la ecuación anterior por una constante de conversión de masa/fuerza (1/aceleración de gravedad) para obtener la medida del módulo en PSI. Si el cálculo inicial se hace en unidades métricas, otra variante es usar el factor de conversión 1 PSI = 6,89 × 10⁴ dinas/cm². También, es posible introducir la velocidad en pulg./S, la densidad en g/cm³ y dividir las por una constante de conversión de 1,07 × 10⁴ para obtener la medida del módulo en PSI.

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

En el caso del módulo de elasticidad transversal, simplemente multiplique el cuadrado de la velocidad de onda transversal por la densidad. También, aquí, use las unidades métricas de cm/S y g/cm³ para obtener la medida del módulo en dinas/cm², o use las unidades de medida del sistema inglés pulg./S y lbs/pulg.³; después, multiplique el resultado por la constante de conversión de masa/fuerza.

Referencias

Para obtener más información acerca de las mediciones de los módulos de elasticidad, consulte la siguiente documentación:

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

Related Product



38DL PLUS

El versátil medidor de espesores 38DL PLUS™ puede ser usado con sondas duales para medir el espesor de tuberías corroídas, como también para ejecutar mediciones de espesor muy precisas de materiales delgados o multicapa mediante el uso de una sonda monoelemento.

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



45MG

El 45MG es un avanzado medidor de espesores ultrasónico que cuenta con funciones de medición de serie y opciones de software. Esta exclusiva herramienta de medición de espesores es compatible con nuestro rango completo de sondas duales y monoelementos dedicadas a medir espesores.

Conozca más aquí ► <https://www.olympus-ims.com/es/45mg/>



72DL PLUS

El medidor de espesores ultrasónico 72DL PLUS™ ofrece mediciones de espesor precisas y avanzadas a alta velocidad en un dispositivo portátil y fácil de usar. Compatible con sondas monoelemento de hasta 125 MHz, esta innovadora herramienta de medición de espesores es idónea para determinar el espesor de materiales ultrafinos, como la pintura, los revestimientos y el plástico de múltiples capas. Puede mostrar de forma simultánea el espesor de hasta seis capas.

Conozca más aquí ► <https://www.olympus-ims.com/72dl-plus/>