



Misura dei moduli di elasticità usando soluzioni di ispezione di difetti e spessori

In questa nota applicativa viene descritto come misurare i moduli di elasticità mediante le soluzioni di ispezione di difetti e di spessori. Scopri come determinare il modulo di elasticità di Young, il modulo di elasticità di taglio e il coefficiente Poisson in materiali industriali, isotropici e non dispersivi.



Moduli di elasticità

Modulo di elasticità di Young: Definito come il rapporto tra lo sforzo (forza applicata per unità di superficie) e la corrispondente deformazione in un materiale soggetto a tensione o compressione.

Modulo di elasticità di taglio: Definito come il rapporto tra lo sforzo e la deformazione in un materiale soggetto a sforzo di taglio.

Coefficiente Poisson: Definito come il Rapporto tra la deformazione trasversale e la deformazione assiale in un materiale soggetto a sollecitazione lungo un asse.

Queste proprietà di base dei materiali, usate in numerose applicazioni relative alla produzione e alla ricerca, possono essere determinate attraverso calcoli basati sulla velocità di propagazione dell'onda sonora e sulla densità dei materiali. La velocità di propagazione dell'onda sonora può essere facilmente misurata mediante delle tecniche ultrasonore impulso-eco applicabili attraverso un'apparecchiatura appropriata.

La procedura generale descritta di seguito è applicabile per qualunque materiale omogeneo, isotropico e non dispersivo (la velocità non cambia con la frequenza). Questi materiali includono i più comuni metalli, vetri e ceramiche industriali, fino a quando le dimensioni sezionali non sono prossime alla lunghezza d'onda della frequenza di ispezione. Possono essere misurate anche le plastiche rigide come il polistirene e l'acrilico sebbene di più complessa misurazione a causa della maggiore attenuazione sonora.

La gomma non può essere caratterizzata dal punto di vista ultrasonoro a causa dell'elevata dispersione e delle proprietà elastiche non lineari. Allo stesso modo le plastiche morbide presentano una notevole attenuazione in modalità di onda trasversale e, in genere, non possono essere ispezionate. Nel caso di materiali anisotropi le proprietà elastiche variano con la direzione, variando conseguentemente la velocità dell'onda sonora longitudinale e/o trasversale. La generazione di una matrice totale di moduli elastici in componenti anisotrope richiede in genere sei diverse serie di misure ultrasonore. La porosità o l'elevata granulosità in un materiale possono influenzare la precisione delle misure a alta precisione del modulo ultrasonoro in quanto queste condizioni possono causare le variazioni nella velocità di propagazione sonora in base alla dimensione e all'orientazione dei grani o alla dimensione e la distribuzione della porosità, indipendentemente dall'elasticità del materiale.

Apparecchiatura d'ispezione necessaria per il calcolo dei moduli

La misura della velocità di propagazione dell'onda sonora per il calcolo dei moduli è in genere realizzata con i misuratori di spessore di precisione come i modelli [38DL PLUS™](#) e [45MG con software Single Element](#) o un rilevatore di difetti con capacità di misura della velocità come la serie di strumenti [EPOCH™ 650](#) o [EPOCH 6LT](#). Il misuratori di spessori [72DL PLUS™](#) permettono di realizzare delle misure con tempo di volo (TOF) a maggiore risoluzione e quindi misure della velocità di maggiore precisione.

Questa misura richiede inoltre due trasduttori adeguati al materiale da ispezionare per le misure della velocità di propagazione dell'onda sonora di tipo impulso-eco nelle modalità a onde longitudinali e trasversali. I trasduttori comunemente impiegati sono un trasduttore a onda longitudinale diffusa (10 MHz) M112 o V112 e un trasduttore a onda trasversale a incidenza normale (5 MHz) V156. Questo funziona in modo ottimale per componenti costituite da numerosi comuni metalli e da ceramiche. Saranno necessari dei diversi trasduttori per componenti molto, spesse, molto sottili ad elevata attenuazione. In alcuni casi potrebbe essere necessario l'impiego di tecniche a trasmissione diretta con coppie di trasduttori posizionati sui lati opposti della componente da ispezionare. Contattaci per ottenere consigli su specifici trasduttori e per avere assistenza sulla configurazione dello strumento.

La componente da misurare può essere di qualunque forma che permetta una misura chiara impulso-eco del tempo di transito dell'onda sonora attraverso la sezione dello spessore. Idealmente dovrebbe essere una componente di almeno 12,5 mm (0,5 in.) di spessore con superfici parallele regolari e una larghezza o un diametro maggiore rispetto al diametro del trasduttore utilizzato. Si deve fare attenzione quando si misurano componenti strette a causa degli effetti di bordo che possono influenzare la misura del tempo di transito dell'impulso. La risoluzione sarà limitata quando vengono misurate componenti molto sottili a causa di ridotti cambiamenti del tempo di transito dell'impulso nell'ambito di brevi percorsi sonori. Per questa ragione si consiglia di misurare componenti di almeno 5 mm (0,2 in.) di spessore e preferibilmente di spessore maggiore. In tutti i casi lo spessore della componente da misurare deve essere noto con precisione.

Procedura di calcolo dei moduli usando soluzioni di ispezione di difetti e spessori

Misurare la velocità di propagazione dell'onda sonora longitudinale e trasversale della componente mediante degli appropriati trasduttori e un'ottimale configurazione dello strumento. La misura dell'onda trasversale richiede l'uso di uno speciale accoppiante ad elevata viscosità come l'[SWC-2](#). Il misuratore di spessore [38DL PLUS](#) o il [45MG](#) con software [Single Element](#) può fornire una misura diretta della velocità di propagazione dell'onda sonora in base all'inserimento di uno spessore. Un rilevatore di difetti della serie [EPOCH](#) può misurare la velocità attraverso la procedura di taratura della velocità. In entrambi i casi seguire la procedura consigliata per la misura della velocità di propagazione dell'onda sonora come descritto nel manuale d'uso dello strumento. Semplicemente registrare il tempo di transito in andata e ritorno attraverso un'area a spessore noto con i trasduttori a onde longitudinali e trasversali e, in seguito, calcolare:

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

Per le misure della velocità a alta precisione, è consigliato l'utilizzo del misuratore di spessori a ultrasuoni [72DL PLUS](#) (+ o - 10 picosecondi). Convertire le unità di misura in base alle proprie necessità per ottenere le velocità espresse come pollici al secondo o come centimetri al secondo (il tempo è in genere misurato in microsecondi pertanto, per ottenere in/S o cm/S si moltiplica in/uS o cm/uS per 106). Le velocità di propagazione dell'onda

sonora così ottenute possono essere inserite nelle seguenti equazioni:

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

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 sulle unità di misura: Se la velocità di propagazione dell'onda sonora è espressa in cm/S e la densità in g/cm³ il modulo di Young sarà espresso nell'unità di misura dyne/cm². Se le unità di misura inglesi in/S e lbs/in³ vengono usate per calcolare il modulo in libbre per pollice quadrato (PSI), ricordarsi la distinzione tra "libbra" come unità di misura di forza e "libbra" come unità di misura di massa. Visto che il modulo è espresso come forza per l'unità di superficie quando si calcola con le unità di misura è necessario moltiplicare il risultato dell'equazione riportata precedentemente per una costante (1/Accelerazione di gravità) per ottenere il modulo in PSI. Altrimenti, se il calcolo iniziale è stato eseguito in unità di misura metriche, usare il fattore di conversione 1 PSI = 6,89 × 10⁴ dyne/cm². Un'altra alternativa è di inserire la velocità espressa in in/S, la densità espressa in g/cm³ e dividere per la costante di conversione di 1,07 × 10⁴ per ottenere il modulo in PSI.

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

Per il modulo di taglio moltiplicare semplicemente il quadrato della velocità di propagazione dell'onda trasversale per la densità. Inoltre usare le unità di misura cm/S e g/cm³ per ottenere il modulo in dyne/cm² o le unità di misura Inglesi di in/S e lbs/in³ e moltiplicare il risultato per la costante di conversione massa/forza.

Bibliografia

Per maggior informazioni sulla misura ultrasonora del modulo elastico consultare la seguente bibliografia:

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 (Quarta edizione), pp. 13-14, 533-534.

Related Product



38DL PLUS

Il versatile misuratore 38DL PLUS™ può essere usato in combinazione con i trasduttori a doppio elemento in diversi ambiti: dalla misura di tubazioni corrosive mediante trasduttori a doppio elemento, alla misura molto precisa di spessori di componenti sottili in materiale multistrato mediante trasduttori a singolo elemento.

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



45MG

L'innovativo misuratore di spessori a ultrasuoni 45MG integra delle funzionalità di misura di serie e delle opzioni software. Questo eccezionale strumento di misura di spessore è compatibile con la nostra completa gamma di trasduttori per misuratori di spessori a singolo o doppio elemento.

Maggior informazioni ► <https://www.olympus-ims.com/it/45mg/>



72DL PLUS

Il misuratore di spessori avanzato 72DL PLUS™ assicura una precisa misura di spessori ad ultrasuoni a alta velocità attraverso uno strumento portatile e di facile uso. Compatibile con i trasduttori a singolo elemento con una frequenza massima di 125 MHz, questo innovativo strumento per la misura di spessore è particolarmente adatto per misurare lo spessore di materiali ultra-sottili, come vernice, rivestimenti e plastica multistrato. Può visualizzare simultaneamente lo spessore di un numero massimo di 6 strati.

Maggior informazioni ► <https://www.olympus-ims.com/72dl-plus/>