



Messen des Elastizitätsmoduls mit Anwendungen zur Dicken- und Fehlerprüfung

In diesem Anwendungshinweis wird erläutert, wie der Elastizitätsmodul mit Anwendungen zur Dicken- und Fehlerprüfung gemessen werden kann. Bestimmung von Elastizitätsmodul, Schubmodul und Poissonzahl in nichtdispersiven isotropen technischen Werkstoffen



Hintergrundwissen Elastizitätsmodul

Der **Elastizitätsmodul** ist das Verhältnis von Belastung (Kraft pro Flächeneinheit) zur Dehnung (Verformung) eines Werkstoffs unter Spannung oder Druck.

Der **Schubmodul** ähnelt dem Verhältnis von Belastung zu Dehnung, allerdings bei einem Werkstoff, der einer Scherkraft ausgesetzt ist.

Die **Poissonzahl** ist das Verhältnis von Querkontraktion zu axialer Dehnung eines Werkstoffs entlang einer Achse.

Diese allgemeinen Materialkennwerte, die für viele Herstellungsverfahren und Forschungsanwendungen verwendet werden, können durch Berechnungen anhand der gemessenen Schallgeschwindigkeiten und der Materialdichte bestimmt werden. Die Schallgeschwindigkeit kann problemlos mit Ultraschallverfahren im Impuls-Echo-Modus mit dem entsprechenden Gerät gemessen werden.

Das folgende allgemeine Verfahren ist bei allen homogenen, isotropen und nichtdispersiven Werkstoffen anwendbar (die Schallgeschwindigkeit ändert sich nicht mit der Frequenz). Diese umfassen die meisten Metalle, Industriekeramiken und Gläser, solange die Querschnittsmaße nicht zu nah an der Wellenlänge der Prüffrequenz liegen. Starre Kunststoffe (wie Polystyrol und Acryl) können ebenfalls gemessen werden, auch wenn sie aufgrund ihrer höheren Schalldämpfung eine Herausforderung darstellen.

Gummi kann aufgrund seiner hohen Schallstreuung und seiner nichtlinear-elastischen Eigenschaften nicht mit Ultraschall gemessen werden. Ebenso können weiche Kunststoffe infolge ihrer sehr hohen Schalldämpfung im Transversalwellenmodus nicht gemessen werden. Bei anisotropen Materialien variieren nicht nur die elastischen Eigenschaften mit der Richtung, sondern auch die Schallgeschwindigkeit von Longitudinal- und/oder Transversalwellen. Die Erzeugung einer vollständigen Matrix des Elastizitätsmoduls in anisotropen Materialien erfordert normalerweise sechs verschiedene Ultraschallmessungen. Porosität oder Grobkörnigkeit in einem Werkstoff können die Genauigkeit der Ultraschallmessung beeinträchtigen, da diese Bedingungen je nach Korngröße und Ausrichtung oder Porengröße und Porenverteilung unabhängig von der Materialelastizität zu Abweichungen der Schallgeschwindigkeit führen.

Erforderliche Prüfgeräte zur Modulberechnung

Die Messungen der Schallgeschwindigkeit für die Modulberechnung werden mit Präzisionsdickenmessern wie dem Modell [38DL PLUS](#) und [45MG](#) und einer Software für Einzelschwinger-Prüfköpfe oder mit einem Prüfgerät mit einer Funktion zur Schallgeschwindigkeitsmessung wie dem [EPOCH 650](#) oder [EPOCH 6LT](#) durchgeführt. Der [72DL PLUS](#) Dickenmesser ermöglicht die Messung der Laufzeit (ToF) mit hoher Auflösung, die wiederum präzisere Schallgeschwindigkeitsmessungen ermöglicht.

Das Verfahren erfordert zudem zwei für das Prüfmaterial geeignete Prüfköpfe, um die Schallgeschwindigkeit im Impuls-Echo-Modus mit Longitudinal- und Transversalwellen zu messen. Häufig werden die Breitband-Prüfköpfe M112 oder V112 (10 MHz) für Longitudinalwellen und der Winkelprüfkopf V156 (5 MHz) für Transversalwellen verwendet. Diese eignen sich für die meisten Metall- und Keramikproben. Für sehr dicke oder sehr dünne Proben

oder für Proben mit hoher Schalldämpfung werden verschiedene Prüfköpfe benötigt. Bei manchen Anwendungen sind auch Durchschallungsverfahren mit gegenüberliegenden Paaren von Prüfköpfen erforderlich. In allen Fällen sollte sich der Benutzer an Olympus wenden, um Empfehlungen für spezifische Prüfköpfe und Unterstützung bei der Geräteeinrichtung zu erhalten.

Das Prüfteil kann eine beliebige Geometrie aufweisen, die eine deutliche Impuls-Echo-Messung der Schalllaufzeit in einem Dickenbereich ermöglicht. Idealerweise ist dies ein Prüfteil mit einer Mindestdicke von 12,5 mm mit glatten, parallelen Oberflächen und einer Breite oder einem Durchmesser, der größer ist als der Durchmesser des verwendeten Prüfkopfs. Schmale Prüfteile müssen vorsichtig geprüft werden, da Kanteneffekte die gemessene Impulslaufzeit beeinträchtigen können. Sehr dünne Prüfteile beeinträchtigen die Auflösung aufgrund kleiner Veränderungen der Impulslaufzeit bei kurzen Schallwegen. Daher empfehlen wir für die Prüfteile eine Mindestdicke von 5 mm und vorzugsweise mehr. In allen Fällen muss die Dicke des Prüfteils genau bekannt sein.

Verfahren zur Berechnung des Moduls mit Anwendungen zur Dicken- und Fehlerprüfung

Messen Sie die Schallgeschwindigkeit von Longitudinal- und Transversalwellen im Prüfteil mit entsprechenden Prüfköpfen und Geräteeinstellungen. Die Messung der Transversalwelle erfordert den Einsatz eines speziellen hochviskosen Koppelmittels, wie unseres SWC-2. Der 38DL PLUS Dickenmesser oder der 45MG Dickenmesser mit der Software für Einzelschwinger-Prüfköpfe kann die Schallgeschwindigkeit im Material entsprechend der eingegebenen Probendicke direkt anzeigen. Ein Fehlerprüfgerät der EPOCH-Serie kann die Schallgeschwindigkeit durch Kalibrierung der Schallgeschwindigkeit messen. In allen Fällen wird das Verfahren zur Schallgeschwindigkeitsmessung empfohlen, das im Benutzerhandbuch des jeweiligen Produkts beschrieben ist. Die Umlaufzeit wird in einem Bereich mit bekannter Dicke mit Longitudinal- und Transversalwellen-Prüfköpfen aufgezeichnet. Anschließend ist Folgendes zu berechnen:

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

Für hochpräzise Schallgeschwindigkeitsmessungen wird der 72DL PLUS Ultraschalldickenmesser (+ oder - 10 Pikosekunden) empfohlen. Die Einheiten können nach Bedarf umgerechnet werden, um die Schallgeschwindigkeit in Zoll/Sekunde oder in cm/Sekunde zu erhalten. (Die Zeit wird normalerweise in Mikrosekunden gemessen, demnach werden Zoll/ μ s oder cm/ μ s mit 10^6 multipliziert, um Zoll/s oder cm/s zu erhalten.) Die erhaltenen Schallgeschwindigkeiten werden in die folgenden Gleichungen übertragen:

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

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

Hinweis zu den Einheiten: Ist die Schallgeschwindigkeit in cm/s und die Dichte in g/cm³ angegeben, wird der Elastizitätsmodul in dyn/cm² angegeben. Bei englischen Maßeinheiten wie Zoll/s und Pound/Kubikzoll zur Berechnung von Modulen in Pound pro Quadratzoll (psi) ist der Unterschied von Pound als Einheit für die Kraft und die Masse zu beachten. Da der Modul als Kraft/Fläche angegeben wird, muss bei der Berechnung in englischen

Einheiten die Lösung der obigen Gleichung mit einer Umrechnungskonstante für Masse/Kraft von (1/Fallbeschleunigung) multipliziert werden, um das Modul in Pound/Kubikzoll zu erhalten. Falls die ursprüngliche Berechnung in metrischen Einheiten durchgeführt wurde, wird der Umrechnungsfaktor 1 psi = 6,89 x 10⁴ dyn/cm² verwendet. Die Schallgeschwindigkeit kann auch in Zoll/s und die Dichte in g/cm³ angegeben und durch die Umrechnungskonstante von 1,07 x 10⁴ dividiert werden, um das Modul in Pound/Kubikzoll zu erhalten.

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

Für den Schubmodul wird einfach das Quadrat der Transversalwellengeschwindigkeit mit der Dichte multipliziert. Zur Berechnung des Moduls in dyn/cm² werden erneut die Einheiten cm/s und g/cm³ bzw. die englischen Einheiten Zoll/s und Pound/Kubikzoll verwendet, wobei das Ergebnis wird mit der Umrechnungskonstante für Masse/Kraft multipliziert wird.

Literaturnachweis

Weitere Informationen zur Ultraschallmessung des Elastizitätsmoduls finden Sie in folgenden Quellen:

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



38DL PLUS Dickenmessgerät

Das vielseitig einsetzbare 38DL PLUS Messgerät kann mit Sender-Empfänger-Messköpfen zur Messung korrodierter Rohre bis hin zur sehr präzisen Dickenmessung von dünnen oder mehrschichtigen Materialien mit einem Einzelschwingermesskopf verwendet werden.

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



45MG Dickenmessgerät

Der 45MG ist ein hochmodernes Ultraschall-Dickenmessgerät mit Standard-Messfunktionen und Softwareoptionen. Dieses einzigartige Dickenmessgerät ist mit allen unseren Sender-Empfänger-Messköpfen und Einzelschwingermessköpfen kompatibel.

Mehr erfahren ► <https://www.olympus-ims.com/de/45mg/>



72DL PLUS

Das hochmoderne 72DL PLUS Ultraschall-Dickenmessgerät liefert präzise Dickenmessungen mit hoher Geschwindigkeit in einem portablen, bedienerfreundlichen Gerät. Dieses innovative Dickenmessgerät ist mit Einzelschwinger-Messköpfen bis zu 125 MHz kompatibel und eignet sich zur Messung der Dicke von sehr dünnen Werkstoffen, einschließlich mehrschichtiger Anstrichfarbe, Beschichtungen und Kunststoffen. Es kann die Dicke von bis zu 6 Schichten gleichzeitig anzeigen.

Mehr erfahren ► <https://www.olympus-ims.com/72dl-plus/>