



Инструкция по применению

Июн 01 2023

Измерение модуля упругости с использованием решений для толщинометрии и дефектоскопии

В данной инструкции по применению мы объясняем, как измерить модуль упругости с

использованием решений для толщинометрии и дефектоскопии. Узнайте, как определить модуль упругости Юнга, модуль сдвига и коэффициент Пуассона (поперечной деформации) в недисперсионных изотропных конструкционных материалах.

Что представляет собой модуль упругости

Модуль Юнга (модуль продольной упругости) определяется как отношение напряжения (сила на единицу площади) к деформации сжатия.

Модуль сдвига определяется как отношение напряжения сдвига к деформации сдвига.

Коэффициент Пуассона отношение относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению.

Эти основные свойства материалов обязательно учитываются в производстве и в различных научных исследованиях, и определяются с помощью измеренных значений скорости звука и плотности материала. Скорость распространения звука легко вычисляется путем ультразвукового контроля в режиме импульс-эхо с использованием соответствующего оборудования.

Представленная ниже процедура действительна для любого однородного, изотропного, недисперсионного материала (скорость звука не изменяется с частотой). Сюда включены наиболее распространенные металлы, промышленная керамика и стекло, при условии, что размеры поперечного сечения не близки длине волны частоты контроля. Жесткие пластики, такие как полистирол и акрил, также могут быть измерены, несмотря на то, что они имеют высокий коэффициент затухания ультразвука.

Каучук не может быть измерен ультразвуковым методом по причине высокой степени дисперсии и нелинейно упругих свойств. Мягкие пластики точно так же показывают высокую степень затухания в режиме сдвиговых волн, и обычно не могут быть измерены. В случае анизотропных материалов, упругость варьируется в зависимости от направления, так же как и скорость распространения продольных волн и/или сдвиговых волн. Для генерации полной матрицы модуля упругости в анизотропных образцах обычно требуется шесть серий ультразвуковых измерений. Пористость или зернистость материала может влиять на точность измерения модуля упругости, поскольку вызывает колебания скорости звука исходя из размера и ориентации зерен или размера и распределения пор, вне зависимости от упругости материала.

Оборудование, необходимое для расчета модуля упругости

Для измерения скорости звука при расчете упругости обычно используются прецизионные толщиномеры [38DL PLUS™](#) или [45MG с ПО для одноэлементных ПЭП](#), или дефектоскопы с функцией измерения скорости звука, например, серии [EPOCH™ 650](#) или [EPOCH 6LT](#). Генераторы/приемники могут также использоваться в комбинации с осциллографом или дискретизатором сигналов для измерения времени распространения волн. Для данного теста потребуется два преобразователя, подходящих для эхо-импульсного измерения скорости звука в материале продольными и поперечными волнами. Среди наиболее используемых ПЭП: широкополосный преобразователь продольных волн M112 или V112 (10 МГц) и преобразователь поперечных волн с нормальным углом падения V156 (5 МГц). Они подходят для измерения наиболее распространенных металлов и обожженных керамических образцов. Для измерения очень толстых и очень тонких материалов или образцов с высоким затуханием ультразвука требуются специальные преобразователи. В некоторых случаях применяется теневой метод контроля (метод сквозного прозвучивания) с использованием двух преобразователей, расположенных на одной оси, по разные стороны проверяемого изделия. Во всех случаях, при выборе преобразователя или настройке прибора необходимо проконсультироваться со специалистом Olympus.

Тестовый образец может быть любой формы, позволяющей выполнять эхо-импульсное измерение времени прохождения ультразвука через материал. Обычно, это образец толщиной 12,5 мм с ровными параллельными поверхностями, ширина или диаметр которого больше диаметра используемого преобразователя. Необходимо проявлять крайнюю осторожность при измерении узких образцов по причине возможных пограничных эффектов, которые могут повлиять на измеренное время прохождения импульса. При использовании сильно тонких образцов, разрешение будет ограничено из-за небольших колебаний во времени прохождения импульса через короткий УЗ-путь. Мы рекомендуем брать образцы толщиной минимум 5 мм, но желательно толще. Во всех случаях толщина тестового образца должна быть точно известна.

Процедура расчета модуля с использованием решений для толщинометрии и дефектоскопии

Измерьте скорость распространения продольных и сдвиговых волн тестового образца с использованием подходящих ПЭП и настроек прибора. Для измерения скорости сдвиговых волн потребуется специальная контактная жидкость высокой вязкости, как например SWC. Толщиномеры [38DL PLUS](#) и [45MG с ПО для одноэлементных ПЭП](#) могут напрямую измерять скорость звука в материале на основе введенной толщины образца, а дефектоскопы серии EPOCH измеряют скорость звука в ходе калибровки скорости звука. В обоих случаях, следуйте рекомендуемой процедуре измерения скорости звука, представленной в руководстве по эксплуатации прибора. При использовании генератора/приемника, зафиксируйте время прохождения сигнала туда и обратно через участок известной толщины с помощью преобразователей продольных и поперечных волн, и рассчитайте:

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

При необходимости, переведите единицы измерения скорости звука в дюйм/с или см/с. (Время обычно измеряется в микросекундах; для получения измерений в дюйм/с или см/с умножьте дюйм/мкс или см/мкс на 10^6 .) Полученные значения скорости звука могут использоваться в следующих формулах:

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

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

Примечание: Если скорость звука выражена в см/с, а плотность – в г/см³, модуль упругости будет выражен в дин/см². Если вы используете английскую систему мер (дюйм/с и фунт/дюйм³) для расчета модуля упругости в фунтах на кв. дюйм (PSI), не путайте фунт (единицу измерения силы) с фунтом (единицей измерения массы). Поскольку модуль упругости выражен как сила на единицу площади, при расчете в английской системе мер необходимо умножить результат вышеуказанной формулы на коэффициент пересчета масса/сила (1 /ускорение свободного падения) для получения значения упругости в фунтах на кв. дюйм. Если исходные расчеты выполнены в метрических единицах, используйте коэффициент конверсии 1 PSI = $6,89 \times 10^4$ дин/см². Вы также можете ввести скорость звука в дюймах/с, а плотность – в г/см³, а затем разделить на коэффициент пересчета $1,07 \times 10^4$ для получения упругости в PSI.

$$\text{Shear Modulus} = V_T^2 \rho$$

Для определения модуля сдвига умножьте квадрат скорости распространения поперечной волны на плотность.

Опять же, используйте единицы измерения см/с и г/см³ для получения модуля упругости в дин/см² или английскую систему мер (дюйм/с и фунт/дюйм³) и умножьте результат на коэффициент пересчета масса/сила.

Справочная литература

Подробнее об измерении модулей упругости ультразвуковым методом см. в представленных ниже источниках:

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

Универсальный толщиномер 38DL PLUS™, в комбинации с раздельно-совмещенными преобразователями, используется для измерения стенок корродированных труб, а в комбинации с одноэлементными преобразователями — для измерения толщины тонких или многослойных материалов.

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



45MG

45MG – усовершенствованный ультразвуковой толщиномер, оснащенный всеми необходимыми функциями и программными опциями. Этот уникальный прибор совместим со всеми одноэлементными и раздельно-совмещенными преобразователями Olympus.

Узнать больше ► <https://www.olympus-ims.com/ru/45mg/>



72DL PLUS

Усовершенствованный ультразвуковой толщиномер Olympus 72DL PLUS™ обеспечивает прецизионное измерение толщины на высокой скорости, имеет портативный дизайн и прост в использовании. Этот инновационный прибор, совместимый с одноэлементными преобразователями с частотой до 125 МГц, идеально подходит для измерения толщины ультратонких материалов, включая многослойные краски, покрытия и пластик. Он может одновременно отображать толщину до 6 слоев.

Узнать больше ► <https://www.olympus-ims.com/72dl-plus/>