

Автоматизированные системы для определения механических характеристик материалов

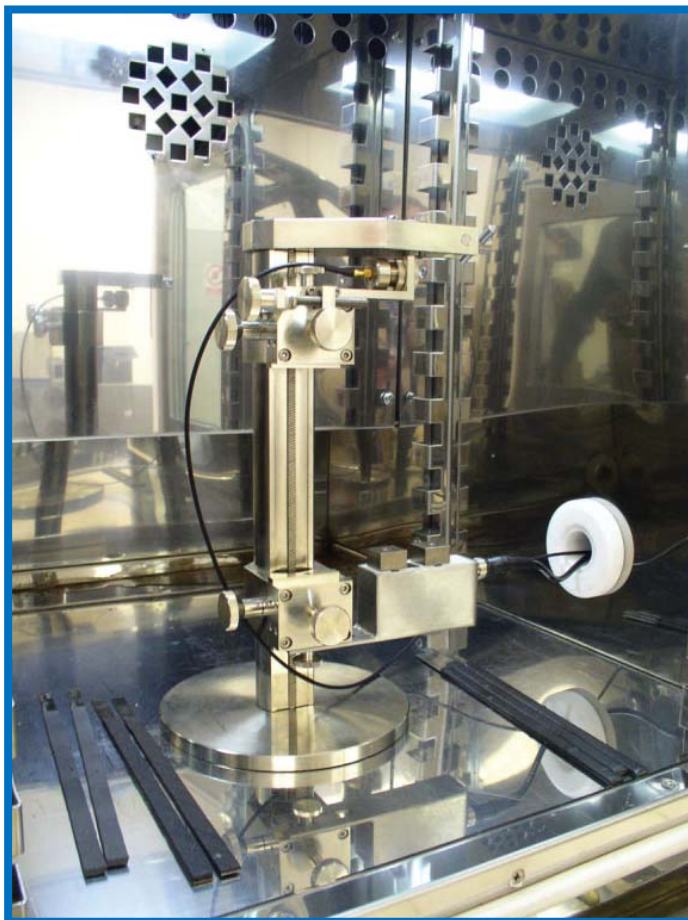
Измерительная установка типа 3930 для определения комплексного модуля упругости методом Оберста

ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- рабочая температура до 250°C (480°F)
- емкостной или магнитный датчик
- магнитные или немагнитные образцы
- малые физические размеры
- простота применения

ПРИМЕНЕНИЕ:

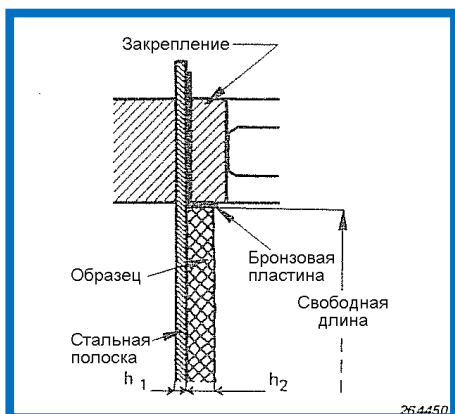
- Объективное измерение внутреннего затухания для широкого диапазона материалов
- Определение динамических модулей упругости материала, E'



Метод Оберста используется в виброакустике для исследований и измерений механических свойств твердых вибродемпфирующих материалов. Метод заключается в том, что вызывается вибрация встроенных металлических балок (консольного типа), покрытых демпфирующим материалом.

Использование демпфирующих материалов имеет тенденцию к расширению, чтобы соответствовать нормам и регламентам, которые ужесточились в последнее время. Это касается многих отраслей: транспорт, строительство, производство бытовой техники и т.д. Например, от конструкторов двигателей, автомобилей или от дизайнеров зданий требуется создание все более бесшумной продукции.

В частности, характеристики вибродемпфирующих материалов, полученные по методу Оберста для тестирования балок, используются в автомобильной промышленности, судостроении, авиастроении.



Описание метода

Объектом исследования является балка, состоящая из листового покрытия (обычно из стали), на одну сторону которого нанесен образец демпфирующего (или вязкоупругого) материала для тестирования. Как правило, эта составная балка крепится к опорам из немагнитной нержавеющей стали, с помощью системы простых креплений.

Механические испытания состоят в том, что «балка Оберста» подвергается воздействию белого шума, полученного с помощью магнитного поля на колебательных модах 2 и 3. Скорости смещения балки измеряются с помощью бесконтактного датчика. Затем временной сигнал дискретизируется и с помощью Фурье-спектроанализатора преобразуется в частотный сигнал. Полученный спектр представляет собой кривую зависимости скорости от частоты.

Рис. 1. Метод крепления образцов с покрытием

Сначала нужно протестировать стальную балку (без нанесенного материала покрытия), которая служит основой (базовая балка). Она имеет существенно большую жесткость и более слабые амортизационные свойства, чем исследуемый материал.

Простое сгибание однородной балки

Рассмотрим самый простой случай, когда изучается только базовая балка. Теория предсказывает, что под действием возбуждения, при простом изгибе однородной балки, собственные (или резонансные) частоты, соответствующие разным колебательным модам, зависят от следующих условий:

- От типа граничных условий (« закрепленная-свободная », « закрепленная-закрепленная », ...) ;
- От физических свойств материала балки : модуль Юнга, плотность;
- От геометрических параметров : от момента инерции сечения относительно оси изгиба, от площади поперечного сечения и длины.

Этот метод позволяет измерить модуль [Юнга] материала.

Для балки с прямоугольным сечением, используется уравнение :

$$E_n(f_n, T) = \frac{12 f_n^2 l^4 \rho}{h^2 C_n^2}$$

где :

E - модуль Юнга (он зависит от температуры T) (в Паскалях).

n - индекс, который соответствует порядку (моде) колебаний при резонансе : 1, 2, 3, и т.д.

f_n - резонансная частота для моды с номером n (в Гц)

l - длина балки (в метрах)

ρ - плотность (в кг/м³)

h - толщина балки в направлении колебаний (в метрах)

C_n - коэффициент, связанный с номером моды n , и зависящий от типа граничных условий.

Для балки с типом граничных условий « закрепленная- свободная », значения первых коэффициентов следующие :

$$\begin{aligned} C_1 &= 0,5596 \\ C_2 &= 3,507 \\ C_3 &= 9,819 \\ C_4 &= 19,24 \end{aligned}$$

Примечание : модуль Юнга связан со скоростью распространения продольных волн c_L в твердом теле с помощью соотношения:

$$E = \rho c_L^2$$

Случай составной балки

В случае исследования составной (композитной) балки (то есть когда поддерживающая основа покрыта исследуемым материалом), спектральный анализ собственных частот при изгибе позволяет напрямую определить общий коэффициент затухания (или «число Оберста») при данной температуре. Для этого используют метод ширины полосы частот на высоте -3 дБ от максимального значения на пике резонанса.

Коэффициент затухания (или потери) η (безразмерная величина) материала отражает его способность уменьшить амплитуду колебаний, а также показывает способность преобразовывать механическую энергию в тепловую.

Исходя из измерений, выполненных для эталонной балки, метод Оберста позволяет косвенно получить внутренний коэффициент затухания и комплексный модуль Юнга для материала с однослойным покрытием, нанесенным на основу.

Описание установки

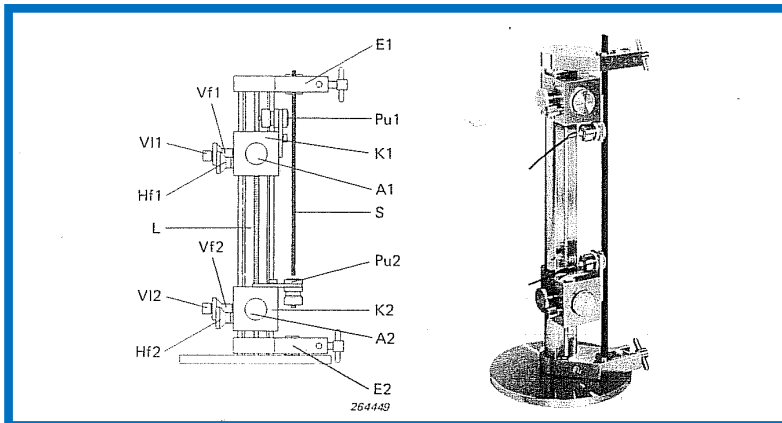


Рис. 2. Подробная схема испытательной установки типа 3930

Точное позиционирование кронштейнов датчиков (K1 и K2) в вертикальной плоскости выполняется с помощью ручных винтов Vf1 и Vf2, которые после установки фиксируются винтами V11 и V12. Тонкая регулировка в горизонтальной плоскости выполняется с помощью ручных винтов Hf1 и Hf2. После окончательной установки кронштейнов датчика ручные винты A1 и A2 необходимо затянуть, зафиксировав кронштейн датчика как в вертикальной, так и в горизонтальных плоскостях.

Установка размещается в климатической камере, обеспечивающей проведение испытаний образцов при температурах от -30°C до +60°C.

Механическая конструкция

На рис. 2 показана механическая конструкция испытательной оправки. На направляющей колонне (L) имеется два регулируемых кронштейна (K1 и K2) для датчиков (Pu1 и Pu2). Основной зажим (E1) для прутка образца располагается наверху прибора. При наиболее распространенном виде испытаний, измерениях на образцах, закрепленных только с одного конца, используется только этот зажим. Когда измерения должны выполняться на образцах, закрепленных с обоих концов, на направляющую (L) под нижним кронштейном датчика устанавливают второй зажим (E2).

Датчики могут свободно передвигаться вдоль направляющей колонны (L) и располагаться так, что их оси симметрии расположены либо под углом 90°, либо параллельно по отношению к продольной оси прутка-образца. Этим способом образцы могут возбуждаться как сбоку, так и снизу.

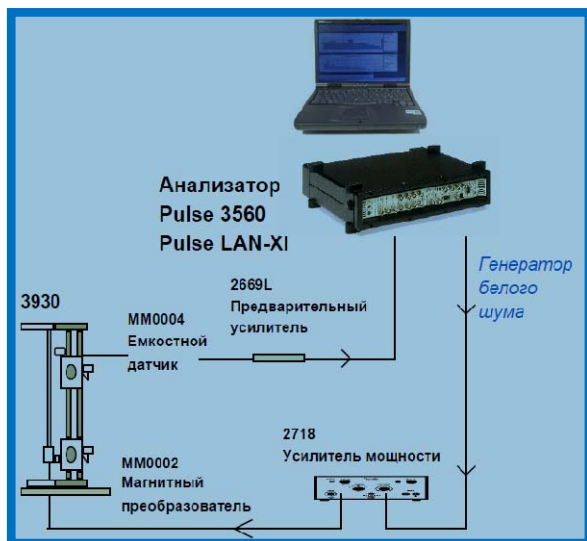


Рис. 3. Типичная измерительная установка с использованием магнитного датчика для возбуждения колебаний

Измерительное оборудование

Для проведения измерений в диапазоне частот от 20 Гц до 20кГц используется универсальный многоканальный анализатор спектра PULSE 3560 (Pulse Lan-XI), который обеспечивает большой динамический диапазон и малый уровень шумов. Анализатор оснащен собственным встроенным генератором шума. Наличие малошумящих встроенных предварительных усилителей сигналов позволяет производить подключение датчиков практически любого типа. Для возбуждения магнитного преобразователя типа MM0002 используется усилитель мощности типа 2718.

Следует заметить, что между магнитным датчиком и образцом существует статическое притяжение, что может вызвать прилипание мягких образцов к датчику. Чтобы избежать этого притяжения и прилипания, в качестве датчика для съема сигнала предпочтительно использовать емкостной датчик MM 0004. В этом случае статическая сила между преобразователем и образцом примерно в 250 раз меньше. Еще одним преимуществом использования магнитного датчика для возбуждения и емкостного датчика для измерения является то, что между двумя датчиками не будет взаимного влияния даже в том случае, если они установлены близко друг к другу.



Рис. 4. Внешний вид измерительной установки (без климатической камеры)

Результаты измерений

Результаты эксперимента сильно зависят от тщательности подготовки и размещения образца.

По сравнению со спектром основной балки, форма кривой у каждой моды изменяется (наблюдается вытягивание пиков), потому что коэффициент затухания составной балки, как правило, в сотни раз выше, чем у стали.

Для данного материала, общий (или комплексный/) коэффициент затухания

η зависит от следующих факторов :

- От толщины e используемого материала, если значения e умеренные (небольшие). Оказывается, что для больших толщин e , коэффициент затухания Оберста стремится к значению коэффициента для самого материала;
- От свойств используемого материала : от модуля Юнга и от внутреннего коэффициента затухания.

Например, чтобы с покрытием толщиной $e = 3$ мм при коэффициенте внутреннего затухания в 50% получить число Оберста 10 %, модуль Юнга материала должен быть порядка 300 мПа.

Примечание : плотность материала или основы не влияет на число Оберста. Между тем, более плотный материал уменьшит уровень вибрации и сместит резонансные частоты.

Использование диаграмм позволяет исследователям изменять свойства материала, чтобы получить значение числа Оберста, указанное в технической спецификации изделия.

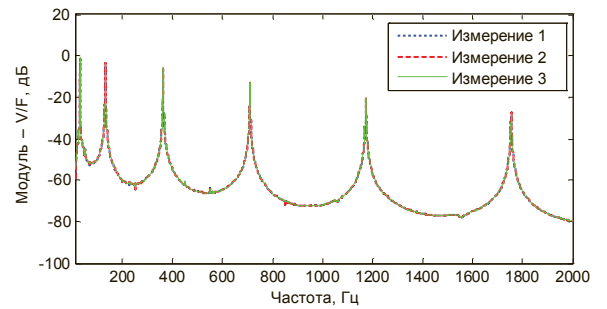


Рис. 5. График первых шести резонансных мод стандартной стальной балки.

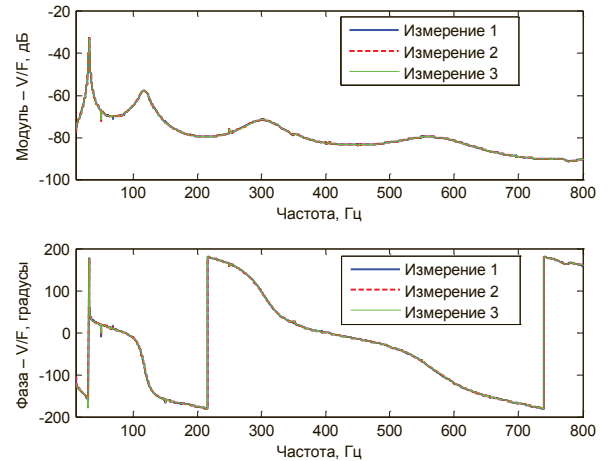


Рис. 6. График первых четырех мод демпфированной стальной балки.

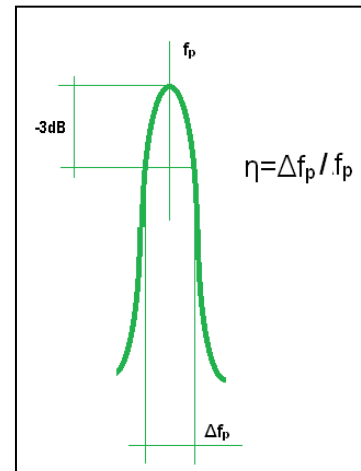


Рис. 7. Вычисление общего коэффициента затухания через использование полосы частот по уровню -3 дБ от пика.

Спецификация 3930

Размеры прутка-образца:

Свободная длина:

От 75 до 220 мм (от 3 до 8,5 дюймов)

Сечение:

Макс. 12x12 мм (0,5x0,5 дюйма)

Размеры и Вес:

Общая длина: 33 см (13 дюймов)

Вес: 6,8 кг (15 фунтов)

Дополнительное оборудование, включенное в поставку:

2 магнитных датчика ММ 0002 с кабелями, 10 дисков с высоким значением магнитной проницаемости μ
1 Емкостной датчик ММ 0004 с кабелем
1 измеритель добротности Q-rule BM 1001

Инструменты для регулировки испытательной оправки