

ОПИСАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Н. БЕЛОКУРОВ

(Московский государственный университет дизайна и технологии)

Рассматриваемый метод [1] определения деформационных характеристик в динамическом резонансном режиме предусматривает определение упругой и вязкой составляющих путем приложения к исследуемому материалу изменяющегося по гармоническому закону силового воздействия и регистрации ответного отклика со стороны исследуемого объекта.

При некоторых значениях частоты силового воздействия на вязкоупругие материалы возникает резонанс и исследуемый материал остается упругой системой, а деформация носит обратимый характер. Подобные системы представляют собой резонансные системы, имеющие амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) (рис. 1 – АЧХ полимерного материала в общем виде).

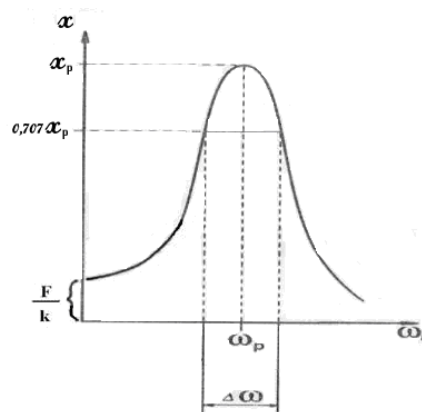


Рис. 1

При стремлении частоты силового воздействия ω_b к нулю резонансная кривая приходит к пределу отношения:

$$x_{ст} = \frac{F}{K}. \quad (1)$$

Это отношение представляет собой описание деформации $x_{ст}$ материала под воздействием постоянной по величине силы величиной F и выражает закон Гука. При увеличении частоты силового воздействия ω_b амплитуда деформации растет. В случае резонанса, когда частота ω_b вынуждающей силы F приближенно равна собственной частоте ω_0 колеблющейся системы, амплитуда деформации достигает максимального значения x_p .

Отношение амплитуды деформации x_p к величине статического смещения $x_{ст}$ определит добротность Q материала:

$$\frac{x_p}{x_{ст}} = \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{1}{\text{tg}\delta} = Q, \quad (2)$$

где β – коэффициент затухания; $\text{tg}\delta$ – тангенс угла механических потерь.

Добротность материала Q определяется по величине $\Delta\omega$ (рис. 1). АЧХ исследуемого материала – измеренной на уровне 0,707 от максимальной амплитуды деформации x_p и по значению резонансной частоты ω_p :

$$Q = \frac{\omega_p}{\Delta\omega}. \quad (3)$$

Таким образом, АЧХ является своеобразным паспортом деформационных свойств материала, в котором указаны в количественном соотношении упругая и вязкая составляющие.

При динамическом воздействии на вязкоупругий материал вынуждающая сила F испытывает со стороны материала механическое сопротивление:

$$Z = \omega_b \sqrt{\left(\frac{k}{\omega_b} - m\omega_b\right)^2}, \quad (4)$$

где разница в скобках имеет реактивный характер. Член $\frac{k}{\omega_b}$ выражает упругую со-

ставляющую исследуемого материала, а $m\omega_b$ – его инерциальное сопротивление.

При резонансе упругая и инерциальная составляющие становятся равными величинами и взаимоуничтожаются. При этом механическое сопротивление Z становится равным:

$$Z = 2\beta m = b, \quad (5)$$

где b – коэффициент вязкого трения, возникающего на молекулярном уровне в деформируемом теле.

Коэффициент жесткости k материала определяется равенством:

$$k = \omega_0^2 m. \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) символом m обозначена величина распределенной массы колеблющейся части исследуемого материала.

Любая механическая система, обладающая массой m и коэффициентом жесткости k , имеет свою собственную частоту ω_0 , которая выражается отношением:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} = \omega_p^2. \quad (7)$$

Для нашего частного случая это отношение будет иметь вид:

$$\omega_{p1}^2 = \frac{k}{m + m_1} = \omega_{01}^2, \quad (8)$$

где m_1 – известная масса, закрепленная на колеблющейся части исследуемого материала.

Из равенства (8) коэффициент жесткости определяется равенством:

$$k = \omega_{p1}^2 (m + m_1). \quad (9)$$

Если массу m_1 заменить на другую массу m_2 , то собственная резонансная частота ω_{01} изменит свое значение и станет равной:

$$k = \omega_{p2}^2(m + m_2). \quad (10)$$

При этом жесткость исследуемого материала не изменится. Тогда правые части равенств (9) и (10) будут равны, то есть:

$$\omega_{p1}^2(m + m_1) = \omega_{p2}^2(m + m_2). \quad (11)$$

Откуда

$$m = \frac{\omega_{p2}^2 m_2 - \omega_{p1}^2 m_1}{\omega_{p1}^2 - \omega_{p2}^2}. \quad (12)$$

Метод определения величины распределенной массы может быть использован при деформациях сжатия, растяжения, кручения и изгиба в динамическом резонансном режиме.

При циклической деформации материала смещение отстает по фазе от вынуждающей силы. В связи с этим явлением будет изменяться соотношение модулей упругости E' и соответствующие значения модулей гистерезисных потерь E'' :

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{E''}{E'}. \quad (13)$$

При резонансе модуль гистерезисных потерь E'' определится соотношением:

$$E'' = \omega_p b. \quad (14)$$

Из (2) и (14) модуль упругости равен

$$E' = \frac{E''}{\operatorname{tg} \delta} = E'' Q. \quad (15)$$

Время релаксации напряжения τ , возникающего в деформируемом материале, выразится равенством:

$$\tau = \frac{1}{\beta}. \quad (16)$$

Для нахождения коэффициента вязкого трения, возникающего на молекулярном уровне в деформируемом материале, необходимо определить логарифмический декремент затухания δ :

$$\delta = \frac{\pi}{Q} \quad (17)$$

и коэффициент затухания

$$\beta = \frac{\delta}{T} = \frac{b}{2(m + m_1)}, \quad (18)$$

где T – период колебания системы, определяемый отношением

$$T = \frac{1}{\nu}, \quad (19)$$

где ν – частота силового воздействия.

ВЫВОДЫ

Проведено обоснование метода определения деформационных характеристик вязкоупругих текстильных материалов в резонансном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белокуров В.Н., Бузов Б.А. Теоретическое обоснование взаимосвязи показателей деформации материалов, определяемых в статическом и динамическом режимах// Сб. научн. тр. МГАЛП. – М., 1996. С.62...67.

Рекомендована кафедрой физики. Поступила 26.03.07.