

ЛИТЕРАТУРА

1. Бузицкий В. Н. и др. Математическая модель циклического деформирования амортизаторов из материала МР. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов», вып. 4. КуАИ, 1977.
2. Бузицкий В. Н., Лазуткин Г. В. Исследование характеристик амортизаторов из материала МР. В сб.: «Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов», вып. 3. КуАИ, 1976.
3. Бусаров Ю. П. Об одном из способов аналитического описания механического гистерезиса. «Проблемы прочности», 1975, № 11.
4. Masing G. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens — Konzern, III Band, Erstes Heft, 1923.

УДК 620.178.311

Л. Г. Шайморданов

РАСЧЕТ УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК МР ПРИ ОДНООСНОМ НАПРЯЖЕННОМ СОСТОЯНИИ

Характеристики МР являются суммарным проявлением характеристик составляющих его элементов (витков спиралей). Поэтому в расчетной модели МР должны быть отражены как свойства самих элементов, так и условия их взаимодействия, а именно:

распределение витков спиралей в объеме материала, схема нагружения витков;

угловая ориентация витков относительно направления действующей силы.

При нахождении распределения витков в МР условно принимается, что в заготовке витки равномерно расположены по всему объему.

Объем, занимаемый каждым витком, имеет форму куба и численно равен частному от деления объема заготовки на количество витков n в ней. При этом заготовка представляется состоящей из $n_{\text{вз}}$ последовательно соединенных слоев, нормальных к направлению y приложения внешних сил. Каждый слой включает в себя число витков $n_{\text{вз}}$, которое находится путем деления площади основания заготовки на площадь грани куба, представляющего объем витка.

После прессования заготовки, в результате внедрения витков одного слоя в витки другого слоя, число слоев в ненагруженном изделии

$$n_{\text{ун}} = \frac{k_1}{k_2 - \bar{\rho}_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $\bar{\rho}_{\text{н}} = \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_0}$ — относительная плотность изделия в ненагруженном состоянии, определяемая отношением плотности $\rho_{\text{н}} = MP$ к плотности ρ_0 материала проволоки; k_1 и k_2 — постоянные, определяемые из уравнения (1):

$$\begin{aligned} \text{при } \bar{\rho}_{\text{н}} = \bar{\rho}_3 & \quad n_{\text{ун}} = n_{\text{уз}}; \\ \text{при } \bar{\rho}_{\text{н}} = 1 & \quad n_{\text{ун}} = n_{\text{у0}}; \end{aligned} \quad (2)$$

$\bar{\rho}_3 = \frac{\rho_3}{\rho_0}$ — относительная плотность заготовки;

$n_{\text{у0}}$ — условное количество слоев в изделии, когда его плотность равна плотности материала проволоки.

Величина $n_{\text{у0}}$ определяется так же, как и $n_{\text{уз}}$ в предположении, что объем, занимаемый витком, имеет форму куба.

Из равенства (1) при условии (2) найдем

$$n_{\text{ун}} = \sqrt[3]{\frac{h_3^3 n}{S}} \frac{1 - \bar{\rho}_3}{\sqrt[3]{\gamma_0 (\bar{\rho}_{\text{н}} - \bar{\rho}_3) - \bar{\rho}_{\text{н}} + 1}}; \quad (3)$$

$$n_{\text{ун}} = \frac{n}{n_{\text{ун}}}, \quad (3')$$

где h_3 и S — высота заготовки и площадь ее поперечного сечения в пресс-форме;

$\gamma_0 = \frac{\rho_0}{\rho_3}$ — предельная степень опрессовки.

При построении схемы нагружения каждый виток заменяется $m/2$ параллельно соединенными эквивалентными балками (рис. 1). Направление силы, деформирующей балку, считается совпадающим с направлением Y , а

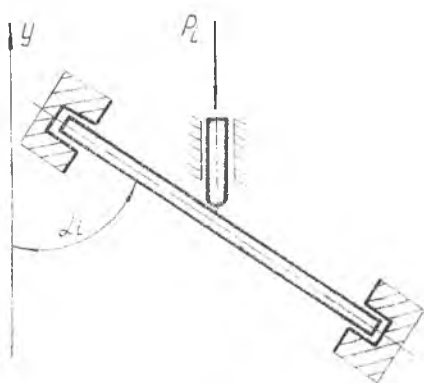


Рис. 1. Схема нагружения эквивалентной балки

ось балки — расположенной к этому направлению под некоторым углом ориентации α_1 . Диаметр балок равен диаметру исходной проволоки. Рассеяние энергии представляется в виде работы трения в точках приложения сил. Количество балок и эквивалентность их характеристик устанавливается при экспериментальном определении количества m точек контактов, приходящихся на один виток.

В заготовке с хаотической укладкой спиралью витки ориентированы также хаотически. В этом случае сумма проекций площадей всех витков инвариантна относительно направления проектирования. Геометрической фигурой, поверхность которой обладает этим свойством, является сфера. Если площадь поверхности сферы равна суммарной площади всех витков, то они ориентируются по радиусу-вектору, проходящему через центры площадей витков. Разделив площадь поверхности сферы на площадь витка, получим безразмерную сферу ориентации.

В процессе прессования МР подвергается воздействию нагрузок, симметричных относительно оси Y . При этом витки меняют ориентацию, а условная сфера ориентации трансформируется в эллипсоид вращения относительно малой оси, параллельной направлению прессования, без изменения площади поверхности. Для описания ориентации достаточно установить связь между величиной полуоси эллипсоида ориентации и параметрами материала МР.

Эта зависимость определяется путем сопоставления распределений ориентаций витков, рассчитанных по эллипсоидам и полученных при обработке микрошlifов МР методами стереометрической кристаллографии. Полученная таким образом величина малой полуоси эллипсоида b аппроксимирована выражением

$$b_{II} = 0,5 \sqrt{\frac{n}{\pi}} \frac{\gamma_{II} - \gamma_{II}^0}{\gamma_{II}(1,6 - 0,17 \gamma_{II}^0) - 0,83 \gamma_{II}^0 - 0,6} \quad (4)$$

где $\gamma_{II} = \frac{\rho_{II}}{\rho_0}$ — начальная степень опрессовки.

Большая полуось «а» может быть определена из уравнения поверхности эллипсоида ориентации или по приближенным формулам:

$$\text{при } 0,25 \sqrt{\frac{n}{\pi}} \leq b_{II} \leq 0,5 \sqrt{\frac{n}{\pi}} \quad a_{II} = 0,77 \sqrt{\frac{n}{\pi}} - 0,54 b_{II};$$

$$\text{при } 0,125 \sqrt{\frac{n}{\pi}} \leq b_{II} \leq 0,25 \sqrt{\frac{n}{\pi}} \quad a_{II} = 0,715 \sqrt{\frac{n}{\pi}} - 0,32 b_{II}.$$

Упругие характеристики изделия находятся при условии равенства нулю коэффициента трения f между витками проволоки.

Жесткость изделия при деформации y определяется следующим образом. Вначале находится средняя жесткость эквивалентной балки. Она рассчитывается путем суммирования жесткостей балок, составляющих изделие, по поверхности эллипсоида ориентации и делением результата на число этих балок. Затем определяется жесткость слоя МР из $\frac{mn}{2} SN$ параллельно соединенных балок и, наконец, жесткость изделия, состоящего из n_{yn} последовательно соединенных слоев. При этом неизвестной остается только зависимость количества точек контакта от параметров МР и деформации. Для выявления этой зависимости предложено считать жесткость МР связанной с деформацией двучленом третьей степени. Тогда выражения для определения жесткости C и упругой силы P изделия имеют вид:

$$C = \frac{3E\delta^4}{4\pi d^3} (0,065 n - 0,5 b_n^2) \left[\frac{m_n^4}{n_{yn}^2} + \frac{1}{0,125\Delta h^3} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{n_{0,5}^4}{n_{y0,5}^2} - \frac{m_n^4}{n_{yn}^2} \right) y^3 \right]; \quad (5)$$

$$P = \frac{3E\delta^4}{4\pi d^3} (0,065 n - 0,5 b_n^2) \left[\frac{m_n^4}{n_{yn}^2} y + \frac{1}{0,5\Delta h^3} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{m_{0,5}^4}{n_{y0,5}^2} - \frac{m_n^4}{n_{yn}^2} \right) y^3 \right], \quad (6)$$

где E — модуль упругости материала проволоки;

d — диаметр спирали;

m_n — начальное количество точек контакта;

$n_{y0,5}$, $m_{0,5}$ — количество слоев и точек контакта в МР при деформации y , равной половине упругого восстановления Δh .

Величина упругого восстановления рассчитывается по формуле $\Delta h = h_n - h_k$:

где h_n — высота изделия в ненагруженном состоянии;

h_k — высота изделия в пресс-форме под действием силы прессования.

Величина $n_{y0,5}$ определяется по формуле (3) при условии

замены ρ_n на $\rho_{0,5}$

$$\rho_{0,5} = \frac{h_n \rho_n}{h_n - 0,5\Delta h}.$$

Значения m_n и $m_{0,5}$, рассчитанные по уравнению (6) при подстановке в него экспериментальных значений деформаций y и соответствующих им сил P , приведены на рис. 2. Они аппроксимированы выражениями:

$$m_n = 1,7 \frac{\bar{d} - 2}{\bar{d} + 2} + 0,0137 \left(\frac{\bar{\rho}_n}{\rho_{сп}} - 3 \right); \quad (7)$$

$$m_{0,5} = \sqrt[4]{\frac{\bar{\rho}_{0,5}}{\rho_{сп}} - 1} + 0,0011 \left(\frac{\bar{\rho}_{0,5}}{\rho_{сп}} - 1 \right)^2; \quad (8)$$

где $\bar{d} = \frac{d}{\phi}$ — относительный диаметр спирали;

$\bar{\rho}_{сп} = \frac{\pi}{d^2}$ — относительная плотность спирали.

Упругое восстановление характеризует деформируемость материала изделия и применяется для расчета режима прессования, так как $h_n = h_k + \Delta h$. Его величина имеет вид

$$\Delta h = \frac{2\pi^3 \sigma_r d^2 n_{уп}}{3E \phi n m^2 \Delta} \left[a_1^2 \left(1 - \frac{b_n^2}{a_n^2} \right) - b_n^2 \ln \left(1 - \frac{a_1^2}{a_n^2} \right) \right]; \quad (9)$$

где σ_r — предел текучести материала проволоки;

a_1 — отрезок полуоси эллипса ориентации балок, при котором углы ориентации a_i равны углу трения проволок в материале МР,

$$a_1 = \sqrt{\frac{0,862 a_n^2}{0,862 a_n^2 - 0,183 b_n^2}};$$

m_Δ — среднее между m_n и m_k количество точек контакта, определенное по формуле (9) и экспериментальным зависимостям Δh от параметров МР;

m_k — количество точек контакта в МР, находящемся в пресс-форме под действием силы прессования.

Зависимость m_Δ от ρ_n приведена также на рис. 2 и аппроксимирована в виде

$$m_\Delta = 0,66 \sqrt[3]{\frac{\bar{\rho}_n}{\rho_{сп}} - 1}.$$

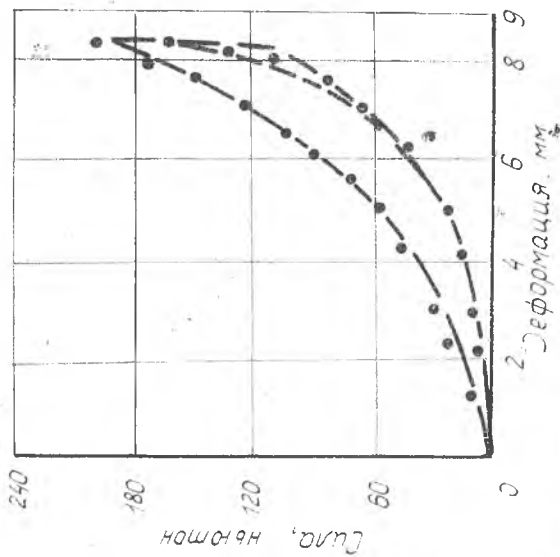


Рис. 3. Сравнение экспериментального и расчетного деформационных циклов сжатия МР: ● — экспериментальные точки; $\delta = 0,09$ мм; $\mu = 12$ гр; $\rho_3 = 0,03586$; $\rho_n = 0,14$; ЭИ-708

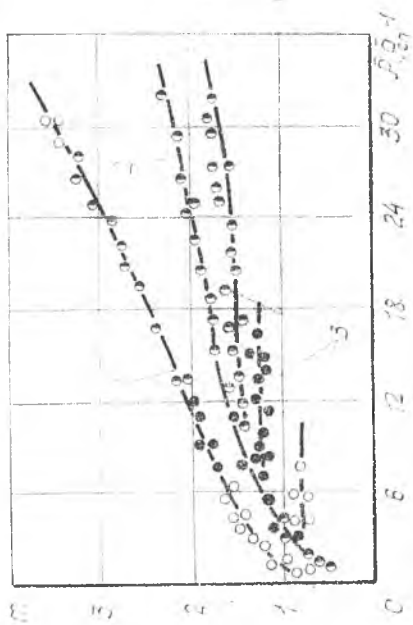


Рис. 2. Зависимость количества точек контакта от плотности МР и спиральи

Сила трения T определена как упругая сила. Выражение для расчета ее имеет вид

$$T = \frac{3jE \delta^4 b_n a_n^2}{8\pi d^3 (b_n^2 - a_n^2)} \times \left(b_n - \frac{a_n^2}{\sqrt{a_n^2 - b_n^2}} \arcsin \frac{\sqrt{a_n^2 - b_n^2}}{a_n} \right) \times \left[\frac{m_n^4}{n_{yn}^2} y + \frac{1}{0,5 \Delta h^3} \left(\frac{m_{0,5}^4}{n_{y0,5}^2} - \frac{m_n^4}{n_{yn}^2} \right) y^4 \right]. \quad (10)$$

Деформационный цикл изделия определен выражением

$$Q = P \pm T. \quad (11)$$

Сопоставление экспериментальных и расчетных циклов (рис. 3) показало их удовлетворительное совпадение.

Полученные расчетные зависимости позволяют выполнить проектировочный расчет изделий из МР.