

*Д. Ф. ПИЧУГИН, Г. Ф. НЕСОЛЕНОВ,  
В. Б. ГРЯЗЕВ, Т. Е. КОРОВИНА*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА МР

Свойства материала МР зависят от множества факторов (материал и диаметр проволоки, диаметр спирали, давление прессования, плотность, формы образца, вид нагрузки, рабочая температура и т. д.), поэтому их изучение является сложной задачей.

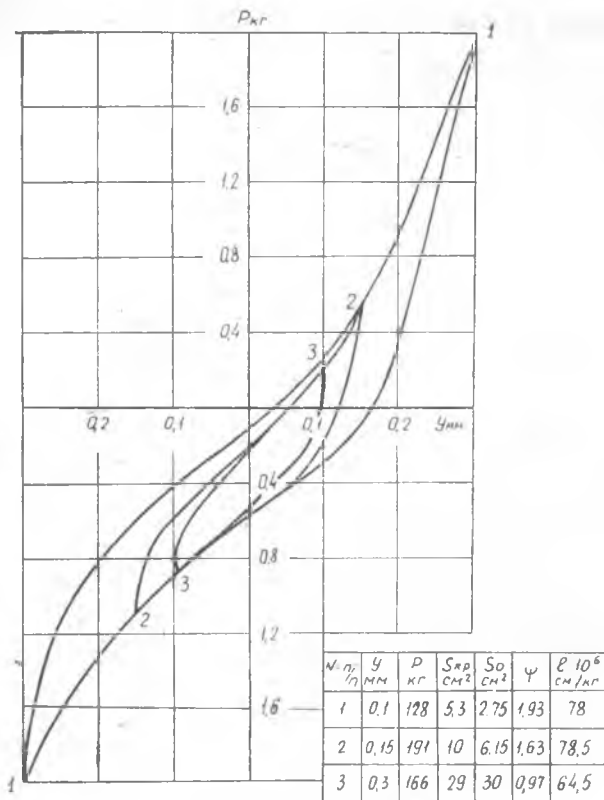
В статье приводятся результаты экспериментального исследования упругих и демпфирующих характеристик амортизирующих элементов из материала МР, подвергающихся при работе одноосному сжатию. Определяются эти характеристики при статическом нагружении соответствующей обработкой диаграмм деформирования (фиг. 1 а фиг. 1 б) приведены также значения податливости  $l$ , коэффи. а рассеяния  $\Psi$ , вычисленные при определенном перемещении  $y$  по известной методике [1].

В тех случаях, когда размеры и вес элементов значительны, целесообразно исследовать их характеристики на образцах, обеспечив одинаковые условия работы. В связи с этим была предложена геометрическая теория подобия амортизирующих элементов из материала МР. Согласно этой теории необходимо, чтобы элемент и образец были выполнены геометрически подобными из одного материала при одинаковой укладке проволоки в заготовке, а также выдержать одинаковую плотность материала  $\gamma$ , давление прессования  $P_{пр}$ , рабочее давление  $P_p$ , относительное перемещение  $\varepsilon$ . Предполагается, что коэффициент трения в материале  $f_{тр} = \text{const}$ .

Соотношения величин жесткостей, деформаций, коэффициентов рассеяния и энергий рассеяния элемента и образца проверялись на образцах цилиндрической формы. За критерий подобия  $\kappa$  принято отношение диаметров:

$$\kappa = \frac{D_э}{D_0}$$

здесь индекс «э» относится к амортизирующему элементу, а индекс «0» — к образцу.



Фиг. 1. График двустороннего статического цикла.

При этом выдерживалось подобие высот  $\frac{h_3}{h_0} = k$ , площадей  $\frac{S_3}{S_0} = k^2$ , объемов  $\frac{V_3}{V_0} = k^3$ .

Из условия  $\gamma = \text{const}$  отношение весов

$$\frac{G_3}{V_3} = \frac{G_0}{V_0}; \quad \frac{G_3}{V_3} = k^3.$$

Из условия  $p_{\text{пр}} = \text{const}$  отношение сил прессования при изготовлении

$$\frac{P_{\text{э. пр}}}{S_3} = \frac{P_{\text{о. пр.}}}{S_0}; \quad \frac{P_{\text{э. пр}}}{P_{\text{о. пр}}} = k^2.$$

Из условия  $P_p = \text{const}$  отношение рабочих нагрузок  $\frac{P_{\text{э. п.}}}{P_{\text{о. п.}}} = k^2$ .

Из условия  $\epsilon = \text{const}$  отношение деформаций

$$\frac{y_3}{h_3} = \frac{y_0}{h_0}; \quad \frac{y_3}{y_0} = k.$$

Тогда отношение жесткостей

$$\frac{c_{\text{э}}}{c_0} = \frac{P_{\text{э.р.}}}{y_{\text{э}}} : \frac{P_{\text{о.р.}}}{y_0} = \frac{P_{\text{э.р.}} \cdot y_0}{P_{\text{о.р.}} \cdot y_{\text{э}}} = k$$

или податливостей

$$\frac{e_{\text{э}}}{e_0} = \frac{1}{k}.$$

Из условия  $f_{\text{тр}} = \text{const}$  отношение коэффициентов рассеяния

$$\begin{aligned} \frac{\psi_{\text{э}}}{\psi_0} &= \frac{\Delta W_{\text{э}}}{P_{\text{э. макс}}} : \frac{\Delta W_0}{P_{\text{о. макс}}} = \frac{F_{\text{тр. э.}} \cdot y_{\text{э}} \cdot \frac{1}{2} c_0 \cdot y_0^2}{F_{\text{тр. о.}} \cdot y_0 \cdot \frac{1}{2} c_{\text{э}} \cdot y_{\text{э}}^2} = \\ &= \frac{P_{\text{э.р.}} \cdot f_{\text{тр}} \cdot c_0 \cdot y_0}{P_{\text{о.р.}} \cdot f_{\text{тр}} \cdot c_{\text{э}} \cdot y_{\text{э}}} = 1. \end{aligned}$$

Здесь  $P_{\text{макс}}$  — соответствующая максимальная потенциальная энергия.

Отношение энергий рассеяния равно:

$$\frac{\Delta W_{\text{э}}}{\Delta W_0} = \frac{\psi_{\text{э}} \cdot P_{\text{э. макс}}}{\psi_0 \cdot P_{\text{о. макс}}} = \frac{\frac{1}{2} c_{\text{э}} \cdot y_{\text{э}}^2}{\frac{1}{2} c_0 \cdot y_0^2} = k^3.$$

Эти соотношения были проверены при статических испытаниях подобных образцов, изготовленных из зигованной проволоки марки 1Х18Н10Т с коэффициентом подобия  $k=1,428$ .

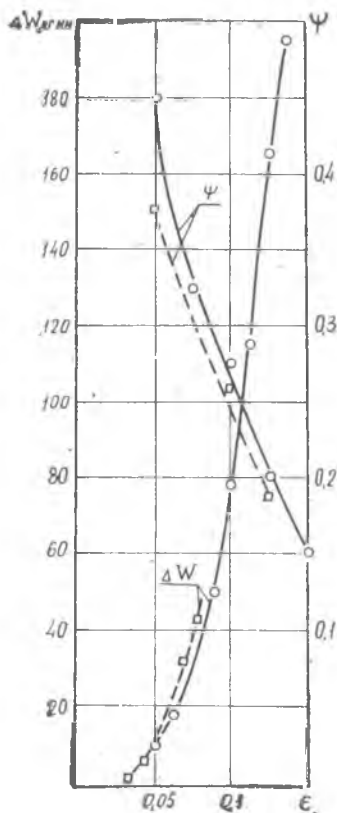
Эксперименты показали, что теоретические соотношения подтверждаются с достаточной степенью точности (фиг. 2, 3).

Отличие отношения  $\frac{\psi_{\text{э}}}{\psi_0}$  от 1 объясняется, по-видимому, изменением величины  $f_{\text{тр}}$  в элементе и разницей граничных условий при испытаниях (площадь соприкосновения элемента с опорными поверхностями установки больше, чем у образца).

Для проверки зависимости податливости и коэффициента рассеяния от температуры и длительного воздействия динамических нагрузок были проведены тепловые и усталостные испытания.

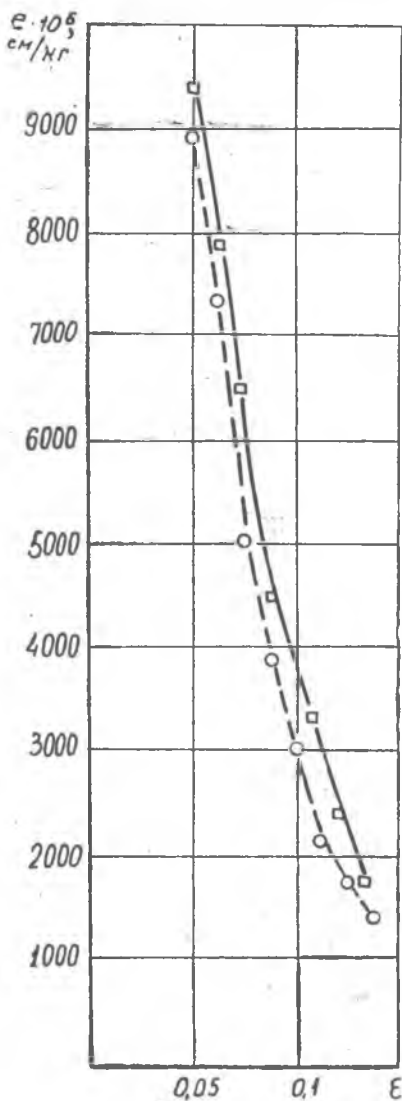
Тепловые испытания проводились на установке, снабженной специально разработанным нагревательным элементом. Установка позволяла испытывать образцы при различных температурах. Температура материала образца определялась термопарами. Нагревательный элемент был изолирован от деталей установки асбестовыми прокладками. Замер усилий при деформации образца осуществлялся с помощью динамометра, а замер перемещений — индикатором перемещений; при этом величина перемещения для разных образцов выдерживалась одинаковой.

Испытания показали, что жесткость образцов из материала 1Х18Н9Т, нагретых до 130–150°C, не менялась (фиг. 4). Однако при большем нагреве под действием рабочего давления происходит значительная усадка материала и жесткость образца сильно



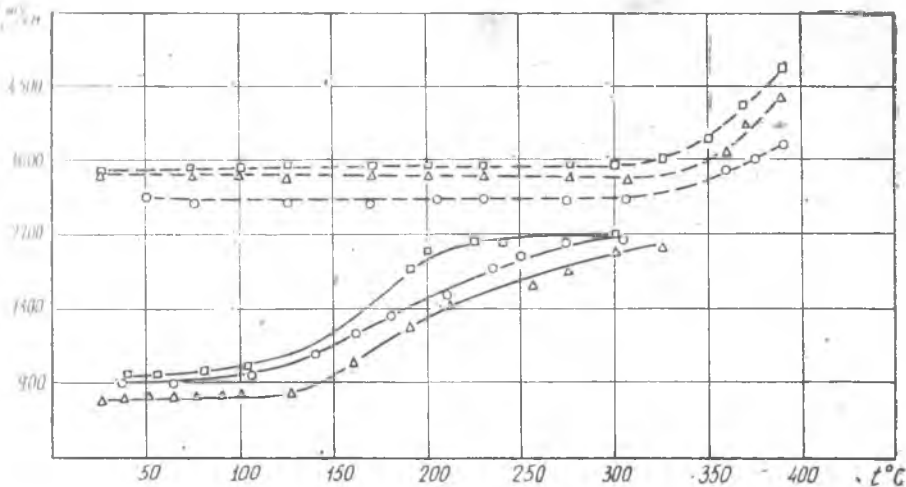
Фиг. 2. График зависимости энергии рассеяния и коэффициента рассеяния от относительного перемещения

— — образец исходный;  
 - - - - образец подобный



Фиг. 3. График зависимости податливости от относительного перемещения

— — образец исходный;  
 - - - - образец подобный.



Фиг. 4. График зависимости жесткости от температуры образца

- △ — образец 1;
- — образец 2;
- — образец 3;
- — — термически нестабилизированные образцы;
- - - - термически стабилизированные образцы.

возрастала. Объясняется это тем, что в процессе волочения проволоки, получения спирали, прессования образца происходит наклеп поверхностного слоя проволоки. При нагревании выше  $150^{\circ}\text{C}$  этот наклеп постепенно снимается, проволока становится более пластичной и происходит усадка материала. Повторное нагревание приводит к дальнейшему увеличению усадки и росту жесткости.

Для ликвидации этого явления была изменена технология изготовления образцов: после предварительного прессования введена температурная стабилизация материала (нагрев до  $500^{\circ}\text{C}$  и охлаждение вместе с печью). Затем производилась окончательная прессовка образцов до заданной жесткости.

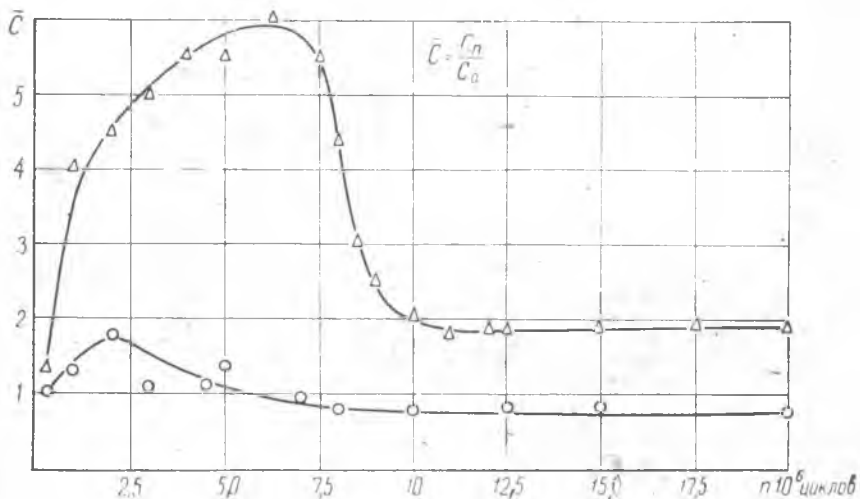
Изготовленные таким образом образцы показали незначительное повышение жесткости при однократном и многократном нагреве до  $300\div 350^{\circ}\text{C}$ . Нагревание выше  $350^{\circ}\text{C}$  вновь приводит к значительной усадке материала и росту жесткости.

Коэффициент рассеяния энергии в образце  $\Psi$  до температур  $300\div 350^{\circ}\text{C}$  остается практически постоянным. Попытки провести стабилизацию материала при температурах выше  $500^{\circ}\text{C}$  результатов не дали, т. к. материал становится весьма пластичным и, кроме того, на поверхности появляется окалина.

Усталостные испытания проводились на образцах, прошедших термическую стабилизацию, на машине УКИ-10М при деформациях, соответствующих средним рабочим деформациям демпфиру-

ющего элемента в изделиях. База усталостных испытаний образцов выбрана из условия реальной работы демпфирующих элементов ( $20 \cdot 10^6$  циклов).

Характер изменения относительной жесткости термически нестабилизированных образцов по числу циклов  $n$  приведен на фиг. 5. Вначале жесткость сильно возрастает, а затем, после 8—9 млн. циклов, стабилизируется на уровне, превышающем исходную жесткость в 1,5÷2 раза. Подобный характер изменения объ-



Фиг. 5. График зависимости относительной жесткости от числа циклов  
 $\Delta$  — термически нестабилизированные образцы;  
 $\circ$  — термически стабилизированные образцы

ясняется, по-видимому, тем, что при переменных деформациях в материале образца одновременно происходит дополнительный поверхностный наклеп, вызывающий увеличение жесткости, и переориентировка колечек МР относительно друг друга, когда под действием вибрации и контактного износа колечки расцепляются и жесткость уменьшается.

Относительная жесткость образцов, подвергшихся термической стабилизации, через 3—5 млн. циклов стабилизируется, оставаясь меньше начальной на 10÷20%. По-видимому, здесь влияние процесса дополнительного наклепа материала незначительно. Коэффициент рассеяния  $\Psi$  после стабилизации мало отличается от начального значения. Соответствие статических характеристик динамическим проверялось при динамических испытаниях, которые проводились в одномассовой системе, установленной на электродинамическом стенде типа П-646 и состоящей из груза, подвешенного на двух стабилизированных образцах. Вибратор стенда возбуждался от звукового генератора ЗГ-2А через усилитель ТУ-5-ЗБ.

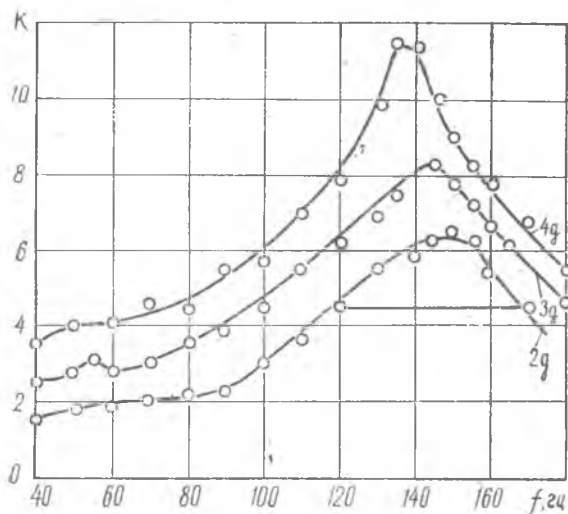
Замер величины перегрузок стола вибратора и груза системы производился с помощью пьезоэлектрических датчиков ускорений ПДУ по прибору ПИУ-1М. С целью компенсации веса груза и получения симметричного цикла были подобраны образцы с различной жесткостью: под груз устанавливался образец с меньшей жесткостью. Подбор подушек, предварительного натяга и определение статических характеристик производились на установке, позволяющей снять двухсторонний цикл деформации. В результате обработки циклов определены зависимости податливости и коэффициента рассеяния от величины перемещения (фиг. 1). Затем производились динамические испытания (см. табл. 1).

Таблица 1

№ п.п.	Статические испытания		Динамические испытания			$\frac{\psi_p - \psi}{\psi_p} \cdot 100\%$
	A	$\psi$	$g_{ст}$	$A_p$	$\psi$	
1	0,1	1,93	2	0,106	1,97	2
2	0,15	1,63	3	0,15	2,12	22
3	0,3	0,97	4	0,29	1,58	38,7

Каждая резонансная кривая (фиг. 6) снималась не менее трех раз. По ширине ее был определен декремент колебаний:

$$\delta = \frac{\pi \cdot \Delta f}{f_p} \left[ 1 - \left( \frac{\Delta f}{f_p} \right)^2 \right],$$



Фиг. 6.

$\Delta f$  — ширина резонансной кривой на высоте, равной 0,707 резонансной амплитуды;

$f_p$  — резонансное значение частоты.

Приближенное значение коэффициента рассеяния на резонансе

$$\psi_p \simeq 2\delta.$$

Динамический коэффициент системы:

$$\mu_p = \frac{2\pi}{\psi_p}.$$

Сравнение коэффициентов рассеяния, полученных при динамических и статических испытаниях (при равенстве перемещений) показывает, что динамический коэффициент рассеяния немного выше статического при малых перегрузках, а при больших — на 30–40%. Это объясняется наличием в системе дополнительного трения груза о стержень основания, а также некоторым уменьшением натяга в процессе колебаний (коэффициент  $\Psi$  при меньших жесткостях выше).

### ВЫВОДЫ

1. Теория геометрического подобия позволяет проводить испытания на образцах меньшего размера.

2. Для достижения постоянства упругих и демпфирующих свойств элементов, изготовленных из проволоки 1X18H9T, необходимо подвергнуть их предварительной температурной и вибрационной стабилизации. При этом обеспечивается нормальная работа элементов до температуры 300–350°C.

3. Динамические испытания показали большую эффективность демпфирующих элементов из МР.

Динамический коэффициент усиления системы на резонансе не превышает величины 3,2.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Г. Пановко. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. Физматгиз, 1960.