

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ МАТЕРИАЛА МР В ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОМ СИЛЕ ПРЕССОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИИ<sup>1</sup>

©2002 Ао Хунжуй, Уланов А.М., Цзян Хунюань, Чжан Минхуа  
Харбинский политехнический институт, г. Харбин (КНР)  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Материал МР (металлическая резина), изготавливаемый при помощи холодного прессования растянутой и хаотически уложенной проволоночной спирали из нержавеющей стали, широко используется в различных системах защиты от вибрации и удара. Большинство исследований и существующих моделей материала МР посвящены описанию его свойств в направлении силы прессования (другие направления рассматриваются в работах А.А.Тройникова, С.Д.Бараса, Л.Г.Шайморданова [1,2], а также для уплотнений из МР – Ф.В.Паровая [3]. Однако во многих существующих конструкциях виброизоляторов материал МР работает в направлении, перпендикулярном силе прессования. При этом следует различать случай работы материала МР на сжатие в направлении, перпендикулярном силе прессования (что имеет место, например, в уплотнениях), и случай работы материала МР на изгиб и сдвиг (что имеет место, например, во втулочных виброизоляторах при их нагружении в радиальном направлении) (Рис.1).

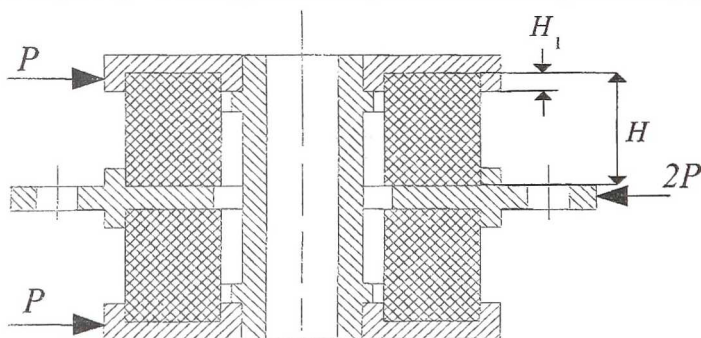


Рис. 1. Упругодемпфирующие элементы в виде втулок с высотой  $H$  из материала МР, работающие на изгиб и сдвиг под действием силы  $P$

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Национального Научного Фонда Китая (50075017) и Фонда молодых исследователей провинции Хэйлунцзян (Q00C025).

Ориентация витков спирали, случайная в заготовке, в материале МР после прессования не вполне случайна [2]. Плоскости витков спирали разворачиваются более или менее параллельно плоскости, перпендикулярной направлению силы прессования. Поэтому при сжатии материала МР силой, перпендикулярной направлению силы прессования, во многих витках спирали происходит не работа спиралей-пружин в осевом направлении на растяжение и сжатие, а деформация самих витков в плоскости витка. Жесткость витков в этом направлении существенно больше жесткости пружин в направлении их оси, и следует ожидать существенного увеличения жесткости материала МР по сравнению с направлением силы прессования. Контакты витков, деформирующихся в плоскости витка, не проскальзывают при деформации, усилия в проскальзывающих контактах, определяющие величину сил трения, остаются прежними, и следует ожидать отсутствия изменения коэффициента демпфирования.

Жесткость пружин на изгиб существенно меньше, чем в осевом направлении, поэтому втулки из МР должны быть существенно менее жесткими в направлении, перпендикулярном силе прессования. При сдвиге витки спиралей скользят относительно друг друга, и жесткость упруго-демпфирующего элемента из МР также должна быть невелика.

Для экспериментальной проверки этих предположений использовались элементы из материала МР в форме прямоугольных параллелепипедов с размерами  $22 \times 22 \times 19$  и  $22 \times 22 \times 13$  мм и втулок с внешним диаметром 44 мм, внутренним диаметром 24 мм и высотой 10, 20 и 30 мм. Диаметр проволоки 0,12 мм, диаметр спирали 1,8 мм. Принята система координат с осью  $Z$  в направлении силы прессования, осями  $X$  и  $Y$  - перпендикулярно направлению силы прессования.

При работе материала МР на сжатие (рис. 2 и 3) жесткость упруго-демпфирующих элементов в направлении оси  $Z$  в 3...4,5 раза меньше, чем в направлении осей  $X$  и  $Y$ , причем с ростом относительной плотности материала различие увеличивается, так как количество контактов в МР при осевой деформации возрастает. Так как процессы образования новых контактов при увеличении деформации сжатия аналогичны в направлении всех трех осей, отношение жесткостей практически постоянно при любой амплитуде деформации. Коэффициент демпфирования при этом практически не изменяется, для петель в направлении оси  $Z$  он равен 0,78...0,81, для петель в направлении осей  $X$  и  $Y$  он равен 0,87...0,88.

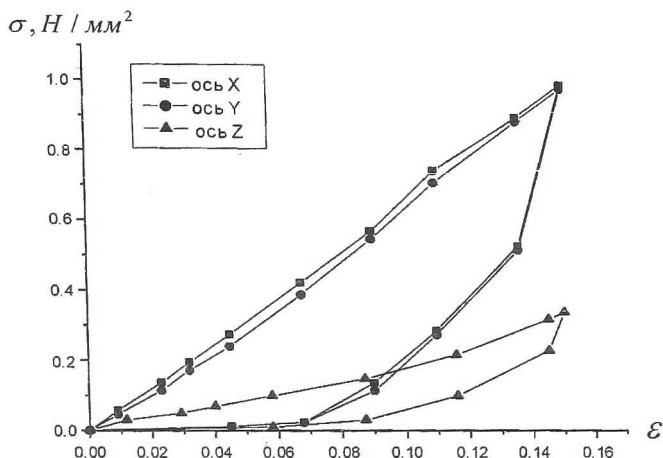


Рис.2. Упругофрикционные характеристики элемента из МР в виде прямоугольного параллелепипеда 22x22x19 мм (относительная плотность  $\bar{\rho} = 0.18$ ):  $\sigma$  - напряжение,  $\epsilon$  - относительная деформация

При работе материала МР на сжатие упругофрикционные характеристики элементов из МР существенно нелинейны (рис.4) вследствие увеличения количества контактов в материале при сжатии.

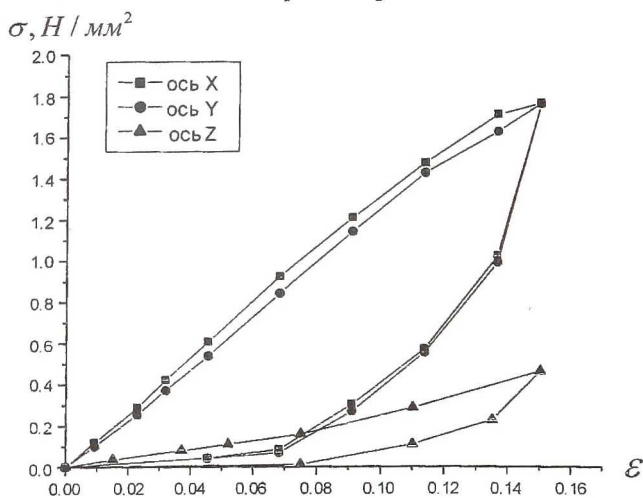


Рис.3. Упругофрикционные характеристики элемента из МР в виде прямоугольного параллелепипеда 22x22x13 мм (относительная плотность  $\bar{\rho} = 0.24$ ):  $\sigma$  - напряжение,  $\epsilon$  - относительная деформация

При работе на изгиб и сдвиг упругофрикционные характеристики элементов из МР близки к линейным (рис.5), следовательно, увеличения количества контактов при увеличении деформации практически не происходит. Соответственно, отношение жесткостей в направлении осей  $Z$  и  $X$  (или  $Y$ ) существенно зависит от амплитуды деформации, для малых амплитуд (0,5...1 мм) оно равно 1,5...2, при амплитуде деформации 5 мм достигает 5.

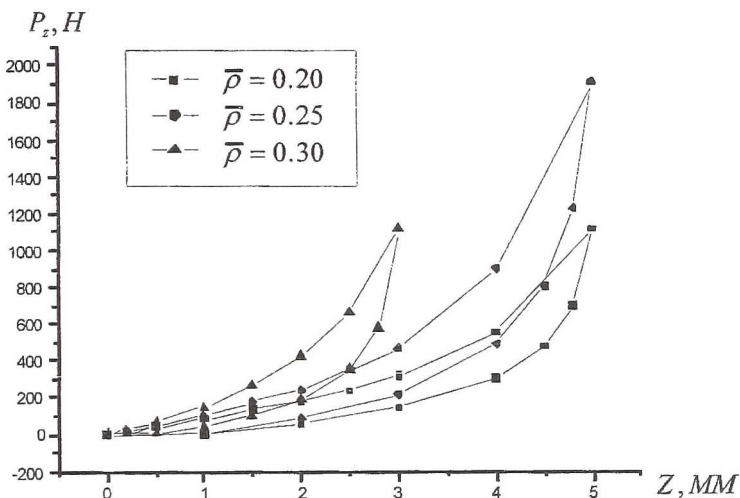


Рис.4. Упругофрикционные характеристики элементов из МР в виде втулки высотой 20 мм в направлении оси  $Z$  (сжатие)

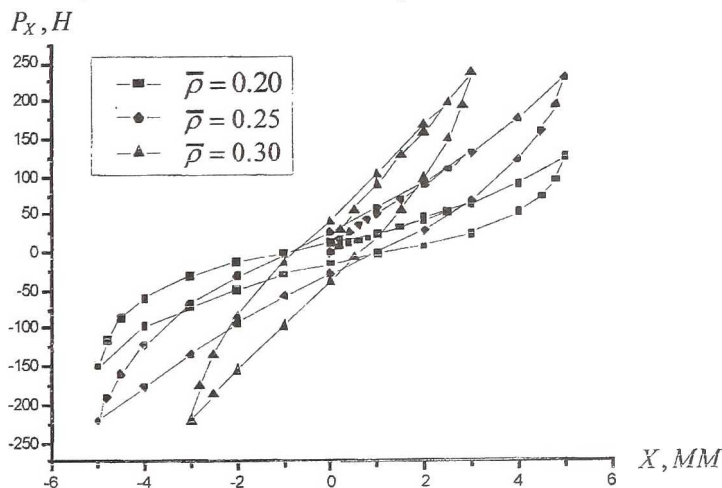


Рис.5. Упругофрикционные характеристики элемента из МР в виде втулки высотой 20 мм в направлении оси  $X$  (изгиб и сдвиг)



Чистый сдвиг (без изгиба) в материале МР реализуется в том случае, когда высота  $H_1$  элементов конструкции, передающих усилие в радиальном направлении (см. рис.1) близка к высоте упругодемпфирующего элемента  $H$ . При  $\bar{H} = 2H_1 / H = 0.5 \dots 1$  (рис.6) упругофрикционная характеристика втулочного элемента является жесткой, следовательно, при чистом сдвиге происходит образование новых контактов, хотя и не столь значительное, как при сжатии. При  $\bar{H} = H_1 / H = 0.16 \dots 0.33$  (рис. 7) упругофрикционная характеристика элемента является линейной или мягкой, следовательно, преобладают деформации изгиба. При этом жесткость элементов из МР существенно зависит от  $\bar{H}$ , уменьшаясь в 3 раза при изменении  $\bar{H}$  от 1 до 0,5, и в 1,5 раза при изменении  $\bar{H}$  от 0,33 до 0,16. При этом коэффициент пропорциональности мало зависит от амплитуды деформации.

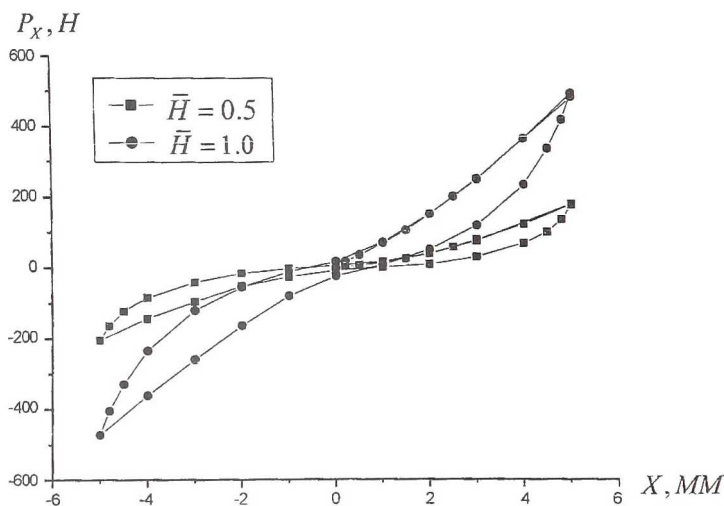


Рис.6. Упругофрикционные характеристики элемента из МР в виде втулки высотой 10 мм и относительной плотностью  $\bar{\rho} = 0.25$  в направлении оси  $X$

Чтобы выявить влияние нелинейности материала МР, при помощи программы ANSYS был произведен расчет жесткости втулок из линейного материала (стали) при воздействии радиальной силы, вызывающей изгиб и сдвиг. Жесткость стальной втулки высотой 10 мм в 4 раза больше жесткости втулки высотой 30 мм, и это соотношение сохраняется для линейного материала при любых амплитудах деформации. Для материала МР сходное соотношение имеет место при больших (4...5 мм) амплитудах деформации,

при меньших амплитудах оно существенно меньше (Рис.8). Меньшее, чем для стали, увеличение жесткости МР при уменьшении высоты втулки, можно объяснить скольжением витков относительно друг друга при сдвиге. В таком случае это скольжение значительно больше при меньших амплитудах деформации в радиальном направлении.

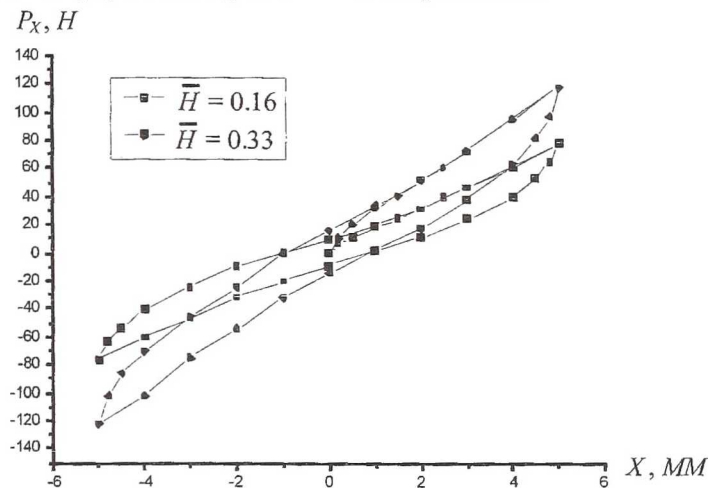


Рис.7. Упругофрикционные характеристики элемента из МР в виде втулки высотой 30 мм и относительной плотностью  $\bar{\rho} = 0.25$  в направлении оси  $X$

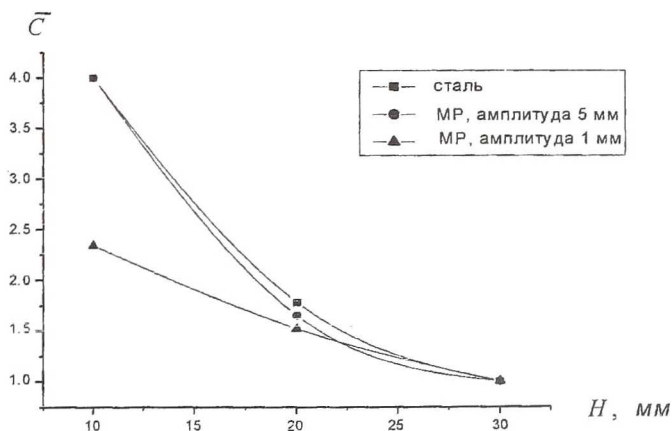


Рис.8. Относительная (разделенная на жесткость втулки высотой 30 мм) жесткость втулок из стали и МР при изгибе со сдвигом для различных амплитуд деформации в радиальном направлении

Проведенные исследования позволяют получить некоторые рекомендации для проектирования виброизоляторов из материала МР. Можно изменять в очень широких пределах (до 300 %) жесткость виброизолятора в радиальном направлении, изменяя относительную высоту элементов конструкции, передающих усилие в радиальном направлении.

Если требуется по возможности более линейная упругофрикционная характеристика виброизоляторов из МР (нелинейность ведет к зависимости резонансной частоты от амплитуды вибрационного возбуждения, неустойчивости колебаний и иным не всегда допустимым явлениям), то целесообразно проектировать виброзащитную систему так, чтобы виброизоляторы работали в радиальном направлении, и относительная высота элементов, передающих радиальное усилие, должна быть невелика.

Если разрабатывается виброзащитная система с большим количеством виброизоляторов из МР, работающих на сжатие, может оказаться целесообразным применение элементов из МР, работающих в направлении, перпендикулярном направлению силы прессования. Так как жесткость элементов в этом направлении существенно выше, требуемая общая жесткость системы будет достигнута при меньшем количестве элементов и, соответственно, меньшем весе системы, при сохранении требуемого коэффициента демпфирования. Однако требуются дополнительные исследования ресурса элементов из МР при нагружении их силой в этом направлении.

Проведенные исследования дают также информацию для построения модели деформирования материала МР при изгибе со сдвигом, которая должна отражать вышеуказанные особенности процессов деформации.

#### Список литературы

1. Тройников А.А., Барас С.Д. Физическая модель материала МР//Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев: КуАИ, 1989. С.117-126.
2. Шайморданов Л.Г. Моделирование демпфирования в материале МР//Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев: КуАИ, 1980. С.151-155.
3. Паровой Ф.В., Борисов В.А. Исследование кольцевых упругих элементов//Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. Куйбышев, КуАИ, 1985.