

УДК 629.7

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛА «МР» ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ЗНАЧИТЕЛЬНОМ НАГРУЖЕНИИ

© 2008 А. М. Уланов, Ю. К. Пономарев, Ф. В. Паровай

Самарский государственный аэрокосмический университет

Металлическая резина (МР) – анизотропный цельнометаллический материал для защиты от вибрации, обладающий высокими прочностью и демпфированием. Исследована способность этого материала сохранять свои свойства (жесткость и коэффициент рассеивания энергии) при воздействии кратковременной значительной нагрузки (сжатие в различных направлениях, растяжение, сдвиг). Результаты исследования позволяют рассчитывать системы вибрационной защиты на воздействие удара.

Металлическая резина, предел нагрузки, сжатие, растяжение, сдвиг, жесткость, демпфирование

Виброизоляторы из материала МР (МР – «Металлическая резина» - получается холодным прессованием проволоочной спирали) широко используются в виброзащитных системах [1]. Они имеют высокую прочность, высокий коэффициент рассеивания энергии, способны работать экстремальных условиях: в условиях высокой и низкой температуры, в агрессивной среде, вакууме, радиации и т.д. При работе виброизолятор подвергается как вибрационному, так и ударному нагружению. Есть исследования предела усталости материала МР при длительном нагружении [2]. Однако кратковременная ударная нагрузка может изменить параметры материала МР так, что он перестанет обеспечивать нужные для вибрационной защиты характеристики (жесткость и коэффициент рассеивания энергии). Нет никаких данных по предельным нагрузкам для материала МР, не считая очень общей рекомендации о нежелательности при сжатии в направлении прессования превышать силу прессования более чем на 30%. Предельные нагрузки в направлении, перпендикулярном направлению прессования, при сдвиге и растяжении ранее не исследовались.

Для проведения экспериментальных исследований использовались образцы из материала МР различной относительной плотности

$$\bar{\rho} = \frac{\rho_{MR}}{\rho},$$

где ρ - плотность материала проволоки (нержавеющей стали диаметром 0.1 мм)

ρ_{MR} - абсолютная плотность материала МР.

Материал подвергался сжатию в направлении прессования (ось X) с напряжением σ_X , в направлении, перпендикулярном направлению прессования (ось Y), с напряжением σ_Y , растяжению с напряжением σ_T и сдвигу с напряжением τ_S . Поскольку свойства материала МР значительно зависят от относительной плотности, которая определяется давлением прессования при изготовлении материала σ_{press} , все нагрузки были приведены к относительным значениям

$$\bar{\sigma}_X = \frac{\sigma_X}{\sigma_{press}},$$

$$\bar{\sigma}_Y = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{press}},$$

$$\bar{\sigma}_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{press}},$$

$$\bar{\tau}_T = \frac{\tau_S}{\sigma_{press}}$$

соответственно.

Методика исследования одинакова для всех направлений нагрузки. Определялась петля гистерезиса с амплитудой, соответствующей рабочим областям виброизолятора при вибрации (для сжатия в направлении осей X и Y, а также для сдвига эта амплитуда составляла 1 мм, для растяжения 2 мм), определялись соответствующие ей исходные значения жесткости C_0 (по углу наклона

линии, соединяющей вершины петли гистерезиса) и коэффициента рассеивания энергии ψ_0 (коэффициент рассеивания энергии $\psi = \frac{\Delta W}{W}$, где ΔW - площадь петли гистерезиса, W - максимальная потенциальная энергия деформированной системы).

Затем к образцу прикладывалась повышенная нагрузка. После ее снятия определялась петля гистерезиса с прежней амплитудой, а также изменившиеся значения жесткости C_1 и коэффициента рассеивания энергии ψ_1 . Рассчитывалось изменение этих параметров относительно исходных ($\bar{C} = \frac{C_1}{C_0}$ и $\bar{\psi} = \frac{\psi_1}{\psi_0}$ соответственно). Затем к образцу прикладывалась повышенная нагрузка со следующим значением, вновь контролировалась петля гистерезиса со стандартной амплитудой и так далее.

Сжатие в направлении оси X

Исследовались образцы в виде втулок с внешним диаметром 28 мм, внутренним диаметром 18 мм и высотой 15 мм. Втулки были установлены в виброизоляторе по схеме двухстороннего упора. Предварительная статическая деформация втулок составляла 10%. Относительное изменение коэффициента рассеивания энергии в исследованном диапазоне не превышает 5%, что сопоставимо с технологическими отклонениями при изготовлении виброизолятора и может не приниматься во внимание. Относительное изменение жесткости показано на рис. 1.

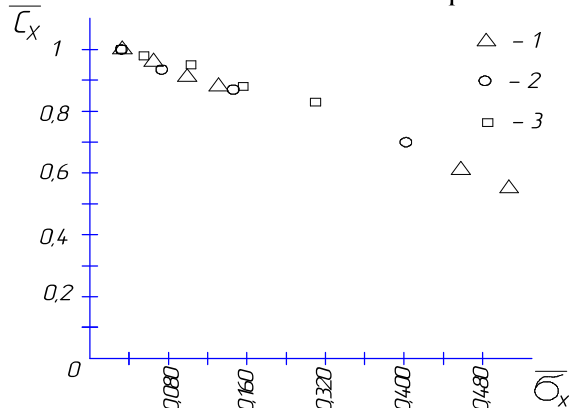


Рис. 1. Относительное изменение жесткости материала МР при сжатии в направлении оси X: 1 - $\bar{\rho} = 0,18$; 2 - $\bar{\rho} = 0,22$; 3 - $\bar{\rho} = 0,26$

Видно, что в относительных координатах оно не зависит от $\bar{\rho}$, а зависимость от нагрузки может быть представлена в виде

$$\bar{C}_x \approx 1,04 - 1,1\bar{\sigma}_x.$$

Нагрузке в 30% от силы прессования соответствует изменение жесткости виброизолятора также приблизительно на 30%. При не слишком жестких требованиях к стабильности резонансной частоты виброзащитной системы это действительно допустимо.

Растяжение

Исследовались образцы в виде колец с внешним диаметром 22 мм, внутренним диаметром 16 мм и шириной 7 мм, растягивавшиеся в плоскости кольца. Относительное увеличение коэффициента рассеивания энергии до значений нагрузки $\bar{\sigma}_T \leq 0,1$ не превышает 5%, достигая 15% только при таких нагрузках, при которых жесткость виброизолятора уменьшается вдвое, структура материала МР нарушается (из массива образца выделяются отдельные спирали), и виброизолятор очевидно неработоспособен. Относительное изменение жесткости показано на рис. 2.

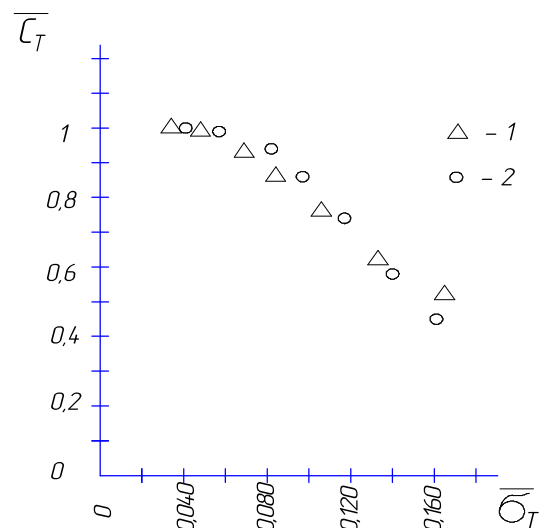


Рис. 2. Относительное изменение жесткости материала МР при растяжении: 1 - $\bar{\rho} = 0,21$; 2 - $\bar{\rho} = 0,25$

В относительных координатах оно также не зависит от $\bar{\rho}$, а зависимость от нагрузки может быть представлена в виде

$$\bar{C}_T \approx 1,02 - (\bar{\sigma}_T / 0,17)^2.$$

Сдвиг

Исследовались образцы в виде втулок с внешним диаметром 28 мм, внутренним диаметром 18 мм и высотой 15 мм. Две втулки были установлены симметрично. Предварительная статическая деформация втулок составляла 13,3% (2 мм), высота стенок чашек, в которых были закреплены втулки для сдвига, составляла 3 мм с обеих сторон, так что свободная высота втулки составляла 7 мм. Деформация сдвига достигала 7 мм, что соответствует относительной угловой деформации $\gamma = 1$. В пределах этого диапазона относительное увеличение коэффициента рассеивания энергии не превышает 10%. Относительное изменение жесткости показано на рис. 3.

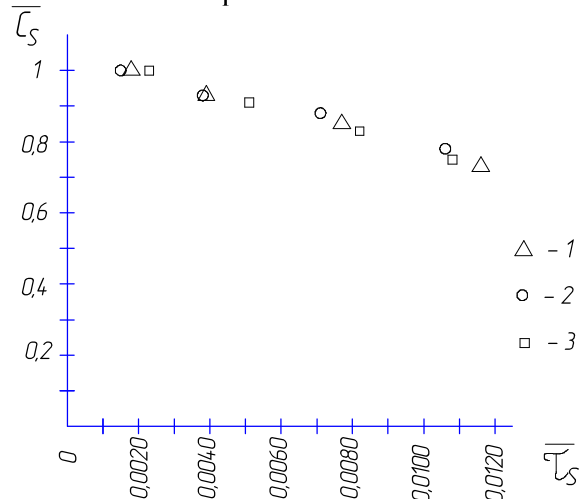


Рис. 3. Относительное изменение жесткости материала МР при сдвиге:
1 - $\bar{\rho} = 0,18$; 2 - $\bar{\rho} = 0,22$; 3 - $\bar{\rho} = 0,26$

В относительных координатах оно также не зависимо от $\bar{\rho}$, а зависимость от нагрузки может быть представлена в виде

$$\bar{C}_s \approx 1,05 - 25 \bar{\epsilon}_s.$$

Сжатие в направлении оси Y

Исследовались образцы в виде прямоугольных параллелепипедов размерами $X=10$ мм, $Y=20$ мм, $Z=14$ мм, то есть сечение одного сегмента при работе в направлении оси Y составляло 10×14 мм. Сегменты были установлены в чашки по схеме двустороннего упора (по три сверху и снизу), предварительная деформация составляла 5%. Относительное изменение жесткости показано на рис. 4.

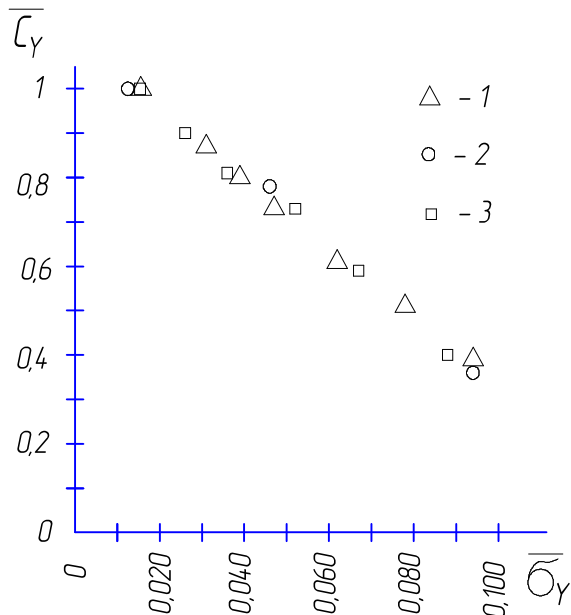


Рис. 4. Относительное изменение жесткости материала МР при сжатии в направлении оси Y:
1 - $\bar{\rho} = 0,18$; 2 - $\bar{\rho} = 0,21$; 3 - $\bar{\rho} = 0,24$

Здесь также наблюдается независимость от $\bar{\rho}$, а зависимость от нагрузки может быть представлена в виде

$$\bar{C}_Y \approx 1,12 - 8,1 \bar{\sigma}_Y.$$

Коэффициент рассеивания энергии в этом случае, в отличие от предыдущих, относительно стабилен (уменьшение до 7%) только до нагрузки $\bar{\sigma}_Y \leq 0,04$ (рис. 5), далее уменьшение может быть более значительным и зависит от $\bar{\rho}$.

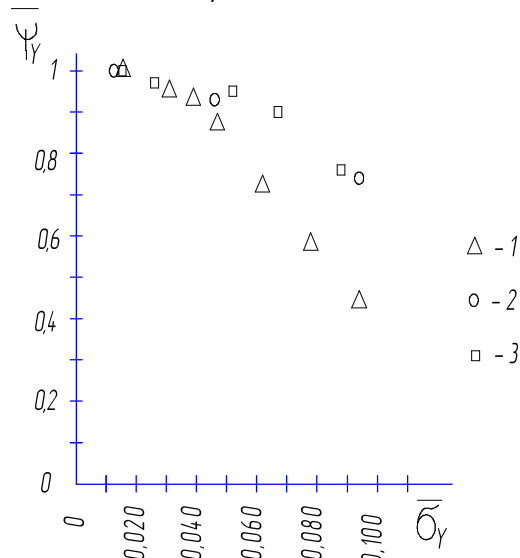


Рис. 5. Относительное изменение коэффициента рассеивания энергии материала МР при сжатии в направлении оси Y:
1 - $\bar{\rho} = 0,18$; 2 - $\bar{\rho} = 0,21$; 3 - $\bar{\rho} = 0,24$

Как и следовало ожидать, материал МР более стабилен при большей плотности.

Полученные результаты позволяют рассчитывать виброизоляторы из материала МР на работоспособность при действии повышенных нагрузок (что аналогично расчету на прочность). Видно, что наибольшие нагрузки материал МР способен выдержать в направлении прессования. Изменение жесткости виброизолятора на 20% происходит при нагрузке $0.22\sigma_{press}$, при сжатии в направлении оси X, и только $0.1\sigma_{press}$ при растяжении, $0.04\sigma_{press}$ при сжатии в направлении оси Y и $0.01\sigma_{press}$ при сдвиге. Это ограничивает применение материала МР в направлении оси Y (хотя в этом направлении значительно больше несущая способность материала МР) и при сдвиге (хотя в этом направлении петля гистерезиса материала МР близка к линейной).

Библиографический список

1. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Колтыгин Е.В. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР. - Самара: СГАУ, 1994.
2. Уланов А.М., Пономарев Ю.К. Предел усталости материала МР в различных условиях нагружения / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Том 10, № 3 (25).- 2008. - С. 849-852.

References

1. Chegodaev D.E., Mulyukin O.P., Kolytgin E.V. Design of working elements of machines and equipments made of elastic-porous MR material. Samara: Samara State Aerospace University, 1994. [In Russian]
2. Ulanov A.M., Ponomarev Yu.K. Limit of wearing of MR material for different loading. Izvestiya of Samara Science Center of Russian Acadimia of Science. Vol. 10, # 3 (25), 2008, pp. 849-852. [In Russian].

CHARACTERISTICS OF METAL RUBBER MATERIAL FOR LARGE SHORT-TERM LOADING

© 2008 A. M. Ulanov, Yu. K. Ponomarev, F. V. Parovay

Samara State Aerospace University

Metal Rubber is all-metal anisotropic material for vibration protection with high strength and damping. Ability of this material to keep its properties under high loading (compression in different directions, tension, shear) is researched in the present paper. Results of this research allows to calculate stability of vibration protection systems for shock loading.

Metal Rubber, limits of loading, compression, tension, shear, stiffness, damping

Информация об авторах

Уланов Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: alexulandov@mail.ru. Область научных интересов: защита от вибрации и удара, системы сухого трения, нелинейные колебания.

Пономарев Юрий Константинович, доктор технических наук, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: ponomarev-ssau@yandex.ru. Область науч-

ных интересов: защита от вибрации и удара, системы сухого трения, математические модели демпфирования.

Паровай Федор Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: parovai@mail.ru. Область научных интересов: виброизоляторы и уплотнения на основе материала МР, автоматизация изготовления материала МР.

Ulanov Alexander Michaylovich, Candidate of Engineering Science, associate professor of Aerospace Engines Design Department of Samara State Aerospace University. E-mail: alexulanov@mail.ru. Area of research: protection against shock and vibration, dry friction systems, non-linear vibration.

Ponomarev Yury Konstantinovich, Doctor of Engineering Science, professor of Aerospace Engines Design Department of Samara State Aerospace University. E-mail: ponomarevssau@yandex.ru. Area of research: protection against shock and vibration, dry friction systems, mathematic models of damping.

Parovay Fedor Vasilyevich, Candidate of Engineering Science, associate professor of Aerospace Engines Design Department of Samara State Aerospace University. E-mail: parovai@mail.ru. Area of research: sealing made of MR material, automatic manufacturing of MR material.