

УДК 629.7

СРАВНЕНИЕ РОССИЙСКИХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ИЗ ПРОВОЛОЧНЫХ ДЕМПФИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

© 2009 Ю.К. Пономарев, А.М. Уланов

Самарский государственный аэрокосмический университет,

Поступила в редакцию 09.10.2008

Впервые приведены результаты сравнения статических, динамических и ресурсных характеристик виброизоляторов из двух родственных упругодемпфирующих материалов, созданных в России и Германии, – материала МР (металлорезина) и тканого проволочного материала “spring cushion” (пружинная подушка).

Ключевые слова: виброизолятор, упругодемпфирующий материал, металлорезина, пружинная подушка

В 60-х годах прошлого века приблизительно одновременно и независимо друг от друга в СССР и Германии были разработаны два уникальных по своим свойствам материала. В Куйбышевском авиационном институте (ныне Самарский государственный аэрокосмический университет – СГАУ) был создан нетканый проволочный материал МР (металлорезина), в Германии – тканый проволочный материал, получивший короткое название “spring cushion” (пружинная подушка).

Благодаря высокому уровню демпфирования, в десятки раз превышающему рассеяние энергии в металлах и полимерах, высокую прочность, способности работать в условиях высокой и низкой температуры, в агрессивной среде и вакууме, на основе материала МР в КуАИ-СГАУ создан комплекс уникальных виброизоляторов и демпферов, с помощью которых в СССР, а, впоследствии, в России решены вибрационные проблемы на космических кораблях “Союз”, “Энергия”, “Буран”, авиационных двигателях большинства отечественных авиаконструкторов, на шести плавающих электростанциях “Северное сияние” с газотурбогенераторами ГТГ-12, на новых магистральных тепловозах “Пересвет” и “Витязь” серийно выпускаемых Брянским машиностроительным заводом.

Материал МР [1, 2] представляет собой пористую металлическую структуру, получаемую путем холодного прессования заготовки из хаотически уложенной проволочной спирали в детали требуемых форм и размеров.

В качестве исходного материала для изготовления МР применяется тонкая металлическая проволока различных марок. Марка проволоки определяется условиями работы детали из ма-

териала МР: температурным режимом, наличием агрессивной среды, характером приложения нагрузок. В условиях эксплуатации, исключающих коррозию, и при работе в температурном режиме окружающей среды (213...333 К) обычно применяется проволока марок 35ХГСА, 50ХФА и пр., при высоких температурах и агрессивных средах – из аустенитных нержавеющей сталей типа 11Х18Н10Т, ЭИ-708, ЭП- 322. Диаметр используемой проволоки определяется размерами изготавливаемой детали, требованиями к ее механическим (прочностным) свойствам. В большинстве случаев используется проволока диаметром от 0,03 до 0,3 мм.

Процесс навивания спирали осуществляется пластическим деформированием проволоки на вращающемся керне при обкатывании его роликом на специальных станках для навивки спирали [3]. Диаметр спирали определяет упругие и демпфирующие свойства элемента и лежит практически в пределах от 0,2 до 2,0 мм. После навивания спираль растягивается до шага, равного ее диаметру, и укладывается равномерным слоем в ковер. После этого ковер сворачивается в заготовку упругодемпфирующего элемента, как правило, втулочного типа.

Прессование заготовок упругодемпфирующего элемента происходит в пресс-формах простейшего вида [4], состоящих из корпуса 1 с отверстием, в которое с двух сторон устанавливаются пуансоны 2, между которыми закладывается заготовка упругодемпфирующего элемента (рис. 1).

Производимый немецкой фирмой “Stop-Choc” тканый проволочный материал “spring cushion” [5, 6] применяется в США, Германии, Англии, Франции, Италии, Японии и других странах. Заготовкой для него является тканая проволочная структура, получаемая на специальных ткацких станках в виде плетеного чулка (рис. 2).

В дальнейшем из чулка получают плоскую

Пономарев Юрий Константинович, доктор технических наук, профессор

Уланов Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: alexulanov@mail.ru.

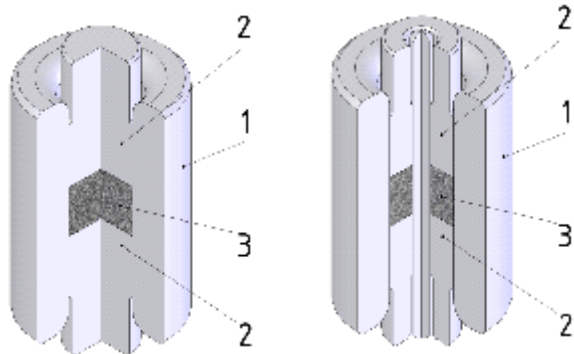


Рис. 1. Процесс прессования упругодемпфирующих элементов

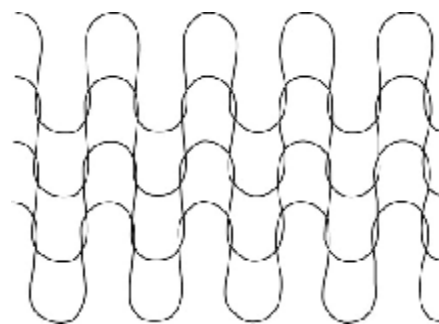


Рис. 2. Внешний вид плетеного чулка

ленту, наматываемую на специальные бобины, с которых через систему выпрямляющих и измерительных роликов она поступает на намоточные устройства, установленные на поворотном столе. На этих намоточных устройствах получают цилиндрические заготовки втулок. По сигналу с измерительных роликов плетеная проволоочная лента отрубается необходимой длины. Далее поворотный стол поворачивается на 90°, на намотанной заготовке втулки осуществляется заделка конца ленты путем сварки, пайки или скобами, втулка взвешивается с целью контроля ее плотности и корректировки последующих заготовок. Параллельно с предыдущим вышеописанным этапом, на одном из намоточных устройств производится намотка следующей заготовки втулки. Снятая с поворотного стола заготовка втулки поступает по конвейеру на прессование. Вышеописанным способом получают втулки

больших размеров [7]. Для получения втулок малых размеров фирмой “Stop-Choc” разработан технологический процесс, схема которого показана на рис. 3 [8].

Из проволоки 1 получают тканый чулок 2 (рис. 3,а), затем его сплющивают в плоскую ленту 3 двойной толщины. Затем отрезают участок 4 необходимой длины, который сворачивают либо поперек (5), либо вдоль (6) проволоочных петель. Сворачивание участка чулка 9 осуществляется в пресс-форме (рис. 3,б) путем радиального прессования в матрице 10 пуансоном 8 с применением опорного пальца 7. В процессе радиального прессования происходит самосцепление кромок тонкостенной тканой ленты 11 и 12.

Далее цилиндрическая двухслойная тканая оболочка 16 (рис. 3,в) закладывается в пресс-форму, состоящую из матрицы 18, пуансонов 13 и 14, и центрального стержня 15, где происходит ее пресс-

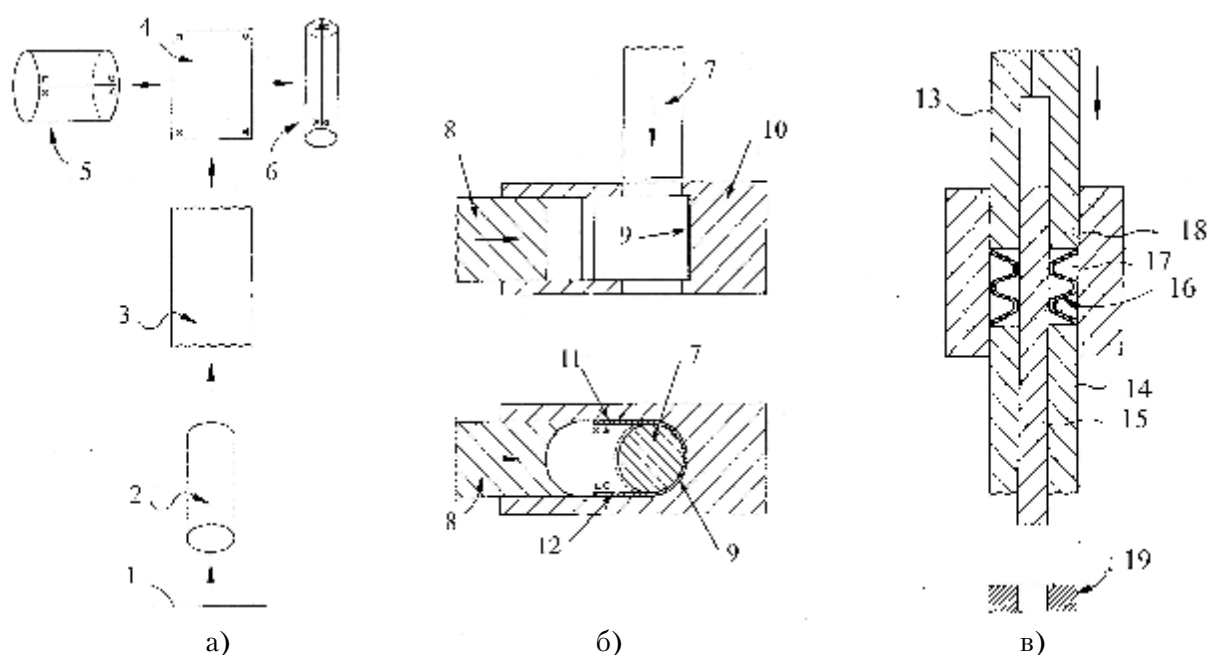


Рис. 3. Схема технологического процесса получения малогабаритных втулок, разработанного фирмой “Stop-Choc”

сование с прогнозируемой потерей устойчивости 17, при этом осуществляется зигование оболочки. В результате получаются втулки 19, используемые для комплектования виброизоляторов.

Изготовление “spring cushion” допускает большую степень автоматизации. Материал МР, хотя и имеет большую долю ручного труда при укладке спирали в заготовку, обладает дополнительной упругостью витков спирали, работающих как множество малых пружин, что увеличивает упругость материала и его несущую способность. Представляет интерес всестороннее сравнение характеристик виброизоляторов из отечественного и зарубежного проволоочных материалов.

В настоящей работе сравнивались образцы из материала МР и “spring cushion” втулочного типа, изготовленные из одинаковой проволоки диаметром 0,2 мм, с одинаковым внешним диаметром 39 мм и внутренним 15 мм, высотой 20 мм, одинаковой относительной плотностью

$$\bar{\rho} = 0,3 \left(\bar{\rho} = \frac{\rho_{MR}}{\rho_S} \right), \text{ где } \rho_{MR} - \text{плотность проволоочного материала, } \rho_S - \text{плотность стали,}$$

одинаковой предварительной деформацией 1,5 мм.

Как и ожидалось, жесткость материала МР существенно выше, чем у “spring cushion” (рис. 4, 5). Свойства обоих материалов существенно отличаются в направлении прессования (по оси втулки) и перпендикулярно направлению прессования (по радиусу втулки). Различия статических жесткостей в осевом и радиальном направлениях у обоих материалов одинаково (приблизительно в 1,7 раза).

Результаты динамических экспериментов представлены в табл. 1. Поскольку упругодемпфирующие элементы имеют нелинейные характеристики, зависящие от амплитуды, сравнительные эксперименты проводились при различ-

ных значениях входного вибрационного ускорения W . Определялись резонансная частота f_0 и амплитуда деформации виброизолятора a . Значение коэффициента рассеивания энергии ψ определялось по коэффициенту передачи на

$$\text{резонансе } \eta_0, \text{ принято } \psi \approx \frac{2\pi}{\eta_0}.$$

Таким образом, материал МР имеет существенно более высокую несущую способность. При сходных резонансных частотах (около 60 Гц) виброизолятор из МР имеет нагрузку 15 кг, виброизолятор из “spring cushion” 3,6 кг, в 4 раза меньше.

Материал МР имеет несколько более высокий коэффициент рассеивания энергии (при амплитуде 0,4 мм $\psi = 2,24$ по сравнению с $\psi = 1,74$ у “spring cushion”). Причем с ростом амплитуды деформации значение ψ у материала МР растет, у “spring cushion” оно уменьшается.

Вследствие случайной укладки спирали, структура материала МР более равномерна, что ведет к меньшему изменению свойств виброизолятора при изменении внешнего воздействия. При увеличении амплитуды действующего виброускорения вдвое, резонансная частота виброизолятора из МР меняется на 6...20%, виброизолятора из “spring cushion” – на 20... 30%.

Поскольку статические и динамические свойства виброизоляторов из МР и “spring cushion” оказались слишком различны, для сравнения ресурса был изготовлен виброизолятор из МР, эквивалентный виброisolatorу из “spring cushion” по несущей способности (резонансная частота 39 Гц при нагрузке 5,8 кг и амплитуде входного вибрационного ускорения 20 м/с²). Он имел относительную плотность $\bar{\rho} = 0,22$ и вес упругодемпфирующих элементов только 35 граммов против 48 граммов “spring cushion”. Значение коэффициента рассеивания энергии ψ у

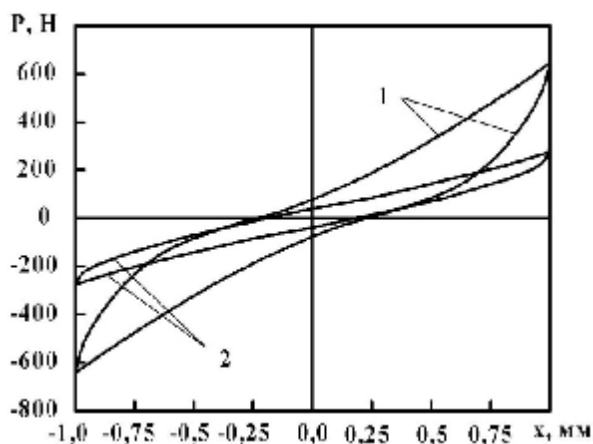


Рис. 4. Статические характеристики в осевом направлении: 1 – МР; 2 – “spring cushion”

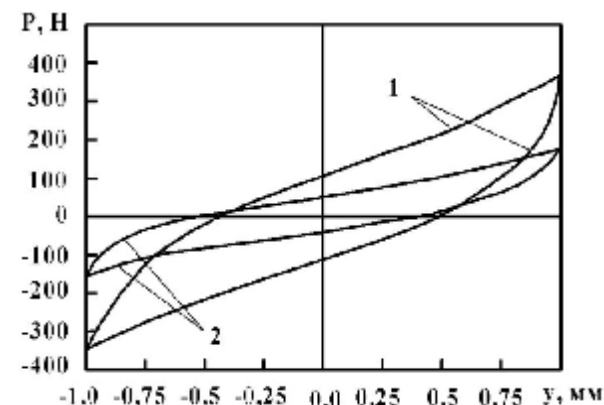


Рис. 5. Статические характеристики в радиальном направлении: 1 – МР; 2 – “spring cushion”

Таблица 1. Результаты динамического эксперимента

Материал	М, кг	Направление нагружения	W , м/с ²	f_0 , Гц	ψ	a , мм
MP	5	Осевое	10	150	1.34	0.053
			20	124	1.70	0.122
		Радиальное	10	101	1.57	0.10
			20	95	2.02	0.17
	15	Осевое	10	60	1.69	0.26
			20	57	2.24	0.43
"Spring cushion"	5	Осевое	10	48	1.74	0.4
			20	40	1.34	1.4
		Радиальное	10	36	1.74	0.70
			20	28	1.85	2.2
	3.6	Осевое	10	67	1.74	0.20
			20	53	1.57	0.73

Таблица 2. Результаты ресурсного эксперимента

Материал	W , м/с ²	Число циклов N	0	21000	42000	63000	105000	147000	189000
"Spring cushion"	20	f_0 , Гц	38.5	37	37	37	37.5	37	37
	10	f_0 , Гц	46	47	43	40	39	37	36
	20	ψ	1.33	1.43	1.43	1.45	1.45	1.48	1.52
	10	ψ	1.80	1.59	1.50	1.50	1.43	1.39	1.36
MP	20	f_0 , Гц	39	38	38	37	35	34	32
	10	f_0 , Гц	47	45	44	43	41	39	36
	20	ψ	2.30	2.26	2.30	2.32	2.30	2.30	2.26
	10	ψ	1.80	1.80	1.83	1.87	1.90	1.93	2.00

эквивалентного виброизолятора из MP составляет 2,3 при амплитуде входного вибрационного ускорения 20 м/с² и 1,8 при амплитуде входного вибрационного ускорения 10 м/с², у виброизолятора из "spring cushion" эти значения равны 1,3 и 1,8 соответственно.

Ресурсный эксперимент проводился на частоте 35 Гц при амплитуде деформации 2,5 мм и нагрузке 5,8 кг. Периодически контролировались резонансная частота f_0 и значение ψ при амплитуде вибрационного ускорения 20 и 10 м/с². Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Ресурс виброизоляторов из MP и "spring cushion" приблизительно одинаков. Однако параметры виброизоляторов меняются различным образом. Виброизолятор из MP сохраняет приблизительно постоянное значение ψ в течение всего ресурса, уменьшается только резонансная частота. У виброизолятора из "spring cushion" резонансная частота на больших (более 1,5 мм) амплитудах деформации за все время работы уменьшилась только на 4%, значение ψ увеличилось на 15%. Однако при малых амплитудах деформации (0,4...0,8 мм) уменьшение резонансной частоты составило 27%, а значение ψ

уменьшилось на 31%. Вероятно, износ проволок в MP и "spring cushion" происходит различным образом, этот вопрос нуждается в дополнительном исследовании.

Таким образом, несмотря на значительную долю ручного труда при производстве материала MP, он обладает большей несущей способностью. Поэтому для защиты объекта можно применять меньшее количество виброизоляторов, или упругодемпфирующие элементы меньшего размера. Это экономит дорогостоящую проволоку из нержавеющей стали и детали конструкции виброизолятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Колтыгин Е.В. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала MP. Самара: СГАУ, 1994.
2. А. с. № 183174 СССР, МПК В21F 21/00. Способ изготовления нетканого материала MP из металлической проволоки / Соيفер А.М., Бузицкий В.Н., Першин В.А.; Заявл. 27.07.60; Опубл. 17.06.66.
3. А. с. № 136608 СССР, кл.47 а,8. Упругий элемент для систем демпфирования /А.М. Соифер, В.Н. Бузицкий, В.А. Першин; Заявл. 27.07.60; Опубл.09.10.61.

4. А. с. № 1333596 СССР, МКИ В30В 11/02/Пресс-форма/*Тройников А.А., Барас С.Д.*/ Заявл. 04.11.85, опубл. 30.08.87, БИ № 32.
5. *Vibration and Shock Handbook*. L.: Hutchinson, 2000. – 240 pp.
6. Пат. ЕР0838283 Германия, МКИ⁴ В21F27/02; В21F27/16; В21F27/00; (IPC1-7): В21F27/16. Spring cushion/*Ottmar Horst, Helldoerfer Thomas, Kranzler Guenther*. – заявлено 29.04.98.
7. Пат. DE10106595A1 Германия, МКИ⁴ В21F45/00; В23P13/00; D04B1/22; D04B21/20. Method for the production of a tubular intermediate-product from spring steel material/*Jörg Habisreiting*er. – заявлено 09.02.01; опубл. 22.08.02.
8. Пат. ЕР1231000 Германия, МКИ⁴ В21F33/00; В21F33/00D; В21F45/00. Method for the production of a tubular intermediate-product from spring steel material/*Jörg Habisreiting*er. – заявлено 14.08.02.

A COMPARISON OF RUSSIAN AND FOREIGN VIBRATION ISOLATORS MADE OF WIRE DAMPING MATERIALS

© 2009 Yu.K. Ponomarev, A.M. Ulanov

Samara State Aerospace University

Results of comparison of static, dynamic and life-time characteristics of vibration isolators made of elastic-damping wire materials MR (“Metal Rubber”) and “spring cushion” developed in Russia and Germany are presented for the first time.

Key words: vibration isolator, elastic-damping wire materials, Metal Rubber, spring cushion.