

компрессора возрастает в 3,5 раза ($d_p = 46,1$; $d_G = 13,1$).

Представляло интерес решение задачи по уменьшению объема экспериментов при снятии характеристики компрессора, сохраняя при этом точность оценки его параметров неизменной. Для равномерного плана эксперимента, используемого на предприятии, дисперсия оценки параметров π_K^* и $G_{в.пр}$ в расчетной точке равна 16,4 (при прогнозировании данных параметров в области $n_{пр} = 37...99\%$ и $G_{в.пр} = 0,95...6,2$ кг/с дисперсия равна 46,1). Применение G-оптимального плана позволяет при прогнозировании параметров компрессора в расчетную точку ($n_{пр} = 99\%$ и $G_{в.пр} = 6,2$ кг/с) уменьшить количество потребных опытов в $N_p/N_G = 86/11 \approx 8$ раз. При прогнозировании в область $n_{пр} = 37...99\%$, $G_{в.пр} = 0,95... 6,2$ кг/с объем потребных опытов уменьшается в $N_p/N_G = 86/48 \approx 1,8$ раза.

Таким образом, применение G-оптимального планирования эксперимента позволяет:

- уменьшить погрешность оценки параметров;
- уменьшить объем экспериментов при неизменной точности оценки.

Список литературы

1. Гишваров А.С. Оптимальное планирование экспериментов в задачах прогнозирования надежности ГТД/Сб.тр. АН РБ “Проблема машиноведения, конструкционных материалов и технологий”. Уфа, Гилем, 1997.
2. Налимов В.Н., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. М., «Металлургия», 1981.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА МР ПРИ ОБЪЕМНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Паровой Ф.В., Кузнецов Д.Ю., Котов А.С.,

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Цзян Хунюань, Ся Юйхун, Янь Хуэй

Харбинский политехнический институт, г. Харбин, КНР

Разработанный в 60-х годах нетканый проволочный материал МР (металлическая резина) [1] в настоящее время получил широкое распространение в технике и постоянно расширяет области применения.

В совместной Российско-Китайской лаборатории, развернутой на базе Харбинского политехнического института (КНР) при участии

специалистов Самарского государственного аэрокосмического университета продолжают исследования характеристик материала МР и изделий из него.

Процесс изготовления деталей из упруго-демпфирующего пористого материала МР включает операции формирования заготовки из растянутой проволоочной спирали и прессование полученной заготовки в пресс-форме, задающей геометрию поперечного сечения получаемой детали. Например, для образца, представленного на рис. 1, направлением прессования будем

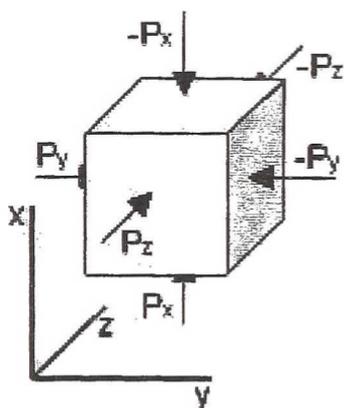


Рис. 1. Характер нагружения образца из МР

считать ось x , а размеры y и z будут задаваться геометрией пресс-формы. При формировании образца в процессе прессования основной определяющей нагрузкой будет сила прессования P_x . Силы P_y и P_z являются следствием взаимодействия образца с боковыми поверхностями пресс-формы. Нагрузки, действующие на образец в направлении осей x , y и z , как и свойства материала МР в этих направлениях, различаются. В направлении прессования (ось x) упруго-деформационные характеристики МР более благоприятны для создания виброизоляторов и

уплотнений: выше область упругой деформации, меньше усадка [2].

В большинстве конструкций современных виброизоляторов из материала МР (таких, как виброизоляторы семейств ВВ, АЦВ) упруго-демпфирующие элементы работают в условиях одноосного сжатия (P_y и P_z равны 0) или при одноосном сжатии в комбинации с изгибом или сдвигом (семейства АК, АМГ, ДК). Для таких схем нагружения получено также основное количество экспериментальных данных в проведенных ранее исследованиях [1-4]. Использование упругих элементов из материала МР в контактных уплотнениях по характеру нагружения близко к объемному сжатию, характерному для прессования деталей из МР. Исследования упруго-деформационных характеристик материала МР при объемном сжатии связаны, в основном, непосредственно с процессом прессования.

В рамках настоящего исследования была поставлена задача получить зависимости упруго-деформационных характеристик материала МР от плотности и технологических параметров изготовления материала при объемном нагружении образцов.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена установка, способная нагружать исследуемый образец из МР одновременно в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Основная нагрузка вдоль оси x в диапазоне $0 \dots 10$ кН и боковая нагрузка (ось y) до 5 кН контролируются динамометрами с одновременным контролем перемещений с точностью до $0,01$ мм. Схема установки для исследования представлена на рис.2. Неподвижными элементами установки, участвующими в процессе нагружения образцов, являются боковые стенки 1 и правый (по схеме на рис.2) горизонтальный пуансон 2. Верхний пуансон 3 свободно перемещается в направляющих. Нижний пуансон 4 перемещается свободно в горизонтальном направлении, а вертикальную нагрузку передает через линейный подшипник качения 5. Боковой пуансон 6 совершает сложное плоско-параллельное движение: горизонтальным перемещением он сжимает образец и одновременно перемещает нижний пуансон 4, в вертикальном направлении он отслеживает перемещения пуансона 3. Для этого он связан с горизонтально перемещающейся обоймой 7 через линейный подшипник качения 8, а снизу поджат пружиной 9. Свободные перемещения подвижных элементов установки в направляющих и подшипниках обеспечивались тщательной подгонкой отдельных элементов при сборке. Погрешность измерения вертикального усилия, действующего на образец составляется из сил трения верхнего и бокового пуансонов о стенки, силы трения в подшипнике качения 8, силы сжатия пружины 9, силы трения скольжения между пуансонами 6 и 4 и силы трения скольжения пуансона 6 по своей вертикальной направляющей (большой зазор между пуансоном и направляющей позволяет считать эту силу равной нулю). Из этих нагрузок только одна пересекает действующую горизонтальную силу – сила трения между пуансоном 6 и обоймой 7. В этом месте для снижения трения установлен подшипник качения. Общие силы, связанные с трением в установке, оцениваются величиной не более $1 \dots 2$ % нагрузки.

В качестве образцов использовались упругие элементы из МР в форме прямоугольных параллелепипедов с соотношением сторон 15 (в направлении прессования, ось x) $\times 25$ (y) $\times 15$ (z). Образцы монтировались в установку с ориентацией направления нагружения x вдоль направления прессования. Размер образца в направлении y выдерживался на уровнях $25, 20, 18, 16, 15, 14, 13$ мм при контролируемой нагрузке. При каждом из установленных размеров y снималась упругая характеристика нагружением в направлении x до минимальной высоты образца 12 мм.

E_{np} – модуль упругости материала проволоки.

Эта зависимость удобна для описания деформации упругих элементов из материала МР, работающих при постоянном или периодическом обжатии, например, таких как упругие элементы уплотнений или уплотнительные прокладки, хотя и не позволяет учесть гистерезис (рассеивание энергии или внутреннее трение).

Характерный вид полученных деформационных зависимостей для образцов показан на рис.3. С увеличением деформации по оси y вместе с ростом относительной плотности образца растет и его жесткость.

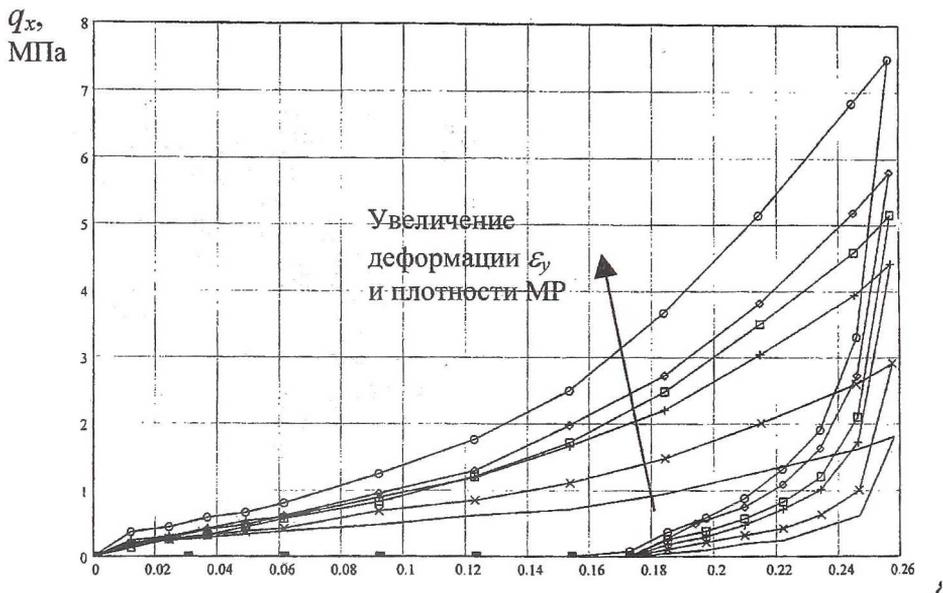


Рис.3. Экспериментально полученные характеристики деформации образца из МР при различном сжатии по оси y

Процесс деформирования образцов из МР сопровождается трением: поверхностным о стенки пресс-формы или установки и внутренним между отдельными проволочками, составляющими структуру материала. Внутреннее трение характеризует рассеивание энергии внутри материала и используется для гашения энергии колебаний в виброизоляторах. Для упруго-гистерезисных элементов из МР это трение достаточно хорошо изучено и является функцией многих переменных, в том числе параметров спирали и характера укладки ее в заготовку.

Для определения сил трения между стенками установки (пресс-формы при прессовании) проведены исследования [8], позволяющие

получить деформационные характеристики материала в чистом виде, отфильтровав от полученных результатов силы трения.

По полученным характеристикам находились параметры жесткости A и упругости α материала МР.

В результате исследований установлены зависимости основных механических характеристик материала МР от его относительной плотности (рис.4). Параметр жесткости материала \bar{A} зависит от плотности в большей степени, чем параметр упругости α , который в диапазоне относительной плотности от 0,14 до 0,4 составляет для практически всех образцов величину $2 \pm 0,7$.

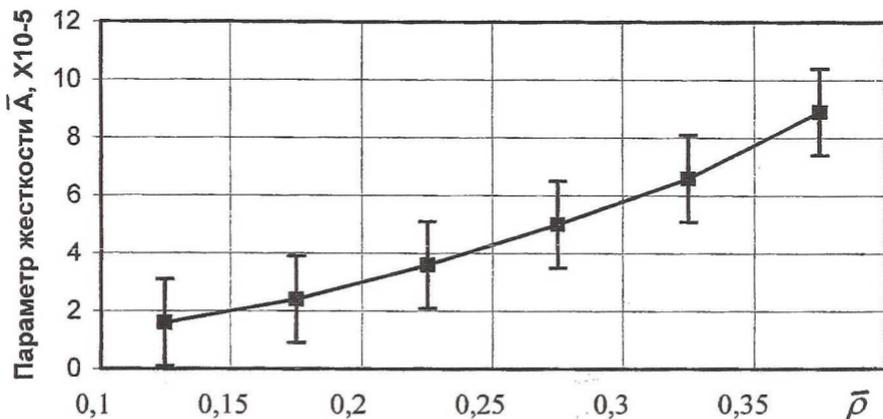


Рис.4. Зависимость параметра жесткости МР \bar{A} от относительной плотности материала

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

1. Варьируя плотность или нагрузку материала МР в одном направлении, можно добиться изменения его характеристик в другом направлении.
2. Деформирование образцов в направлении, перпендикулярном направлению приложения основной нагрузки, приводит к изменению плотности материала и соответствующему изменению жесткостных характеристик.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке уплотнений и других устройств с элементами из материала МР, обеспечивающих возможность регулирования механических свойств в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Чегодаев Д.Е., Мулюкин О.П., Колтыгин Е.В. Конструирование рабочих органов машин и оборудования из упругопористого материала МР: Учеб.-справ. пособие. В 2-х ч. – НПЦ «Авиатор»: Самара, 1994. В 2-х частях. Ч.1 – 156 с., Ч2-100 с.
2. Белоусов А.И., Тройников А.А. Определение упруго-фрикционных характеристик изделий из материала МР для систем виброзащиты ГТД//Проектирование и доводка авиационных газотурбинных двигателей: Межвуз. сб. науч. тр. Куйбышев: КуАИ, 1985. с.3-7.
3. Белоусов А.И., Бузицкий В.Н., Тройников А.А. Прогнозирование упругофрикционных характеристик амортизаторов из материала МР//Конструкционная прочность двигателей: Тез. докл. Всесоюз. конф. Куйбышев: КуАИ, 1980. С. 14-15.
4. Борисов В.А., Паровай Ф.В. Релаксация напряжений в уплотнениях с упругими элементами из материала МР// Исследование гидростатических опор и уплотнений двигателей летательных аппаратов: Межвуз. темат. сб. науч. тр. Харьков: ХАИ. 1986. С. 60-63.
5. Паровай Ф.В., Борисов В.А. Исследование релаксационных характеристик материала МР//Вестник Самар. гос. аэрокосм. ун-та. Серия: Проблемы и перспективы развития двигателестроения – Самара: СГАУ, 1999.-С.224-229.
6. Борисов В.А., Паровай Ф.В. Исследование усадки изделий из МР при циклических нагрузениях//Доклады Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти Генерального конструктора аэрокосмической техники академика Н.Д. Кузнецова 21-22 июня 2001 г.- Самара, 2001. – С. 50-55.
7. Борисов В.А., Паровай Ф.В. Деформационные характеристики упругих элементов из проволочного материала МР при сжатии/ В сб.: Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе. Доклады международной научно-техн. конф. Самара, СГАУ, 1997. с.8-11.
8. Исследование фрикционных и электротехнических характеристик изделий из МР. Отчет о НИР по теме «Повышение надежности авиационного и наземного транспорта с использованием изделий из материала МР». – Шифр темы 62в-Б038-001, Рук. Темы Ф.В. Паровай. Самара, СГАУ, 1998 г. – 29 с.