

УДК 620.1.05

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРОВ

© 2015 Ю.В. Коровкин¹, А.Я. Минаев¹, Г.В. Степанов²

¹ Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, г. Москва

² Государственный НИИ химии и технологии органических соединений, г. Москва

Поступила в редакцию 24.02.2015

Создание электропроводящих магнитоэологических эластомеров позволяет при воздействии магнитного и электрического поля в исследуемых материалах генерировать сжатие и растяжение материала, что даёт возможность использовать их в качестве активных демпферов в виброизолируемых конструкциях, а также в качестве элементов робототехники.

Ключевые слова: электропроводящие магнитоэологические эластомеры, сжатие, растяжение, магнитное поле, электрическое поле, активный демпфер, робототехника

В связи с перспективными разработками новых так называемых смарт- или интеллектуальных материалов – магнитоактивных эластомеров возникают новые широкие возможности их использования в различных областях современной техники. Теоретическое моделирование свойств магнитных эластомеров проводилось в работах [1, 2]. Магнитоактивные эластомеры позволяют изменять динамические характеристики данного материала с помощью интенсивности воздействия магнитных полей на материал. Динамические характеристики данного класса материалов исследовались с помощью опытных образцов, предоставленных ФГУП ГНИ-ИХТЭОС. Ниже будет показано, что данный класс материалов характеризуется изменением динамических свойств, т.е. смещением резонансных характеристик в область более высоких частот при усилении воздействий магнитных полей. Экспериментальные исследования вибрационных свойств создаваемых материалов осуществлялось с помощью модернизированного испытательного оборудования с программным обеспечением для аналитической обработки, хранения и отображения результатов испытаний на компьютере. В состав испытательного оборудования-комплекса входит особым образом связанная система вибрационного, ударного и

измерительного оборудования, позволяющая создавать с помощью виртуальных приборов и записывать на компьютер воздействие различных по своим динамическим характеристикам типов или видов колебаний и ударов на испытуемый образец. Характеристики возбуждаемых колебаний и ударов выбираются с помощью специальных устройств и приспособлений, создавая как реальную, так и более сложную модель эксплуатации испытуемого изделия [3].

Исследуемые образцы закрепляются на столе вибровозбудителя [4]. Здесь же рядом с опорной частью образца закрепляется один из вибродатчиков – пьезоакселерометр, используемый в качестве опорного сигнала, регистрирующего колебания на входе образца. Другой вибродатчик установлен на верхней части образца для регистрации сигналов на выходе. Сигналы, поступающие от датчиков, передаются в усилители заряда, далее на блок питания и на вход АЦП. Выход АЦП подключён к USB входа компьютера. Для работы с находящейся в компьютере звуковой картой установлена программа ScV1.21, содержащая виртуальный генератор. Выход звуковой карты подключается к входу усилителя для управления частотой, амплитудой и формой колебаний стола вибратора с образцом. Виртуальный цифровой генератор может формировать сигналы различной формы и работает в диапазоне частот от нескольких герц до 10 кГц. В работе показаны широкие возможности использования виртуальных приборов на основе программы LabVIEW. Стенд позволяет проводить испытания с возможной амплитудой измеряемых ускорений до 1000 м/сек². Амплитуда сигналов на выходе виртуального генератора до звуковой карты компьютера изменяется от 0,2 В

Коровкин Юрий Викторович, старший научный сотрудник. E-mail: yurkor9175345782@yandex.ru

Минаев Андрей Янович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: minaev_mashsport@list.ru

Степанов Геннадий Владимирович, начальник лаборатории. E-mail: gstepanov@mail.ru

до 1,0 В. Усилитель мощности передаёт напряжение на катушку питания вибратора до 2,5 В. Формы задаваемых сигналов могут быть синусоидальными, треугольными, прямоугольными, пилообразными. Число датчиков измерительных каналов до 16. Вес испытуемых изделий до 5 кг. На рис. 1 показан фрагмент лабораторного стенда с вибратором и записью сигналов на экране компьютера.



Рис. 1. Фрагмент лабораторного стенда

На столе вибратора вибродатчик измеряет входящие – $A_{вх}$ амплитудно-частотные характеристики. Поглощаемая в результате внутреннего трения в образце вибрация измеряется на выходе образца – $A_{вых}$. На рис. 2 показаны образцы магнитоактивных эластомеров, установленные на столе вибростенда. В данной серии испытаний на вибростенде воспроизводился синусоидальный сигнал с плавной развёрткой частоты от 20 до 450 Гц. Величина возбуждения на столе вибратора была постоянной и составляла 4,1

м/сек², что соответствовало 0,5 В на выходе звуковой карты компьютера. Была проведена серия экспериментов по определению результатов воздействия магнитных сил различной величины на сдвиг резонансных частот в образце в более высокочастотную область. Максимальная сила воздействия (притяжения образца) составляла 14,5 Н.



Рис. 2. Образцы магнитоактивных эластомеров с оснасткой

На рис. 3 показаны записи входных синусоидальных сигналов – $A_{вх}$ на столе вибратора, т.е. на входе образца на частоте колебаний на резонансных частотах 75-80 Гц. На рис. 3 они располагаются в диапазоне от 0 до -12,5 В. Сигналы, записанные на выходе – $A_{вых}$ эластомера показаны в виде резко выросших синусоидальных сигналов. На данной частоте колебаний образца регистрировался максимальный рост колебаний на выходе $A_{вых} \gg A_{вх}$. Ускорения на частотах колебаний 75-85 Гц выросли более, чем в 4 раза.

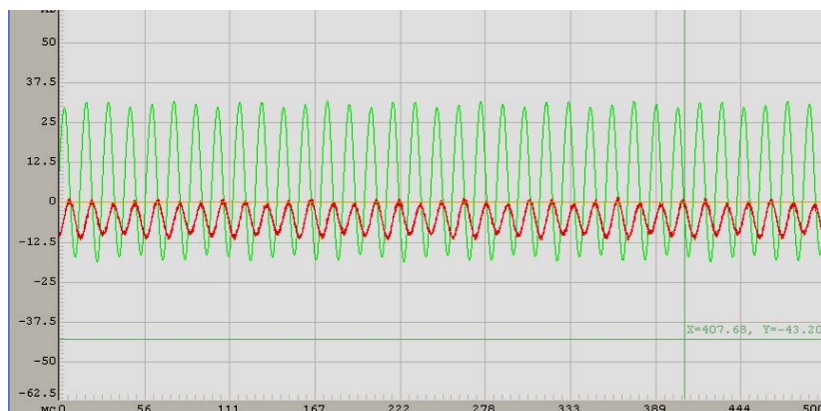


Рис. 3. Сигналы на входе и выходе образца

Исследовалась также степень влияния на сдвиг резонансных частот в низкочастотную область при установке различных по величине

масс грузов (до 100 грамм) на испытуемый образец. В этом случае нагружения образцов было зафиксировано снижение резонансных частот до

35 Гц. Проведенные серии экспериментов с представленными материалами показали возможности влияния на расположение резонансных частот, как в сторону их увеличения так и снижения. На рис. 4 по вертикальной оси показано отношение выходных сигналов ускорений по отношению к входным $A_{\text{отн}} = A_{\text{вых}}/A_{\text{вх}}$. По горизонтальной оси располагается частота в герцах – Гц. На рис. 4 резонансные кривые, соответствующие 85 Гц, построены без нагрузки, резонансные кривые, соответствующие 170 Гц – при действии на образец магнитных сил. Установлено, что в зависимости от рассмотренных здесь видов нагружений представляется возможным плавно изменять или смещать резонансную частоту в исследуемом образце от 35 Гц до 150-170 Гц. Данный диапазон является существенно широким, поскольку позволяет почти в 5 раз изменять резонансные частоты магнитореологического эластомера. Проведенный этап исследований показал возможность управления резонансными частотами опытного образца магнитореологического эластомера с помощью воздействия на него различной силы магнитными полями.

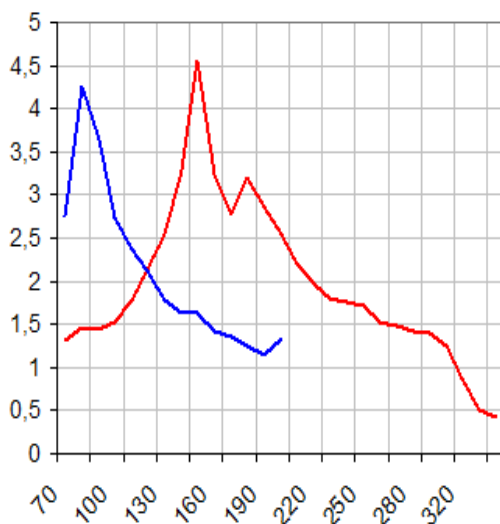


Рис. 4. Влияние магнитных сил на сдвиг резонансных частот: по вертикальной оси – $A_{\text{отн}}$, по горизонтальной оси – частота, Гц

Большой интерес у разработчиков новейших материалов и их технического использования в различных областях машиностроения является возможность управления динамическими свойствами такого материала путём мгновенного воздействия на его внутреннюю структуру. Например, с помощью воздействия на наночастицы, встроенные в матрицу этого материала, при подаче внешних электрических сигналов изменяется структурное состояние. При этом после окончания внешних воздействий такой материал сохраняет свои заложенные в него

динамические характеристики. К данному классу так называемых интеллектуальных материалов можно отнести и электроактивные полиуретаны – эластомеры. Например, упругостью и деформацией создаваемых резиноподобных эластомеров можно управлять с помощью постоянных и переменных магнитных, а также и электрических полей.

В качестве примера рассмотрим возможность управляющего воздействия на цилиндрический образец магнитоактивного эластомера диаметром $d=18,8$ мм и высотой $h=18,8$ мм с намотанными на него проводниками (рис. 5). Необходимо определить, какой величины токи I_1 и I_2 требуется пропустить по проводникам в теле эластомера, чтобы возникшие вокруг них круговые магнитные индукции B_1 и B_2 создавали магнитные силы F_1 и F_2 взаимодействия, производящие деформацию эластомера, для примера в $\Delta h=0,8$ мм. Чтобы определить силу, создающую деформацию образца диаметром $d=18,8$ мм и высотой $h=18,8$ мм образец был подвергнут сжатию гирей весом $P=500$ г, что соответствует силе $F \approx 5$ Н. Теперь необходимо рассчитать, какие токи I_1 и I_2 необходимо пропустить по проводникам, чтобы возникшие вокруг них круговые магнитные поля взаимодействовали с силой $F=5$ Н, которая должна создать деформацию в теле эластомера величиной $\Delta h=0,8$ мм.

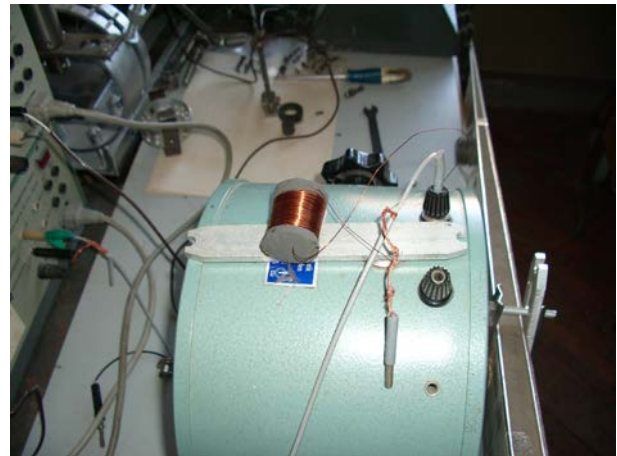


Рис. 5. Образец материала, управляемого электрическими полями

Магнитная индукция B , создаваемая 1-ым проводником в точках, в которых расположен 2-ой провод, по закону полного тока равна $B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot a}$. Подставим в формулу для силы $F = I_2 B dl$ значение B и получим формулу для силы взаимодействия магнитных полей в проводниках:

$$F = \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot dl}{2 \cdot \pi \cdot a},$$

где I_1 и I_2 – токи в проводниках, $\mu=2000$ – относительная магнитная проницаемость ферромагнетика (наночастиц феррита, встроенных в матрицу эластомера), $\mu_0=2\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная (вакуума), dl – длина проводников, a – расстояние между проводниками. Преобразуем формулу силы для вычисления токов. Пусть токи будут равны по величине $I_1 = I_2$. Тогда получим формулу для определения токов:

$$I^2 = \frac{F \cdot 2 \cdot \pi \cdot a}{\mu \cdot \mu_0 \cdot dl},$$

После подстановки значений, указанных под корнем величин, получим, что $I \approx 9$ А, что является довольно существенной величиной. Для того, чтобы уменьшить токи, можно изменить одну из величин, в частности, можно выбрать ферромагнетик, (например, порошкообразный пермаллой, у которого $\mu=200000$, тогда токи можно снизить приблизительно в 447 раз, т.е. $I \approx 0,02$ А.

Выводы:

1. Для измерения параметров динамических характеристик управляемых эластомеров использовался лабораторный виброиспытательный комплекс, включающий в себя разработки виртуальных приборов для компьютера (LabVIEW).

2. Нагружение образца массами различной величины показали существенную возможность снижения резонансной частоты от 85 до 20 Гц.

3. Воздействие на образец магнитными полями различной силы позволяло плавно изменять, повышать зону расположения резонансных частот от 85 до 170 Гц.

4. В зависимости от воздействия различных рассмотренных здесь видов нагружений представляется возможным плавно изменять

резонансную частоту материала в достаточно широком частотном диапазоне от 20 до 170 Гц.

5. Отношение выходных сигналов ускорений к входным на исследуемом образце показало на ряде частот снижение амплитуд колебаний ускорений от 3 до 5 раз и более (в том числе на частотах колебаний свыше 200 Гц), и характеризовало уровень демпфирования, представленного заказчиком нового образца материала.

6. Исследования, проводимые в ИМАШ РАН, позволили создать принципиально новый класс управляемых магнито- и электроактивных эластомеров. Данный класс материалов характеризуется возможностью управления колебательными или вибрационными процессами, происходящими в исследуемом образце при воздействии на него магнитными и электрическими полями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Chertovich, A.V. New Composite Elastomers with Giant Magnetic Response / A.V. Chertovich, G.V. Stepanov, E.Y. Kramarenko, A.R. Khokhlov // *Macromolecular Materials and Engineering*. 2010. Vol. 295, No 4. P. 336-341.
2. Раїхер, Ю.Л. Моделирование магнитоэластических деформаций в мягких магнитных эластомерах / Ю.Л. Раїхер, О.В. Столбов // *Вычислительная механика сплошных сред* 2009. Т.2. №2. С. 85-89.
3. Коровкин, Ю.В. Исследование динамических свойств магнитоактивных эластомерных композитных материалов на лабораторном испытательном комплексе / Ю.В. Коровкин, А.Я. Минаев, Г.В. Степанов // *Вестник машиностроения*. 2014. №2. С. 67-69.
4. Вибрации в технике. Справочник в 6 томах. Том 5, под ред. М.Д. Генкина. – М.: Машиностроение, 1981. 496 с.

THE EXPERIMENTAL STUDIES OF MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMERS DYNAMIC PROPERTIES

© 2015 Yu.V. Korovkin¹, A.Ya. Minayev¹, G.V. Stepanov²

¹ Institute of Engineering Science named after A.A. Blagonravov RAS, Moscow

² State Research Institute for Chemistry and Technology of Organoelement Compounds, Moscow

Creation of conducting magnetorheological elastomers allows at influence of magnetic and electric field in the studied materials to generate compression and stretching of material that gives the chance to use them as the fissile dampers in vibroisolated designs, and also as robotics elements.

Key words: *conducting magnetostrictive elastomers, compression, stretching, magnetic field, electric field, fissile damper, robotics*

Yuriy Korovkin, Senior Research Fellow. E-mail: yurkor9175345782@yandex.ru; Andrey Minaev, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: minaev_mashsport@list.ru; Fennadiy Stepanov, Chief of the Laboratory. E-mail: gstepanov@mail.ru