

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛАСТОМЕРА

RESEARCH OF VACUUM CHARACTERISTICS OF MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMER

Д.А.Иванова¹, А.М.Базиненков¹, А.В.Глушченков²

D.A.Ivanova, A.M.Bazinenkov, A.V.Glushchenkov,

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана

²Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук

Большинство испытаний и исследований, проводимых в вакууме, требуют соответствия чистоты вакуума предъявляемым требованиям, а также минимизации внешних вибрационных и ударных воздействий, которые могут исказить получаемые экспериментальные данные. С целью защиты оборудования от вибраций на сегодняшний день уже применяются различные методы вибрационной защиты, наиболее перспективный из которых – виброизоляция. Рассматривается возможность реализации защиты от вибраций объекта, расположенного непосредственно в вакуумной камере, для чего необходима система, способная выдерживать пониженное давление и высокие температуры. Интеллектуальный композитный материал, магнитоареологический эластомер – полимерный материал, реологические свойства которого способны изменяться под действием направленного магнитного поля. Данное свойство позволяет использовать материал в качестве рабочего элемента системы активной виброизоляции, но наиболее широко изучены его механические свойства при атмосферном давлении и комнатной температуре. Таким образом, в работе представлены исследования вакуумных характеристик магнитоареологического эластомера. Испытания МРЭ в вакууме без повышения температуры говорят о незначительном влиянии создаваемого потока газов на суммарное давление в вакуумном объеме.

Most testing and research carried out in vacuum requires that the purity of the vacuum meets the requirements, as well as minimization of external vibration and shock effects that can distort the obtained experimental data. In order to protect equipment from vibrations, various methods of vibration protection are already being used today, the most promising of which is vibration isolation. The possibility of implementing vibration protection for an object located directly in a vacuum chamber is being considered, which requires a system that can withstand low pressure and high temperatures. Intelligent composite material, magnetorheological elastomer is a polymer material, the rheological properties of which can change under the influence of a directed magnetic field. This property allows the material to be used as a working element of an active vibration isolation system, but its mechanical properties are most widely studied at atmospheric pressure and room temperature. Thus, the study of the vacuum characteristics of the magnetorheological elastomer is presented. Tests of the MRE in vacuum without increasing the temperature indicate an insignificant effect of the generated gas flow on the total pressure in the vacuum volume.

Ключевые слова: виброизоляция, магнитоареологический эластомер, полимер, вакуум, газовыделение.

Key words: vibration isolation, magnetorheological elastomer, polymer, vacuum, gas release.

ВВЕДЕНИЕ

Вакуумное технологическое оборудование и исследовательские установки подвергаются целому ряду внешних вибрационных и ударных возмущений и перегрузок, которые могут негативно сказываться на технологическом процессе и непосредственно влиять на качество продукции или точность проводимых исследований. Для защиты оборудования от вибраций применяются различные методы вибрационной защиты, наиболее эффективным из которых считается виброизоляция.

Виброизолирующее устройство представляет важную часть вибрационной системы, его назначение состоит в создании такого режима движения, инициируемого заданными возмущениями, при котором реализуется цель защиты объекта [1]. Перспективным является применение в качестве элемента систем виброизоляции интеллектуальных материалов, в том числе и магнито- и электроуправляемых жидкостей, и эластомеров.

В сфере точных технологий на сегодняшний момент распространены лабораторные системы активной виброизоляции настольного типа. Они применяются для атомно-силовой, сканирующей зондовой, оптической микроскопии, для высокоточного масштабирования и метрологии. Различные компании-производители предлагают широкий выбор систем виброизоляции, способных гасить частоты в активном режиме до 10 Гц [2, 3, 4]. Однако возникает необходимость защиты от вибраций исследуемого и испытываемого объекта, находящегося непосредственно в вакуумной камере.

Перспективны системы виброизоляции, рабочими телами которых является магнитореологический эластомер (МРЭ) – полимерный материал, реологические свойства которого могут изменяться под действием направленного внешнего магнитного поля. Он состоит из ферромагнитных частиц (мелкодисперсный порошок карбонильного железа) и полимерной матрицы. Проведены испытания механических характеристик МРЭ различных составов, оптимальная концентрация частиц наполнителя составляет от 30 до 40% - частицы способны выстраиваться в цепочки при этом сохраняется малое время отклика [5, 6].

Несмотря на изученность состава и механических свойств МРЭ, возможно введение дополнительных модифицирующих компонентов в смесь и изменение этапов изготовления, что приводит к образованию дефектов – крупные агломераты, расслоение структуры, которые влияют на его характеристики. Для предотвращения осаждения частиц, в работе было предложено использование полимера – поли-пара-ксилилена, наносимого на поверхность порошка из газовой фазы при низком давлении (1..10 Па) и в широком диапазоне температур. Наносимый полимер обладает химической инертностью и стойкостью к растворителям, термостойкостью, что может способствовать предотвращению образования агломератов.

Для использования МРЭ в качестве рабочего тела в системах виброизоляции в вакууме, необходимо изучение вакуумных характеристик МРЭ – характер газовой выделенности, влияние вакуума на механические параметры, однако данные характеристики материала остаются неизученными.

С целью исследования вакуумных характеристик МРЭ после вакуума было изготовлено шесть образцов, в соответствии с ГОСТ 33519-2015 о композитных полимерах, различного состава – 30% частиц; 30% частиц с тонким слоем поли-пара-ксилилена (1г на 170 г порошка); 30% частиц с толстым слоем поли-пара-ксилилена (10г на 170 г порошка); 40% частиц; 40% частиц с тонким слоем поли-пара-ксилилена; 40% частиц с толстым слоем поли-пара-ксилилена.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью изучения потока газов, выделяемых с поверхности и толщи образца проводится эксперимент в лаборатории кафедры МТ11 (МГТУ им. Н.Э. Баумана), на установке «ЛУНТИК» (рис.1).

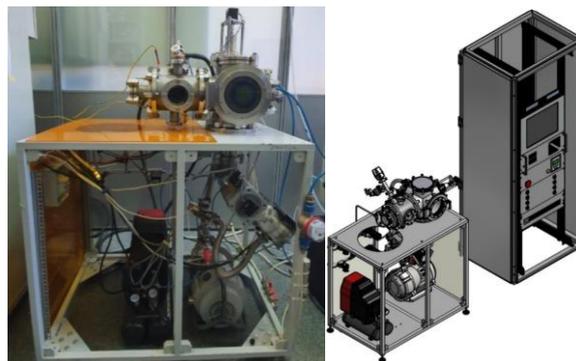


Рис.1. Внешний вид установки «ЛУНТИК».

Испытания проводятся при комнатной температуре, без нагрева. Давление в вакуумной камере измеряется с помощью широкодиапазонного датчика Edwards WRG. Изменения давления фиксируются каждые 30 с. Перед началом испытаний образцов откачивается пустая камера до давления $5 \cdot 10^{-3}$ мбар, после чего откачная система изолируется от откачиваемого объема и в течение 15 минут фиксируется изменение – повышение давления в результате натекания и газовыделения с внутренних поверхностей камеры.

После получения кривой откачки пустой камеры проводится исследование последовательно 6 образцов, каждого экспериментального состава. Условия проведения те же, что и для пустой камеры – откачка до давления $5 \cdot 10^{-3}$ мбар, отсекаание откачной системы и выдержка 15 минут, с фиксацией изменения давления каждые 30 с.

Проведены повторные испытания с один из образцов, с целью определения зависимости изменения давления от времени при длительной откачке. Проведена откачка вакуумной камеры в течение 1,5 часов. После чего, в вакуумном объеме размещен испытуемый образец и проведен аналогичный цикл откачки длительностью 1,5 часа. Данные, получаемые с широкодиапазонного датчика, фиксируются через каждый 5 с

РЕЗУЛЬТАТЫ

По полученным экспериментальным значениям давления через равные промежутки времени равные 30 с построен график кривой откачки пустой камеры и камеры с экспериментальным образцом (рис.2).

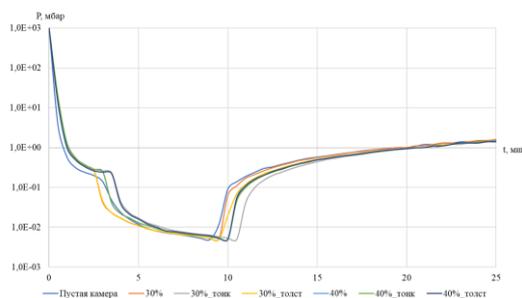


Рис.2. Графики зависимости давления от времени при испытаниях образцов МРЭ в вакууме.

При оценке полученных значений давления установлено, что за наиболее короткое время – 9 мин, откачивается пустая камера, откачка камеры с образцами достигает 10,5 мин. Для сравнения процессов откачки от атмосферы до требуемого давления $5 \cdot 10^{-3}$ мбар, графики перестроены в графики зависимости давления от времени, на промежутке от 0 до 9 мин. На рис.3 на промежутке времени от 0,5 до 1,0 мин график давлений пустой камеры проходит ниже кривых откачки экспериментальных образцов, что

говорит о дополнительном потоке газов, который создают вносимые образцы. Далее графики откачки образцов и камеры схожи.

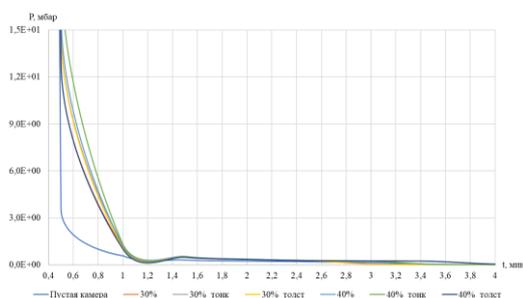


Рис.3. Графики зависимости изменения давления от времени при откачке экспериментальных образцов на характерном участке.

По достижении требуемого давления, откачная система отсекается от откачиваемого объема с экспериментальными образцами. Далее наблюдается процесс газовыделения с внутренних поверхностей камеры, возможно натекание, а также газовыделение из толщи и поверхности испытываемых образцов. На рис.4 представлены графики зависимости изменения давления от времени выдержки – 15 минут. Видно, что для пустой камеры и камеры с образцами характер изменения давления идентичен, по графикам не удастся установить зависимость изменения давления от наличия образца в откачиваемом объеме.

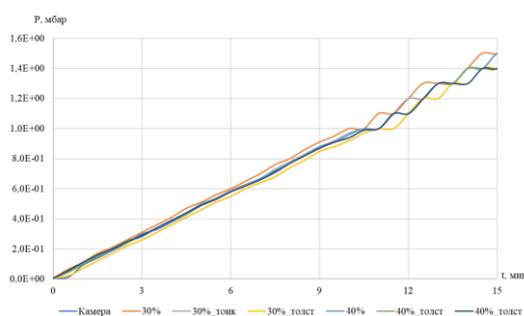


Рис.4. Графики зависимости изменения давления от времени откачки на интервале времени после остановки откачки камеры.

По полученным экспериментальным данным второго эксперимента также построены графики зависимости давления от времени на участке после достижения одинакового значения давления (рис.5).

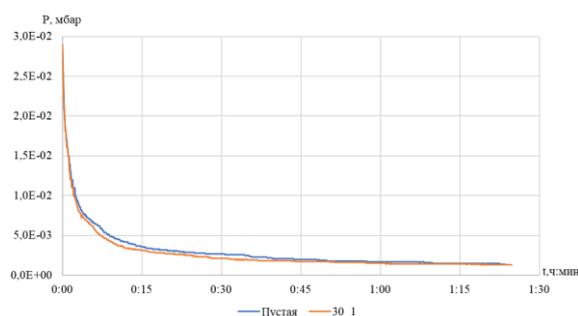


Рис.5. Графики зависимости давления от времени по достижении схожего значения давления.

ОБСУЖДЕНИЕ

Графики кривых откачки после проведения первого цикла экспериментов не продемонстрировали зависимости степени газовой выделенности от состава – от нанесенного на частицы карбонильного железа слоя поли-пара-ксилилена, однако видно, что при внесении в вакуумный объем испытуемого материала, давление в камере возрастает. Данное изменение незначительно и допустимо.

Экспериментальные кривые второго цикла экспериментов являются неудовлетворительными, но объяснимыми, необходимо проведения более длительных рандомизированных циклов откачки.

ВЫВОДЫ

Таким образом, проведя исследования газовой выделенности МРЭ можно сделать следующие выводы:

1. Кривые откачки пустой камеры и камеры с образцами имеют типичный и идентичный характер зависимости давления от времени, что говорит о незначительности газовой выделенности образцов;

2. При откачке камеры с экспериментальным образцом удалось достигнуть требуемого давления $5 \cdot 10^{-3}$ мбар, но за время на 1,5 минуты большее, что говорит о дополнительно выделяемых газах с поверхности и толщи образца;

3. На этапе откачки видна значительная разница давлений на небольшом участке времени (от 0 до 1 мин), что может говорить о дополнительных парах воды или иных газах, легко удаляемых с поверхности и толщи образца;

4. После завершения процесса откачки камеры с образцами, и начала интервала выдержки значительного различия в графиках не выявлено, для точного определения зависимости давления от времени необходимо более частое снятие показаний и большее время откачки;

5. Длительный эксперимент с целью определения зависимости давления от времени в процессе цикла откачки, говорит о наличии в первоначальном объеме камеры большого количества загрязнений и газов, которые были удалены в процессе откачки пустого объема и при обезгаживании образца МРЭ данные компоненты уже не влияли на суммарное давление в камере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Челомей В.Н. Вибрации в технике: Справочник. В 6 – ти т./ Защита от вибраций и ударов/ под. Ред. К.В.Фролова. М.: Машиностроение, 1981. 456 с.

2. CZL лабораторное оборудование: [Электронный ресурс] // Лабораторное оборудование и приборы. Аналитическое, лабораторное, промышленное оборудование. Комплексные и индивидуальные решения. URL: <https://www.czl.ru> (05.01.2019).

3. Active vibration isolation. Benchtop Vibration Isolation Units – Micro Series. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.autoscan.com> (01.03.2019).

4. Acoustic, Vibration, And EMI Isolation Specialists. AVI – 200 Series: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.herzan.com> (01.03.2019).

5. Rozaina Ismail. A review of magnetorheological elastomers: properties and applications. 12с.

6. Макарова Л.А. Исследование магнитных и электрических свойств композитных реологических материалов на основе ферромагнитных и сегнетоэлектрических наполнителей: дис. на соискание канд. Физ.-мат. Наук. – М., 2018. С. 183.