

Вакуумный актуатор на основе диэлектрического эластомера с кварцем в качестве наполнителя

А.П. Ротарь, Д.А. Иванова, А.М. Базиненков
Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,
anastasia.rotari15@gmail.com; ivanova_d_a@bk.ru; bazinenkov@mail.ru

Современное оборудование часто требует прецизионного перемещения объектов как при атмосферном давлении, так и в условиях вакуума. Вакуумное оборудование подвергается целому ряду внешних возмущений, которые негативно сказываются на технологическом процессе и непосредственно влияют на качество изготавливаемой продукции. Перспективная разработка в данной сфере - актуаторы на основе диэлектрических эластомеров, отличающиеся малым временем реакции (миллисекунды), простой и дешевой реализацией. Успешная реализация зависит от понимания его поведения и свойств, зависящих от выбора материалов матрицы и наполнителя. Чаще всего, в качестве наполнителя используется дорогостоящий титанат бария. В данной работе рассматривается вариант использования кварца как более дешевого наполнителя.

Vacuum actuator based on dielectric elastomer with quartz as a filler. A.P.Rotari, D.A.Ivanova, A.M.Bazinenkov. Modern equipment requires precision movement of objects both at atmospheric pressure and in vacuum conditions. In addition, vacuum equipment is subject to a variety of external disturbances that adversely affect the process and directly affect the quality of the manufactured products. Prospective development in this area are actuators based on dielectric elastomers, characterized by a short reaction time (milliseconds), simple and cheap implementation. Successful implementation depends on the understanding of its behavior and properties depending on the choice of matrix and filler materials. Most often, expensive barium titanate is used as a filler. This paper discusses the use of quartz as a cheaper filler.

Современное машиностроительное оборудование все чаще требует прецизионного перемещения объектов как при атмосферном давлении, так и в условиях вакуума. Для обеспечения точного перемещения и виброизоляции объектов широкое распространение получили механизмы точных перемещений (актуаторы) на основе «смарт»-материалов и, в частности, управляемых магнито- и электроактивных материалов, жидкостей и полимеров.

Полимеры, которые претерпевают изменение формы или объема при воздействии на них с помощью внешнего электрического поля, называются электроактивными полимерами (ЭАП). Эти активные вещества могут быть классифицированы в соответствии с их принципом работы: ионные ЭАП, в которых перемещение ионов при электрической активации отвечает за изменение формы или объема, и электронные ЭАП, в которых при активации смещаются электрические заряды, а возникающие электростатические силы приводят к электромеханическим изменениям формы или объема материала. [1]

Диэлектрические эластомеры (ДЭ) являются одними из наиболее перспективных представителей электронных электроактивных полимеров, так как они могут обеспечивать большие деформации и выдерживать высокие нагрузки. Управление свойствами этого материала, заключенного между электродами, происходит при помощи внешнего электрического поля: электрическое напряжение (несколько киловольт) подается на два проводящих электрода, диэлектрический слой сжимается по мере того, как по-разному поляризованные электроды притягиваются друг к другу. Кроме того, электрострикция, происходящая в диэлектрической среде, способствует общей деформации ДЭ. [2]

При выборе материала матрицы ДЭ важно учесть следующие требования: высокая диэлектрическая проницаемость, широкий диапазон рабочих температур, высокая электрическая прочность, низкое значение модуля Юнга, поэтому в качестве матрицы ДЭ используются синтетические или натуральные каучуки, также матрица может быть реализована

путем смешивания одного, двух или более материалов. Наиболее перспективными на сегодняшний день считаются ДЭ с матрицами на основе трёх видов полимеров: силикон, акрил и полиуретан, а другие материалы, например, натуральный каучук, практически не исследуется в виду более низких показателей требуемых свойств (таблица 1)

Таблица 1 - Электрические и механические характеристики материалов матрицы.

№	Материал матрицы	Модуль Юнга, МПа	Диэлектрическая проницаемость	Электрическая прочность, кВ/мм	Диапазон температур
1	Силикон	0,1..10	2-5	50..350	-100..200°C
2	Акрил	0,6	4-6	45..250	-10..80°C
3	Полипропилен	17	6-7	160	-

На основе анализа работ [3,4], в которых представлены исследования влияния материалов, входящих в состав ДЭ, на его свойства, для изготовления опытных образцов было решено использовать в качестве матрицы силиконовый компаунд, так как он обладает наилучшей совокупностью свойств: высокой электрической прочностью (27 кВ/мм), высоким значением модуля упругости (10 МПа) и широким диапазоном рабочих температур (от -60 до 200°C), а также относительным удлинением при разрыве до 165%. [3]

ДЭ могут быть улучшены добавлением в матрицу эластомернаполнителей, диэлектрические свойства которых высоки и способны улучшить диэлектрические характеристики эластомеров в несколько раз. Поэтому в качестве наполнителя было решено использовать мелкодисперсный порошок титаната бария, который может обладать относительной диэлектрической проницаемостью до 3000 [4].

Изготовление высокодиэлектрического мелкодисперсного порошка титаната бария является трудоёмкой и дорогостоящей операцией, поэтому целью работы было испытать образец, в котором в качестве наполнителя использовался более дешёвый и доступный диэлектрик – кварц.

Немаловажным для свойств является смешивания материала матрицы и материала наполнителя в правильных пропорциях. Смешивание нескольких материалов производится с целью улучшения ее характеристик, но часто улучшение одного параметра приводит к ухудшению других характеристик материала. Существует, например, сильная корреляция между диэлектрической проницаемостью и электрической прочностью: увеличение диэлектрической проницаемости обычно сопровождается уменьшением электрической прочности

Конструкция актуатора для исследования была выполнена по схеме «конденсатор» (рис.1), идентичная конструкции плоского конденсатора, но с ДЭ, зажатым между парой электродов, является наиболее легко реализуемой в лабораторных условиях.

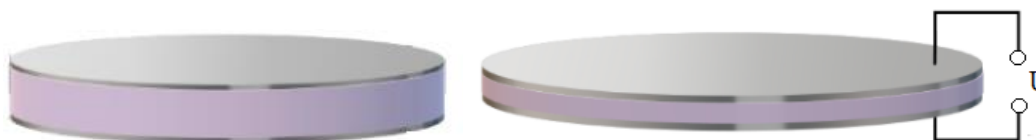


Рис. 1. Конструкция актуатора по схеме «Конденсатор».

Многослойная конструкция (рис.2) в свою очередь представляет собой последовательно соединённые между собой актуаторы конструкции «конденсатор». Количество установленных слоев влияет на линейный размер актуатора и, следовательно, на абсолютный ход при перемещении [5].

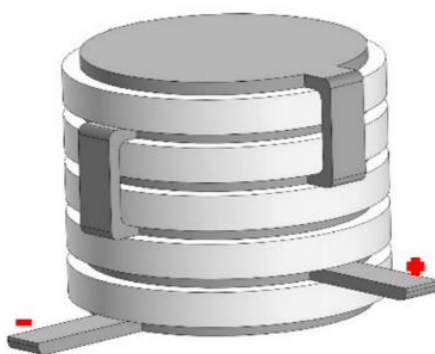


Рис. 2. Многослойная конструкция актуатора.

Выбор материала для электродов является основной проблемой, связанной с изготовлением актуаторов на основе ДЭ. Это обусловлено тем, что они не только должны выдерживать высокие электрические поля (до сотен кВ/мм), но они также должны быть хорошо совместимыми и поддерживать хороший электрический контакт при деформации. Самый очевидный вариант электродов – две металлические пластины, возможен, но их огромным недостатком является большая жесткость таких электродов, что обычно ограничивает значение максимальной возможной деформации механизма.

Механизмы точных перемещений характеризуют такие показатели как: погрешность, диапазон перемещений, нагрузочная способность, число степеней подвижности и постоянная времени и с течением времени требования к данным показателям растут.

При разработке экспериментальной конструкции актуатора на основе ДЭ необходимо учесть следующие факторы: конструкция должна быть универсальной и подходить для использования как однослойного, так и многослойного эластомера с различным количеством слоёв, конструкция должна быть выполнена из диэлектрического материала для обеспечения изоляции с целью защиты от пробоя при больших напряжениях, конструкция должна обладать высокой жесткостью, должны быть исключены зазоры и люфты, а также обеспечена простота изготовления.

На основании данных требований была спроектирована конструкция механизма точных перемещений, представленная на рис. 3.

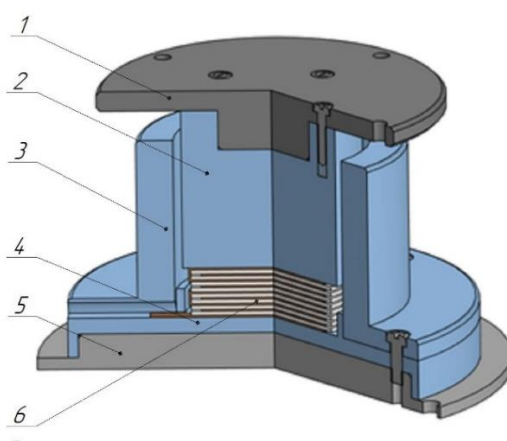


Рис. 3. Конструкция актуатора.

1- верхний фланец; 2 - шток; 3 – корпус; 4 - нижний фланец; 5 – диск; 6 – ДЭ.

Полученная конструкция может использоваться для диэлектрических эластомеров диаметром не более 40 мм и высотой не более 30 мм.

Исследование характеристик актуатора проводилось с изготовленными образцами актуатора на основе одно-, двух-, четырёх- и восьмислойного ДЭ.

В ходе эксперимента к электродам прикладывалось напряжение в диапазоне от 0 до 2000 В. Индуктивным датчиком положения снималась серия параллельных наблюдений количеством 150 шт. На основе данных, полученных в ходе эксперимента, были построены графики среднего значения перемещений в зависимости от прикладываемого к электродам актуатора напряжения, учитывая количество слоёв ДЭ (рис. 4, 5).

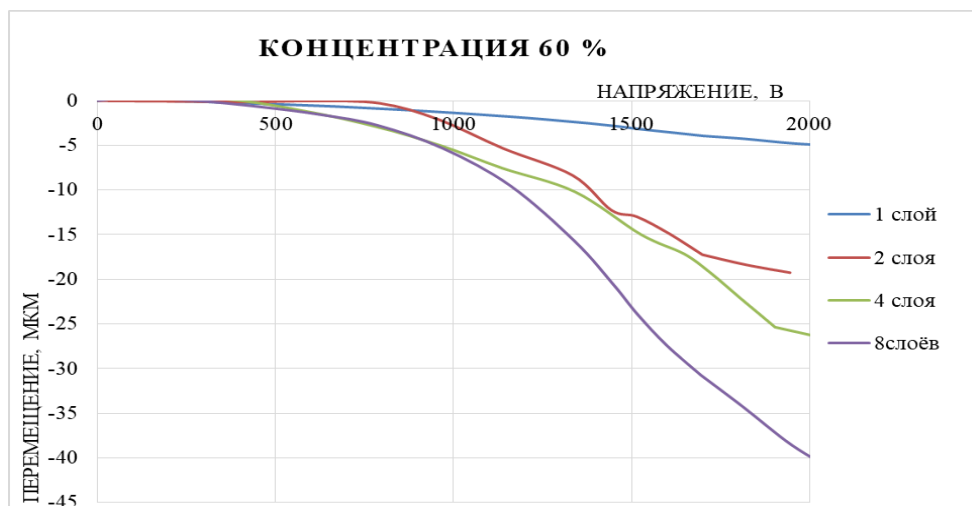


Рис. 4. График перемещения ДЭ в зависимости от напряжения на электродах ДЭ с концентрацией кварца 60%.

При исследовании характеристик ДЭ с концентрацией кварца в материале матрицы равной 60% (рис. 4) были получены следующие максимальные значения перемещений: для 1 слоя -5,01 мкм, для 2 слоёв -19,25 мкм, для 4 слоёв -26,32 мкм, для 8 слоёв -39,81 мкм. Для исследования влияния увеличения концентрации материала-наполнителя в материале матрицы были изготовлены и таким же образом исследованы в актуаторе образцы с концентрацией кварца 80% (рис. 5).

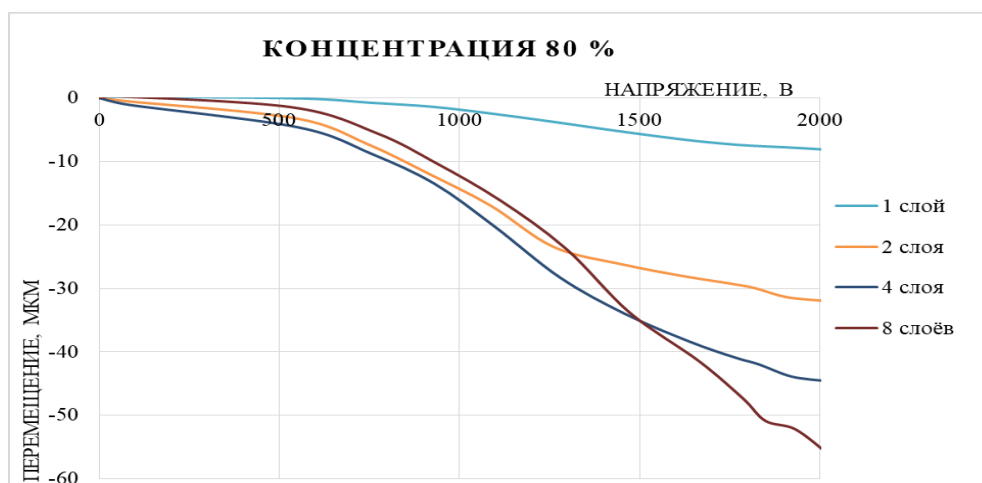


Рис. 5. График перемещения ДЭ в зависимости от напряжения на электродах ДЭ с концентрацией кварца 80%.

Увеличение концентрации кварца привело к увеличению максимального значения перемещения примерно в 1,6 раза: -8,08 мкм, -30,55 мкм, -44,12 мкм, -54,86 мкм для одного, двух, четырёх и восьми слоёв соответственно.

Построенные зависимости доказывают, что увеличение количества слоёв позволяет увеличить диапазон перемещения устройств на его основе, либо уменьшить рабочее напряжение, необходимое для достижения определенного значения перемещения.

При исследовании характеристик актуатора на основе аналогичных образцов ДЭ с титанатом бария- «классическим» наполнителем ДЭ, были получены следующие результаты: для одного слоя -15,39 мкм, для двух слоёв -35,35 мкм, для четырёх слоев -39,11 мкм, для восьми -68,24 мкм.

Сравнение полученных результатов для ДЭ на основе титаната бария и кварца позволяет сделать вывод, что для изготовления ДЭ кварц можно считать более дешёвым аналогом титаната бария. Таким образом, используя кварц в качестве наполнителя, можно добиться результата на 8-ми слоях ДЭ на 15 мкм хуже, но уменьшив затрат на изготовление в разы.

Литература

1. Prahlad H, Pelrine R, Kornbluh R, von Guggenberg P, Chhokar S, Eckerle J Programmable surface deformation: thickness-mode electroactive polymer actuators and their applications. Proc SPIE 5759:102 2005.
2. Brochu P., Pei Q. Dielectric Elastomers for Actuators and Artificial Muscles In L. Rasmussen Electroactivity in Polymeric Materials Springer Sciens+Business Media New York, 2012 -56c. DOI 10.1007/978-1-4614-0878-9_1.
3. Planck M. An experimental investigation of electromechanical response in a dielectric acrylic elastomer// Applied Physics A, 2003-4c.
4. In SeongYoo. Artificial Muscles, Made of Dielectric Elastomer Actuators- A Promising Solution for Inherently Compliant Future Robots//Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg 2012 – 12c.
5. Jung MY, Chuc NH, Kim JW, Koo IM, Jung KM, Lee YK, Nam JD, Choi HR, Koo JC Fabrication and characterization of linear motion dielectric elastomer actuators. Proc SPIE 6168:616824 2006.

Метрологическое обеспечение мер потока газа в вакууме

Д.М. Фомин

*Санкт-Петербург, ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», пр. Московский, 19
E-mail: vacuum@vniim.ru*

В статье рассматриваются принципы работы мер потока газа в вакууме, метрологическое обеспечение и основные проблемы, возникающие при эксплуатации.

Metrological support of test leaks in vacuum. D.M.Fomin. The article discusses work principles of test leaks in vacuum, metrological support and main problems arising during operation.

Меры потока широко применяются в различных областях промышленности для калибровки аппаратуры, предназначенной для контроля герметичности и газовыделений вакуумных систем и выпускаемых изделий. Например, параметры анализатора течеискателя масс-спектрометрического гелиевого настраивают с помощью установленной внутри прибора (или в испытываемой вакуумной системе) меры потока (течи гелиевой).

В настоящее время утверждены в качестве средств измерений и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (Госреестр СИ) следующие типы мер потока (течи гелиевые), приведенные в таблице 1.