

## МАГНИТОДЕФОРМАЦИОННЫЙ ЭФФЕКТ И ВАКУУМНОЕ УПЛОТНЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТОАКТИВНОГО ЭЛАСТОМЕРА

### MAGNETO-DEFORMATION EFFECT AND VACUUM SEALING WITH A MAGNETOACTIVE ELASTOMER

Г.В.Степанов<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0003-0053-1883)

Е.Ю.Крамаренко<sup>2</sup>,

П.А.Стороженко<sup>1</sup>/gstepanov@mail.ru

G.V.Stepanov<sup>1</sup>(ORCID: 0000-0003-0053-1883),

E.Yu. Kramarenko<sup>2</sup>, P.A.Storozhenko<sup>1</sup>, / gstepanov@mail.ru

<sup>1</sup>ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС» Москва

<sup>2</sup>Физический факультет МГУ им М.В.Ломоносова, Москва

*Обсуждается возможность применения магнитоактивных эластомеров (МАЭ) в вакуумных уплотнениях по неровной поверхности. Материал характеризуется высоким магнитодеформационным и магнитострикционным эффектами и обладает высокой эластичностью. Данный материал под действием магнитного поля способен притягиваться к уплотняемой неровной поверхности и выполнять роль эффективного уплотнителя.*

*This article is dedicated to the possibility to apply magnetoactive elastomeric materials to uneven surfaces for the purpose of providing vacuum sealing. Simultaneously possessing a high degree of elasticity, materials of this kind are characterized by strong magneto-striction and high magneto-deformational effects. Under the influence of a magnetic field they are capable of providing good contact with the surface thus playing the role of an efficient sealant.*

*Ключевые слова: магнитоактивные эластомеры, магнитодеформационный и магнитострикционный эффект, эффективные уплотнители.*

*Keywords: magneto-active elastomeric materials, magneto-striction and magneto-deformational effect, efficient sealant.*

### ВВЕДЕНИЕ

Создан и исследуется новый тип магнитного эластомера способного деформироваться под действием неоднородных и однородных магнитных полей. Первичные исследования показали, что под действием неоднородных магнитных полей материал способен растягиваться на сотни процентов [1, 2, 3], а под действием однородного магнитного поля удлиняться на 10% [3]. Кроме того, в однородных магнитных полях он способен проявлять магнитный эффект памяти, т.е. в однородном магнитном поле он становится пластичным как пластилин, способен принимать различные формы и сохранять их в магнитном поле. После выключения магнитного поля исходная форма образца восстанавливается [4]. Наиболее полно основные свойства представлены в обзорной статье [3], в том числе и с магнитотвёрдым наполнителем [5]. Поскольку магнитодеформационный эффект представляет значительный практический интерес составы и способы его применения защищены рядом патентов [6, 7], применение в виде клапана регулировки расхода [8] или управление движением эластичного червя [9].

Одним из эффективных областей применения магнитодеформационного эффекта МАЭ может быть создание уплотнителей по большим поверхностям, а также в вакуумной технике. Стандартное уплотнение заключается в прижатии одной поверхности к другой.

Если прижатие идет по большой поверхности, то для создания заданного удельного давления одной поверхности на другую необходимо прикладывать значительное усилие. В созданном макете уплотнительного устройства мы попытались выяснить, насколько эффективно возможно уплотнять с помощью МАЭ грубую рельефную поверхность. В нашем модельном случае мы попытались посмотреть, как магнитоупругая резина втягивается в зазоры магнитным полем и как при этом происходит уплотнение зазора между двумя поверхностями.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для измерения магнитодеформационного эффекта использовался электромагнит на определенном расстоянии от которого закреплялся исследуемый образец. Один полюс электромагнита создавал неоднородное магнитное поле к которому притягивался магнитоактивный эластомер. Для исследования магнестрикционного эффекта цилиндрический образец МАЭ помещался между полюсов электромагнита или в середине катушки соленоида и фиксировалась напряжение которое создавал материал в магнитном поле.

Для измерения свойств уплотнения которое создаётся с помощью МАЭ была создана оригинальная установка схема которой представлена на рис. 1.

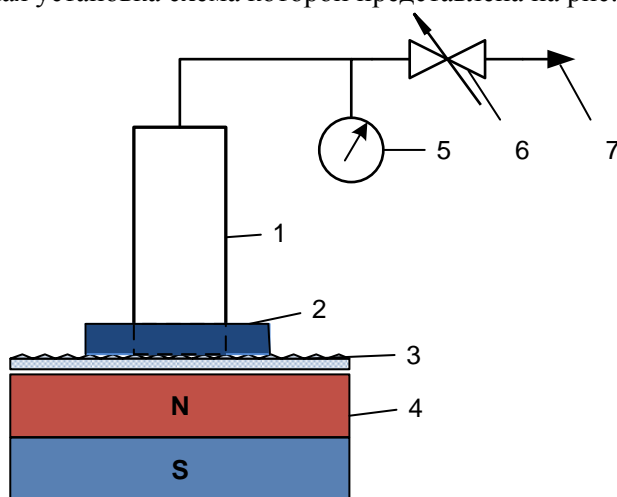


Рис. 1. Схема экспериментальной установке по исследованию уплотнительных свойств МУЭ.

Схема эксперимента состоит в следующем. Вакуумируемая трубка (1), по боковой поверхности которой в торцевой части приклеен МУЭ (2), приставляется к грубой уплотняемой поверхности (3). Снизу от уплотняемой поверхности подводится магнит (4) на расстояние, необходимое для создания заданного поля. Трубка (1) вакуумируется от вакуумного насоса (7), кран (6) перекрывается, и по манометру (5) наблюдаем за скоростью изменения вакуума в системе. Диаметр уплотняемой части трубы 1 – 15 мм, ширина кольца магнитоактивного эластомера (2) - 5 мм. Объем вакуумируемого пространства около 40 мл.

Для исследования синтезирован МАЭ который представляет собой композит из силиконовой матрицы наполненной магнитными частицами карбонильного железа с размером 5 мкм и с концентрацией 30% об.

Измерение вязкоупругих и магнестрикционных свойств проводили на разрывной машине И1158М-0,5 -01-1 (ООО «ТОЧПРИБОР-КБ»), с датчиком силы на 10Н, в режиме растяжения и сжатия. Датчик силы с номинальным значением 10 Н имеет дискретность 0,0001Н и относительную погрешность 1 % в диапазоне от 0,2 до 10Н.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование упругих и магнитоэластических свойств материала проводили на разрывной машине для цилиндрического образца диаметром 14 мм и длиной 35 мм. Исследование показало, что при деформации без магнитного поля свойства материала практически подчиняются закону Гука и измеренная упругость методом растяжения-сжатия составляет 100 кПа как показано на рис 2. (кривая 1). Под действием однородного магнитного поля материал расширяется и создаёт давление на торцы цилиндра, а кривая деформации (растяжение-сжатие) принимает эллипсоидный характер (кривая 2, рис2.), что связано с изменением упругих свойств в магнитном поле, которые одновременно зависят от величины деформации.

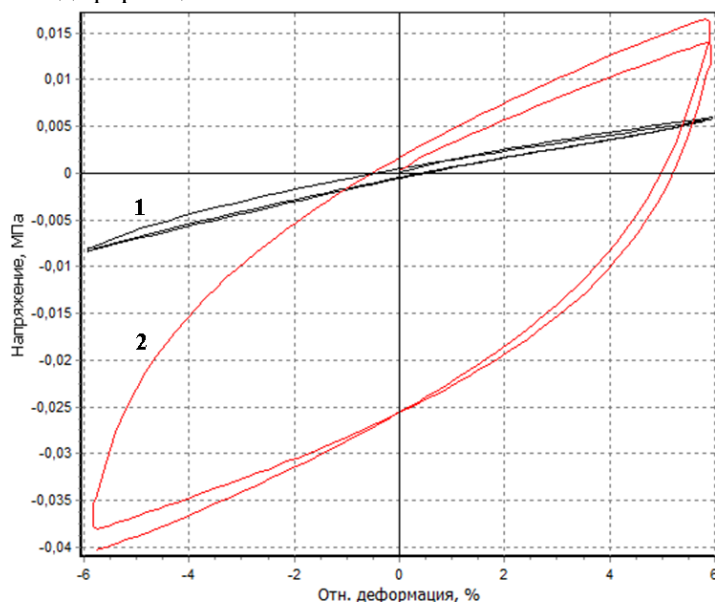


Рис.2. Зависимость напряжения в образце от деформации без магнитного поля (1) и в магнитном поле 240 кПа (2).

Под действием однородного магнитного поля МАЭ проявляет положительный эффект магнитоэластичности, материал расширяется в направлении магнитного поля. На рис 3 показана зависимость давления материала на торцы цилиндра от величины магнитного поля в которое помещён образец.

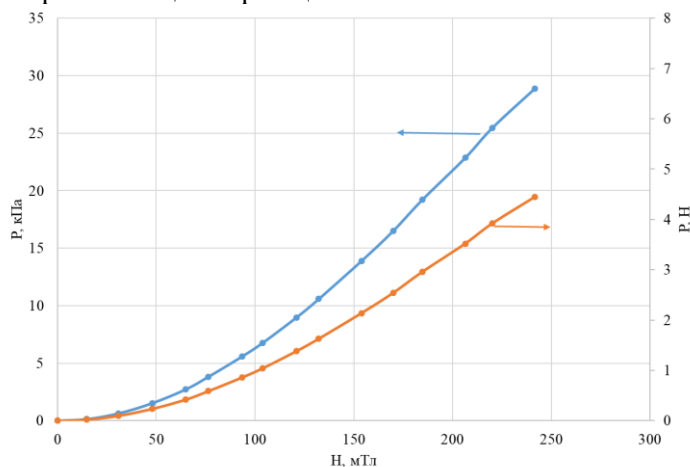


Рис 3. Зависимость величины магнитоэластического давления на торцы цилиндра диаметром 14 мм в паскалях и ньютонах от магнитного поля.

Под действием магнитного поля материал или расширяется, или создаёт давление на торцы цилиндра. При отсутствии сопротивления материал удлиняется в среднем на 10 %.

Как деформируется материал в микроструктурах, рассмотрим на примере конструкции уплотнителя неровной, ребристой поверхности. Вид уплотняемой поверхности представлен на рис. 4. Обычно такое уплотнение осуществляют методом вдавливания эластичного уплотняющего материала в неровности поверхности. Иногда уплотняемую поверхность делают ребристой с направлением расположения ребер перпендикулярно направлению движения уплотняемой среды.



Рис. 4. Рельеф уплотняемой поверхности. Пластиковая поверхность с рельефом в 1мм.

В результате исследования, проводимого на установке (рис 1) обнаружено, что скорость изменения вакуума в системе зависит от величины магнитного поля.

На рис. 5 показано как зависит скорость изменения вакуума от величины приложенного магнитного поля.

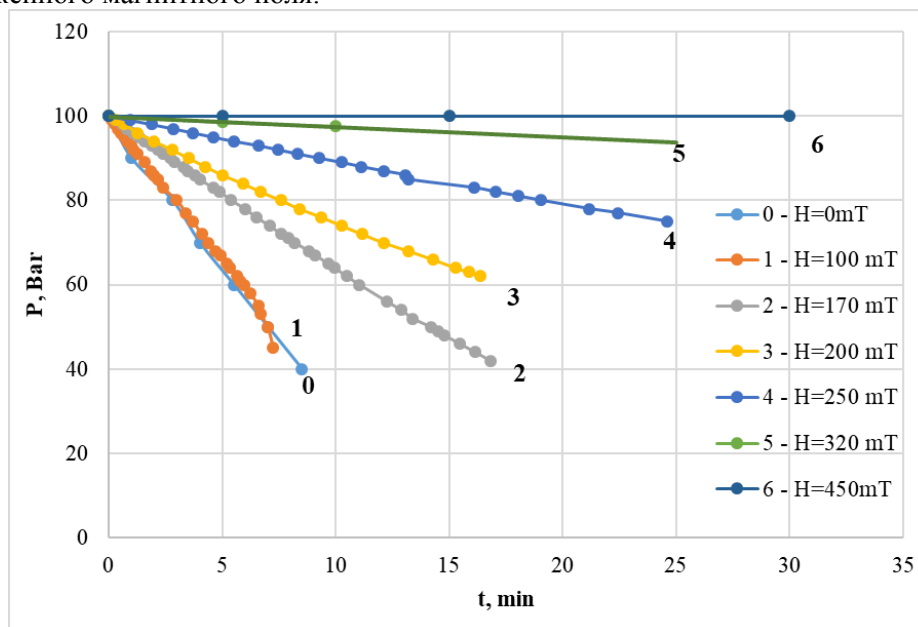


Рис. 5. Зависимость изменения вакуума в системе от времени при различной величине магнитного поля на уплотняемой поверхности.

Систему откачивали до неглубокого вакуума в 5 кПа что принималось за 100 ед. Далее измеряли, как во времени изменяется вакуум в системе. Как видно из рисунка 5,

скорость изменения вакуума в системе сильно зависит от величины приложенного магнитного поля. При некоей величине поля, в данном случае около 450 мТл, вакуум в системе не изменялся в течение нескольких часов (линия б). В данном случае, это довольно большое поле, поскольку исходная уплотняемая поверхность имела высокий искусственно созданный рельеф в направлении прохождения воздуха. Данный эксперимент показывает принципиальную возможность создания уплотнителей нового типа с использованием магнитоактивных эластомеров.

На рис. 6 представлена обобщенная зависимость изменения скорости натекания воздуха в систему от величины магнитного поля.

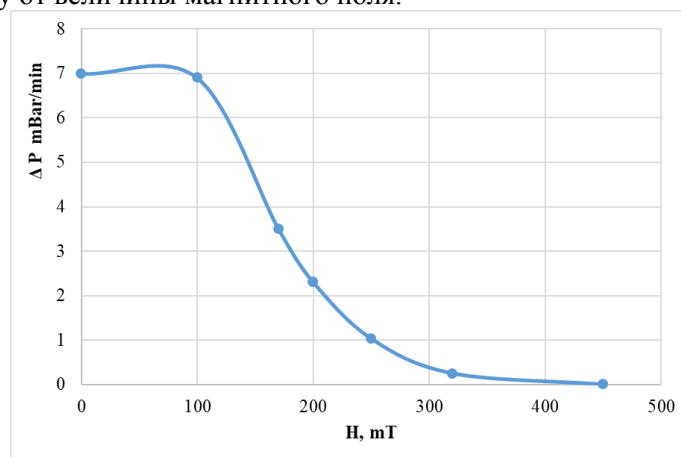


Рис. 6. Зависимость скорости изменения вакуума в системе от величины магнитного поля на уплотняемой поверхности.

Видно, что с увеличением магнитного поля скорость натекания в ёмкость через уплотнитель замедляется и при какой-то величине останавливается.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты могут быть объяснены особыми, уникальными свойствами МАЭ, который обладает высокой эластичностью и способностью деформироваться в магнитном поле. Схематично принцип действия уплотнителя можно представить как показано на рис 7 а,б.

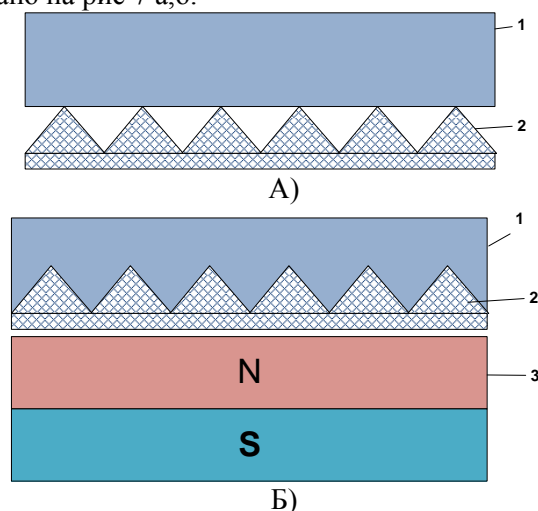


Рис.7. Принцип работы уплотнителя. А) уплотнение без магнита; б) уплотнение с магнитом.

При организации уплотнения, МАЭ (1) несильно прижимается к уплотняемой неровной поверхности (2) при этом между эластомером и неровной уплотняемой

поверхностью остаётся значительный зазор за счёт рельефа поверхности. При подведении к такой системе неоднородного магнитного поля от электромагнита или от постоянного магнита, МАЭ втягивается в неоднородное магнитное поле, одновременно прижимаясь к ней и заполняет все неровности. Степень уплотнения зависит как от величины неровностей, так и от величины магнитного поля. При искусственно созданной величине неровности в 1 мм магнитного поля в 450 мТл было достаточно для полной герметизации системы. Следует отметить, что данные параметры являются предельными. Для создания магнитного поля в 450 мТл был взят довольно мощный NdFeB магнит с размером 40x40x40 мм.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, МАЭ, который характеризуется значительным магнитоэластичным эффектом можно использовать для организации вакуумного уплотнения при неглубоком вакууме, когда уплотняемая поверхность имеет значительный рельеф.

**Благодарности:** Работа представлена при поддержке Гранта РФФИ 19-53-12039, и программы НАТО «Наука для мира» SfP 977998.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Nikitin L. V., Mironova L. S., Stepanov G. V., Samus A. N. The Influence of a Magnetic Field on the Elastic and Viscous Properties of Magnetoelastics // *Polymer Science, Ser. A.* – 2001 - Vol. 43, No. 4 - P. 443–450.

2. Nikitin L.V., Stepanov G.V., Mironova L.S., Gorbunov A.I. Magnetodeformational effect and effect of shape memory in magnetoelastics. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2004. – V. 272-276. - P. 2072-2073. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.838>

3. Abramchuk S., Kramarenko E., Stepanov G., Nikitin L.V., Filipcsei G., Khokhlov A.R., Zrinyi M. Novel highly elastic magnetic materials for dampers and seals I: Preparation and characterization of the elastic materials // *Polymers for Advanced Technologies.* - 2007. - V.18, №11. - P. 883-890.

4. Nikitin L.V., Stepanov G.V., Mironova L.S., Gorbunov A.I. Magnetodeformational effect and effect of shape memory in magnetoelastics. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* 2004. – V. 272-276. - P. 2072-2073. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmmm.2003.12.838>

5. D. Borin and G. Stepanov. Magneto-mechanical properties of elastic hybrid composites // *Phys. Sci. Rev.*, 2020, doi: 10.1515/psr-2019-0126.

6. Пат. 2157013 РФ, МПК<sup>5</sup> H01F1/113; H01F1/117. Магнитоуправляемый эластичный композиционный материал / Степанов Г.В., Никитин Л.В., Левина Е.Ф., Миронова Л.С.- № 98123222/02; заявлено 24.12.1998; опубл. 27.09.2000.

7. Pat WO 2012026332 A1 20120301 By Hojo, Tsukasa; Yamamoto, Ken; Mitsumata, Tetsu Magnetic response-type elastic device.

8. Пат. 2320912 РФ, МПК<sup>7</sup> F16K31/02, F16K31/06. Клапан дозированной подачи рабочей среды / Степанов Г.В., Семиренко Д.А. - № 2006108237/06; заявлено 16.03.2006; опубл. 27.03.2008.

9. Пат. DE 102006 059 537 B3, Int Cl<sup>8</sup> B25J 11/00 Verfahren und Vorrichtung zur Erzeugung einer apedalen translatorischen Bewegung / Zimmermann K., Naletova V.A., Zeidis I., Turkov V.A., Bayburtskiy F.S., Stepanov G.V., - заявлено 13.12.2006, опубл. 13.12.2007