

ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛАСТОМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ

Семенов Н.А., Михалев А.И.

ФГБУН Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

На основе микроразмерного немодифицированного оксида титана и полидиметилсилоксанового каучука были изготовлены вулканизаты холодного отверждения. Из этих вулканизатов были изготовлены сшитые эластомерные композиты с изотропно и анизотропно распределённым наполнителем. В данных композитах был рассмотрен эффект изменения упругих свойств в приложенном электрическом поле.

Были исследованы анизотропно, с ориентированными в приложенном электрическом поле частицами, и изотропно наполненные образцы. Был показан способ ориентирования частиц в матрице во время вулканизации. Изучены особенности электрореологического отклика анизотропно наполненных и изотропно наполненных композитов. А также рассмотрено влияние органосилана на механические свойства электрореологического эластомера.

В результате было определено, что эластомер, наполненный ЭР частицами, как изотропный, так и анизотропный меняет свои реологические свойства в приложенном электрическом поле. Анизотропный ЭРЭ проявляет больший электрореологический эффект, чем изотропный, так как значение модуля накопления в поле увеличивается относительно значения без поля на 40%-50%, тогда как в изотропном наблюдается увеличение на 20%. Введение органосилана увеличивает электрореологический эффект для анизотропного эластомера, в то время как для изотропного увеличения практически не наблюдается.

Ключевые слова: электрореологические суспензии; диоксид титана; вязкость; адаптивные материалы; эластомеры; эластомерные электроуправляемые композиты

ELECTRORHEOLOGICAL ELASTOMER MATERIAL

Semenov N.A., Mikhalev A.I.

Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ABSTRACT

In this paper, was described cold cured vulcanizates were made based on microdimensional unmodified titanium dioxide and polydimethylsiloxane rubber. Cross-linked elastomeric composites with an isotropic and anisotropically distributed filler were made from these vulcanizates. In these composites, the effect of a change in the elastic properties in an applied electric field was considered. Anisotropic, with particles oriented in an applied electric field, and isotropically filled samples were studied. A method for orienting particles in the matrix during vulcanization was shown. The features of the electrorheological response of anisotropically filled and isotropically filled composites are studied. The effect of organosilane on the mechanical properties of the electrorheological elastomer is also considered.

As a result, it was determined that an elastomer filled with ER particles, both isotropic and anisotropic, changes its rheological properties in an applied electric field. Anisotropic ERE exhibits a greater electrorheological effect than isotropic, since the value of storage modulus in the field increases relative to the value without field by 40%-50%, whereas in the isotropic an

increase of 20% is observed. The introduction of organosilane increases the electrorheological effect for an anisotropic elastomer, while for an isotropic increase it is not visible.

Keywords: electrorheological suspensions; titanium dioxide; viscosity; adaptive materials; elastomers; elastomeric electrically controlled composites

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко разрабатываются новые адаптивные материалы, которые изменяют свои свойства в зависимости от внешних условий [1]. Одним из перспективных направлений является исследование электрореологических (ЭР) композитов. Основными ЭР материалами являются электрореологические жидкости, механические свойства которых могут обратимо изменяться в приложенном внешнем электрическом поле. Электрореологические жидкости обычно состоят из поляризуемых частиц, диспергированных в диэлектрической жидкости. В электрическом поле ЭР жидкости меняют характер течения с ньютоновского на вязкопластичное [2,3].

Один из вариантов реализации ЭР композита – электрореологические эластомеры (ЭРЭ) [4], которые состоят из поляризуемых частиц, наполнителя и эластомерной матрицы. В зависимости от распределения наполнителя в матрице можно выделить два типа ЭРЭ: изотропные и анизотропные [4]. Частицы изотропных ЭРЭ равномерно распределены в матрице, тогда как в анизотропных ЭРЭ они представляют собой упорядоченные структуры в виде тонких цепей. Чтобы получить анизотропные ЭРЭ, необходимо проводить вулканизацию в приложенном электрическом поле. В отличие от жидких ЭР материалов, ЭРЭ представляют собой сшитый эластомер, который деформируется обратимо [5]. Упругая составляющая комплексного динамического модуля, зависит от электрического поля. Частицы ЭРЭ не подвергаются седиментации, что открывает широкие возможности для практического применения. В данной работе использовался диоксид титана, который хорошо зарекомендовал себя в качестве электрореологического агента [6].

1. ОБЪЕКТЫ

В работе использовали общедоступные материалы. В качестве эластомерной матрицы был выбран низкомолекулярный синтетический диметилсилоксановый каучук с условной вязкостью 90 – 150 марки СКТН-а (производство Пента-91). Электрореологические частицы сделаны из оксида титана, с размером частиц ~90 мкм. Чистота 99.9% (производитель ООО «Компонент реактив»).

Для усиления связи каучука и наполнителя был использован модификатор марки М-Ретайр (производство Пента-91). Он представляет собой органосилан с химическим названием Bis[3-(triethoxysilyl)propyl]-tetrasulfide.

В качестве вулканизирующего комплекса использован катализатор холодной вулканизации №68. Он состоит из раствора аминосилана и активных добавок в эфирах ортокремниевой кислоты (производство Пента-91).

В таблице 1 приведен состав резиновых смесей, пересчитанный на массовую концентрацию.

Таблица 1.

Состав смеси.

	Концентрация, %
СКТН-А	63
TiO ₂	21
М-Ретайр	6
К-68	9

2. ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ

Все компоненты эластомера смешивали вручную. Непосредственно перед завершением процесса диспергирования добавляли катализатор. Далее суспензию переливали в установку для вулканизации. Данная установка представляет собой две металлические пластины и изолятор толщиной 3 мм между ними (рис.1). Одна пластина приклеена к изолятору с круглым отверстием, в который заливается подготовленная смесь. Сверху накрывается второй пластиной и придавливается грузом 200 гр. На пластины подается электрическое напряжение 5кВ блоком питания ВБП-5. Под напряжением образцы остаются 5 часов.

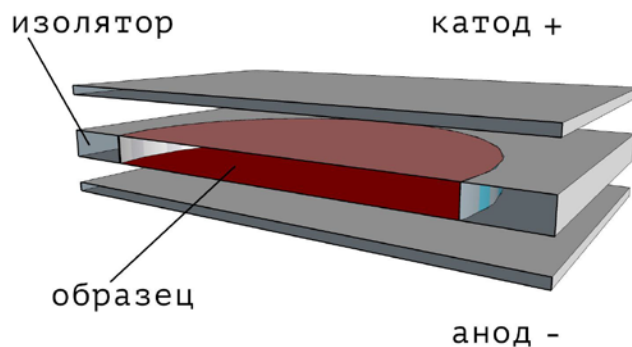


Рис.1. Установка для вулканизации образцов.

Напряженность электрического поля определялось как отношение электрического напряжения к толщине изолятора U/h .

Каждая резиновая смесь готовится в четырех вариантах, вулканизирующаяся в поле (анизотропная), вулканизирующаяся без поля (изотропная) и прогретые при температуре 150°C ориентированные и неориентированные образцы. Прогревание при заданной температуре необходимо для активации модификатора М-ретайр (рис.2).

Полученные образцы испытывались на ротационном вискозиметре Rheostress RS 150 (НААКЕ Германия) с измерительным узлом вида плоскость-плоскость в режиме синусоидального нагружения при плавном изменении амплитуды деформации от 0.0001 до 0.1.

Фотографии образцов были получены с помощью оптического тринокулярного микроскопа Альтами МЕТ 5Т с фотоаппаратом Nikon D90.

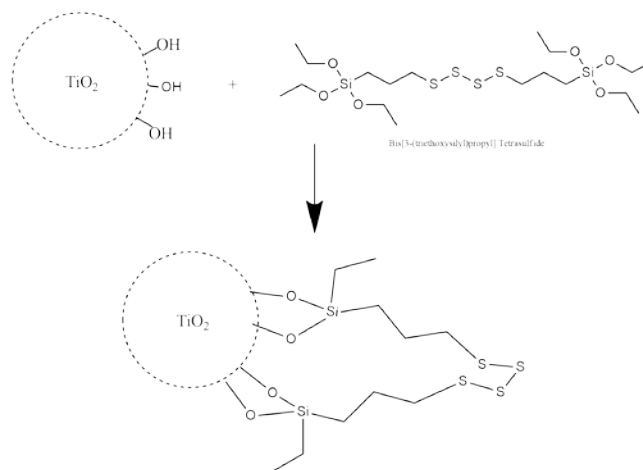


Рис.2. Реакция органосилана с наполнителем.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Анизотропный эластомер. Оксид титана был ориентирован в поле во время вулканизации. В результате получился эластомерный материал, срез которого продемонстрирован на рис.3. На приведенном изображении видны ориентированные нити оксида титана.

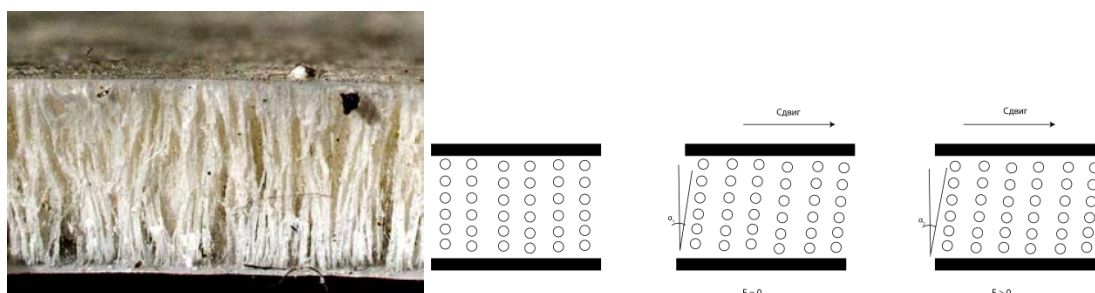


Рис.3. Фотография сшитого эластомера, вулканизированного в электрическом поле (слева), справа приведена схема работы ЭРЭ.

Зависимости модуля накопления G' от амплитуды сдвиговой деформации γ для разных значений напряженности электрического поля приведены на рис.4. Кривые зависимости при измерении в приложенном поле лежат выше, чем при измерении без поля.

Следует отметить, что температурная обработка образцов сильно повысила упругую составляющую комплексного модуля. Данное явление может быть связано с увеличением плотности вулканизационной сетки и усилением взаимодействия матрицы с наполнителем.

Изотропный эластомер. Оксид титана был диспергирован в матрицу и вулканизовался без приложения электрического поля. Зависимости модуля накопления G' от амплитуды сдвиговой деформации γ для разных значений напряженности электрического поля представлены на рис.5.

Из графиков видно, что значения упругой составляющей комплексного модуля выше, чем для анизотропного эластомера, но при этом влияние электрического поля не столь выражено.

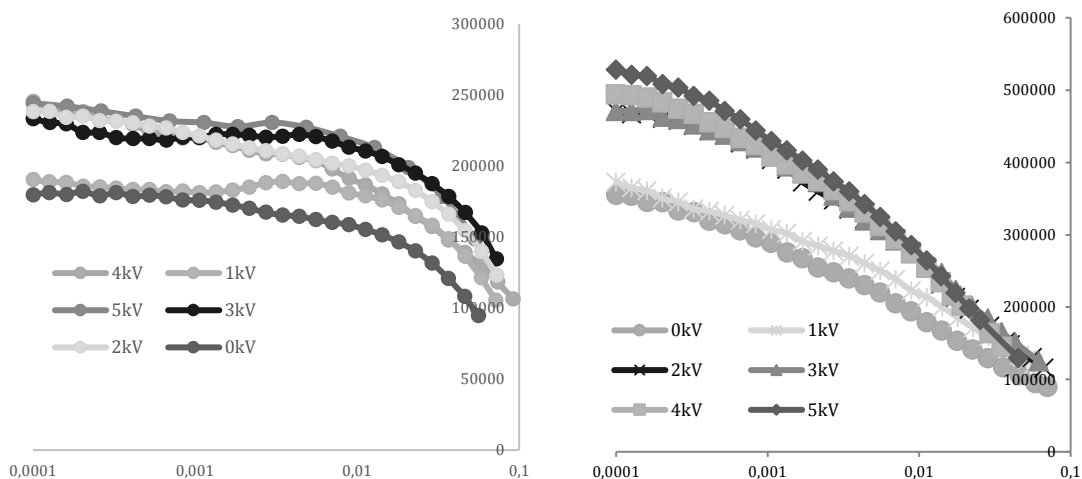


Рис.4. Слева – зависимости G' от амплитуды γ для анизотропного непрогретого эластомера, справа – зависимости G' от амплитуды γ для анизотропного прогретого эластомера (напряженность электрического поля – от 0 до 5 kV).

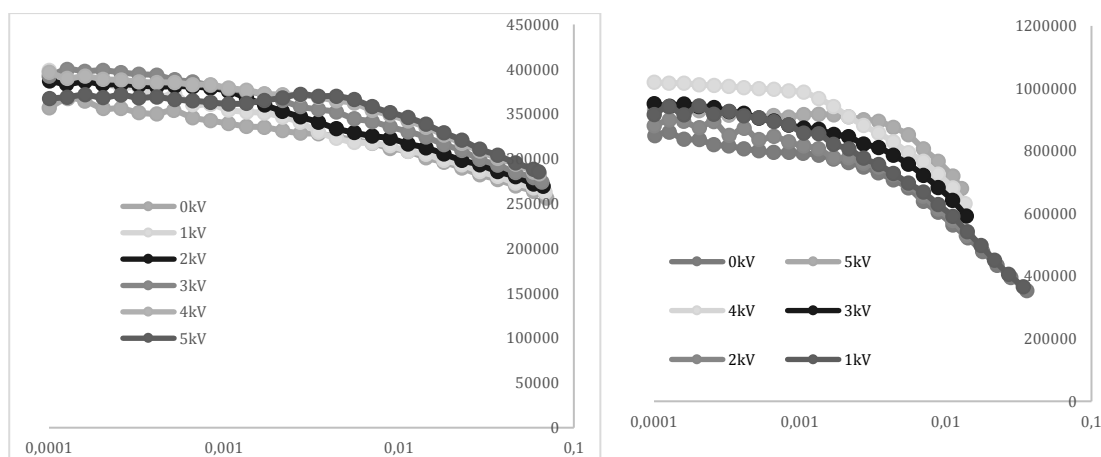


Рис.5. Слева – зависимости G' от амплитуды γ для изотропного не прогретого, справа – зависимости G' от амплитуды γ для изотропного прогретого (напряженность электрического поля – от 0 до 5 kV).

Для того чтобы определить, насколько сильно влияет анизотропия образца на изменение реологических свойств в приложенном электрическом поле, потребовалось построить зависимость приведенных значений упругой составляющей комплексного модуля в электрическом поле к значениям, полученным без поля. Графики зависимости $\frac{G' - G'_0}{G'_0}$ от напряженности поля приведены на рис.6, где G'_0 значение модуля накопления при измерении без поля.

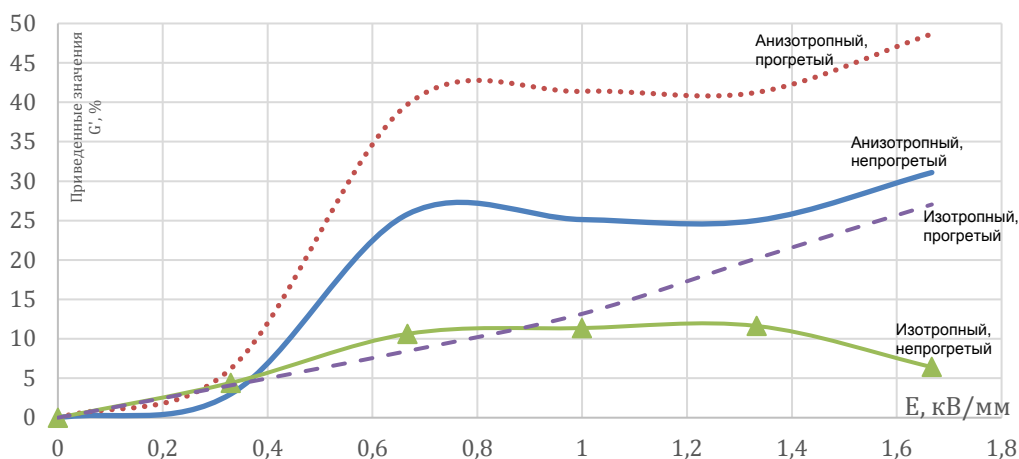


Рис.6. Зависимости $\frac{G' - G'_0}{G'_0}$ от напряженности электрического поля для изотропного и анизотропного эластомеров.

Из рис.6 видно, что для эластомера с ориентированными частицами электрореологический эффект выражен сильнее, и он растет с усилением связи наполнитель-матрица.

ВЫВОДЫ

На основе изложенных материалов можно сделать вывод о том, что:

- Эластомер наполненный ЭР частицами, как изотропный, так и анизотропный меняет свои реологические свойства в приложенном электрическом поле.
- Анизотропный ЭРЭ проявляет больший электрореологический эффект, чем изотропный, так как значение G' в поле увеличивается относительно значения без поля на 40%-50%, тогда как в изотропном наблюдается увеличение на 20%.
- Введение органосилана увеличивает электрореологический эффект для анизотропного эластомера, в то время как для изотропного увеличения практически не наблюдается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семёнов Н.А., Келбышева Е.С., Данилин А.Н. *Электрореологические свойства суспензий полиимидов на основе 4,4'-диаминодифенилсульфида* // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2017. – Т.23. – №4. – С.521-531.
2. Block H., Kelly J.P., Qin A., Watson T. *Materials and mechanisms in electrorheology* // *Langmuir*. – 1990. – Vol.6. – Pp.6-14.
3. Hao T. *Electrorheological fluids* // *Adv. Mater.* – 2001. – Vol.13. – Pp.1847-1852.
4. Dong X., Niu Ch., Qi M. *Electrorheological Elastomers* / In: *Elastomers*. – IntechOpen, August 30th, 2017. DOI: 10.5772/intechopen.68396.
5. Dong X., Niu C., Qi M. *Enhancement of electrorheological performance of electrorheological elastomers by improving TiO2 particles/silicon rubber interface* // *J. Mater. Chem. C*. – 2016. – Iss.4. – Pp.6806-6815.

6. Kossi A., Bossis G., Persello J. Electro-active elastomer composites based on doped titanium dioxide // J. Mater. Chem. C. – 2015. – N3. – Pp.1546-1556.

REFERENCES

1. Semenov N.A., Kelbysheva E.S., Danilin A.N. *EHlektroreologicheskie svoystva suspenzij poliimidov na osnove 4,4'-diaminodifenilsul'fida [Electrorheological properties of suspensions of polyimides based on 4,4'-diaminodiphenylsulfide]*. Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksii, 2017, Vol.23, No.4, Pp.521-531.
2. Block H., Kelly J.P., Qin A., Watson T. *Materials and mechanisms in electrorheology*. Langmuir, 1990, Vol.6, Pp.6-14.
3. Hao T. *Electrorheological fluids*. Adv. Mater., 2001, Vol.13, Pp.1847-1852.
4. Dong X., Niu Ch., Qi M. *Electrorheological Elastomers*. In: Elastomers. IntechOpen, August 30th, 2017, DOI: 10.5772/intechopen.68396.
5. Dong X., Niu C., Qi M. *Enhancement of electrorheological performance of electrorheological elastomers by improving TiO₂ particles/silicon rubber interface*. J. Mater. Chem. C., 2016, Iss.4, Pp.6806-6815.
6. Kossi A., Bossis G., Persello J. Electro-active elastomer composites based on doped titanium dioxide // J. Mater. Chem. C. – 2015. – Vol.3. – Pp.1546-1556.

Поступила в редакцию 28 июня 2018 года.

Сведения об авторе:

Семёнов Николай Александрович – к.т.н., с.н.с., ФГБУН Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия; e-mail: semenov.n@iam-ras.ru

Михалёв Артём Игоревич – н.с., ФГБУН Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия; e-mail: artem.mikhalev.92@mail.ru