

Д. М. Кадилов, С. Е. Нефедьев, Д. М. Кадилова,
Е. С. Нефедьев

САМОРЕГУЛИРУЮЩАЯСЯ ТОКОПРОВОДЯЩАЯ ГРЕЮЩАЯ КОМПОЗИЦИЯ

Ключевые слова: проводящие полимерные композиции, углеродные наночастицы.

Получены зависимости удельного сопротивления углеродосодержащего полисульфидного полимера от температуры при различном процентном содержании углеродных материалов. Продemonстрировано влияние механической нагрузки на электропроводящие свойства композиции.

Keywords: conductive polymer composites, carbon nanoparticles.

The temperature dependence of specific resistance of carboncontaining polysulfide polymer with different concentration of carbon materials was measured. The influence of mechanical stress on the conducting properties of the composition had been demonstrated.

Введение

Поддержание необходимых технологических режимов в промышленности, строительстве, системах энергоснабжения является важной задачей для обеспечения бесперебойной и надежной работы народного хозяйства. Большие проблемы связаны с климатической зоной, в которой находится наша страна. Продолжительные зимы требуют значительных затрат на поддержание нужных температурных параметров на всех объектах жилого и промышленного назначения. Универсальным способом поддержания температурных режимов на промышленных объектах, особенно удаленных от централизованных узлов теплоснабжения, является электрическая энергия. Удобство доставки, регулирования уровня мощности, наличие развитой инфраструктуры выводит на передний план разработку экономичных систем электрообогрева. Для удобства и экономии рабочей силы, как правило, применяются автоматические системы электрообогрева, которые через электронные схемы обратной связи и по сигналам специальных датчиков позволяют регулировать выходную мощность нагревателей.

Однако автоматические системы электрообогрева требуют разработку специальных схем, их обслуживания. Они могут выйти из строя, тем самым подвергая опасности сам технологический процесс, где применяется регулирование температуры.

Группой ученых из КНИТУ разработана [1] греющая композиция с саморегулируемыми электрическими свойствами, не требующая при своей эксплуатации дополнительных датчиков температуры и электронных схем обратной связи. Композиция включает в себя полимерный материал и углеродсодержащий наполнитель.

Несмотря на то, что полимеры обладают отличными свойствами для широкого круга промышленных объектов, они долгое время не применялись для приложений, требующих электрической проводимости. Добавление углеродсодержащих наполнителей в полимерную матрицу придает им электрическую проводимость.

Данный материал обладает способностью к саморегулированию выделяемой мощности. Принцип саморегулирования сопротивления заключается в следующем: когда окружающая среда холодная, материал греющего элемента сжимается, создавая при этом множество токопроводящих дорожек из углеродного материала, снижая тем самым электрическое сопротивление. При прохождении через греющий элемент электрического тока происходит выделение тепловой энергии. В более теплых участках греющего элемента материал расширяется, сокращая при этом число токопроводящих дорожек. Электрическое сопротивление материала греющего элемента повышается, в результате выделение тепла снижается. В горячих участках расширение материала греющего элемента практически полностью разрывает токопроводящие дорожки. При этом электрическое сопротивление материала становится очень высоким, что приводит к значительному снижению выделения тепловой энергии [2-3]. Такое свойство греющей композиции исключает перегорание и обеспечивает поддержание равномерной температуры по всей протяженности покрытого герметиком материала, позволяет вообще обойтись без температурных датчиков и электронных схем регулирования температуры в греющей системе.

Полисульфидные олигомеры являются основой композиционных материалов, известных как полисульфидные герметики, создающие непроницаемость в условиях деформационного растяжения и сжатия, в условиях перепада температур, наличия растворителей и агрессивных сред [1]. По электрофизическим свойствам саженанополненные композиционные материалы на основе полисульфидных олигомеров являются полупроводниками, их удельное сопротивление 100-1000 Ом·м [4]. Применение саженанополненных полимеров на основе полисульфидных олигомеров в качестве материала саморегулирующихся электронагревательных элементов обусловлено высокой эластичностью и возможностью эксплуатации в диапазоне температур от -60 до +130°C, стойкостью к естественному атмосферному старению при комплексном воздействии тепла и мороза, хорошей адгезией к металлам и хорошими

физико – механическими свойствами (механическая прочность, удлинение при разрыве, твердость и модуль упругости). Полисульфидные герметики широко применяются в различных областях техники, что означает наличие сырья, налаженность производства и, соответственно, дешевизну производимых на их основе электронагревательных элементов, например саморегулирующихся кабелей.

В стандартном исполнении в качестве проводящего элемента в композицию добавляется технический углерод марки П-803. Несмотря на хорошие результаты по достигаемой крутизне кривой зависимости удельной мощности от температуры, ее практическое использование в качестве саморегулирующегося греющего токопроводящего элемента было маловероятным из-за недостаточной электрической мощности.

Для повышения электропроводности композиции часть технического углерода была заменена на электропроводящую сажу Vulcan XC-72 (продукция Корпорации Cabot). Добавление углеродных наночастиц дополнительно улучшает электропроводящие свойства композиции.

Экспериментальная часть

Температурная зависимость удельной электрической мощности полимерной композиции получена с помощью установки на основе блока температурной стабилизации В-VT-1000 (фирма Bruker, Германия), описанной в работе [5]. Температура в ячейке с образцом поддерживается с помощью потока газообразного азота, поступающего по вакуумной трубке из сосуда Дьюара с жидким азотом. Внутри вакуумной трубки, связывающей рабочий объем ячейки с сосудом Дьюара, находится нагревательный элемент, непосредственно регулирующий температуру газообразного азота. После установки и стабилизации необходимой температуры проводится снятие электрических характеристик образца с помощью мультиметра МУ-68 фирмы Mastech.

Результаты и обсуждение

Как видно из графика, замена 20% технического углерода на электропроводящую сажу Vulcan XC-72 в составе композиции позволяет значительно увеличить удельную электрическую мощность. При добавлении микродоз углеродных наноструктур кривая температурной зависимости удельной мощности смещается по оси температур, так же изменяется ее крутизна. Данный эффект позволяет регулировать удельную мощность саморегулируемого нагревательного элемента в различных диапазонах температур.

На рис. 1 представлен график температурной зависимости удельной электрической мощности полимерных композиций.

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования саморегулирующейся токопроводящей греющей композиции для борьбы с сосульками (наледью) на крышах и проводах, при поении животных зимой, а также в авиации, для

борьбы с обледенением лопастей вертолетов и крыльев самолетов. Оценки возможного эффекта применения таких материалов приводят к выводу о существенном упрощении технологического процесса изготовления, повышении надежности работы и упрощения эксплуатации противобледенительной системы.

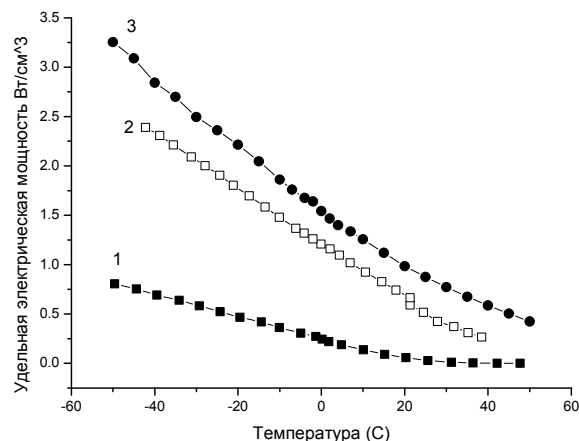


Рис. 1 - Зависимость удельной мощности тока саморегулирующейся токопроводящей композиции от температуры, 1 - исходный композит, 2 - композит, где 10% т.у. заменена на электропроводящую сажу Vulcan XC-72, 3 - композит, где 10% т.у. заменена на электропроводящую сажу Vulcan XC-72 и добавлены наночастицы в объеме 0.5% от общей массы углеродного наполнителя

Наиболее универсальным практическим исполнением саморегулирующегося греющего токопроводящего элемента является кабель, основой которого является тепловыделяющий материал, заполняющий расстояние между двумя токонесущими металлическими жилами.

Механические нагрузки на данный материал действуют следующим образом – чем больше сжимается композиция, тем больше проходящий через него ток, и наоборот. И, поэтому, этот материал также может быть применен в создании дешевых безинерционных широкодиапазонных весов, которые, к примеру, могут быть смонтированы в асфальтовую дорогу и будут давать информацию в автоматизированную систему контроля весов проносящихся машин. На базе данной разработки также можно создать дешевые и надежные системы контроля деформации различных несущих конструкций зданий, мостов и промышленных сооружений, амплитуды колебаний высотных зданий.

На рис. 2 приведены фото и схематическое обозначение варианта кабеля с саморегулирующейся токопроводящей греющей композицией между двумя полосками медной фольги.

Рис.3 демонстрирует влияние механического давления на этот кабель. Чем больше сжимается композиция, тем меньше ее электрическое сопротивление, и, следовательно, тем больше ток,

проходящий через кабель и тем ярче горит последовательно соединенная лампочка.



Рис. 2 - Фотография и схематическое обозначение образца варианта кабеля с саморегулирующейся токопроводящей композицией между двумя полосками медной фольги

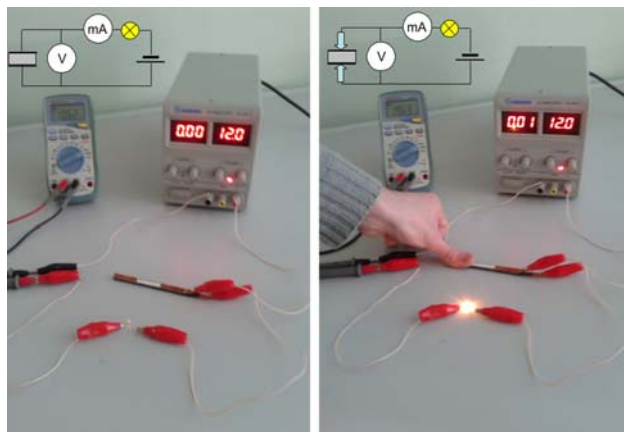


Рис. 3 - Демонстрация влияния механического давления на электропроводность саморегулирующегося греющего кабеля

Выводы

Разработана новая саморегулирующаяся токопроводящая греющая композиция с хорошими герметическими, адгезионными свойствами, которая мало подвержена влиянию внешних агрессивных сред, а электропроводящие свойства материала могут регулироваться добавлением электропроводящей сажи Vulcan XC-72 и микродоз конических углеродных нанотрубок.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Наноматериалы и нанотехнологии» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» по гос. Контракту 16.552.11.7060.

Литература

1. Патент РФ 2388089 (2010).
2. Т.Ю. Миракова, Е.С. Нефедьев, З.Ш. Идиятуллин, А.И. Даянова, И.Р. Низамеев, Ф.Г. Маннанова, Ю.С. Карасева, *Вестник Казанского технол. ун-та*, **14**, 1, 109–113 (2011).
3. Р.А. Сафиуллин, Д.М. Кадилов, И.Э. Исмаев, Е.С. Нефедьев, М.К. Кадилов, *Вестник Казанского технол. ун-та*, **15**, 3, 94–95 (2012).
4. E.R. Bertozzi, *Rubber Chem. And Techn.*, **41**, 1, 114-160 (1968).
5. Р.А. Сафиуллин, Е.С. Нефедьев, М.К. Кадилов, *Вестник Казанского технол. ун-та*, **12**, 67–69 (2011). // *Вестник Казанского технол. ун-та*, **14**, 12, 67–69 (2011).