

УДК 53.097/538.956

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РЕАКЦИЮ СУСПЕНЗИИ ПОЛИИМИДА К ПРИЛОЖЕННОМУ НАПРЯЖЕНИЮ

Н.А. Сёменов, Р.А. Галимов

Аннотация

Представлены характеристики электрореологических свойств нового класса «умных материалов» – электрореологических суспензий на основе наноразмерных полимерных частиц полиимидов. Исследования проведены в широком диапазоне изменения скоростей сдвигового деформирования и при различных температурах. Полученные результаты открывают перспективы для широкого практического использования подобного класса электрореологических суспензий.

Ключевые слова: полиимиды, наночастицы, электрореологические свойства, электрореологические суспензии, кривые течения.

Введение

Электрореологические суспензии (ЭРС) относятся к числу так называемых «умных материалов», реологические и механические свойства которых (вязкость, предел текучести, модуль сдвига и др.) могут резко изменяться под воздействием прикладываемого внешнего электрического поля (электрореологический (ЭР) эффект) [1–4]. Поскольку указанные трансформации происходят в течение миллисекунд и обратимы, а суспензия изменяет характер своего течения с ньютоновского до вязкопластичного, подобные материалы перспективны с практической точки зрения [5, 6]. У известных из литературы ЭРС при повышении температуры реакция на приложение электрического поля резко снижается или исчезает.

1. Объект исследования

В настоящей работе использовался полимер с мономерными звеньями, состоящими из 4,4'-оксидианилина и 3,3',4,4'-дифенилтетракарбонового диангидрида. В дальнейшем такой полимер будем обозначать как PI-0210. Структурная формула PI-0210 показана на рис. 1.

Частицы полиимиды получали по стандартной методике [7], модифицированной для более чистого вывода вещества. В частности, объекты синтезировались при нагревании реагентов до 150–160 °С в смеси растворителей диметилформамид/мезитилен, соотношение которых варьировалось в зависимости от растворимости исходных реагентов в течение 6–8 ч в инертной атмосфере аргона. Вещество в ходе реакции выпадало в виде осадка, который промывали этилацетатом, растворитель отгоняли на роторном испарителе в вакууме, к остатку добавляли этанол и выпавший осадок промывали толуолом. Строение полученного полимера подтверждали с помощью ИК-спектроскопии (рис. 2).

На ИК-спектре хорошо видны характеристические пики 1714 (1722), 1501 (1509), 1372 (1369) и 1246 см⁻¹, относящиеся к определенным функциональным

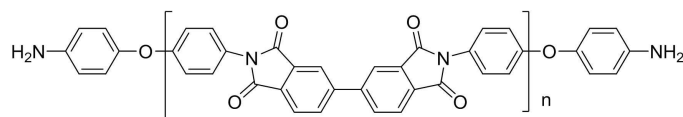


Рис. 1. Структурная формула полиимида PI-0210

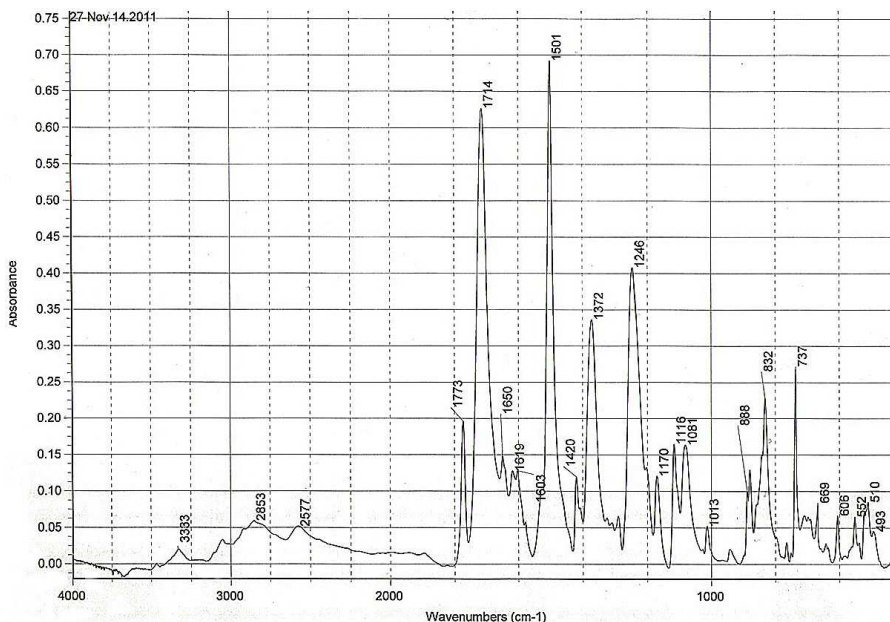


Рис. 2. ИК-спектр полиимидов PI-0210, которые проявили хорошие ЭР-свойства

группам, входящим в состав молекул. В частности, это карбонильная связь $C=O$, бензольное кольцо, ароматический амид $C-N$, $C-C$ -связи и т. д. Из полученного порошка были изготовлены суспензии в среде полидиметилсилоксана-400 с плотностью 0.9 и относительной диэлектрической проницаемостью 4. Таким образом, были подготовлены суспензии с концентрацией 10% по массе (обозначим их как ПМС-400).

2. Методика исследований

Реологические испытания проводили на одном из современных типов реовискозиметров – реоспектрометре RS-150 (НААКЕ, Германия). Прибор позволяет исследовать реологические свойства неньютоновских вязкоупругих сред, в том числе с явно выраженными тиксотропными свойствами, и имеет широкие возможности варьирования параметров и режимов деформирования. Для изучения ЭР-эффектов данный прибор снабжен специальными измерительными узлами типа цилиндр – цилиндр, плоскость – плоскость, позволяющими создавать электрические поля в рабочих зазорах. Кроме требований, предъявляемых при измерениях к стандартным реовискозиметрам при проведении ЭР-испытаний, необходим дополнительный контроль ряда параметров, например таких, как однородность внешнего электрического поля в рабочем зазоре прибора (обеспечивающего однородную поляризацию по всему объему образца), ориентация внешнего электрического поля по отношению к направлению сдвиговой деформации. В настоящем

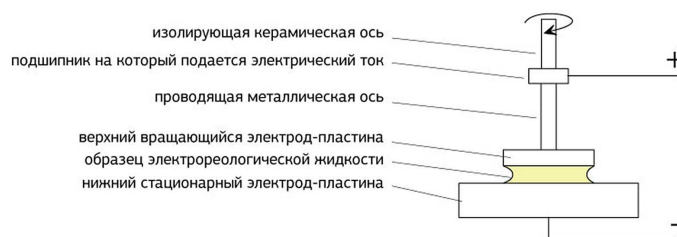


Рис. 3. Схема электрореологической ячейки реовискозиметра RS-150 с рабочим узлом типа плоскость – плоскость

исследовании ЭР-испытания проводили на рабочем узле плоскость – плоскость. ЭР-узел представляет собой систему плоских электродов из нержавеющей стали (диаметр рабочей поверхности составлял 35 мм), изолированных от штатных систем вискозиметра керамической осью. Верхний электрод (плоский диск) закреплен на оси, соединенной с приводом ступенчатого генерирования различных скоростей вращения (оборотов). Второй электрод, также в форме диска, расположен под первым электродом и закреплен неподвижно. Взаимное расположение рабочих поверхностей жестко фиксируется при помощи специальной конструкции. Для обеспечения равномерности зазора между плоскими поверхностями (1 мм) расстояние между ними тщательно тарируется. Подобная тарировка призвана обеспечивать высокую однородность электрического поля в зазоре и возможность приложения высоких величин электрических напряжений. Напряжения на ячейку через скользящий контакт подаются на подшипник, который соединен с металлической осью верхнего электрода, а также и на нижний неподвижный электрод. Схема измерительной ЭР-ячейки приведена на рис. 3.

Электрическое поле в зазоре создавалось с помощью блока питания SRS RS-350. Температура регулировалась при помощи термоконтроллера HAAKE TC 501.

3. Влияние температуры

Из образца полиимида PI-0210 была изготовлена 10%-ная по массе суспензия на основе полидиметилсилоксановой жидкости с молекулярной массой 400 и $\varepsilon = 4$. Первая серия экспериментов проводилась в режиме установившегося сдвигового деформирования при варьировании скорости сдвига от 1 до 200 с^{-1} . По результатам этих измерений были построены зависимости касательных напряжений от скорости сдвига. Как видно из рис. 4, изменение температуры не оказывает заметного влияния на ЭР-свойства суспензии.

Измерения проводились при температурах 24 °С, 40 °С, 50 °С, 70 °С. На рис. 5 приведены зависимости значений касательных напряжений от величины приложенного электрического поля. Видно, что на ЭР-отклик суспензии не влияет повышение температуры. Для определения влияния среды на изменение реологических свойств суспензии было проведено сопоставление реологических характеристик при разных температурах для ПМС-400 с данными для суспензии. Для улучшения визуализации приведем значения касательных напряжений к значениям, полученным при комнатной температуре (24 °С) ($\tau/(\tau_{24})$). На рис. 6 представлены полученные и приведенные значения для ПМС-400 и суспензии PI-0210.

Исходя из этого, можно предположить, что вклад создаваемых частиц полиимида в значение касательных напряжений увеличивается при повышении температуры, а также вероятно то, что полидиметилсилоксановая среда становится более подвижной, и ее вклад в механические свойства уменьшается.

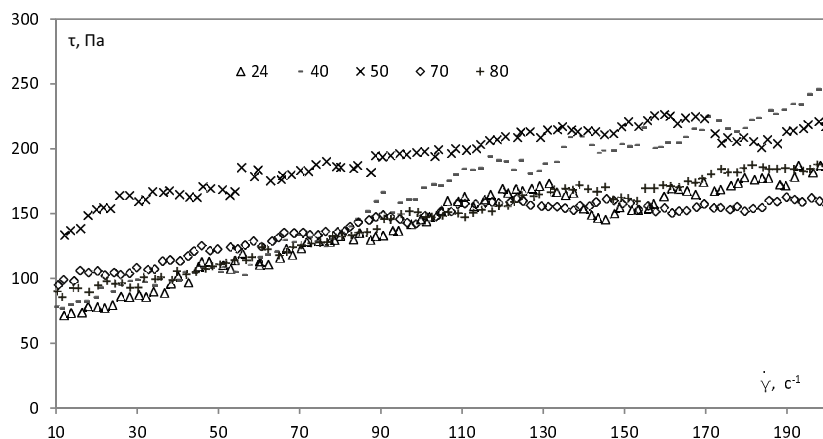
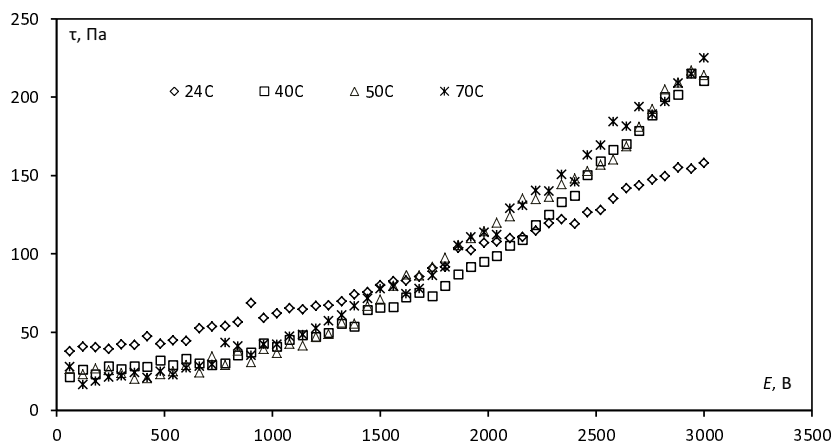
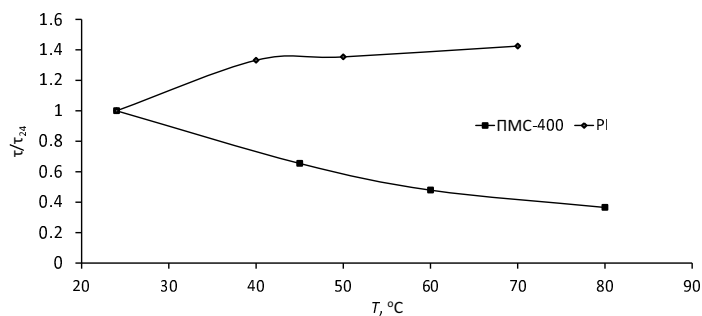


Рис. 4. Кривые течения для 10%-ной по массе суспензии PI-0210

Рис. 5. Зависимости касательных напряжений при постоянной скорости сдвига 30 с^{-1} от электрического поляРис. 6. Сопоставление приведенных касательных напряжений для ПМС-400 и суспензии PI-0210 в электрическом поле 3 кВ/мм при различных температурах и скорости сдвига 30 с^{-1}

Следующая серия экспериментов проводилась с постоянной скоростью сдвига 30 с^{-1} при плавном изменении напряжений электрического поля в диапазоне от 0 до 3.5 кВ .

4. Выводы

В настоящем исследовании было наглядно показано, что изменение температуры оказывает слабое влияние на механические свойства суспензий полиимидов и ее влияние обусловлено изменением свойств дисперсионной среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-19-01653).

Summary

N.A. Semenov, R.A. Galimov. The Effect of Temperature on the Reaction of Polyimide Suspension to Applied Voltage.

The electrorheological properties of a new class of “smart materials”, electrorheological suspensions based on nano-sized polymer particles of polyimides, are discussed in the paper. The investigations are performed in a wide range of shear deformation speeds and at different temperatures. The obtained results open up prospects for widespread practical use of this class of electrorheological suspensions.

Keywords: polyimides, nanoparticles, electrorheological properties, electrorheological suspensions, flow curves.

Литература

1. *Block H., Kelly J.P., Qin A., Watson T.* Materials and mechanisms in electrorheology // *Langmuir*. – 1990. – V. 6, No 1. – P. 6–14.
2. *Hao T.* Electrorheological fluids // *Adv. Mater.* – 2001. V. 13. – P. 1847–1852.
3. *Lu K., Lan Y., Men Sh., Xu X., Zhao X., Xu S.* Dependence of the shear stress on particle properties in electrorheological fluids // *Int. J. Modern Phys. B*. – 2001. – V. 15, No 6–7. – P. 938–946.
4. *Lengalova A., Pavlinek V., Saha P., Stejskal J., Kitano T., Quadrat O.* The effect of dielectric properties on the electrorheology of suspensions of silica particles coated with polyaniline // *Physica A*. – 2003. – V. 321, No 3–4. – P. 411–424.
5. *Данилин А.Н., Яновский Ю.Г., Семёнов Н.А., Шалашилин А.Д.* Кинематическая модель реологического поведения неньютоновских жидкостей в условиях нестационарного циклического нагружения // *Механика композиционных материалов и конструкций*. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 369–383.
6. *Danilin A.N., Yanovsky Yu.G., Semenov N.A., Shalashilin A.D.* Kinematic model of the rheological behavior of non-newtonian fluids in conditions of nonstationary cyclic loading // *Composites: Mechanics, Computations, Applications: An Int. J.* – 2012. – V. 3, No 3. – P. 331–345.
7. *Семёнов Н.А., Сидорова Г.Я., Юмашев О.Б., Гусева М.А., Яновский Ю.Г.* Электро-реологические свойства суспензий на основе наноразмерных частиц полиимидов // *Механика композиц. материалов и конструкций*. – 2012. – Т. 18, № 2. – С. 273–300.

Поступила в редакцию
30.06.15

Семёнов Николай Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия.

E-mail: semenov.n@iam-ras.ru

Галимов Родион Александрович – младший научный сотрудник, Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия.

E-mail: rodion599@gmail.com