

УДК 541.6

DOI: <http://dx.doi.org/10.20914/2310-1202-2016-1-156-158>

Доцент Т.И. Игуменова, аспирант А.М. Шульга

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров.

тел. 8-(4732)49-92-37

E-mail: [igynti8@rambler.ru](mailto:igynti8@rambler.ru), [alex-mare@mail.ru](mailto:alex-mare@mail.ru).

Associate professor Igumenova T.I., graduate Shulga A.M.

(Voronezh state university of engineering technologies) Department of chemistry and chemical technology of organic compounds and polymer processing.

phone 8-(4732)49-92-37

E-mail: [igynti8@rambler.ru](mailto:igynti8@rambler.ru), [alex-mare@mail.ru](mailto:alex-mare@mail.ru).

## Исследование теплообразования при динамическом нагружении резин

### Study on heat under dynamic loading of rubber

**Реферат.** Проведен ряд исследований по изучению теплообразования в шинных резинах методом сканирования поверхности образцов с помощью тепловизора. Изучали процесс экзотермической химической реакции механодеструкции резин при нагружении образцов постоянным циклическим растяжением с деформацией рабочей зоны 50 %. Процент деформации рабочей зоны был выбран на основании фактических данных по растяжению-сжатию зоны «сухаря» автошины, которая подвергается максимальному перепаду уровня деформации при обкатке. План эксперимента предусматривал периодическую релаксацию образцов длительностью не менее 72 часов для более точного моделирования процесса эксплуатации конструкционного изделия. Создан и обработан массив данных по изменению температуры в образцах по гистограммам и линии профиля для резиновых смесей с введением наномодификатора (фуллеренсодержащего технического углерода) в сравнении с контрольным образцом без него. Полученные данные отражают характер теплообразования в зависимости от состава резиновой смеси. Выявлены общие закономерности теплового характера физико-химического процесса механодеструкции резин. Для резин с наномодификатором наблюдается расширение температурного интервала реакции от минимального значения до максимального на два градуса, что связано также с ростом средней температуры реакции по гистограмме также на 2-3 градуса при одинаковых условиях деформации и уровня циклического нагружения. Однако понижение температуры в контрольном образце, связанное с началом формирования упрочненной структуры резины, обусловленной эффектом Маллинза-Петрикеева, происходит с запозданием в два раза по сравнению с модифицированным фуллеренами образцом. Измерение физико-механических показателей отобранных по ходу испытаний образцов показало начало формирования структуры с повышением прочности образцов в зоне понижения температуры образцов, что соответствует тепловому эндотермическому эффекту реакции рекомбинации макромолекул.

**Summary.** A number of studies on heat buildup in tire rubber surface scan method samples using a thermal imaging camera. Investigated the exothermic chemical reaction mechanical destruction rubber when loading designs permanent cyclic stretching with deformation of the working zone 50%. Percentage of deformation of the working zone was chosen on the basis of the actual data on the stretch-compression zone "Rusk" tires, which is the maximum level difference of deformation during run-in. Experiment plan provided for periodic relaxation samples of at least 72 hours for more accurate simulation of operation process of structural products. Created and processed data on temperature changes in samples for bar and line profile for rubber compounds with the introduction of nanomodificator (fullerene-containing technical carbon) in comparison with the control sample without him. The data obtained reflect the nature of heat depending on the composition of the compound. Identified common patterns of thermal nature of physico-chemical process mechanical destruction rubbers. For rubber with nanomodifikatorom there has been an increase in the temperature interval reaction from a minimum to a maximum 2 degrees that is also linked to the rise in the average temperature of the reaction on the histogram also at 2-3 degrees of deformation under the same conditions and the level of cyclic loading. However, the temperature in the control sample that is associated with the beginning of the formation of hardened rubber structures, economies of Mallinza-Petrikeeva, occurs with delay twice compared with modified Fullerenes. Measurement of physic-mechanical indicators selected in the course of testing of samples showed the beginning of formation of structure with increased strength of samples in the sample temperature zone that corresponds to the thermal effect of endotermičeskomu recombination reactions of macromolecules.

**Ключевые слова:** температура, тепловые процессы, динамика процесса, деформация резин, прогноз характеристик.

**Keywords:** temperature, thermal processes, the dynamics of the process, the deformation of the rubber, forecast features.

© Игуменова Т.И., Шульга А.М., 2016

Для цитирования

Игуменова Т.И., Шульга А.М. Исследование теплообразования при динамическом нагружении резин // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. №1. С. 156-158. doi:10.20914/2310-1202-2016-1-156-158.

For cite

Igumenova T.I., Shul'ga A.M. Study on heat under dynamic loading of rubber. *Vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies]. 2016, no. 1, pp. 156-158. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2016-1-156-158.

Изучение тепловых процессов, протекающих в разных слоях шин во время обкатки, играет важную роль для решения проблемы повышения эксплуатационной выносливости шин как конструкционных изделий. На образование и распределение температуры по структуре покрышки влияют следующие факторы: скорость ее вращения и характер изменения этой скорости в процессе езды, давление воздуха в камере и общая нагрузка на колесо.

В ряде публикаций подробно рассмотрены вопросы влияния смеси фуллеренов как на тепловое старение каучуков [1, 2], так и на динамическую выносливость резин с различными наполнителями [3], однако данных, позволяющих провести корреляционную связь между теплообразованием и изменением физико-механических свойств резин в процессе эксплуатации изделий, практически нет. Таким образом, целью нашего исследования было натурное моделирование процесса деформации образцов покровных шинных резин с целью выявления зон упрочнения и термомеханической деструкции путем замера температуры в режиме реального времени.

В качестве объектов исследования были выбраны: углеродный наномодификатор – смесь фуллеренов фракции  $C_{50}$  –  $C_{92}$ , состава:  $C_{50}$  –  $C_{58}$  (14.69%),  $C_{60}$  (63.12%),  $C_{62}$  –  $C_{68}$  (5.88%),  $C_{70}$  (13.25%),  $C_{72}$  –  $C_{92}$  (3.06%) и синтетические каучуки различной структуры, а именно: товарный полибутадиен СКД следующего состава – содержание цис-1,4 звеньев 93%, содержание транс-1,4 звеньев 5%, 1,2 звеньев – 2%; натуральный каучук (НК) RSS (ГОСТ ИСО 1795-96), с содержанием 1,4 цис-звеньев, 98%; синтетический бутадиен-стирольный каучук (ГОСТ 15628-79) с содержанием транс-1,4 звеньев 71.8%, цис-1,4 – 10.3%, 1,2-звеньев – 15.8%.

На основе этих каучуков были изготовлены и далее вулканизованы резиновые смеси для покровной резины шин. Модификация полимеров смесью фуллеренов указанного состава проводилась путем внесения необходимой концентрации смеси фуллеренов на носителе (техническом угле) на первой стадии смешения резиновой смеси.

Динамическое нагружение образцов проводили на установке для циклического многократного растяжения при степени деформации 50% растяжения рабочей зоны согласно стандартной методике. План эксперимента предусматривал периодическую релаксацию (отдых) образцов длительностью не менее 72 часов для более точного моделирования процесса эксплуатации конструкционного изделия.

Визуализацию и оцифровку тепловых эффектов при динамических испытаниях резин выполняли с использованием тепловизора марки «testo 880». Методика измерений температуры на этом приборе основана на конвертации инфракрасного излучения в электрические сигналы и их визуализации в виде термографических картинок. Тепловизор позволяет в режиме реального времени выделить точки с наибольшим риском перегрева, аномалиями или зону с тепловым эффектом. Прибор выполняет сканирование поверхности материалов или компонентов без какого-либо повреждения и показывает проблемные участки [4, 5].

По результатам математической обработки термоизображений можно определить наличие зон значительной концентрации механических напряжений, оценить напряженно-деформированное состояние конструкционного изделия в условиях эксплуатации и при необходимости рассчитать коэффициенты концентрации напряжений.

Обычная термограмма показывает только среднюю температуру в каждом концентрическом слое покрышки, в результате чего положение области перегрева не может быть локализовано. Применяя тепловизор «testo880», можно наблюдать тепловое изображение и измерять температуру в реальном времени, фиксировать динамику смещения участков перегрева через определенные промежутки времени и моделировать кинетику механодеструкции.

На рисунке 1 представлены результаты измерений в виде гистограммы распределения температуры по десяти образцам, подвергшимся динамическому нагружению в количестве 3000 циклов.

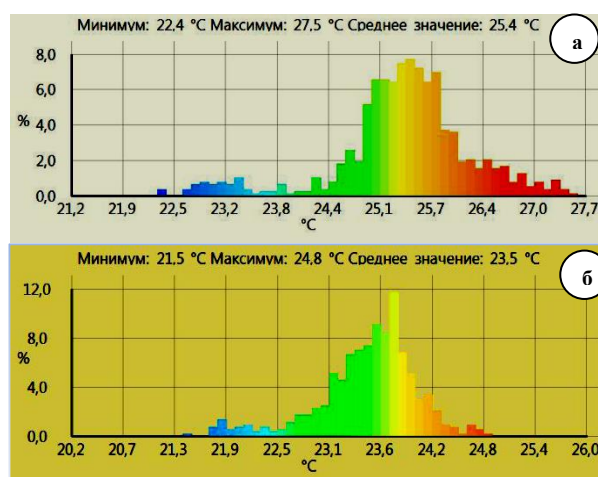


Рисунок 1. Термограммы образцов а) с наномодификатором б) контрольный

Для резин с наномодификатором (рисунок 1) наблюдается расширение температурного интервала реакции от минимального значения

до максимального на два градуса, что связано также с ростом средней температуры реакции по гистограмме также на 2-3 градуса при одинаковых условиях деформации и уровня циклического нагружения.

На кривых зависимости температуры образца от количества циклов суммарного нагружения (рисунок 2) показано, что скорость теплообразования в образцах с наномодификатором выше, чем у контрольного и соответственно достижение максимума температуры происходит при нагружении в два раза меньше. Однако минимум температуры в образцах обоих типов достигается практически одновременно, при этом температура в образцах с фуллеренами выше, чем у контрольных почти на два градуса. Обе кривые удовлетворительно описываются линиями тренда с одинаковыми коэффициентами аппроксимации  $R^2=0,9154$ . Для образца с наномодификатором полином имеет вид:

$$y=0,0016x^6-0,0547x^5+0,7069x^4-4,3299x^3+12,381x^2-14,238x+3,297, \quad (1)$$

соответственно для контрольного образца:

$$y=0,0023x^6-0,0855x^5+1,1935x^4-7,9255x^3+25,219x^2-34,995x+46,953 \quad (2)$$

В точках минимума температуры были отобраны пробы образцов для определения прочности. Измерения показали увеличение условной прочности при растяжении для обеих серий, что свидетельствует о протекании процесса формирования структуры с повышением прочности образцов именно в зоне понижения

температуры, что соответствует тепловому эндотермическому эффекту реакции рекомбинации макромолекул в соответствии с эффектом Маллинза-Петрикеева. Следует отметить наличие на кривой, соответствующей модифицированному образцу, плато постоянной температуры, что свидетельствует об образовании устойчивой к динамическим нагрузкам структуры, тогда как у контрольного материала вместо плато наблюдается резкий подъем температуры, которым сопровождается механодеструкция и падение прочности образца.

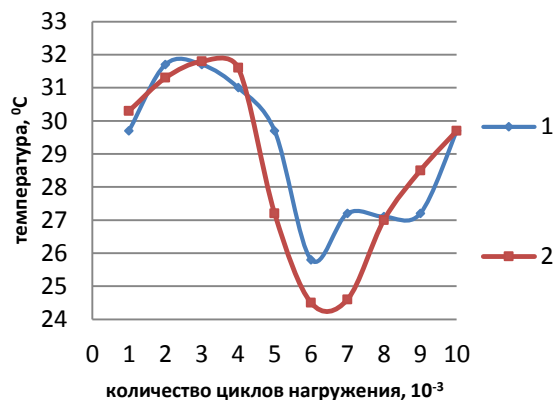


Рисунок 2. Зависимость температуры образца от количества циклов суммарного нагружения где 1-образец с ФТУ, 2-контрольный образец

Таким образом, измерение теплообразования позволяет достаточно точно выделить зоны упрочнения и деструкции образцов композиционных материалов неразрушающим методом.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1 Чичварин А.В., Игуменова Т.И. Явление стабилизации теплового старения связующих на основе товарного полибутадиена смесью фуллеренов группы C50-C92 // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 4. С. 142-144.

2 Чичварин А.В., Игуменова Т.И., Крахт Л.Н. Исследование инфракрасных спектров пленок каучуков в присутствии модификаторов наноразмерного типа с интерпретацией результатов на основе хемометрического подхода // Фундаментальные исследования. 2011. № 12-1. С. 194-198.

3 Игуменова Т.И., Гудков М.А., Попов Г.В. Особенности усталостной устойчивости резин на основе комбинации минеральных наполнителей и фуллеренсодержащего технического углерода // Промышленное производство и использование эластомеров. 2012. № 1. С. 25-27.

4 Госсорг Ж. Инфракрасная термография: основы, техника, применение. М.: Мир, 2010. 416 с.

5 Вавилов В.П., Климов А.Г. Тепловизоры и их применение. М.: Интел. универсал, 2012. 88 с.

#### REFERENCES

1 Chichvarin A.V., Igumenova T.I. The phenomenon of stabilization of thermal aging of binders based on polybutadiene commercial mixture of fullerene C50, S92 group. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. [Herald of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov], 2011, no. 4, pp. 142-144. (In Russ.).

2 Chichvarin A.V., Igumenova T.I., Krakht L.N. Investigation of infrared spectra of films of rubber in the presence of nanosized modifiers such as the interpretation of the results based on chemometric approach. *Fundamental'nye issledovaniya*. [Basic Research], 2011, no. 12-1, pp. 194-198. (In Russ.).

3 Igumenova T.I., Gudkov M.A., Popov G.V. Features rubber fatigue stability based on a combination of mineral fillers and fullerene carbon black. *Proyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov* [Industrial production and use of elastomers], 2012, no. 1, pp. 25-27. (In Russ.).

4 Gossorg Zh. Infrakrasnaya termografiya [Infrared thermography: fundamentals, technique and application]. Moscow, Mir, 2010. 416 p. (In Russ.).

5 Vavilov V.P., Klimov A.G. Teplovizory i ikh primeneniye [Thermal and their application]. Moscow, Intel. universal, 2012. 88 p. (In Russ.).