

## Зондовые методы испытания адгезионных и вязко-упругих свойств поверхности некоторых эластомеров

Д.Л. Загорский<sup>1,2</sup>, Р.В. Гайнутдинов<sup>1</sup>, О.О. Щербакова<sup>2</sup>, Т.И. Муравьева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 119333, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, 119526, Москва, Россия  
shcherbakovaoo@mail.ru

В работе исследовалось влияние различных модификаторов (технический углерод, оксид графена и фторсодержащий модификатор) на эксплуатационные свойства низкотемпературных уплотнительных резин. Показано, что введение технического углерода, приводит к значительному увеличению прочности и модулей при растяжении.

## Probe Microscopy of Adhesive and Viscous parameters of Elastomers

D.L. Zagorskiy<sup>1,2</sup>, R.V. Gainutdinov<sup>1</sup>, O.O. Shcherbakova<sup>2</sup>, T.I. Muravyeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Center of Crystallography and Photonics of RAS, Moscow

<sup>2</sup>Institute for Problems in Mechanics of RAS, Moscow

The influence of different Modifying Agents (Technical Carbon (TC), Graphene Oxide and fluorine composite) on operating parameters of Low-temperature Rubbers was investigated. It was shown that addition of TC leads to significant increase of strength and strain modulus.

Эластомеры активно применяются в различных областях народного хозяйства, в частности в качестве элементов уплотнителей, используемых в экстремальных условиях. В настоящей работе исследовался один из типов эластомеров - низкотемпературные уплотнительные резины. Все резины были синтезированы на основе полипропиленоксидного каучука, свойства которого хорошо известны [1]. Изучалось влияние модификаторов различного типа (технический углерод (ТУ), оксид графена (ОГ) и фторсодержащий модификатор) на эксплуатационные свойства и свойства поверхности. Условия эксплуатации моделировались на трибометре UMT-2. Исследовались образцы до и после трибологических тестов. Поверхности образцов изучались методами СЭМ и СЗМ. СЭМ FEI QUANTA 650 использовался в режиме низкого вакуума. Применялись СЗМ SMART SPM-TM и NTEGRA Prima (НТ-МДТ). Первый использовался в режиме тейпинга. (Применялся зонд fpN01 с жесткостью балки  $\sim 3.7$  Н/м и резонансной частотой  $f \sim 150$  кГц,  $R \sim 15$  нм). Второй использовался для изучения адгезионных и вязко-упругих свойств поверхности образцов. Применялись зонды HA-NC ScanSens, (жесткость балки  $k \sim 3.5$  Н/м, р. частота  $f \sim 140$  кГц).

На Рисунке 1 приведены полученные результаты (на примере образца с фторсодержащим компонентом): СЭМ изображения до и после испытаний и СЗМ изображение после испытаний.

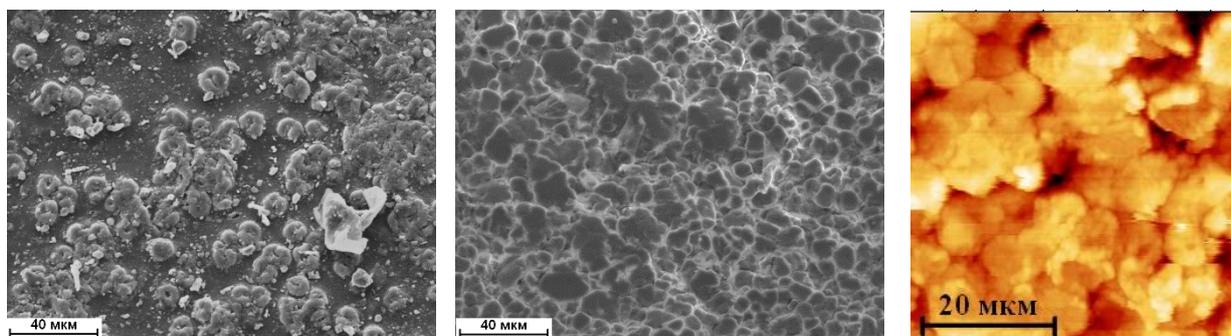


Рисунок 1. СЭМ изображения поверхности: слева - до трибологических испытаний, в середине - после испытаний, справа – соответствующее СЗМ- изображение.

Анализ изображений показывает, что после трибологических испытаний произошло сглаживание поверхности и более равномерное распределение различных фаз по поверхности. Хорошо видно, что результаты, полученные двумя методами микроскопии взаимно дополняют друг друга.

«Дополнительные» моды СЗМ: Методом силовых кривых изучены адгезионные свойства поверхности. На Рисунке 2 приведены результаты для образца (модифицированного двумя компонентами -ТУ и фторсодержащим) до и после трибологических испытаний.

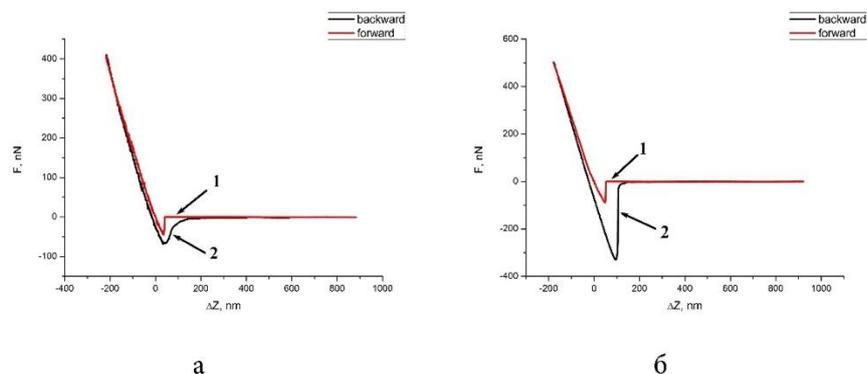


Рисунок 2. Кривые подвода-отвода (силовые кривые; 1- подвод, 2- отвод), а - образец после трибологических испытаний, б - исходный образец.

Анализ силовых кривых позволяет также оценить адгезию исследуемого материала к материалу острия кантилевера, которая определяется величиной силы, при которой происходит резкий отрыв острия кантилевера от поверхности образца при его отводе.

Упругие характеристики изучались также и методом модуляции силы, заключающемся в изучении затухания колебаний в образце (последнее определяется упругими свойствами поверхности). Метод состоит в том, что сканер с образцом совершает вертикальные колебания на резонансной частоте сканера (в данном случае 7 кГц). Зонд регистрирует осцилляции образца. В зависимости от жесткости поверхности образца меняется амплитуда колебаний системы «зонд – образец». Получены для того же образца результаты-топография и карта амплитуды после испытаний (Рис. 3).

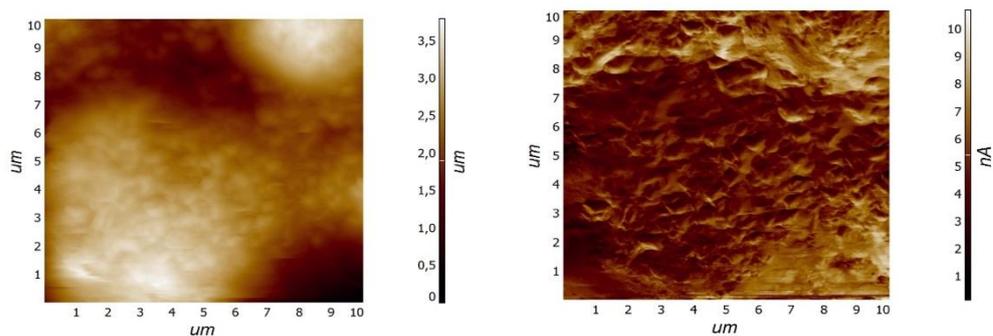


Рисунок 3. Образец после испытаний: слева – топография, справа – соотв. карта амплитуды.

Таким образом, показано, что все исследованные композиции обладают достаточно высокими прочностными свойствами, достаточными для применения разработанных резин в качестве уплотнительных материалов. Введение ТУ, который представляет собой активный усиливающий наполнитель [2], приводит к увеличению прочности и модулей при растяжении, что связано с высоким уровнем межфазного взаимодействия каучука и наполнителя. Очевидно, ТУ является лучшим модификатором.

Работа проведена при поддержке гранта РФФ 14-29-00198.

1. В.В. Портнягина, Н.Н. Петрова *Каучук и резина*. **6**, 40 (2014).
2. А.Е. Корнев *Технология эластомерных материалов*. –М: Из-во «Эксим»,– 288 (2000).