

Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук;  
Н. Р. Прокопчук, член-корр. НАН Беларуси, проф., д-р хим. наук;  
Е. П. Усс, доц, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
Ю. В. Грабко, нач. технолог. сектора СКГШ ЦЗЛ  
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск)

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ СЕТКИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

Резины на основе натурального каучука обладают высокими значениями прочности и относительного удлинения, что связано с кристаллизацией полимера при деформации. Это явление, которое может рассматриваться как «самоусиливающийся эффект» обычно объясняется однородной микроструктурой натурального каучука (цис-конфигурация макромолекулярных цепей). Наличием кристаллитов, действующих в качестве дополнительных поперечных связей в структуре сети, и их ориентацией в направлении растяжения объясняются высокие механические свойства резин на основе НК [1]. При наполнении каучуков наблюдается постепенное уменьшение высокоэластической деформации ввиду затруднений в изменении конформаций макромолекул под влиянием связей «каучук – наполнитель» и уплотнении упаковки цепей каучука на поверхности технического углерода [2].

Цель работы – определение влияния наноструктурных углеродных добавок на показатели структуры вулканизационной сетки резин на основе натурального каучука (НК).

В работе использовался углеродный наноматериал (УНМ), полученный на предприятии «Перспективные исследования и технологии» (ТУ ВУ690654933.001-2011). Было опробовано три типа наноматериала. Первый (УНМ1) – материал, полученный непосредственно с установки, представляющий собой широкодисперсную смесь углеродных нанотрубок и нановолокон с примесями аморфного углерода, металлов и их окислов. Второй и третий материалы прошли специальную обработку (функционализацию) для прививки кислородсодержащих групп (УНМ2) и аминок групп (УНМ3) с целью увеличения эффективности взаимодействия частиц добавки с эластомерной матрицей. Углеродные наноматериалы вводились в эластомерные композиции в дозировках от 0,1 до 0,5 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Резиновые смеси, содержали в качестве наполнителя высокоактивный технический углерод марки N134 и малоактивный технический углерод марки N772.

Установлено, что в эластомерных композициях на основе непо-

лярного НК с малоактивным техническим углеродом N772 в дозировке 25,0 мас. ч. при введении углеродных наноматериалов вулканизаты, содержащие нанодобавки УНМ1 и УНМ2, характеризуются меньшей плотностью поперечного сшивания (в 1,02–1,06 раза) по сравнению с резиной без нанодобавки. При увеличении дозировки технического углерода N772 до 50,0 мас. ч. резины с наноматериалами как до, так и после теплового старения, имеют большую (до 5,2%) плотность поперечного сшивания по сравнению с резиной без добавки.

В композициях с высокоактивным техническим углеродом N134 в дозировке 25,0 мас. ч. определено, что плотность поперечного сшивания в резине без добавки при воздействии повышенной температуры уменьшилась, а для резин с углеродными наноматериалами увеличилась (в 1,03–1,06 раза). При увеличении содержания высокоактивного технического углерода N134 до 50,0 мас. ч. плотность поперечного сшивания резин, содержащих наноструктурные углеродные материалы, меньше в 1,03–1,08 раза по сравнению с резиной без нанодобавки. При этом в процессе теплового старения резин на основе высоконасыщенного карбоцепного каучука определено значительное увеличение плотности сшивки, которое может быть обусловлено взаимодействием продуктов термоокислительной деструкции с двойными связями макромолекул полимера с образованием дополнительных сшивок, что и приводит к увеличению жесткости системы и потере вулканизатом прочностных и эластических свойств.

Установленный характер изменения свойств резин в зависимости от природы углеродного наноструктурного материала может быть обусловлен тем, что все типы наполнителей оказывают наиболее существенное влияние на свойства резиновой матрицы при низком содержании наполнителя [1], что и позволяет углеродной нанодобавке в большей степени влиять на процессы, протекающие в резине при тепловом старении. Степень сшивания и характер образующихся при вулканизации связей могут быть неодинаковыми в слоях каучука, прилегающих к поверхности наполнителя, и в объеме вулканизата [3].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vokobza, L. Natural rubber nanocomposites: a review / L. Vokobza // *Nanomaterials*. – 2019. – Vol. 9, № 1 – P. 1201–1221.
2. Шутилин, Ю. Ф. Физикохимия полимеров / Ю. Ф. Шутилин. – Воронеж : Воронеж. обл. тип., 2012. – 972 с.
3. Жовнер, Н. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров: учебн. пособие / Н. А. Жовнер, Н. В. Чиркова, Г. А. Хлебов. – Омск: Филиал Рос-ЗИТЛП, 2003. – 276 с.