

пользуется в производстве; на одном типе образца возможно определить равновесные, динамические и предельные характеристики.

Выявлено, что увеличение содержание нитрила акриловой кислоты положительно влияет на адгезионные свойства резиновых смесей на основе БНК, используемых при обрезинивании нитей корда.

#### Литература

1. Лепетов, В. А. Расчет и конструирование резиновых изделий и технологической оснастки / В. А. Лепетов, Л. Н. Юрцев. – М. : ИСТЕК, 2009. – 420 с.
2. Гамлицкий Ю.А. Нелинейная механика резин и резинокордных композитов. Теория, эксперимент и методы испытаний. Каучук и резина, 2001, № 5, с. 30-38

## МЕТОДЫ, ПРИБОРЫ, ОБОРУДОВАНИЕ

### ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

А.В. Касперович<sup>1</sup>, В.В. Боброва<sup>1</sup>, С.Г. Тихомиров<sup>2</sup>, О.В. Карманова<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск, Республика Беларусь, <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г. Воронеж, Россия

The article is devoted to the study of the effect of ionizing radiation (accelerated electrons) on the structure and change of such physico-mechanical parameters of elastomeric compositions with a degree of vulcanization  $t_{70}$ ,  $t_{80}$  and  $t_{90}$ , as the conditional tensile strength, elongation at break, residual deformation during compression and shore A hardness. The objects of the study were filled elastomeric compounds based on butadiene-nitrile rubber. It was found that under the action of ionizing radiation, the strength of polymer composite materials increases at various degrees of vulcanization up to 33% and the hardness of modified samples increases.

Воздействие ионизирующего излучения является признанным и универсальным методом инициирования химических и физико-химических превращений в полимерах и мономерах [1]. Данные превращения изменяют свойства вещества за счет образования поперечных связей (сшивки), разрыва связей в основной и боковых цепях (разруше-

ние), устранения и образования двойных углерод-углеродных связей (изменение степени насыщения), внутримолекулярное связывание (циклизация), выделение газа, окисление и другие эффекты. Известные взаимосвязи этих процессов позволяют целенаправленно изменять состав поверхностных слоев в полимерах и композитах и придавать им улучшенные и / или уникальные свойства.

Целью работы являлось исследование влияния ионизирующего излучения (ускоренные электроны) на структуру и физико-механические характеристики эластомерных композиций. Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе каучука специального назначения (бутадиен-нитрильный каучук) с различной степенью вулканизации  $t_{70}$ ,  $t_{80}$  и  $t_{90}$ . Облучение образцов ускоренными электронами производилось с помощью ускорителя электронов «Электроника У-003».

Для получения резин с заданным комплексом свойств необходимо обеспечить определенную степень поперечного сшивания макромолекул каучука. При разной степени вулканизации формируется разная структура вулканизатов. Так с увеличением времени вулканизации незначительно растет молекулярная масса, но при этом на одном уровне сохраняются как плотность поперечного сшивания, так и количество поперечных связей. В ходе исследования образцы резин, полученные при разных степенях вулканизации, подвергались радиационной модификации.

Так с увеличением дозы облучения наблюдается снижение молекулярной массы отрезка молекулярной цепи, заключенного между двумя поперечными связями. Это подтверждается тем, что под действием излучения физическая и химическая структура каучуков претерпевает существенные изменения, характеризующиеся образованием пространственной сетки и деструкцией полимерных цепей. В тоже время, происходит рост количества поперечных связей в  $1 \text{ см}^3$  вулканизата. Плотность поперечного сшивания в среднем увеличивается от 12 до 30 % по сравнению с немодифицированными образцами.

Сопротивление резин разрушающему действию механических напряжений характеризует их прочность. Для резины наиболее опасными являются растягивающие деформации, вызывающие их разрыв [2]. Результаты определения физико-механических показателей вулканизатов показали, что условная прочность при растяжении облученных образцов выше, чем у исходного в пределах 33 % для степени вулканизации  $t_{70}$ , 24 % –  $t_{80}$  и 7 % –  $t_{90}$ . Особенно это заметно у образ-

цов с дозой облучения от 90 кГр до 165 кГр со степенью вулканизации  $t_{70}$  и  $t_{80}$ . Относительное удлинение при разрыве у модифицированных образцов несколько меньше, ввиду более высокой прочности.

Из этого можно сделать вывод о возможном дополнительном сшивании макромолекул при воздействии пучка ионизирующего излучения, т.к. электронные взаимодействия ведут к возбуждению и ионизации молекул полимера, приводящие к образованию большого числа подвижных радикальных частиц (прежде всего радикалов  $H\bullet$ ), а также макрорадикалов в виде фрагментов полимера [3].

Значения показателей твердости по Шору А улучшаются с увеличением дозы облучения. Так, в образцах со степенью вулканизации  $t_{70}$  твердость увеличилась на 1,8–6,7%, для  $t_{80}$  на 1,9–7%, для  $t_{90}$  на 1,5–7,7%. Это объясняется тем, что в процессе облучения происходит разрыв молекулярных полимерных цепей, а также их разветвление с образованием свободных радикалов, которые, замыкаясь, образуют поперечные связи (сшивка).

В резинах, подвергаемых постоянной статической нагрузке или постоянной деформации, в результате утомления накапливается относительная остаточная деформация. Обычно ее определяют при сжатии образцов, имитируя условия эксплуатации резиновых изделий в качестве уплотнителей. Анализ результатов по относительной остаточной деформации сжатия (ООДС) исследуемых эластомерных композиций показал, что образцы резин, подверженных более высокой дозе воздействия ионизирующим излучением характеризуются меньшим накоплением ООДС, чем исходная резина на 19–32%.

Однако при малых дозах облучения данный эффект минимален – 3–10%. Это, вероятно, связано с образованием более плотной сетки поперечных химических связей, что затрудняет реализацию межмолекулярных физических взаимодействий, а как следствие, способствует более лучшему восстановлению образца после снятия нагрузки.

Данная работа проводилась в рамках выполнения комплексного задания «Разработка научных основ получения и методов исследования эластомерных композиций различного назначения с улучшенным комплексом свойств» Государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы».

## Литература

1. Кабанов В.Я., Фельдман В.И., Ершов Б.Г., Поликарпов А.П., Кирюхин Д.П., Апель П.Ю. Радиационная химия полимеров // Химия высоких энергий. – 2009. – Т. 43, № 2. – С. 5–21.
2. Жовнер Н.А., Чиркова Н.В., Хлебков Г.А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров. – Омск: Филиал РосЗИТЛП, 2003. – 276 с.
3. Ионная имплантация полимеров / В. Б. Оджаев [и др.]. – Минск: Белгосуниверситет, 1998. – 197 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ УСТАЛОСТНО-ГИСТЕРЕЗИСНЫХ СВОЙСТВ РЕЗИН ДЛЯ МАССИВНЫХ ШИН

А.Б. Кочерга<sup>1,2</sup>, И.А. Литвинова<sup>1</sup>, Ю.А. Гамлицкий<sup>1,2</sup>, И.В. Веселов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>РТУ МИРЭА ИТХТ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия,  
<sup>2</sup>ООО НПЦ ВЕСКОМ, г. Москва, Россия

При исследовании усталостных свойств резин часто используют метод испытаний резиновых образцов в форме гантелей [1]. Данный метод применяется наряду с методом определения усталостных свойств при многократном растяжении [2] для построения кривых Веллера, характеризующих долговечность (число циклов до разрушения) РТИ и шин в разных условиях нагружения. Наиболее полное описание усталостных свойств резин имеется в диссертации М.К. Хромова [3]. Усталостные испытания резинокордных образцов детально описаны в монографиях [4,5].

Отличия метода ЗПИ от многократного растяжения в том, что в методе ЗПИ происходит и растяжение, и сжатие резины, а в многократном растяжении только растяжение. Существенное отличие также в том, что испытания в методе ЗПИ происходят при частоте деформации 2760 мин<sup>-1</sup>, а на машинах МРС-2 и УР-500 от 200 до 500 мин<sup>-1</sup>. Тем самым при прочих равных условиях на построение усталостных кривых Веллера в методе ЗПИ требуется ~ в 10 раз меньше времени, что важно, если учесть, что шинная резина должна выдерживать ~5\*10<sup>7</sup> циклов до разрушения при деформациях, близких к эксплуатационным.

Преимущество метода ЗПИ в скорости испытаний имеет и отрицательные стороны. Диаметр гантели в методе ЗПИ равен 10 мм, а