

введением углеродных нанотрубок на стадии синтеза полимера согласуется с кинетической теорией прочности твердых тел [2]:

$$\sigma = \gamma^{-1} (E_d - RT \ln \frac{\tilde{t}}{\tilde{t}_0})$$

где γ - структурно-чувствительный коэффициент, постоянный для всех образцов, термовытянутых до одной прочности 4,8;

T - температура испытания образцов постоянная, равная 20°C;

\tilde{t}_0 - константа, равная 10^{-13} с;

\tilde{t} - долговечность при испытаниях на разрывной машине, практически постоянная, так как время деформирования образцов до разрыва одинаково.

Таким образом прочность нитей изменяется симбатно с параметром E_d .

Эффект упрочнения: максимальный при концентрации 0,015% масс равный 43%. Это очень существенно, а так же имеет важное практическое значение.

Литература

1. Можейко Ю.М., Прокопчук Н.Р., Любимов А.Г., Крауклис А.В. / Модификация полиэтилентерефталата углеродными нанотрубками на стадии синтеза полимера / Нефтехимия - 2019; Материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтепереработке / 2019.- С.113-115.

2. Речень В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. / Кинетическая природа прочности твердых тел. / М. Наука, 1974.-С.560.

УДК 678.04

Шашок Ж.С., Усс Е.П.,
Кротова О.А., Лешкевич А.В.

(Белорусский государственный технологический университет)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С БУТИЛОВЫМ РЕГЕНЕРАТОМ

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к переработке резиновых отходов в регенерат и использование его в качестве добавки или основы в производстве резиновых изделий. Одним из перспективных направлений получения регенерата с лучшими свойствами, является радиационный метод. Пластоэластические свойства получаемого продукта определяются поглощенной дозой радиации.

Вследствие отсутствия дополнительных агентов регенерации и мягчителей полученный регенерат идентичен по составу исходной резине, что обуславливает его более высокое качество по сравнению с продуктами полученными другими методами [1].

Добавление радиационного деструктанта бутилкаучука приводит к улучшению динамических и технологических свойства диафрагменных, автокамерных, протекторных и каркасных резин. При этом применение бутилового регенерата как самостоятельного сырья для получения резин не получило пока широкого распространения [1].

Целью работы являлось определение влияния добавок бутилового регенерата на свойства эластомерных композиции основе хлорбутилкаучука специального назначения.

В качестве объектов исследования были использованы образцы бутилового регенерата, полученные радиационным методом путем радиационного воздействия с дозами облучения 30 кГр (БК(30)) и 50 кГр (БК(50)), а также дополнительно подвергшиеся специальной термомеханической обработке. Бутиловый регенерат вводился в резиновые смеси в дозировках: 5,0; 10,0; 15,0 и 20,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

Результаты исследования вязкости по Муни резиновых смесей [2] на основе хлорбутилового каучука (ХБК) с добавками регенерата представлены в таблице 1.

Из представленных данных видно, что при введении в резиновую смесь на основе ХБК бутилового регенерата и с увеличением его содержания вязкость по Муни резиновых смесей увеличивается. При это выявлено, что при введении минимальной дозировки (5,0 мас. ч.) регенерата БК (50) и БК (30), вязкость смесей изменяется менее чем на 2,0 усл. ед. Муни.

Таблица 1 – Вязкость по Муни резиновых смесей на основе ХБК с добавками регенерата

Исследуемые резиновые смеси	Начальная вязкость резиновой смеси, усл. ед. Муни	Вязкость резиновой смеси, усл. ед. Муни
без регенерата	104,0	53,9
с 5,0 мас. ч. БК (30)	88,5	55,2
с 5,0 мас. ч. БК (50)	87,9	55,0
с 10,0 мас. ч. БК (30)	83,9	58,9
с 10,0 мас. ч. БК (50)	80,7	58,2
с 15,0 мас. ч. БК (30)	84,0	60,4
с 15,0 мас. ч. БК (50)	84,2	60,2
с 20,0 мас. ч. БК (30)	84,2	61,1
с 20,0 мас. ч. БК (50)	85,2	62,6

С увеличением содержания бутилового регенерата вязкость по Муни увеличивается на 9,2% (при введении 10,0 мас. ч.) и на 13,9% (при введении 20,0 мас. ч.). Следует отметить, что использование в составе смесей бутилового регенерата, полученного при воздействии различных доз облучения, не приводит к существенным отличиям показателей вязкости по Муни резиновых смесей. Так, при введении регенерата БК(30) в дозировке 10,0 мас. ч. вязкость по Муни смеси составляет 61,1 усл. ед. Муни, а при использовании БК(50) в указанной дозировке – 62,6 усл. ед. Муни.

Изменение вязкости по Муни резиновых смесей на основе ХБК при введении бутилового регенерата может быть связано с затруднением течения материала в направлении деформации сдвига из-за наличия в эластомерной матрице компонента, характеризующего большим значением вязкости по Муни, по сравнению с используемым каучуком.

Вулканизация – это комплекс физико-химических процессов, которые протекают в резиновой смеси, основным из которых является сшивание макромолекул каучука химическими связями различной энергии и природы в пространственную вулканизационную сетку [3]. Исследуемые компоненты, полученные из сшитых вулканизатов, могут оказывать влияние на процесс образования химических и физических связей на различных стадиях процесса формирования пространственной сетки резины.

В таблице 2 приведены результаты исследований кинетики вулканизации резиновых смесей [4] на основе ХБК с добавками регенерата.

Таблица 2 – Кинетические параметры вулканизации резиновых смесей на основе ХБК с добавками регенерата

Исследуемые резиновые смеси	ML	MH	t _{s2}	t ₅₀	t ₉₀	Rh	лS	tRh
без регенерата	5,1	21,7	5,5	12,2	27,9	1,1	16,6	7,6
с 5,0 мас. ч. БК (30)	5,1	21,1	5,5	12,3	27,9	1,1	16,0	7,6
с 5,0 мас. ч. БК (50)	5,1	21,2	5,6	12,3	27,8	1,1	16,1	7,6
с 10,0 мас. ч. БК (30)	5,5	20,8	5,7	12,4	27,5	1,0	15,3	7,4
с 10,0 мас. ч. БК (50)	5,4	20,5	5,7	12,6	27,6	1,0	15,1	7,7
с 15,0 мас. ч. БК (30)	5,6	20,2	5,7	12,4	27,5	1,0	14,6	7,7
с 15,0 мас. ч. БК (50)	5,5	19,9	5,8	12,4	27,4	1,0	14,4	7,7
с 20,0 мас. ч. БК (30)	5,8	19,8	5,9	12,5	27,6	0,9	14,0	7,7
с 20,0 мас. ч. БК (50)	5,6	19,5	5,8	12,4	27,5	0,9	13,9	7,8

Примечание: M_L – минимальный крутящий момент, дН·м; M_H – максимальный крутящий момент, дН·м; t_{s2} – время за которое минимальный крутящий момент изменяется на 2 единицы, мин; t₅₀ – время достижения заданной степени вулканизации, мин; t₉₀ – время достижения оптимальной степени вулканизации, мин.; Rh – скорость вулканизации, дН·м/мин; лS – разница между максимальным и минимальным крутящим моментом, дН·м; tRh – время достижения максимальной скорости вулканизации, мин.

Время необходимое для увеличения минимального крутящего момента на 2 единицы (t_{s2}) косвенно свидетельствует о стойкости резин к подвулканизации [3]. По результатам исследования выявлено, что с введением регенерата значение t_{s2} незначительно повышается, для смеси без регенерата значение показателя равно 5,5 мин, а для смеси с дозировкой регенерата 20,0 мас. ч. показатель t_{s2} равен 5,9 мин (с регенератом БК(30)) и 5,8 мин (с регенератом БК(50)). Наименьшее изменение стойкости резиновых смесей к подвулканизации выявлено при введении 5,0 мас. ч. бутилового регенерата, полученного с различной дозой облучения.

Анализ кинетических кривых вулканизации показал, что введение в резиновую смесь на основе ХБК бутилового регенерата приводит к незначительному уменьшению времени достижения оптимальной степени вулканизации резины. Так, в случае введения регенерата БК(30) в количестве 10,0 и 20,0 мас. ч. значение t_{90} составляет 27,5 мин, а для образца без регенерата показатель t_{90} равен 27,9 мин (изменение времени достижения оптимальной степени вулканизации составляет 1,4%).

По разности максимального и минимального крутящих моментов можно косвенно судить о плотности сшивания вулканизатов. Установлено, что данный показатель в наибольшей степени уменьшается (на 16,4 %) при использовании регенерата БК(50) в дозировке 20,0 мас. ч. по сравнению с образцом без регенерата (16,6 дН·м). При этом введение регенератов БК(30) и БК (50) в количестве 5,0 мас. ч. оказывает минимальное влияние на данный показатель (уменьшение составляет 3,6 %).

Результаты исследования кинетических параметров вулканизации резиновых смесей показали, что характер изменения протекания процесса формирования пространственной структуры резин практически не имеет существенных отличий при использовании бутилового регенерата, полученного при дозах облучения 30 кГр и 50 кГр. При введении 5,0 мас. ч. бутилового регенерата основные параметры процесса структурирования изменяются незначительно (изменение составляет менее 2,0%). Однако, с увеличением содержания вторичного продукта в составе эластомерных композиций установлено уменьшение степени сшивания резин, что может оказывать отрицательное влияние на упруго-прочностные свойства вулканизатов и их стойкость к тепловому старению. В данном случае наличие в эластомерной матрице компонентов, выполняющих функцию разбавителей, несколько затрудняет процесс образования поперечных связей между макромолекулами каучука.

Таким образом, установлено, что применение добавок бутилового регенерата в дозировках 5,0 и 10,0 мас. ч. в эластомерных композициях

на основе хлорбутилкаучука не оказывает существенного влияния на технологические свойства резиновых смесей, поскольку не приводит к существенным изменениям вязкости по Муни и кинетики вулканизации резиновых смесей.

Литература

1. Кабанов, В.Я. Радиационная химия полимеров / В.Я. Кабанов [и др.]. // Химия высоких энергий. 2009. – Т.43, №1. – С. 5–21.
2. Каучуки и резиновые смеси. Определение вязкости, релаксации напряжения и характеристик подвулканизации с использованием вискозиметра Муни: ГОСТ Р 54552-2011. – Введ. 1.07.2013. – М. : Стандартиформ, 2013. – 22 с.
3. Овчаров, В. И. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / В. И. Овчаров, М. В. Бурмистр, В. А. Тютин и др. – М.: САНТ-ТМ, 2001. – 400 с.
4. Смеси резиновые. Метод определения вулканизационных характеристик на вулканометре : ГОСТ 12535–84. – Взамен ГОСТ 12535–67; введ. 01.06.86. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 33 с.

УДК 678.002

Карпович О.И., Наркевич А.Л.

(Белорусский государственный технологический университет)

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ СМЕШАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

В Республике Беларусь на всех уровнях огромное внимание уделяется переработке отходов. Так, основными руководящими документами в сфере обращения с отходами являются: Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами»; Национальная стратегия устойчивого развития Беларуси до 2035 года; Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами (ТКО) и вторичными материальными ресурсами (ВМР) в Республике Беларусь на период до 2035 года; Концепция создания объектов по сортировке и использованию ТКО и полигонов для их захоронения (до 2030 г.) [1]. Проанализировав данные документы можно выделить основные направления по обращению с отходами: 1) максимальное вовлечение отходов в гражданский оборот; 2) приоритет использования отходов в качестве ВМР по отношению к захоронению и сжиганию; 3) увеличение глубокой переработки всех видов отходов для получения ВМР;