

Определено, что применение опытных аддуктов в присутствии наномодификаторов, по-видимому, оказывает влияние на стадию формирования поперечных связей, определяющей природу и густоту сшивок, что подтверждается данными по определению плотности сшивки эластомерных композиций.

*Данная работа выполнялась по заданию Государственной программы научных исследований «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограммы «Создание новых наукоемких отечественных материалов различного функционального назначения на основе лесохимического и растительного сырья».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Терпеноидномалеиновые аддукты и их производные: получение, свойства и применение / А.Ю. Ключев [и др.] // Химия и технология новых веществ и материалов: сб. науч. трудов. Минск: Белорусская наука, 2008. Вып. 2. С. 374–419.
2. Получение, изучение состава и свойств канифолетерпеностирольномалеиновых смол / А.Ю. Ключев [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнологии, геоэкология. 2020. № 2. С. 5–12.
3. Пластоэластические и адгезионные свойства наполненных резиновых смесей с канифолесодержащими добавками / Е.П. Усс [и др.] // Труды БГТУ. Хим. технологии, биотехнология, геоэкология. 2022. № 1. С. 20–26.
4. Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях. Минск: БГТУ, 2014. 232 с.

УДК 678.04

Ж.С. Шашок, д-р техн. наук, проф.;  
Е.П. Усс, канд. техн. наук, доц.;  
О.А. Кротова, канд. техн. наук, доц.;  
А.В. Лешкевич, канд. техн. наук, ассист. (БГТУ, г. Минск);  
А.Ю. Люштык, нач. лаб. – гл. химик;  
С.Н. Каюшников, канд. техн. наук, нач. инж.-техн. центра  
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск)

#### **ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И КАПЛИНГ-АГЕНТОМ**

При использовании кремнезема как активного наполнителя и силана TESPT (бис(3-триэтокси-силилпропил)тетрасульфид) в качестве связующего агента возникает ряд дополнительных проблем, связанных с вулканизацией резиновых смесей [1]. Наличие в TESPT тет-

расульфидной группировки, способной уже при силанизации вступать в химическое взаимодействие с ненасыщенными каучуками может приводить к преждевременной подвулканизации [2].

Целью работы являлось определение влияния марки кремнекислотного наполнителя (ККН) и дозировки каплинг-агента на кинетические параметры вулканизации модельных резиновых смесей на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков.

В качестве объектов исследования использовались резиновые смеси на основе растворного бутадиен-стирольного каучука ДССК-2163. Высокодисперсные кремнекислотные наполнители марок Zeosil-1165MP и Zeosil Premium 200MP вводились в эластомерные композиции в дозировке 60,0 и 65,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В композициях использовался каплинг-агент, представляющий собой смесь бифункционального серосодержащего органосилана (бис(3-триэтокси-силилпропил)тетра-сульфид), наиболее известного под торговой маркой Si 69 (TESPT)), и технического углерода типа N330 в соотношении 1:1 по массе.

В таблице 1 приведены результаты определения кинетических параметров вулканизации резиновых смесей на основе ДССК-2163 при 143°C.

**Таблица 1 – Кинетика вулканизации резиновых смесей на основе ДССК-2163 (143°C)**

Тип кремнекислотного наполнителя	Дозировка наполнителя, мас. ч.	Дозировка силана X 50-S, мас. ч.	<i>ML</i> , дН·м	<i>MH</i> , дН·м	<i>t</i> <sub>s2</sub> , мин	<i>t</i> <sub>50</sub> , мин
Zeosil-1165MP	60	8,5	1,98	11,72	17,63	22,86
		10,5	2,05	13,11	16,16	21,67
		12,5	1,99	13,55	14,46	18,59
Zeosil Premium 200MP	60	10,7	1,95	12,25	15,72	21,27
		12,7	1,95	12,66	15,71	21,21
		14,7	1,89	13,01	15,21	20,46
Zeosil-1165MP	65	9,4	2,47	12,12	16,58	22,03
		11,4	2,29	12,63	15,89	21,15
		13,4	2,42	13,97	14,21	19,47
Zeosil Premium 200MP	65	11,8	2,67	15,37	10,52	22,31
		13,8	2,49	15,78	10,43	21,28
		15,8	2,26	16,61	10,25	19,65

*Примечание:*

1) *ML* – минимальный крутящий момент, дН·м; 2) *MH* – максимальный крутящий момент, дН·м; 3) *t*<sub>s2</sub> – время необходимое для увеличения минимального крутящего момента на 2 ед., мин; 4) *t*<sub>50</sub> – время достижения заданной степени вулканизации, мин.

Из представленных данных видно, что с увеличением содержа-

ния кремнекислотного наполнителя в составе резиновой смеси значения минимального крутящего момента несколько увеличиваются, при этом не выявлено существенных различий данного показателя для смесей, содержащих различные марки наполнителя. Резиновые смеси, содержащие 60,0 мас. ч. кремнезема марки Zeosil-1165MP имеют значения  $ML$  в пределах 1,98–2,05 дН·м, а для композиций с маркой Zeosil Premium 200MP данный показатель равен 1,89–1,95 дН·м. Аналогичный характер изменения свойств установлен и при дозировке ККН 65,0 мас. ч.

В то же время определено, что с увеличением дозировки наполнителя и связующего агента стойкость к подвулканизации эластомерных композиций уменьшается, при этом наибольшее изменение показателя  $t_{s2}$  выявлено для композиций с ККН марки Zeosil Premium 200MP.

В данном случае значение времени увеличения минимального крутящего момента на 2,0 ед. при увеличении дозировки кремнезема уменьшается для композиций с более высокодисперсным наполнителем в 1,49–1,53 раза, а для композиций с Zeosil-1165MP – в 1,02–1,06 раза.

Изменение величины индукционного периода вулканизации может быть обусловлено увеличением дозировки связующего агента, что приводит к повышению содержания свободной серы из TESPT и тем самым сокращению времени начала вулканизации [2, 3].

В таблице 2 приведены результаты определения кинетических параметров вулканизации резиновых смесей на основе ДДСК-2163 при 153°C.

**Таблица 2 – Кинетика вулканизации резиновых смесей на основе ДССК-2163 (153°C)**

Тип кремнекислотного наполнителя	Дозировка наполнителя, мас. ч.	Дозировка силана X 50-S, мас. ч.	$ML$ , дН·м	$MH$ , дН·м	$t_{s2}$ , мин	$t_{50}$ , мин
Zeosil-1165MP	60	8,5	1,96	11,25	13,27	16,15
		10,5	1,94	12,72	12,25	14,57
		12,5	2,00	12,93	11,99	12,87
Zeosil Premium 200MP	60	10,7	1,88	11,89	9,82	13,17
		12,7	1,87	12,41	9,85	13,15
		14,7	1,91	12,87	9,55	12,73
Zeosil-1165MP	65	9,4	2,29	11,63	12,07	15,08
		11,4	2,20	12,90	11,42	14,28
		13,4	2,11	13,52	10,30	12,55
Zeosil Premium 200MP	65	11,8	2,89	17,18	6,28	12,48
		13,8	2,81	17,63	6,27	12,77
		15,8	2,72	17,74	6,18	12,82

*Примечание:*

1)  $ML$  – минимальный крутящий момент, дН·м; 2)  $MH$  – максимальный крутящий момент, дН·м; 3)  $t_{s2}$  – время необходимое для увеличения минимального крутящего момента на 2 ед., мин; 4)  $t_{50}$  – время достижения заданной степени вулканизации, мин.

Из таблицы видно, что с увеличением дозировки кремнекислотного наполнителя значение минимального крутящего момента увеличиваются, при чем наиболее существенное изменение данного показателя выявлено для композиций с маркой Zeosil Premium 200MP. Значение *ML* для резиновых смесей с 60,0 мас. ч. указанного наполнителя находятся в пределах 1,88–1,91 дН·м, а при 65,0 мас. ч. – 2,72–2,89 дН·м. Аналогичная зависимость изменения свойств выявлено и для показателя максимального крутящего момента. Установлено, что эластомерные композиции с кремнекислотным наполнителем марки Zeosil Premium 200MP характеризуются меньшей стойкостью к подвулканизации по сравнению с композициями, содержащими ККН марки Zeosil-1165MP. При этом, с увеличением дозировки кремнезема до 65,0 мас. ч. стойкость к подвулканизации для композиций с Zeosil-1165MP уменьшается в 1,10–1,16 раза, а для композиций с Zeosil Premium 200MP – в 1,54–1,57 раза.

Таким образом, результаты определения кинетических параметров вулканизации резиновых смесей на основе ДССК-2163 при различных температурах показали, что с увеличением дозировки кремнекислотного наполнителя значение минимального крутящего момента увеличиваются, при чем наиболее существенное (на 36,9–53,7 %) изменение данного показателя выявлено для композиций с маркой Zeosil Premium 200MP. Определено, что с увеличением дозировки наполнителя и каплинг-агента стойкость к подвулканизации эластомерных композиций при исследуемых температурах вулканизации уменьшается, при этом наибольшее (в 1,49–2,07 раза) изменение времени увеличения минимального крутящего момента на 2,0 ед. выявлено для композиций с более высокодисперсной маркой наполнителя Zeosil Premium 200MP.

Выявленный характер изменения кинетических параметров вулканизации резиновых смесей, содержащих более высокодисперсный кремнекислотный наполнитель марки Zeosil Premium 200MP обусловлен более сильным взаимодействием модифицированной поверхности ККН с макромолекулами каучука, а также повышенным содержанием каплинг-агента, что приводит к увеличению содержания свободной серы из TESPT в объеме эластомерной композиции и ускорению начала процесса структурирования.

*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. Дорожкин В.П., Салаев М.В., Мохнаткин А.М., Мохнаткина Е.Г., Махотин А.А., Принада А.Л. Силанизация протекторной резиновой смеси легкой шины. Сообщение 3. Влияние силанизации на технологические и вулканизационные свойства смеси // Каучук и резина. – 2018. – Т. 77, № 4. – С. 240–247.

2. Kaewsakul W. Silica – reinforced natural rubber for low rolling re-sistance energy-saving tires: Diss. of doctor at the University of Twente. – Netherlands, 2013. – 199 p.

3. Jin J., Noordermeer J.W.M., Dierkes W.K., Blume A. The effect of silanization temperature and time on the marching modulus of silica-filled tire tread compounds // Polymers. – 2020. – Vol. 12, № 1. – DOI: 10.3390/polym12010209.

УДК 677.494.6:678.82

Н.Р. Прокопчук, д-р хим. наук, член-корр. НАН Беларуси, проф.;  
Л.А. Ленартович, канд. техн. наук, доц.;  
Т.А. Вишневская, стажер мл. науч. сотр.;  
Е.В. Асташкевич, студ. (БГТУ, г. Минск);  
Ю.М. Можейко, канд. техн. наук, зав. лаб.  
(ОАО «Могилевхимволокно», г. Могилев)

### **ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА НА СВОЙСТВА ПЭТ**

Текстильные материалы на основе ПЭТ волокон широко применяются во всех отраслях промышленности, сельском хозяйстве и быту. Связано это с уникальными свойствами полиэфирных волокон: помимо высоких технических характеристик (однородность по толщине, высокая прочность, химическая стойкость, устойчивость к многократным деформациям, истиранию), изделия из них характеризуются хорошими воздухопроницаемостью, гигиеничностью и гипоаллергенностью. Почти единственный недостаток изделий из полиэфирных волокон – их высокая горючесть [1]. Достаточно эффективными методами огнезащиты синтетических волокнообразующих полимеров являются: внесение замедлителей горения в расплав полимера, модификация химического состава мономеров и поверхностная обработка волокон на стадии их получения [2]. Вместе с тем введение замедлителей горения в реакционную смесь на стадии получения полимера или в его расплав приводит к ухудшению физико-механических и волокнообразующих свойств полимерного материала, а поверхностная пропитка замедлителями горения неустойчива к водным обработкам