

триметилпропана на свойства резиновых смесей и вулканизаторов // Журнал прикладной химии. – 2017. – № 4. – С. 492–498.

2. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин: науч. издание. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.

3. White J., De S. K., Naskar K. Rubber technologist's handbook. – UK: Smithers Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, 2009. – 450 p.

4. Heinrich G., Klüppel M., Vilgis T.A. Reinforcement of elastomers // Current opinion in solid state and materials science. – 2002. – Vol. 6, № 3. – P. 195–203.

УДК 678.04

А. В. Лешкевич, ст. преп., канд. техн. наук;
Ж. С. Шашок, проф., д-р техн. наук;
Е. П. Усс, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
О. В. Карманова, зав. кафедрой ТОСиПП, д-р техн. наук;
А. А. Голякевич, асп.
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ», г. Воронеж, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НОВЫХ АКТИВАТОРОВ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВУЛКАНИЗАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В настоящее время комбинация оксида цинка (ZnO) и стеариновой кислоты является наиболее успешной системой активаторов вулканизации эластомерных композиций. Однако следует отметить, что сейчас возникает все больше беспокойств по влиянию оксида цинка на окружающую среду и организм человека. Это связано с тем, что в процессе производства, в течение использования резиновых изделий (в том числе шин), в процессе утилизации, например, через выщелачивание в участках закапывания мусора происходит выброс оксида цинка в окружающую среду. Еще не найдено вещество, которое способно полностью заменить собой оксид цинка, при этом не уступающее ему по функциональным свойствам [1]. Таким образом, разработка рецептур эластомерных композиций с использованием новых активаторов вулканизации, содержащих пониженную дозировку оксида цинка, является актуальной задачей.

Целью данной работы являлось исследование влияния нового комплексного активатора вулканизации на кинетические параметры процесса вулканизации эластомерных композиций. Новые комплексные активаторы были получены на базе лаборатории ФГБОУ ВО «Воронежского государственного университета инженерных технологий».

В качестве объектов исследования применялись резиновые смеси, содержащие различные по составу и свойствам комплексные активаторы вулканизации в виде сплава стеариновой кислоты, бентонита и оксида цинка. Следует отметить, что содержание стеариновой кислоты при синтезе всех активаторов было постоянным. Соотношение бентонита и оксида цинка было разным и варьировалось при различных температурах $T_{\text{компл}}$:

- при $T_{\text{компл}}=70^{\circ}\text{C}$: 80:20; 60:40; 40:60 и 20:80;
- при $T_{\text{компл}}=90^{\circ}\text{C}$: 70:30; 50:50 и 30:70;
- при $T_{\text{компл}}=110^{\circ}\text{C}$: 80:20; 60:40; 40:60 и 20:80.

Исследования осуществлялись с использованием модельных рецептур (таблица 1) на основе натурального каучука НК.

Таблица 1 – Рецептура исследуемых резиновых смесей на основе НК

Наименование ингредиентов	Содержание ингредиентов, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука
НК	100,00
Сера	2,25
Акселератор TBBS	0,70
Оксид цинка	5,00
Стеариновая кислота	2,00

Исследование кинетических параметров процесса вулканизации эластомерных композиций осуществлялось по кривым, полученных на виброреометре ODR2000 в соответствии с ГОСТ 12535-84 [2].

Вулканизация – это завершающий процесс производства резинотехнических изделий, который во многом определяет их поведение при эксплуатации [3]. Определение кинетических параметров вулканизации позволяет оценить влияние различных ингредиентов на изменение свойств эластомерных композиций в процессе формирования пространственной сетки вулканизата. В таблице 2 представлены результаты определения основных кинетических параметров процесса вулканизации резиновых смесей на основе натурального каучука НК в зависимости от температуры получения активатора вулканизации и соотношения в нем бентонита и ZnO.

Сравнительный анализ вулканизационных характеристик показал, что минимальные крутящие моменты M_L , характеризующие вязкость смеси в присутствии новых комплексных активаторов вулканизации несколько ниже показателей стандартной резиновой смеси. Так, для всех исследуемых композиций данный показатель находится в пределах от 1,3 до 1,5 дН·м при 143°C и от 1,2 до 1,3 при 153°C , а для смеси, содержащей в своем составе цинковые белила в индивидуальном виде, минимальный крутящий момент равен 1,6 и 1,7 дН·м при

143°C и 153°C соответственно. Максимальные крутящие моменты M_H , связанные с жесткостью вулканизата, у всех исследуемых эластомерных композициях ниже (до 54,0% при 143°C и до 56,5% при 153°C), чем у стандартного образца.

Таблица 2 – Кинетические параметры процесса вулканизации эластомерных композиций

Вид активатора вулканизации	Соотношение компонентов в сплаве, %	143°C×45 мин					153°C×30 мин				
		M_L , дН·м	M_H , дН·м	t_{s2} , мин	$t_{(90)}$, мин	R_v , дН·м/мин	M_L , дН·м	M_H , дН·м	t_{s2} , мин	$t_{(90)}$, мин	R_v , дН·м/мин
Оксид цинка		1,7	23,5	9,4	17,6	4,3	1,6	23,0	5,7	10,3	6,5
$T_{\text{компл}} = 70^\circ\text{C}$											
Бентонит:ZnO	80:20	1,5	10,8	7,0	10,7	3,9	1,3	10,0	4,3	6,2	6,8
	60:40	1,3	17,6	9,7	15,2	4,2	1,3	17,1	5,8	8,5	8,0
	40:60	1,4	20,9	10,4	18,2	4,3	1,3	20,5	6,2	10,5	7,8
	20:80	1,4	22,1	11,9	20,1	4,0	1,3	22,4	6,4	11,3	7,6
$T_{\text{компл}} = 90^\circ\text{C}$											
Бентонит:ZnO	70:30	1,4	17,9	10,6	14,3	4,7	1,3	17,3	6,5	7,6	7,6
	50:50	1,4	20,4	10,8	18,4	4,1	1,3	20,5	6,3	10,1	7,9
	30:70	1,4	21,6	10,8	19,1	3,7	1,2	21,0	6,4	10,8	7,2
$T_{\text{компл}} = 110^\circ\text{C}$											
Бентонит:ZnO	80:20	1,1	15,9	10,5	14,9	4,8	1,2	15,3	7,0	9,2	8,6
	60:40	1,4	19,4	11,2	18,0	4,4	1,2	19,0	7,0	10,6	7,2
	40:60	1,4	21,5	10,9	19,1	3,9	1,2	20,7	7,2	11,4	6,9
	20:80	1,3	21,5	10,6	19,2	3,7	1,2	21,7	6,4	10,9	6,9

Примечание. M_L – минимальный крутящий момент, дН·м; M_H – максимальный крутящий момент, дН·м; t_{s2} – время начала вулканизации, определяемое увеличением минимального крутящего момента на 2 дН·м, мин; $t_{(90)}$ – оптимальное время вулканизации, мин; R_v – показатель скорости вулканизации, дН·м/мин.

Оптимум вулканизации, или оптимальное время вулканизации ($t_{(90)}$), – это наименьшая продолжительность вулканизации, за которую достигаются оптимальные показатели основных физико-механических свойств [4, 5].

Установлено, что наиболее существенное влияние на время достижения оптимальной степени вулканизации оказывает введение в эластомерные композиции на основе НК активаторов вулканизации с наибольшим содержанием бентонита. Так, значение оптимума вулканизации для резиновой смеси, содержащей оксид цинка, составляет 17,6 мин (при 143°C×45 мин) и 10,3 мин (при 153°C×30 мин), в то время как для композиции с Бентонит:ZnO = 80:20 ($T_{\text{компл}}=70^\circ\text{C}$) – 10,7 и 6,2 мин соответственно. Следует отметить, что увеличение содержания цинковых белил в составе комплексных активаторов вулканизации приводит к увеличению показателя $t_{(90)}$. В данном случае снижение оптимума вулканизации для смеси, содержащей Бентонит:ZnO = 70:30 ($T_{\text{компл}}=90^\circ\text{C}$) по сравнению с композицией, содержащей Бен-

тонит:ZnO = 30:70 ($T_{\text{компл}}=90^{\circ}\text{C}$), составляет до 1,3 раз (при $143^{\circ}\text{C}\times 45$ мин) и до 1,4 раза (при $153^{\circ}\text{C}\times 30$ мин). Активирующее и замедляющее действие исследуемых активаторов вулканизации может быть связано с механизмом взаимодействия компонентов, входящих в состав добавок, с вулканизирующим агентом и ускорителем вулканизации на различных стадиях вулканизации.

Таким образом установлены зависимости изменения кинетических параметров процесса вулканизации эластомерных композиций на основе натурального каучука от температуры получения и соотношения исходных компонентов в исследуемых добавках. Выявлено, что замена экологически небезопасного оксида цинка на комплексные активаторы вулканизации в резиновых смесях на основе НК приводит к сокращению времени достижения оптимальной степени вулканизации до 1,6 раз при температуре 143°C и до 1,7 раз при 153°C . Следует отметить, что частичное снижение оксида цинка в составе активаторов вулканизации позволяет не только снизить вредное воздействие на окружающую среду, но и уменьшить энергозатраты на получение и переработку резиновых смесей.

Работа проводилась в рамках выполнения совместного проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере для молодых ученых «БРФФИ–ФСРПМ-2022» Т22РПМ-005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахова Е. А. Новые вулканизирующие системы для композиций на основе бутадиен-нитрильных каучуков: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 05.17.06. Москва, 2013. – 24 с.
2. 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.
3. Овчаров В. И., Бурмистр М. В. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация. – М.: Санкт-ТМ, 2001. – 400 с.
4. Корнев А. Е., Буканов А. М., Шевердяев О. Н. Технология эластомерных материалов. М.: Истерик, 2009. 504 с.
5. Гришин Б. С. Теория и практика усиления эластомеров. Состояние и направления развития. Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. 420 с.