

О. А. Кротова, канд. техн. наук, доц.,  
Ж. С. Шашок, д-р техн. наук, проф.,  
Е. П. Усс, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);  
Н. В. Круглик, гл. технолог (ООО «КредмашБел», г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ**

Резины на основе силоксановых (силиконовых, кремнийорганических) каучуков существенно отличаются от других эластомеров и прежде всего высокой стойкостью в широком температурном интервале – от минус 90 до плюс 200°C (кратковременно до 300°C). В этом интервале сохраняются их работоспособность при воздействии кислорода и озона, ряда агрессивных сред, радиационная стойкость, а также необходимый уровень механических свойств.

При температурах, близких к комнатной, время сохранения свойств таких резин может составлять многие десятки лет. Все это позволяет использовать их в самых различных областях [1].

Поскольку ненаполненные эластомеры на основе силоксановых каучуков обладают очень низкой прочностью, для получения прочных резин используют активные (усиливающие) наполнители. В качестве усиливающих наполнителей применяют различные формы кремнезема, в основном пирогенные аэросилы, получаемые сжиганием тетрахлорида кремния в токе водорода, а также белые сажи – кремнеземы, получаемые осаждением из водных растворов силикатов и имеющие удельную поверхность 50–100 м<sup>2</sup>/г, и мелкодисперсные природные кремнеземы – кварциты и диатомиты. Ряд смесей содержат кроме активных кремнезёмов их комбинации в сочетании с различными полу- и малоактивными наполнителями, например, осажденный карбонат кальция, каолин, оксиды титана и цинка. Дозировка активных наполнителей в смесях на основе силоксановых каучуков составляет 20–60 масс. ч. на 100 масс. ч. каучука [2, 3].

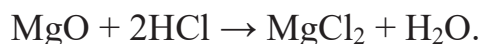
Технический углерод, который широко применяется в рецептурах резин на основе бутадиеновых каучуков, используется в силоксановых эластомерных композициях очень ограничено.

В зависимости от областей применения силоксановые смеси, кроме рассмотренных наполнителей, могут содержать наполнители – целевые добавки иной дисперсности, формы и природы, существенно изменяющие свойства получаемых вулканизатов [4].

Для нейтрализации побочных продуктов, образующихся при вулканизации силиконовых смесей определёнными пероксидами, ис-

пользуют специальные добавки – акцепторы кислот (чаще всего оксиды металлов, такие как оксид магния, оксид цинка, оксиды редкоземельных элементов или органические акцепторы), которые нейтрализуют кислые побочные продукты, образующиеся при вулканизации и эксплуатации силиконов, предотвращая деструкцию полимера и продлевая срок службы изделий.

Механизм действия оксида магния можно изобразить следующим образом:



MgO взаимодействует с выделяющимися кислотами и/или их соответствующими солями металлов.

Известно, что резиновые смеси на основе силоксановых каучуков при применении перекисной системы вулканизации (органические пероксиды) требуют второй стадии вулканизации (довулканизация), что приводит к увеличению энергозатрат и времени изготовления изделий. С целью исследования возможности исключения второй стадии вулканизации эластомерных композиций на основе силоксанового каучука вводились добавки – акцепторы кислот, а именно оксид магния МагПро 150 и Силфор.

Целью работы являлось исследование влияния акцепторов кислот на свойства эластомерных композиций на основе силоксановых каучуков.

В качестве объекта исследования выступала эластомерная композиция на основе силоксанового каучука с содержанием полисилоксана 62–80% и силики 20–38%. Эластомерная композиция содержала вулканизирующий агент ди(2,4-дихлорбензоил)пероксид (ДХБ) в количестве 1,1%. В качестве акцептора кислот использовались оксид магния МагПро 150 и Силфор в дозировке 1,0%. Образцом сравнения являлась эластомерная композиция, не содержащая акцептора кислот.

Оксид магния МагПро150 представляет собой порошок белого цвета с типовым содержанием оксида магния около 95% и высокой площадью поверхности (150 м<sup>2</sup>/г), получаемый путем непрямого обжига измельченного природного гидроксида магния.

Силфор представляет собой пастообразный продукт белого цвета. Применение данного ингредиента предотвращает выделение продуктов распада перекисей на поверхность силиконовых изделий.

Образцы для исследования эластомерных композиций на основе силоксановых каучуков изготавливались без проведения второй стадии вулканизации.

С целью изучения влияния добавок на отсутствие довулканизации силиконовых смесей, образцы выдерживались в течение 35 суток при комнатной температуре. Результаты показали, что ведение добавок предотвратило появление на поверхности образцов продуктов, образующихся при вулканизации, а также непрореагировавших мономеров.

Результаты исследования физико-механических показателей резин на основе силоксановых каучуков приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-механические свойства вулканизатов**

Показатель	Силиконовая смесь		
	Без добавок	Акцепторы кислот	
		MgO	Силфор
Условная прочность при растяжении, МПа	4,3	4,3	4,7
Относительное удлинение при разрыве, %	205	265	255
Твердость по Шору А, усл. ед. Шор А	69	66	66

Анализ полученных результатов показал, что введение в эластомерные композиции оксида магния не оказывает влияния на условную прочность при растяжении вулканизатов. Значение данного показателя резины без акцептора кислоты и с оксидом магния составляет 4,3 МПа. В то же время, добавление в резиновую смесь Силфора приводит к увеличению условной прочности при растяжении на 9,3%. Кроме того, установлено, что вулканизаты, содержащие акцепторы кислот, имеют на 24,4–29,2% большие значения относительного удлинения при разрыве и меньшую (на 3 усл. ед.) твердость, что важно при эксплуатации изделий, работающих под давлением и на изгиб.

В процессе эксплуатации изделия могут контактировать с агрессивной средой, такой как, например, антифриз, что может приводить к вымыванию ингредиентов из эластомерной композиции. В связи с этим проводились исследования по установлению взаимодействия образцов эластомерных композиций с антифризом (таблица 2).

Результаты испытания показали, что добавление в силоксановые эластомерные композиции акцепторов кислот снижает степень вымывание ингредиентов из резины, что может продлить срок службы изделий.

Так, массовая доля экстрагируемых веществ образца сравнения составляет 1,20%, а у образцов с акцепторами кислот – 0,73 и 1,06%. При этом установлено, что введение в резиновые смеси Силфора в

большей степени предотвращает экстракцию ингредиентов из вулканизатов, вероятно, это связано с увеличением плотности сшивки резин, содержащих данную добавку.

**Таблица 2 – Степень экстракции**

Показатель	Силиконовая смесь		
	Без добавок	Акцепторы кислот	
		MgO	Силфор
Массовая доля экстрагируемых веществ, %	1,20	1,06	0,73

Таким образом, результаты исследования влияния акцепторов кислот на свойства эластомерных композиций на основе силоксанового каучука показали, что наилучшим комплексом свойств обладают вулканизаты, содержащие добавку Силфор.

Применение данного ингредиента в рецептуре силоксановых эластомерных композиций позволяет исключить вторую стадию вулканизации и, тем самым, уменьшить энергозатраты при изготовлении резинотехнических изделий и улучшить физико-механические показатели вулканизатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневский К. В., Шашок Ж. С. Повышение термической стабильности резин на основе силоксанового каучука // Актуальные проблемы науки о полимерах: материалы IV Всероссийской научной конференции (с международным участием) преподавателей и студентов вузов, 23–26 сентября 2024 г. – Казань: КНИТУ, 2024. – С. 364–365.
2. Гадельшин Р. Н., Хусаинов А.Д., Хакимуллин Ю. Н. Высоконаполненные резины на основе силоксанового каучука // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – С. 163–168.
3. Гадельшин Р. Н., Хусаинов А.Д., Хакимуллин Ю. Н. Влияние вида и содержания наполнителей на свойства высоконаполненных силоксановых резин // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – С. 96–99.
4. Каблов В. Ф., Новопольцева О. М., Спиридонова М.П., Крюкова Д. А. Резины со специальными свойствами [Электронный ресурс]. – Волжский: ВолгГТУ, 2020. – 183 с.