
ВЫБОР МЕТОДА МОДИФИКАЦИИ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ

Пятов И.С., Врублевская Ю.И.*, Швердяев О.Н.**,
Максимова Ю.А.*, Бычкова Т.В.*, Данилов В.Д.***
(*ООО «РЕАМ-РТИ», г. Москва; **ФГУ БО ВПО Мос-
ковский государственный открытый университет им.
В.С. Черномырдина, г. Москва; ***Институт машино-
строения имени А.А.Благонравова РАН, г. Москва)*

Эластомерные композиции (ЭК), применяемые для изготовления уплотнений подвижных узлов, упорных подшипников валопроводов судов, забойных двигателей, статоров винтовых насосов и др., работающих в режиме трения скольжения по гладким металлическим поверхностям, должны обладать высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения и минимальным моментом срабатывания.

Улучшить комплекс свойств ЭК, уже широко применяемых на практике, можно с помощью технологий модификации. Модификация является весьма универсальным методом, который позволяет в широком диапазоне изменять свойства ЭК в заданном направлении. Такой подход позволяет получать качественно новые ЭК и изделия из них с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств.

Одним из путей улучшения комплекса эксплуатационных показателей многих эластомерных изделий является снижение коэффициента трения ЭК. Это достигается различными методами, такими как объемная модификация (ОМ) – введение модификаторов на стадии изготовления ЭК, поверхност-

ная модификация – обработка поверхности готовых изделий модифицирующими агентами [1], применение комбинированных способов модификации, включающих: объемную и поверхностную [2, 3] и адсорбционно-абсорбционная модификация (ААМ) – погружение готовых изделий в среду модификатора, сопровождающееся адсорбцией модификатора на поверхности изделия и его абсорбцией в поверхностные слои материала [4]. Мигрируя на поверхность ЭК при хранении изделия и в процессе его эксплуатации, модификатор создает функциональный слой, например, слой с низким коэффициентом трения или (и) повышенной стойкостью к агрессивным средам.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния ОМ, ААМ и комбинированной модификации (КМ) ОМ и ААМ на физико-механические и фрикционные свойства ЭК.

В качестве объекта исследования была выбрана широко применяемая для изготовления резинотехнических изделий ЭК пероксидной вулканизации на основе бутадиен-нитрильного каучука марки БНКС-28 [5].

ОМ проводили путем введения в состав ЭК малых добавок (1–5 мас. ч. на 100 мас.ч. каучука) полиоксипропиленгликоля (ПОЭ) с молекулярной массой (ММ) $4 \cdot 10^2$ и ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$, ААМ проводили путем

погружения образцов ЭК в среду ПОЭ с молекулярной массой $4 \cdot 10^2$.

Эффективность модифицирования оценивали по изменению физико-механических и фрикционных характеристик ЭК.

Измерение физико-механических характеристик ЭК проводили в соответствии с ГОСТ 270-75, ГОСТ 263-75, ГОСТ 9.024-74, ГОСТ 9.029-74, ГОСТ 9.030-74.

Измерение краевых углов смачивания проводили на горизонтальном микроскопе марки «МГ» с гониометрической приставкой при нанесении капель воды на твердую поверхность эластомера. Точность измерения углов составляла $\pm 1^\circ$.

Фрикционные характеристики ЭК (f_n – начальное значение коэффициента трения, f – установившееся значение коэффициента трения, ΔT – разность температур в зоне контакта) определялись в соответствии с [6].

Форма образцов и физическая модель для испытаний выбиралась в соответствии с указанными выше рекомендациями. Образец – втулка с наружным диаметром $D = 100$ мм, который является поверхностью трения, изготавливалась из высоколегированной стали с твердостью поверхности трения не ниже HRC = 55 и с шероховатостью не ниже 9 класса. Образец – полоска изготавливалась из ЭК.

Таблица 1. Физико-механические характеристики эластомерных композиций, подвергнутых ОМ, ААМ и КМ

Показатель	Без модификации	КМ (ОМ+ААМ ПОЭ с ММ 400)															
		ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$			ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$			ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$	ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$						ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$		
		0*	1*	3*	5*	1*	3*		5*	0*	1*	3*	5*	1*	3*	5*	
Условная прочность при растяжении, МПа	12,7	11,8	11,7	12,2	13,5	12,6	12,9	14,1	13,3	13,6	12,6	14,6	13,6	13,7			
Относительное удлинение при разрыве, %	138	130	137	150	142	163	155	130	140	140	128	153	160	160			
Твердость по Шору А, усл. ед.	78	78	78	77	80	80	80	81	78	79	80	83	81	82			
Относительная остаточная деформация сжатия на 20 % на воздухе при 125 °С в течение 72ч, %	58,0	68,8	69,0	74,9	63,7	60,4	65,4	44,8	40,8	41,2	46,7	44,8	48,2	47,6			
Краевой угол смачивания, град	90	90	77	62	90	84	76	49	60	58	48	49	53	58			
<i>Изменение показателей после старения на воздухе при 125 °С в течение 72 ч</i>																	
Условной прочности при растяжении, %	+23,6	+30,5	+32,5	+23,8	+30,4	+28,6	+24,8	+10,7	+9,0	+4,4	+7,9	+8,2	+7,3	+8,0			
Относительного удлинения при разрыве, %	-42,0	-38,5	-34,3	-40,0	-38,0	-44,8	-43,9	-16,9	-28,5	-23,5	-25,8	-23,5	-26,9	-28,1			
Твердости по Шору А, усл. ед.	+14	+11	+13	+14	+11	+9	+12	+5	+8	+7	+6	+4	+3	+4			

*1, 3, 5 – содержание ПОЭ в объеме ЭК соответственно 1, 3 и 5 мас.ч. на 100 мас.ч. каучука; 0 – эластомерная композиция без содержания модификатора в объеме.

Таблица 2. Фрикционные характеристики образцов эластомерных композиций подвергнутых ОМ, ААМ и КМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ и ММ $4 \cdot 10^3$

Тип модификации	мас.ч. ПОЭ на 100 мас.ч. каучука	1*			2*		
		f_n	f	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	f_n	f	$\Delta T, ^\circ\text{C}$
Без модификации	0	0,510	0,242	4,0	0,318	0,169	10,0
	1	0,602	0,312	4,0	0,235	0,180	7,0
ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$	3	0,559	0,290	4,0	0,295	0,170	6,0
	5	0,499	0,261	4,0	0,317	0,160	6,0
ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$	1	0,755	0,303	4,5	0,565	0,132	5,5
	3	0,760	0,210	4,0	0,600	0,132	5,0
ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$	5	0,784	0,156	4,0	0,614	0,134	4,0
	0	0,617	0,214	3,0	0,225	0,158	6,5
КМ (ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ + ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$)	1	0,374	0,206	3,5	0,446	0,126	6,0
	3	0,362	0,205	3,0	0,502	0,110	6,0
КМ (ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$ + ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$)	5	0,347	0,203	2,0	0,595	0,101	6,0
	1	0,755	0,197	3,5	0,728	0,140	7,0
КМ (ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ + ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$)	3	0,761	0,185	3,0	0,669	0,121	4,0
	5	0,765	0,172	2,0	0,635	0,100	3,0

Примечание. f_n – начальное значение коэффициента трения, f – установившиеся значение коэффициента трения (на 20-й минуте), ΔT – разность температур в зоне контакта.

* 1 и 2 – соответственно низкоскоростной (1,74 м/с) и высокоскоростной (4,18 м/с) режимы трения.

Испытания проводили при следующих условиях: нагрузка – 1,9 кг, скорость вращения контртелат – 1,74 и 4,18 м/с.

В табл. 1 приведены физико-механические характеристики ЭК, подвергнутых ОМ, ААМ и КМ.

Результаты исследования, представленные в табл. 1, показывают, что при ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ наблюдается ухудшение значения показателя относительной остаточной деформации сжатия (ООДС) на воздухе на 22 %. При ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$ все показатели практически не изменяются.

ААМ и КМ (ОМ+ААМ) улучшает показатель ООДС на 17–26 % для всех ЭК. Также на всех ком-

позициях улучшается стойкость к термоокислительной деструкции, показатели после старения на воздухе имеют более низкие коэффициенты старения по сравнению с ЭК ОМ и ААМ.

Результаты измерений краевого угла смачивания показывают, что при ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ с увеличением содержания ПОЭ краевой угол уменьшается. Краевой угол также снижается на образцах ОМ с ММ $4 \cdot 10^3$. Это свидетельствует о наличии кислородосодержащих групп ПОЭ на поверхности эластомера, поверхность гидрофильна.

Перед измерением краевого угла смачивания поверхность образцов осушали фильтровальной бумагой, т.к. после ААМ и КМ капля воды полностью растекалась на поверхности образцов, из-за чего, замеры произвести было невозможно.

Краевой угол смачивания на образцах ЭК после ААМ и КМ значительно уменьшается по сравнению с образцами ОМ. Эффект снижения краевых углов смачивания можно объяснить тем, что ПОЭ сорбируется на эластомере так, что отрицательно заряженные полярные атомы кислорода эфирной группы направлены к воде, а неполярные $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ группы – к эластомеру [7].

В табл. 2 приведены фрикционные характеристики образцов ЭК подвергнутых ОМ, ААМ и КМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ и ММ $4 \cdot 10^3$.

Полученные результаты показывают, что наибольшее улучшение фрикционных показателей достигается при использовании КМ. В выбранном концентрационном диапазоне при КМ оптимальная дозировка ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ и ММ $4 \cdot 10^3$ в объеме составляет 5 мас.ч. Эффект снижения f более выражен при высокоскоростном режиме трения (4,18

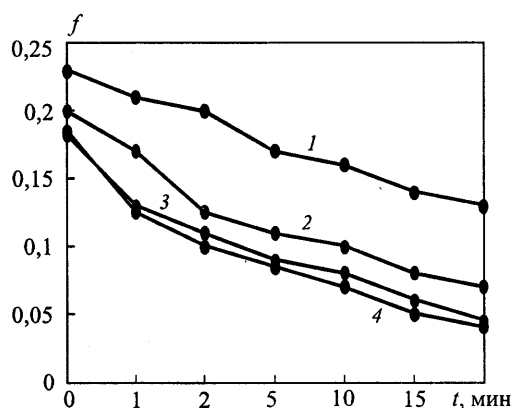


Рис. 1. Изменение коэффициента трения (f) эластомерных композиций от времени при скорости скольжения 6,2 м/с: 1 – без модификации; 2 – ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$; 3 – КМ (ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ – 5 мас.ч. + ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$); 4 – КМ (ОМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^3$ – 5 мас.ч. + ААМ ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$).

м/с), при этом f снижается на 40 % по сравнению с образцом без модификации, чего нельзя сказать про f_n . Однако результаты стендовых испытаний показывают, что момент страгивания манжет модифицированных ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ снизился в 2 раза по сравнению с серийно применяемыми манжетами.

Во всех случаях модификация с помощью ПОЭ снижает температуру в зоне контакта, т.к. ПОЭ обладает хорошей теплопередачей и теплоотводом, что положительно влияет на долговечность узла трения.

При низкоскоростном режиме трения (1,74 м/с) заметного ухудшения фрикционного поведения ЭК не наблюдается.

Представляло интерес определить коэффициент трения ЭК после ААМ и КМ (при оптимальных дозировках ПОЭ в объеме – 5 мас.ч.) при более высокой скорости скольжения (6,2 м/с.). Результаты исследования приведены на рис. 1.

Из приведенных выше данных следует, что КМ с использованием ПОЭ с ММ $4 \cdot 10^2$ и ММ $4 \cdot 10^3$ позволяет улучшить фрикционные свойства эластомерных материалов в жестких условиях эксплуатации (при повышенных скоростях).

Библиографический список

1. Федюкин Д.Л., Донцов А.А., Пестов С.С. Использование методов модификации для повышения качества каучуков и резин. М.: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1984, С. 125.
2. Пятов И.С., Крылова С.Н., Чернавцева Т.А. и др. // Сб. докл. IX Симп. «Проблемы шин и резинокордных композитов». (Москва, 1998). С. 79.
3. Пятов И.С., Васильева С.Н., Тихонова С.В. и др. // Каучук и резина. 1999. № 5. С. 28.
4. Дроздов Ю.Н., Юдин Е.Г., Белов А.И. // Прикладная трибология. М.: «Эко-Пресс», 2010. С. 23.
5. Пятов И.С., Максимова Ю.А., Врублевская Ю.И., Бычкова Т.В. // Сб. докл. научно-практич. конф. «Каучуки, шины, резинотехника в XXI веке». (Москва, 2010). С. 45.
6. Методические рекомендации. ГОССТАНДАРТ ВНИИ по нормализации в машиностроении и ИМАШ им. А.А. Благоднарова.
7. Топчиева И.Н. // Успехи химии. 1980. Вып. 3. С. 509.

Поступила в редакцию 13.12.2011.