

нибудь заметного влияния на износ и момент трения пары сталь – резина, выполняет функцию упрочнения комбинированного покрытия. Когда наносится покрытие ПТФЭ+ПУ 1:1, молекулы данных полимеров перемешиваются, вместе диффундируют в поверхностные слои РТИ, а также образуют комбинированную пленку, состоящую из этих молекул примерно в пропорции 1:1.

При трении резин пары с покрытием из ПУ+ПТФЭ последний, находясь над слоем ПУ, активно изнашивается, о чем свидетельствует более высокий износ пары трения с данным покрытием, чем износ пары с покрытием ПУ+ПТФЭ 1:1 (см. рисунок 2). Однако за счет триботехнических свойств ПТФЭ значительно снижается момент трения. При этом, как уже было сказано, активно срабатывается слой ПТФЭ, затем достаточно быстро из зоны трения выводится ПУ, и постепенно в процессе трения поверхностная энергия РТИ восстанавливается до поверхностной энергии исходной пары.

Комбинированное покрытие ПУ+ПТФЭ 1:1, напротив, активно сопротивляется изнашиванию, о чем свидетельствует достаточно высокий момент трения резинометаллической пары по сравнению с моментом трения пары с многослойным покрытием ПУ+ПТФЭ (см. рисунок 3).

По-видимому, ПУ создает достаточно прочный каркас, в котором находятся микрочастицы ПТФЭ. При трении модифицированного РТИ о сталь в режиме граничной смазки данное покрытие активно сопротивляется разрушению поверхности резины и самого покрытия, как бы упрочняя ее. Об этом свидетельствует более высокий коэффициент трения по сравнению с многослойным покрытием ПУ+ПТФЭ, а также значительно более низкий износ.

На основании проведенных исследований установлено, что наиболее высокие триботехнические свойства достигаются при нанесении на поверхности резин покрытия из активной газовой фазы, генерируемой электронно-лучевым диспергированием смеси ПТФЭ-ПУ в соотношении 1:1 с активацией продуктов диспергирования плазмой тлеющего разряда. Данные результаты получены при испытаниях по различным схемам.

УДК 614.841.13

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА ПОЖАРНУЮ ОПАСНОСТЬ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. С. ПОПКО

Научно-практический центр учреждения «Брестское областное управление МЧС»

Существенным недостатком поливинилхлоридных материалов является их способность образовывать при разложении и горении в условиях пожара большое количество токсичных веществ и дыма. Согласно классификации, предложенной Ильичкиным В. С. и Гусевым В. М., ПВХ материалы по токсичности продуктов горения относятся к классу умеренно опасных материалов. Кроме того, продукты разложения и горения ПВХ не только токсичны, но и коррозионноактивны. При разложении ПВХ выделяется около 20 различных веществ, CO и CO₂. Указанные обстоятельства вызывают необходимость поиска добавок, способных снизить пожароопасность полимерных материалов на основе поливинилхлоридной смолы.

При изучении влияния ряда веществ на пожароопасные свойства ПВХ материалов в качестве исходного материала были использованы серийные изделия, в состав которых входили поливинилхлоридная смола (ПВХ-смола), диоктилфталат (ДОФ), оксид титана (TiO₂), силикат свинца (PbSiO₃), хлорпарафин (ХП), стеариновая кислота (СК) и мел. На основе этого материала было изготовлено композиции, в которые вводили добавки различных веществ: оксид меди (II) (CuO), гидрофосфат аммония [(NH₄)₂HPO₄], оксид сурьмы (III) (Sb₂O₃), гидроксид алюминия [Al(OH)₃], борная кислота (H₃BO₃), мочевины (NH₂CONH₂), мочевиноформальдегидная смола (МФС), фенолформальдегидная смола (ФФС), трифенилфосфат (ТФФ). Состав композиций приводится в таблице 1. Все добавки вводились за счет снижения содержания мела. Композит представлял собой пленочный материал толщиной 2 – 3 мм.

Таблица 1

Номер образца	Состав композиции, масс. %	Наполнитель	
		мел, %	добавка, %
1	2	3	4
Серийный 1	ПВХ-смола-50,8 ДОФ - 19,8 TiO ₂ - 0,86 PbSiO ₃ - 1,5 ХП - 470 - 2,24 СК - 0,4	24,4	-
2	То же	6,1	CuO - 6,1 (NH ₄) ₂ HPO ₄ - 12,2
1	2	3	4
3	ПВХ-смола-49,6 ДОФ - 19,3 PbSiO ₃ - 1,63 ХП - 470 - 2,18	5,9	МФС - 11,87 Al(OH) ₃ - 7,05 Sb ₂ O ₃ - 2,47
4	То же	6,1	NH ₂ CONH ₂ - 7,2 ФФС - 6,89 H ₃ BO ₃ - 7,1
5	ПВХ-смола-40 ДОФ - 7,8 TiO ₂ - 0,67 СК - 0,31	40	Sb ₂ O ₃ - 2,71 ТФФ - 8,75
6	То же	31,22	Al(OH) ₃ - 20,0

Опасность полимерной композиции оценивали по скорости нарастания токсичности $W_T, \text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ из выражения

$$W_T = \sum_{i=1}^m \frac{g_i}{C_{\text{доп}i}} W_m,$$

где g_i – удельное образование токсичного вещества, г / кг; $C_{\text{доп}i}$ – допустимая концентрация того же вещества, г / м³; W_m – массовая скорость выгорания материала, кг / (м² · с).

Материалы испытывали в режиме горения. Результаты исследования, представленные ниже в таблице 2, показали, что вводимые добавки оказывают влияние как на скорость выгорания, так и на удельное образование наиболее газообразных продуктов.

Таблица 2

Номер композиции	W_m (кг / м ² · с)	$g, \text{г} / \text{кг}$			W_T м ³ / (м ² · с)
		HCl	CO	CO ₂	
1	0,0156	234	39,7	128	2,99
2	0,0078	187	66,7	77,8	1,44
3	0,0126	172	47,3	98,1	2,39
4	0,0076	151	38,4	54,5	1,03
5	0,0065	108	22,5	52,6	0,6
6	0,0053	258	176,3	81,3	1,73

Из приведенных данных видно, что все вводимые добавки понижали скорость выгорания исследуемых композиций по сравнению с серийным образцом. Наибольшее влияние на снижение скорости выгорания оказал гидроксид алюминия (композиция 6).

Полученные результаты показали, что добавки по-разному влияют на скорость выгорания и удельный выход продуктов. Так, введение гидроксида алюминия, оксида меди и гидрофосфата аммония значительно снижает скорость выгорания, но увеличивает образование СО. Мочевина, ФФС, оксид сурьмы (III), ТФФ одновременно снижают и скорость выгорания, и удельное образование всех газов. При этих обстоятельствах для сравнительной оценки опасности исследуемых композиций незаменимым критерием является скорость нарастания токсичности W_T . При оценке по этому показателю можно видеть, что наименьшую опасность представляет композиция 5. Его показатель опасности в 4,5 раза меньше показателя опасности серийной композиции.

На основании исследования можно сделать вывод о том, что в целях снижения опасности ПВХ – материалов, связанной с выделением токсичных газообразных продуктов, в них следует вводить мочевины, фенолформальдегидную смолу, борную кислоту, оксид сурьмы и одновременно заменять пластификатор (диоктилфталат на трифенилфосфат). Производство ПВХ материалов с указанными добавками позволит значительно сократить количество токсичных веществ и дыма от них в случае пожара как на производстве, так и в дальнейшем на объектах, где эти материалы используются для отделки и т. п.

УДК 621.891:621.921.8

КОМБИНИРОВАННЫЕ АНТИФРИКЦИОННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ РТИ

А. Н. ПОПОВ, М. А. ЯРМОЛЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта

Резинотехнические изделия (РТИ) широко применяются в качестве уплотняющих элементов в различных механизмах и узлах благодаря своим уникальным физико-механическим свойствам. Качество эластомера, ресурс его работоспособности в значительной мере определяют надежность и долговечность работы многих технических устройств. Однако в условиях действия статических или переменных механических напряжений, активной среды (масла, топлива), высоких температур эластомерные уплотнения теряют свои свойства, происходит интенсивное разрушение поверхностных и объемных слоев. В настоящее время основным технологическим приемом повышения функциональных свойств резин, применяемых в запорной аппаратуре, является их объемная модификация. Однако из-за комплексного действия наполнителя на физико-химические характеристики резин не всегда, например, удастся повысить износостойкость РТИ и сохранить при этом хорошие эластичность, механическую прочность, стойкость к действию агрессивных сред. Более перспективной и достаточно эффективной является технология поверхностного модифицирования резин, заключающаяся в физико-химической обработке поверхностных слоев или нанесении на их поверхность покрытий из другого материала. Кроме этого при нанесении покрытий представляется возможным значительно снизить диффузионную проницаемость поверхностных слоев и, соответственно, повысить стойкость резин к старению, расширить диапазон рабочих температур. Особое место среди методов поверхностного модифицирования эластомерных уплотнений занимают методы плазмохимического модифицирования, в частности, обработка РТИ в среде полимеризующихся газов. Данная технология в сравнении с другими известными обладает рядом преимуществ: возможностью нанесения композиционных полимерных покрытий без применения органических растворителей и термообработки при высоких температурах, которые изменяют исходное состояние резин; возможность модифицирования резин различной формы и находящихся в сложном напряженно-деформированном состоянии; технологическая простота процесса. Однако, как показала практика, полимерные покрытия, формируемые на РТИ, быстро изнашиваются при высоких контактных нагрузках и скоростях истирания. В работе для повышения эффективности плазмохимического модифицирования РТИ предлагается осуществлять плазменную активационную обработку продуктов электронно-лучевого диспергирования (ПЭЛД) в процессе формирования полимерных покрытий и наносить углеродные слои (УС).

Целью работы являлось исследование структуры и физико-механических свойств покрытий различной конструкции, формируемых на эластомерных подложках при различных режимах и условиях осаждения. Полимерные покрытия формировали из газовой фазы, генерируемой электронно-лучевым диспергированием исходного полимера или смеси исходных полимеров. В качестве исходных полимерных материалов использовали полиуретан (ПУ), политетрафторэтилен (ПТФЭ), полиэтилен высокого давления (ПЭВД). Толщина композиционного составляла $\approx 0,5$ мкм. Углеродные покрытия наносили методом импульсно-дугового испарения. Толщина покрытий составляла $\approx 0,3$ мкм. Триботехнические испытания проводили по схеме сфера ($R = 3$ мм) – плоскость на возвратно-поступательном трибометре при нагрузках 0,4–2 Н, скорости истирания $3,4 \cdot 10^{-2}$ м/с.

В представленной работе исследованы структура и свойства полимерных покрытий, формируемых плазменно активированными ПЭЛД, и показано, что наиболее высокими триботехническими и защитными свойствами обладают покрытия ПУ. Плазменная обработка ПЭЛД ПУ интенсифицирует химические реакции с участием углеводородных фрагментов макромолекул ПУ (сшивка) в газовой фазе, значительно повышает степень самоассоциации уретановых фрагментов. Покрытия ПУ,