

УДК 539.211:539.612:539.62:620.178.162:621.973

ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ РЕЗИНЫ ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ

Ташлыков И.С.* Касперович А.В.*
 Касперович В.И.** Шадрухин М.Г.**
 (* Белорусский государственный технологический университет, Минск; ** АО «Беларусьрезинотехника», Бобруйск)

Составной частью элементов технологического оборудования являются резиновые контактные уплотнения для подвижных соединений, которые в значительной мере определяют работоспособность достаточно сложных агрегатов. Уплотнения предназначены для обеспечения требуемой степени герметичности. «Отказы», возникающие в результате эксплуатации уплотнений, вызываются рядом факторов: наличием скрытых дефектов эластомерного материала или разрушением уплотнителя при чрезмерных деформациях (внезапные отказы), а также воздействием термических факторов, изменением структуры и свойств резины в результате ее старения («внутренний износ») и изменением размеров уплотнителя («внешний износ») (постепенные отказы). Наиболее распространенной причиной потери работоспособности уплотнений является внешний износ. Полагают, что именно «износные» отказы уплотнений определяют их работоспособность [1].

Для улучшения антифрикционных свойств резины применяют различные методы: введение антифрикционных добавок, поверхностную модификацию фторсодержащими, полимерными, композиционными или фторлоновыми покрытиями [2], бромирование и др. Предлагаемый нами способ нанесения покрытий относится к числу физических методов.

Среди известных физических методов нанесения покрытий сравнительно несложным и достаточно эффективным является способ напыления в вакууме. Однако в ряде случаев адгезия покрытия к материалу основы недостаточная, а покрытия испытывают большие напряжения [3, 4]. Оба этих фактора принципиально важны при нанесении покрытий, особенно в тех случаях, когда материалом основы является не твердый, а упругий материал, например эластомер.

Для усиления адгезии осаждаемой на резину тонкой пленки мы применяли метод ионно-ассистированного нанесения покрытий в условиях саморадиации (ИАНПУС) [5]. Этим методом на резину марки 7-ИРП-1068-24 (ГОСТ 8752-79) наносили покрытия из титана, молибдена и вольфрама. Покрытия осаждали также на рабочую поверхность манжет с целью изменения фрикционных

характеристик эластомера в области контакта с трущейся поверхностью стальной оси.

Эксперименты проводили с использованием вакуумного резонансного дугового источника. Этот тип ионного источника с электродами, изготовленными из материала наносимого покрытия, позволяет получить поток ионов металла (Me^+) и поток незаряженных частиц – нейтральных атомов (А). Соотношение этих потоков зависит от расстояния до мишени и площади подложки, на которую крепится мишень. Уменьшая расстояние между мишенью и источником, можно увеличить плотность потока осаждаемых частиц, так как известно, что плотность потока осаждаемых незаряженных частиц обратно пропорциональна квадрату расстояния до мишени. Плотность потока ионов, вытягиваемых из плазмы дугового разряда электрическим полем, в основном зависит от площади подложки. Энергия ассистирующих ионов в экспериментах составляла от 9 до 20 кэВ; остаточное давление при осаждении покрытий – $\sim 10^2$ Па. Отношение плотности ионного потока к скорости нанесения покрытия (Me^+/A) в разных экспериментах изменялось от 0,1 до 0,3 при скорости нанесения 0,1–0,4 нм/с.

При выполнении исследований определяли фрикционные характеристики модифицированной резины. Деструктивным методом были изучены процессы разрушения исходной и модифицированной резины в результате сухого трения с ней стального штока при возвратно-поступательном движении. Результаты испытаний на трибометре ТАУ-3М приведены на рис.1. При сухом скольжении стержня по необработанной поверхности резины после 900 испытательных циклов сила трения увеличивается от 8,9 до 16,5 отн.ед. (кр. 1) до момента разрушения резины. Аналогичное поведение резины с молибденовым покрытием наблюда-

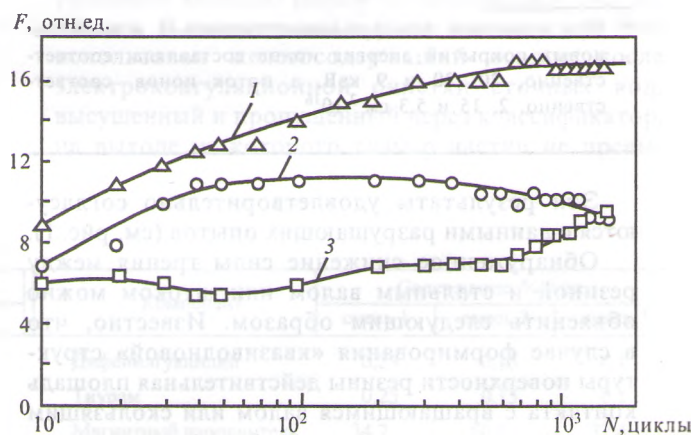


Рис. 1. Зависимость силы трения от числа возвратно-поступательных циклов:

1 – исходная резина; 2 – резина с молибденовым покрытием; 3 – резина с вольфрамовым покрытием.

ется только на первой стадии скольжения: после 50 возвратно-поступательных циклов сила трения увеличивается от 6,8 до 11,0 отн.ед. (кр. 2); затем она остается постоянной (до 300 циклов), после чего медленно снижается до 9,0 отн.ед., что составляет 0,5 от соответствующего значения для исходной резины после 1000 циклов испытаний. Сила трения резины с осажденным покрытием на основе вольфрама при перемещении по ней стального стержня медленно снижается до 0,9 от начального значения (6 отн.ед.) после 40–50 циклов скольжения (кр. 3), а затем медленно увеличивается до 9 отн.ед. после 1000 испытательных циклов. Для резины с молибденовым и вольфрамовым покрытиями после 1500 циклов перемещения стержня сила трения составила 0,55 от силы трения необработанной резины при таких же условиях испытания. Этот экспериментально установленный факт может, на наш взгляд, свидетельствовать о том, что износ резины уменьшается даже после разрушения осажденного на нее покрытия.

Силу трения в паре манжета–стальной вал измеряли с помощью неразрушающего метода на серийном трибометре «Днепр-2». Результаты, полученные в независимых опытах, подтверждают, что триботехнические свойства резины, модифицированной методом ИАНПУС, улучшаются. Для обработанных данным методом манжет при контакте с вращающимся стальным валом сила трения составляет 0,8–1,3 Н, т.е. ~50–60 % от силы трения о вал манжеты без покрытия:

	Сила трения, Н
Исходная резина	1,5–2,0
Резина с покрытием*	
вольфрамовым	0,9–1,3
титановым	1,0–1,3
молибденовым	0,8–1,1

* При нанесении вольфрамовых, титановых и молибденовых покрытий энергия ионов составляла, соответственно, 20, 20 и 9 кэВ, а поток ионов, соответственно, 2, 15 и $5,3 \text{ см}^{-2} \cdot 10^{16}$.

Эти результаты удовлетворительно согласуются с данными разрушающих опытов (см. рис. 1).

Обнаруженное снижение силы трения между резиной и стальным валом или штоком можно объяснить следующим образом. Известно, что в случае формирования «квазиволновой» структуры поверхности резины действительная площадь контакта с вращающимся валом или скользящим стальным стержнем может быть существенно меньше, чем обычная площадь контактирующих сторон [6]. На РЭМ-изображении резины с вольфрамовым покрытием (рис. 2) действительно сфор-



Рис. 2. РЭМ-изображение структуры поверхности резины с вольфрамовым покрытием, нанесенным методом ИАНПУС ($E = 20 \text{ кэВ}$).

мировано «квазиволновое» покрытие. Измеряемая длина «волны» составляет 4–6 нм. Поэтому истинную площадь контакта при трении определить едва ли возможно, поскольку из-за эластичности резины при разной нагрузке поверхность контакта с жесткой основой может изменяться. Мы полагаем, что предлагаемый механизм может быть использован для качественного объяснения макроскопического эффекта снижения силы трения резины в паре с металлическим скользящим стержнем или с вращающимся валом.

Покрyтия, нанесенные методом ИАНПУС, можно также рассматривать как пленку аналога твердой смазки, поскольку кроме металла в ней содержится до ~20–30 % (ат.) углерода и ~30–50 % (ат.) кислорода [7]. Известно [6], что соединения такого типа предложены для получения твердых смазок. В зависимости от химической природы соединений металлов с кислородом и углеродом в покрытиях они могут играть существенную роль в изменении трения между резиной с покрытием и стальными поверхностями.

Оптическое микроскопическое исследование испытанных на трибометре «Днепр-2» манжет не выявило трещин на их рабочей поверхности. Это свидетельствует о том, что пластическая деформация манжеты в процессе вращения не разрушает тонкое покрытие, нанесенное на поверхность резины методом ИАНПУС. Этот факт и данные метода резерфордского обратного рассеяния [7] указывают на высокую степень адгезии нанесенных методом ИАНПУС покрытий с резиной. При этом композиционный состав осажденных покрытий может быть сравним с составом

«твердой» смазки, используемой в ряде случаев для снижения трения в ответственных узлах.

Библиографический список

1. Буренин В.В., Иванов С.В. // Каучук и резина. 1997. № 1. С. 31.
2. Огрель А.М., Хаймович А.М., Каблов В.Ф. // Изв. вузов. Хим. и хим. технол. 1984. Т. 27. № 4. С. 494–495.
3. D'Heurle F.M., Harper J.M.E. // Thin Solid Films. 1989. V. 17. P. 81.
4. Martynenko Yu.V., Carter G. // Radiat. Eff. Defects Solids. 1994. V. 132. P. 103.
5. Заявка 1851 РБ: МПК⁶ С 23 С 14/46, 14/58 С 30 В 23/06.
6. Pauleau Y. // Materials and Processes for Surface and Interface Engineering / Ed. Y. Pauleau. NATO ASI Series. V. 290. London: Kluwer Acad., 1995. P. 475.
7. Ташлыков И.С., Касперович А.В., Куликаускас В.С., Шадрухин М.Г. // Поверхность. 1995. Т. 9. С. 57–58.

УДК 678.07:538.221:621.317.4

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕЗИН С МАГНИТНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО ОСАДКА

Петрухино Л.А., Квасков В.В., Макаров В.М.
(Ярославский государственный технический университет)

Эластомерные материалы, обладающие ферромагнитными свойствами, находят широкое применение в различных отраслях промышленного производства. Их успешно используют в качестве источников магнитного поля в стереоакустических системах, малогабаритных двигателях, магнитных конвейерных лентах, а также во всех тех случаях, когда эластичный магнит должен повторить неровности и кривизну контактирующих с ним

ферромагнитных поверхностей. Из них можно изготовить магнитные панели, способные удерживать любые символы из ферромагнитного материала. Полимерные магнитопроводы и электромагнитные экраны получили широкое распространение в системах связи, блоках памяти ЭВМ, телевизорах и других радиоэлектронных устройствах [1]

Основными достоинствами изделий из таких полимерных материалов являются высокие деформационно-прочностные показатели, а также легкость механической обработки.

В качестве магнитного наполнителя таких полимерных материалов применяют порошкообразные ферриты, получаемые из чистых компонентов (оксидов, солей и гидроксидов соответствующих металлов), являющихся дефицитным и дорогостоящим сырьем. В условиях ограничения сырьевых ресурсов для получения магнитных наполнителей актуальной задачей становится поиск их доступных заменителей.

Как известно, при очистке сточных вод некоторых предприятий электрокоагуляционным методом образуется осадок, из которого может быть получен магнитный материал – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ [2–4]. Данный осадок является крупнотоннажным отходом промышленности и до сих пор не был использован в качестве ингредиента резиновых смесей. Поэтому особый интерес представляют исследования полимерных композиций, имеющих в качестве магнитного наполнителя продукт переработки железосодержащих электрогенерированных осадков.

Объектом данного исследования были резины на основе хлоропренового и бутадиенового каучуков с ферромагнитным наполнителем. Нами был составлен ряд рецептов резиновых смесей (табл. 1). Резиновые смеси для испытаний готовили на лабораторных вальцах; режим вулканизации – 143 °С, 30 мин. В качестве магнитного наполнителя был использован железосодержащий осадок после электрокоагуляционной очистки сточных вод, высушенный и пропущенный через классификатор, на выходе из которого размер частиц не превы-

Таблица 1. Рецептура исследованных резиновых смесей

Компонент	Содержание, % (мас.)			Компонент	Содержание, % (мас.)		
	смесь 1	смесь 2	смесь 3		смесь 1	смесь 2	смесь 3
Наирит КР-50	47,0	28,35	19,0	Дифенилгуанидин	0,25	0,15	0,1
СКД	3,6	2,1	1,4	Тиурам	0,25	0,15	0,1
Оксид магния	8,65	5,2	3,3	Магнитный наполнитель	34,2	60,5	72,4
Сера	0,5	0,3	0,2	Стеарин	0,75	0,45	0,3
Оксид цинка	1,0	0,6	0,6	Дибутилфталат	3,8	2,25	2,5