

УДК 678.073:661.481

**А.В. Смелов, Ю.В. Кравченко**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭПОКСИДОФТОРОПЛАСТОВЫХ  
ПОКРЫТИЙ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО  
ТРАНСПОРТА**

*Рассмотрена возможность применения в узлах трения конвейерного оборудования антифрикционных покрытий на основе фторполимерных композиций, модифицированных различными наноразмерными шпинелями (магний, цинк, хром). Трибологический эффект применения покрытия достигается за счет создания пленки фрикционного переноса. Для улучшения износостойкости было применено многослойное покрытие с силовым каркасом, нанесенным методом электроискрового легирования. Выполнено экспериментальное исследование образцов-втулок и различных фторопластовых основ покрытий. Исследование, проводившееся на машине трения «СМТ-1», показало эффективность эпоксидафторопластовой композиции в качестве антифрикционного покрытия по сравнению с другими видами фторполимерных основ.*

*Фторполимер; наношпинель; многослойное покрытие; фрикционный перенос.*

**A.V. Smelov, U.V. Kravchenko**

**ASPECTS OF USAGE EPOXIDEFLUOROPLASTIC COATINGS IN FRICTION  
ASSEMBLIES OF CONVEYER**

*The possibility of using in friction conveyor equipment of frictionproof coatings based on fluoropolymer compounds, modified by various nanoscale spinel (magnesium, zinc, chromium) is considered. Tribological effect of applying the coating is achieved by friction film transfer. Multilayer coating with power frame covered with spark alloy addition method was applied for improving wear resistance. The experiment research of bushing samples and various coating fluoroplastic basis was performed. The research on friction machine "SMT-1" showed the effectiveness of epoxide fluoroplastic composition as anti-friction coating in comparison with other types of fluoropolymer basis.*

*Fluoropolymer; nano spinel; multilayer coating; friction transfer.*

Ужесточение режимов работы триботехнических элементов конвейеров, таких как ролики и барабаны, ставят актуальную задачу повышения долговечности срока их работы при минимальности обслуживания. Большие нагрузки и необходимость эксплуатации в активно воздействующих средах сокращают срок службы этих узлов, а отсутствие возможности проведения планового обслуживания приводит к поломкам и остановкам конвейеров. Перспективным и экономически оправданным решением возникающих проблем выглядит применение в подобных узлах трения антифрикционных покрытий, улучшающих характеристики имеющихся конструкций.

Использование для тяжелонагруженных узлов трения покрытий из модифицированного нанодобавками полимера основано на свойстве этой композиции формирования «третьего тела» в трибосопряжении «металл-полимер». Способность полимеров к появлению устойчивой пленки фрикционного переноса во многом определяет антифрикционные свойства и износостойкость материала. Подобная структура образуется под действием сил фрикционного взаимодействия как результат самоорганизации системы при трении [1].

При выборе материала покрытия важно учитывать два фактора: толщину покрытия и адгезию покрытия к подложке. Указанные факторы определяют время его эксплуатации и распределение контактных напряжений в материале покрытия

и основы. Связано это с тем, что тонкие покрытия могут испытывать высокие напряжения на границе раздела «покрытие-основа», приводящие к разрыву межатомных связей. Упрочнению связей в паре «металл-полимер» способствуют:

1. Создание многослойного покрытия, состоящего из силового металлического каркаса, предварительно нанесенного на тело перед нанесением слоя полимера [2]. Использование многослойных покрытий, имеющих в своем составе слои из износостойких и антифрикционных материалов, перспективны благодаря возможности получения композитных структур, обладающих высокими антифрикционными свойствами при сохранении на приемлемом уровне прочностных свойств и износостойкости.
2. Улучшение механических свойств добавлением в полимерную основу модифицирующих нанодобавок на основе шпинелей (магния, хрома, цинка). Введенный в полимерную композицию структурно-активный металлический наполнитель в виде наношпинели приводит к измельчению кристаллической фазы полимера, не оказывая влияния на степень кристалличности [3]. Частицы наношпинели, имеющие развитую удельную поверхность, позволяют значительно изменить надмолекулярную структуру модифицируемой композиции. Образуется двухфазная гетерогенная система с развитой поверхностью раздела и более развитым контурным слоем между фазами, в котором повышается подвижность неупакованных лент и ламелей молекулы полимера. Благодаря этому увеличивается скорость релаксационных процессов, способствующая уменьшению локальных напряжений в композите, приводящая к увеличению деформационно-прочностных характеристик ПКМ [4].
3. Использование эпоксиэфторопластовых композиций, обеспечивающих заданные требования по износостойкости, прочности, несущей способности и теплостойкости узла трения. Основными компонентами композиции являются эпоксидная смола, характеризующейся высокой адгезией, и фторопласт-4 (политетрафторэтилен), обладающий химической и термической устойчивостью и имеющий низкий коэффициент трения [5].

**Трибологические испытания и результаты.** Для практического применения полимерных композиций в качестве антифрикционного покрытия были исследованы различные виды фторполимерных основ в комбинации с наноструктурирующим наполнителем. Фторполимеры обладают уникальными антифрикционными свойствами, но имеют относительно низкую износостойкость и повышенную деформацию (ползучесть) при нагружении. Поэтому в качестве силового каркаса было нанесено покрытие методом электроискрового легирования. Это покрытие имеет прочный промежуточный слой, состоящий из диффундировавших друг в друга материалов тела и наносимого материала, что предотвращает отслоение нанесенного металла от подложки. Созданный этим способом слой металла толщиной 100–200 мкм на поверхности тела имеет повышенную шероховатость, которая позволяет в дальнейшем увеличить площадь сцепления поверхности силового каркаса и полимера.

В качестве образцов для испытаний были изготовлены втулки из легированной стали, с исходной твердостью без покрытия 350НВ. В качестве контртела был применен частичный вкладыш из твердого сплава ВК8.

На образцы из стали, обработанные методом электроискрового легирования, наносились фторполимерные покрытия разной химической природы, модифицированные наноприсадками. Составы обозначались как АП (антифрикционное покрытие):

- ♦ АП-1, раствор ультрадисперсного фторопласта Ф-4 в воде, стабилизированной ПФЭ – 17 %, + наношпинель хрома –3 %;

- ◆ АП-2, на основе эпоксидфторопластовой композиции ФЛК-ПАсп – 55 % + наношпинель магния – 3 %;
- ◆ АП-3, на основе смазки антиадгезионной – перфторполиэфира (со степенью загущения 0,55) + наношпинель магния – 3 %;
- ◆ АП-4, на основе смазки антиадгезионной – перфторполиэфира (со степенью загущения 0,65) + наношпинель марганца – 5 %;

Испытания проводились на модернизированной машине трения «СМТ-1», включающей нагружающий элемент, устройство для измерения силы трения (динамометр) и включенный последовательно с динамометром силовой тензоэлемент для непрерывной записи силы трения и преобразовании её в коэффициент трения на ПК.

Втулка-образец приводилась во вращение с заданным числом оборотов. Частичный вкладыш контактировал с вращающейся втулкой, перпендикулярно оси вращения ролика. К вкладышу прикладывалась неизменная для всех образцов нагрузка 50 МПа.

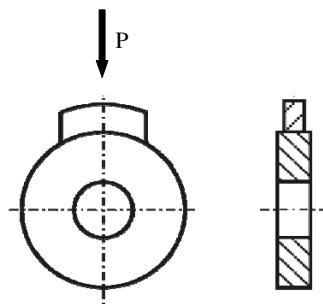


Рис. 1. Метод испытания по схеме «вал – частичный вкладыш»

В ходе испытания постоянно измерялся коэффициент трения. Испытания прекращались при скачкообразном увеличении момента трения и стабилизации его значения на уровне, характерном для данной пары при сухом трении, что свидетельствовало о полном разрушении антифрикционного покрытия. Износ втулки был получен как разница между весом образца до и после проведения испытаний. Вес втулки определялся на лабораторных весах. Число оборотов, при котором наблюдалось скачкообразное увеличение коэффициента трения, считалось ресурсом работы испытываемого образца. За результат определения износов принималось среднее арифметическое измеряемых величин из трех испытаний.

Зависимости коэффициента трения от времени испытания, характерные для различных покрытий, приведены на графиках.

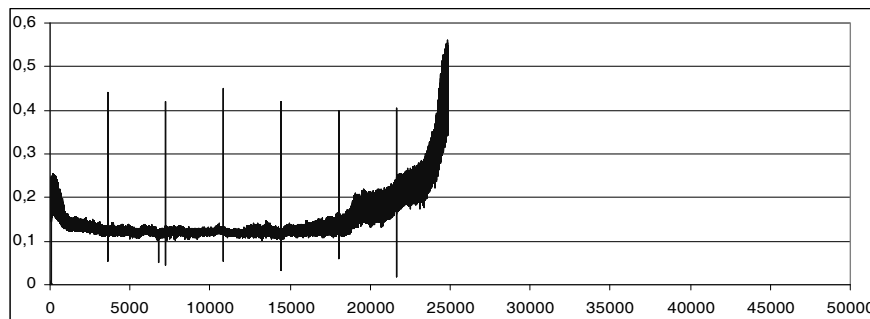


Рис. 2. Типовая зависимость коэффициента трения от времени испытания для АП-1

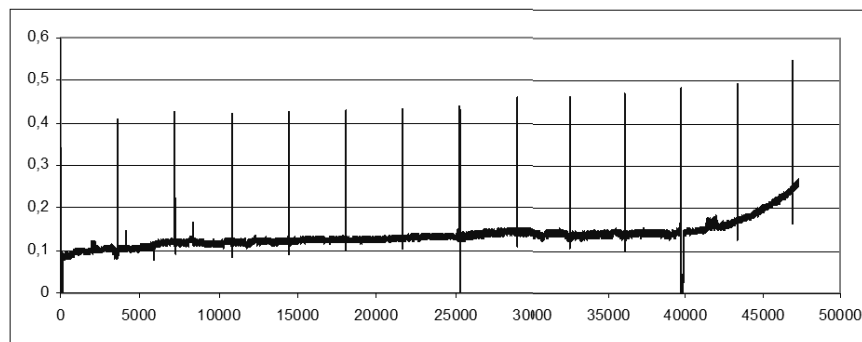


Рис. 3. Типовая зависимость коэффициента трения от времени испытания для АП-2

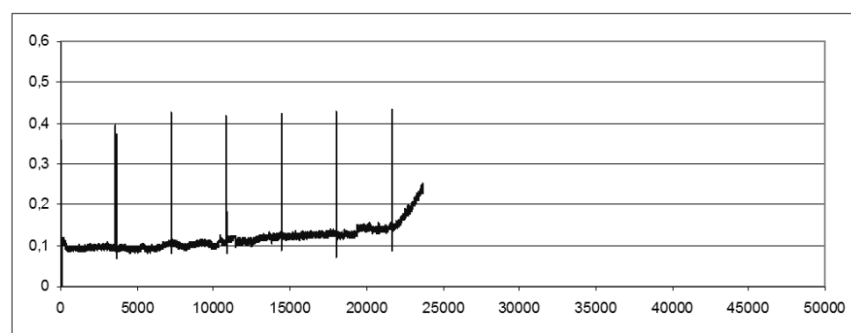


Рис. 4. Типовая зависимость коэффициента трения от времени испытания для АП-3

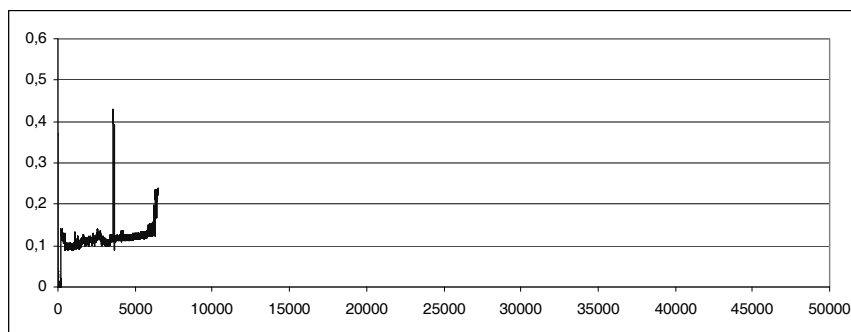


Рис. 5. Типовая зависимость коэффициента трения от времени испытания для АП-4

Сравнительные результаты оценки износостойкости испытанных покрытий образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Антифрикционный состав	Износ, г (результаты по 3 образцам)	Дисперсия	Усредненный износ, г
1	АП-1	0,01536	5,38E-07	0,016
		0,01584		
		0,0168		

Окончание табл. 1

№ п/п	Антифрикционный состав	Износ, г (результаты по 3 образцам)	Дисперсия	Усредненный износ, г
2	АП-2	0,00475	1,87E-07	0,005
		0,00475		
		0,0055		
3	АП-3	0,01	9,00E-08	0,01
		0,0097		
		0,0103		
4	АП-4	0,03136	4,10E-07	0,032
		0,032		
		0,03264		

**Выводы.** Для создания эффективного антифрикционного слоя необходимо образование пластичной и долговечной пленки фрикционного переноса. Сравнение антифрикционных свойств различных фторполимерных основ подтвердило эффективность применения с этой целью эпоксиэфторопластов, модифицированных нанодобавками (рис. 3). В ходе исследования, наибольшую стойкость антифрикционного покрытия показала композиция АП-2, содержащая 55 % фторлака ФЛК-ПАСп + наношпинель магния – 3 %. Лак ФЛК-ПАСп (с пигментом) – фторэпоксидная композиция, предназначенная для защиты поверхностей различных материалов от воздействия агрессивных сред – морской воды, нефти, химически активных и радиоактивных сред. Покрытие эластично и ударопрочное, стойко к истиранию. Лак имеет низкую вязкость и при нанесении глубоко проникает в структуру защищаемой поверхности, где и проходит отверждение лака. При достаточно низкой стоимости основы антифрикционного покрытия – фторлака, материал можно рассматривать как экономически эффективный вариант для массового производства.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесников В.И., Фролов К.В., Ивановкин П.Г. Введение в синергетику: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. ун-т путей сообщения. 2003. – 108 с.
2. Колесников В.И., Ивановкин П.Г. Двухслойные композиции триботехнического назначения для тяжело нагруженных узлов трения. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2009. – 124 с.
3. Машков Ю.К. и др. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 262 с.
4. Охлопкова А.А., Петрова П.Н., Гоголева О.В. Разработка полимерных нанокмозитов триботехнического назначения для нефтегазового оборудования // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2009, [http://www.ogbus.ru/authors/Okhlopkova/Okhlopkova\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Okhlopkova/Okhlopkova_1.pdf).
5. Иванов В.А. Теоретические принципы управления триботехническими свойствами и технологические основы производства эпоксиэфторопластов и самосмазывающихся подшипниковых систем: Дисс. ... д-ра наук. – Хабаровск: ХГТУ, 2000.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор О.А. Агеев.

**Смелов Александр Владимирович** – Ростовский государственный университет путей сообщения; e-mail: alex\_brave@mail.ru; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского стрелкового полка народного ополчения, 2; тел.: 89085086365; кафедра теоретической механики; аспирант.

**Кравченко Юрий Владимирович** – e-mail: 2323651@mail.ru; тел.: 88632450613; кафедра теоретической механики; аспирант.

**Smelov Alexandr Vladimirovich** – Rostov State University of Railway Engineering; e-mail: alex\_brave@mail.ru; 2, Rostov area Rifle Regiment of the People's Militia, Rostov-on-Don, 344038, Russia; phone: +79085086365; the department of theoretical mechanics; postgraduate student.

**Kravchenko Uriy Vladimirovich** – e-mail: 2323651@mail.ru; the department of theoretical mechanics; postgraduate student.