

УДК 539.6:678.01

РАЗРАБОТКА САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Е.М. ИВАНОВА

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

**И.И. ЗЛОТНИКОВ, В.А. СМУРУГОВ,
В.В. БИРАН, А.Н. СЕНАТРЕВ**

*Государственное научное учреждение «Институт
механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого», г. Гомель*

В.А. ШУРИНОВ, Н.Ф. СОЛОВЕЙ

*Республиканское конструкторское унитарное
предприятие «ГСКБ по зерноуборочной
и кормоуборочной технике», г. Гомель*

Введение. Эффективность и долговечность работы современных машин и механизмов во многом определяется качеством и надежностью работы узлов трения. Поэтому разработка и внедрение в производство новых антифрикционных материалов, работающих без смазки или при ее ограничении, является важной и актуальной проблемой современной техники. В неблагоприятных условиях работают узлы трения и подвижные сопряжения сельскохозяйственной техники, что связано с воздействием таких факторов как: запыленность (в летнее время при посевных работах в воздухе содержится в среднем $1,5-2 \text{ г/м}^3$ пыли), значительные перепады температур (от -30 до $+40 \text{ }^\circ\text{C}$), повышенная влажность (до 100 %), нерегулярность смазки, а также воздействие переменных нагрузок и вибрации, приводящих к фреттингу.

В настоящее время одним из наиболее широко применяемых полимеров для создания антифрикционных материалов признан политетрафторэтилен (ПТФЭ) благодаря сочетанию таких полезных свойств как низкий коэффициент трения, коррозионная стойкость, большой диапазон рабочих температур (от -200 до $+250 \text{ }^\circ\text{C}$), способность работать без смазки. Однако низкая износостойкость и склонность чистого ПТФЭ к текучести под нагрузкой позволяет использовать его в узлах трения лишь при невысоких нагрузках и скоростях скольжения. Это вызывает необходимость разработки наполненных материалов на основе ПТФЭ, которые по своим антифрикционным свойствам остаются близкими к исходному ПТФЭ, а по износостойкости и механической прочности значительно его превосходят [1, 2].

Несмотря на то, что к настоящему времени создано достаточно большое количество разнообразных новых материалов антифрикционного назначения на основе ПТФЭ [1-9], возрастающие требования к современной сельскохозяйственной технике, учет экономической ситуации, а также разработка совершенных

конструкций узлов трения требуют поиска адекватных условиям эксплуатации новых материалов триботехнического назначения.

В связи с этим, *цель данного исследования* – разработка новых антифрикционных самосмазывающихся материалов на основе ПТФЭ для узлов трения сельскохозяйственной техники, преимущественно для натяжных устройств ременных передач.

Были поставлены следующие задачи: повышение механической прочности композита, увеличение его сопротивления ползучести при статической нагрузке, увеличение износостойкости. При этом коэффициент трения композита должен быть стабильным и оставаться на достаточно низком уровне, характерном для чистого ПТФЭ. С целью решения указанных задач исследовали свойства композиций ПТФЭ с модификаторами различной природы и функционального назначения. В качестве модификаторов использовали реакционноспособный олигоимид – N, N'-метafenilen-дималеимид (МФДМ) – структурообразующий компонент, способный образовывать при тепловом воздействии трехмерный каркас в матрице ПТФЭ, волокнистый наполнитель – измельченное базальтовое волокно с длиной моноволокон 70-100 мкм, выполняющее роль армирующего компонента, традиционную сухую смазку – коллоидный графит марки С-1, порошок металла – бронзовую пудру марки БПК, способствующую теплоотводу и снижению износа сопряженного стального контртела.

Методы испытаний. Исследование триботехнических свойств материалов проводили на машине трения СМЦ-2 по схеме «вал-частичный вкладыш». В качестве вала использовали ролик, изготовленный из стали 45 твердостью HRC-48-50. Вкладыши, изготовленные из исследуемых материалов представляли собой сектор кольца с внешним диаметром 60 мм, внутренним диаметром 40 мм и шириной 10 мм. Ширина ролика составляла 10 мм, внешний диаметр – 40 мм, исходная шероховатость поверхности $Ra = 0,2-0,3$ мкм. Испытания проводили в термокамере при температурах от комнатной до 180 °С, при различных скоростях скольжения и нагрузках.

Образцы для испытаний готовили путем механического смешения компонентов в смесителе. После смешения, до получения однородной массы, из полученного порошка методом холодного прессования при давлении 50-60 МПа изготавливали заготовки образцов. Полученные заготовки загружали в электропечь и спекали при температуре 375 ± 5 °С. Время выдержки при температуре определяли из расчета 5 мин на 1 мм толщины изделия. Нагревание и охлаждение производили вместе с печью.

Результаты экспериментов и их обсуждение. Проведенные эксперименты показали, что введение любого из выбранных наполнителей повышает износостойкость композита (рис. 1), но ухудшает его самосмазываемость (рис. 2).

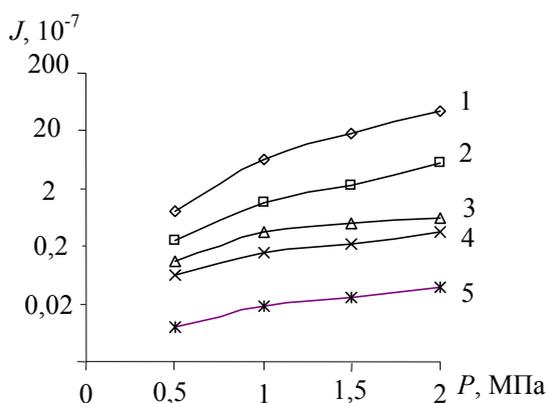


Рис. 1. Влияние наполнителей на интенсивность изнашивания при трении по стали ($V=0,5$ м/с) композитов на основе ПТФЭ: 1 – ПТФЭ, 2 – 15 % графита, 3 – 15 % МФБМ, 4 – 25 % базальтового волокна, 5 – 60 % бронзы

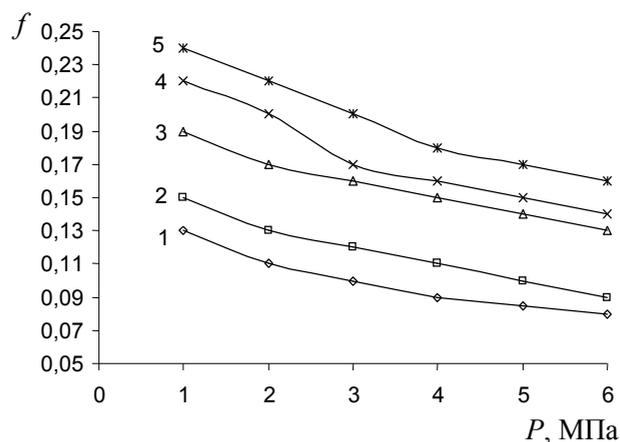


Рис. 2. Влияние наполнителей на коэффициент трения по стали ($V=0,5$ м/с) композитов на основе ПТФЭ: 1 – ПТФЭ, 2 – 15 % графита, 3 – 15 % МФБМ, 4 – 25 % базальтового волокна, 5 – 60 % бронзы

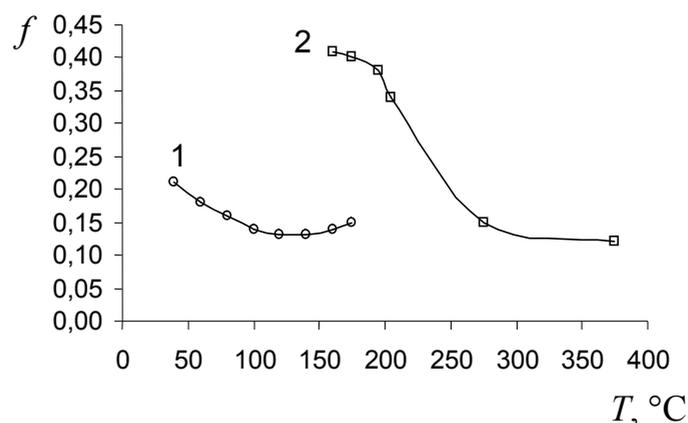


Рис. 3. Зависимость установившегося коэффициента трения ПТФЭ (1) и графита (2) от температуры

Некоторое снижение смазывающих свойств ПТФЭ, после введения в его состав графита объясняется следующим. По результатам экспериментов, зависимость смазывающей способности ПТФЭ от температуры носит экстремальный характер – по мере роста температуры коэффициент трения ПТФЭ по стали сначала снижается, достигая минимума при температурах около 100-140 °C (рис. 3, кривая 1), а затем начинает повышаться. Снижение коэффициента трения при увеличении температуры может быть связано с уменьшением роста температуры сил сцепления контактирующих поверхностей, а с другой стороны – с облегчением формирования перенесенных слоев и изменением их реологических (соответственно и смазочных) свойств [10]. Для графита характерна другая зависимость смазывающей способности от температуры. По данным работы [11], величина установившегося коэффициента трения графита по стали значительно снижается с ростом температуры (рис. 3, кривая 2), что связано с удалением адсорбционной воды, обеспечением непосредственного контакта со стальной поверхностью и формированием устойчивых перенесенных слоев графита. Таким образом, для узлов трения,

подверженных воздействию высоких температур (80 °С и более), наличие графита в материале на основе ПТФЭ становится необходимым: при умеренных температурах ПТФЭ обеспечивает самосмазываемость материала, а при температурах более 180 °С (вплоть до начала разложения ПТФЭ) работоспособность узла трения сохраняется на высоком уровне благодаря графиту.

На основании проведенных трибологических исследований, для дальнейших испытаний были выбраны два композиционных материала: материал Ф4М1, включающий: ПТФЭ, графит, бронзовую пудру и материал Ф4М2, включающий ПТФЭ, графит, базальтовое волокно и олигоимид. По результатам лабораторных исследований, материалы обладают следующими характеристиками (см. таблицу 1). Для сравнения приведены свойства материала Ф4К20, широко производимого и применяемого в странах СНГ, как наиболее универсального и недорогого [12].

Таблица 1

Сравнительные свойства материалов

Показатели	Ф4К20	Ф4М1	Ф4М2
Коэффициент трения ($P = 2$ МПа, $V = 1$ м/с) без смазки со смазкой	0,15 0,10	0,10 0,05	0,12 0,07
Интенсивность изнашивания, $\times 10^{-9}$ ($P = 2$ МПа, $V = 1$ м/с)	32	2,6	4,8
Температура в зоне трения (без смазки), °С	180-190	130-140	150-160
Разрушающее напряжение, МПа при сжатии растяжении	21,5 13	22 18	35 21
Твердость по Бринеллю, МПа	50	55	58
Теплостойкость по Вика, °С	130	170	180
Относительная деформация (ползучесть) при $P = 5$ МПа, $t = 20$ °С за 10 ч	3,1	2,5	2,1
Ударная вязкость, кДж/м ²	60	65	70

Из представленных в таблице 1 данных следует, что материал Ф4М1 обладает значительно более высокими триботехническими и физико-механическими показателями, по сравнению с материалом Ф4К20, и несколько превосходит по триботехническим свойствам материал Ф4М2, который, однако, обладает более высокими механическими свойствами. Невысокие характеристики материала Ф4К20 объясняются низкой смазывающей способностью кокса, что приводит к более высоким значениям коэффициента трения, повышенному износу и высокой температуре в зоне трения. Присутствие в композите Ф4М1 бронзовой пудры и графита, наоборот, значительно увеличивает его теплопроводность и, в конечном итоге, улучшает триботехнические свойства.

Дальнейшие испытания материала Ф4М1, как имеющего наилучшие показатели, проводили на специальном стенде в Республиканском конструкторском унитарном предприятии «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике». Стенд моделирует работу узла трения натяжных устройств ременных передач

комбайна

КЗС-7. Упрощенная кинематическая схема станда приведена на рис. 4. Привод позволяет устанавливать частоту вращения эксцентрика на валу опоры станда от 10 мин^{-1} до 1450 мин^{-1} . Испытания подшипников скольжения, изготовленных из исследуемого материала, проводили при следующих режимах работы станда:

- частота вращения $455\text{-}465 \text{ мин}^{-1}$;
- размах угла качания $4,8^\circ$;
- значения усилий пружины растяжения за период колебания $1750\text{-}1850 \text{ Н}$.

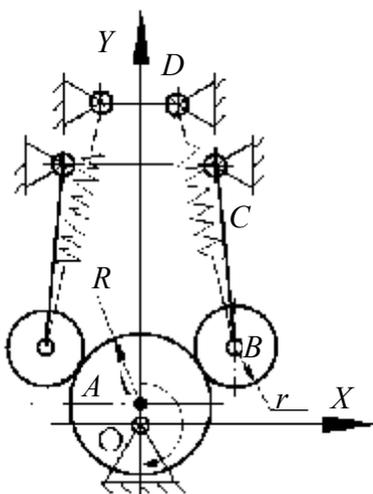


Рис. 4. Кинематическая схема станда: OA – кривошип; BC – рычаг с испытуемым подшипником; DB – пружина нагружения; R – радиус эксцентрика; r – радиус ролика

Стандовые испытания опытных подшипников без смазки показали следующее. В ходе непрерывных испытаний в течение 160 ч существенного износа как подшипника скольжения, так и вала не замечено. После разборки узла трения обнаружены следы частиц износа материала подшипника и пленок переноса на стальном контртеле.

Следует отметить, что серийные подшипники скольжения, из чугуна СЧ-25, применяемые в узлах трения натяжных устройств, невозможно использовать без предварительной смазки.

Таким образом, подшипники скольжения из разработанного композиционного материала на основе ПТФЭ способны обеспечивать длительную работу узла трения при отсутствии смазки без повреждения вала. По результатам стандовых испытаний, материал Ф4М1 рекомендован к полевым испытаниям.

Выводы. Проведенные исследования показали, что высокие антифрикционные свойства материалов на основе ПТФЭ, модифицированного графитом, связаны с реализацией синергизма действия компонентов при трении. ПТФЭ обладает максимальной смазывающей способностью при средних температурах в зоне трения ($80\text{-}180^\circ\text{C}$), а графит – при более высоких температурах. Это открывает возможности создания триботехнических материалов, устойчивых к термофрикционному разогреву, вызванному высокими нагрузками, скоростями и отсутствием смазки. Соответствующим выбором структурообразующих (олигоимиды) и армирующих (базальтовое волокно) компонентов можно значительно повысить механическую прочность и теплостойкость антифрикционных материалов на основе ПТФЭ.

Список литературы

1. Истомин Н.П., Семенов А.П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров. – М.: Наука, 1981. – 146 с.
2. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения. – Л.: Машиностроение, 1979. – 224 с.
3. Охлопкова А.А., Виноградов А.В. Полимерные композиционные материалы триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена и ультрадисперсных керамик //Трение и износ. – 2002. – Т. 23, № 6. – С. 653-660.
4. Гинзбург Б.М., Точильников Д.Г., Шепелевский А.А. и др. Влияние фулереновой сажи на трибологические свойства фторопласта-4 и фторопластового композита Ф4К20 //Трение и износ. – 1999. – Т. 20, № 5. – С. 555-562.
5. Охлопкова А.А. Свойства политетрафторэтилена, модифицированного ультрадисперсными алмазами //Материалы, технологии, инструменты. – 1999. – Т. 4, № 3. – С. 60-63.
6. Охлопкова А.А., Аммосов Н.Г., Борщева П.Н. Влияние активированного модификатора на деформационно-прочностные свойства и триботехнические свойства политетрафторэтилена //Пластические массы. – 1999. – № 8. – С. 17-20.
7. Малевич А.М., Овчинников Е.В., Бойко Ю.С., Струк В.А. Триботехнические характеристики политетрафторэтилена, модифицированного кластерами синтетического углерода //Трение и износ. – 1998. – Т. 19, № 3. – С. 366-369.
8. Шелестова В.А. Конструкционные материалы триботехнического назначения на основе модифицированных углеволокон и политетрафторэтилена: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Гомель, 2002. – 18 с.
9. Охлопкова А.А. Физико-химические принципы создания триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена и ультрадисперсных керамик: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Гомель, 2000. – 30 с.
10. Сенатрев А.Н., Смуругов В.А., Савкин В.Г. К механизму фрикционного переноса и самосмазывания ПТФЭ //Трение и износ. – 1991. – Т. 12, № 6. – С. 1023-1027.
11. Brendle M., Fatkin I. Influence of the metal substrate on the formation of a graphite transfer film. // Proc. 12th Leeds-Lyon Symposium, Lyon, France. 1985, p. 93-99.
12. Каталог: Фторопласты. – Черкассы: НИИТЭХим, 1983. – С. 156.

Получено 11.12.2003 г.