

УДК 621.893:620.22

ОСОБЕННОСТИ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА, НАПОЛНЕННОГО ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ ОРГАНОКРЕМНЕЗЕМАМИ

И. И. ЗЛОТНИКОВ^{а+}, Е. М. ИВАНОВА^б

Исследованы триботехнические свойства ПТФЭ, наполненного высокодисперсными органокремнеземами, представляющими собой продукт химического взаимодействия раствора силиката натрия с олигомерами: фенолоформальдегидным, эпоксидным и N, N'-мета-фенилен-дималеимидом. Показано, что введение разработанных наполнителей в ПТФЭ приводит к увеличению его износостойкости более чем в 200 раз, которая сохраняется при повышенных скоростях и нагрузках. Это объясняется формированием в полимерной матрице ПТФЭ сплошной армирующей силикатполимерной структуры.

Ключевые слова: политетрафторэтилен, наполнители, антифрикционные материалы, органокремнеземы, коэффициент трения, интенсивность изнашивания.

Введение. Проблема разработки и применения новых полимерных антифрикционных материалов для узлов трения имеет очень важное значение для повышения надежности, качества и долговечности машин и механизмов. Использование композиционных материалов на основе полимеров позволяет во многих случаях повысить срок службы узлов трения, снизить затраты на ремонт, уменьшить трудоемкость изготовления, снизить металлоемкость, высвободить большое количество цветных металлов и легированных сталей, экономить смазочные масла, позволяет упростить конструкции узлов трения.

В настоящее время незаменимым полимером для создания антифрикционных материалов считается политетрафторэтилен (ПТФЭ) благодаря его уникальным триботехническим свойствам. Материалы на основе ПТФЭ не имеют ограничений по химической стойкости и применению их в одной паре трения с металлическими и неметаллическими материалами, в условиях недостаточного количества смазочного материала и даже его отсутствия. Однако низкая износостойкость и склонность чистого ПТФЭ к текучести под нагрузкой позволяет использовать его в узлах трения лишь при невысоких удельных 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 превосходят последний [1, 2].

Известно, что введение наполнителей в ПТФЭ может приводить к увеличению износостойкости в сотни раз, сопротивления ползучести в 2–3 раза, сопротивления деформации под нагрузкой до 60%, твердости на 10–15% [3]. В качестве наполнителей применяют волокна различной природы, порошки металлов, графит, кокс, дисульфид молибдена, силикаты, керамику и др. Особенно эффективно применение наполнителей в ультрадисперсном состоянии [4]. Однако эффективность простых наполнителей резко снижается при повышенных температурах и нагрузках. Кроме того, вследствие химической инертности ПТФЭ имеет крайне низкую адгезию практически ко всем наполнителям, что не позволяет реализовать потенциальные возможности композитов. Некоторые типы наполнителей существенно снижают ударную вязкость, относительное удлинение

а Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАНБ. Беларусь, 246050 г. Гомель, ул. Кирова, 32а.

б Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Беларусь, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

+ Автор, с которым следует вести переписку.

при растяжении и химическую стойкость ПТФЭ, а также могут вызывать ускоренное изнашивание сопряженного металлического контртела.

Цель работы — изучение триботехнических свойств и особенностей трения и изнашивания ПТФЭ, наполненного специально разработанными наполнителями — органокремнеземами.

Материалы и методы исследования. Органокремнеземы представляют собой продукт химического взаимодействия раствора силиката натрия — жидкого стекла (ЖС) плотностью $1,42 \text{ г/см}^3$, силикатным модулем 2,3 с фенолоформальдегидной смолой резольного типа (органокремнезем ФС), эпоксидной диановой смолой (органокремнезем ЭС), и N,N-мета-фенилен-дималеимидом (органокремнезем МИ). Указанные олигомеры вводили в ЖС в количестве 5 мас.% и тщательно перемешивали с использованием ультразвукового диспергирования. Полученную систему коагулировали водным раствором хлорида железа (III) в количестве, необходимом для получения нейтральной реакции. Полученный продукт промывали водой, отфильтровывали, сушили при температуре $80\text{--}90 \text{ }^\circ\text{C}$, диспергировали и просеивали. Тонкодисперсный наполнитель с размером частиц $\leq 50 \text{ мкм}$ вводили в ПТФЭ путем механического смешения компонентов с последующим холодным прессованием и спеканием при температуре $640\text{--}650 \text{ К}$. Триботехнические характеристики определяли на машине трения СМТ-1 по схеме “вал — частичный вкладыш” при различных скоростях скольжения и нагрузках. В качестве вала использовали ролик диаметром 40 мм из стали 45. Исходная шероховатость поверхности трения составляла $R_a = 0,32 \text{ мкм}$. Интенсивность линейного изнашивания определяли методом взвешивания.

Результаты и обсуждение. Рис. 1 иллюстрирует влияние наполнения ПТФЭ органокремнеземами на его механические и триботехнические свойства. Как следует из приведенных данных наибольшую механическую прочность и износостойкость удается получить при использовании в качестве наполнителя органокремнезема с эпоксидной смолой. Так, напряжение сжатия при 20% деформации увеличивается более, чем на 60%, а интенсивность изнашивания уменьшается более, чем в 200 раз по сравнению с чистым ПТФЭ. Для ПТФЭ наполненного органокремнеземами ФС и МИ эти характеристики находятся на более низком уровне. В этой связи были проведены дополнительные исследования зависимости механических и триботехнических свойств ПТФЭ от степени наполнения органокремнеземом ЭС (рис. 2).

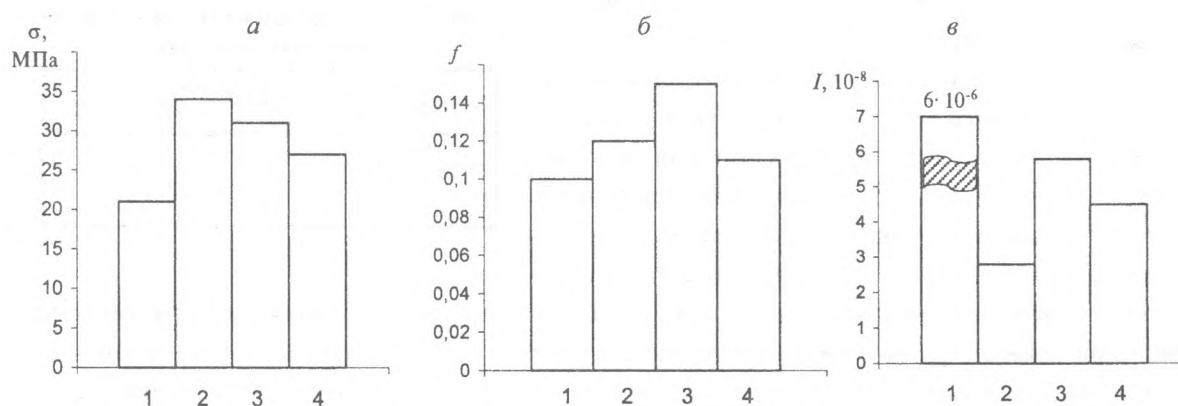


Рис. 1. Зависимость напряжения сжатия (а), коэффициента трения (б) и интенсивности изнашивания (в) ПТФЭ исходного (1) и наполненного органокремнеземами: ЭС (2), ФС (3) и МИ (4)

Результаты исследования механических свойств показали, что наполнение ПТФЭ органокремнеземом ЭС приводит к повышению его механической прочности вплоть до содержания 50 мас. %. Резкое повышение механической прочности при степени наполнения $10\text{--}20 \text{ мас. } \%$ было объяснено формированием внутри матрицы из ПТФЭ жесткого органосиликатного каркаса, армирующего термопластичную матрицу. Согласно проведенным ранее исследованиям совмещение эпоксидной диановой смолы и ЖС приводит к их химическому взаимодействию по месту эпоксидных групп смолы и гидроксильных групп ЖС [5]. В результате последующей коагуляции смеси раствором хлорида железа образуется сложный органоминеральный продукт, содержащий химические связи Si—O—C и Si—O—Fe, в котором присутствует также кремнегель, силикат железа и гидроксид желе-

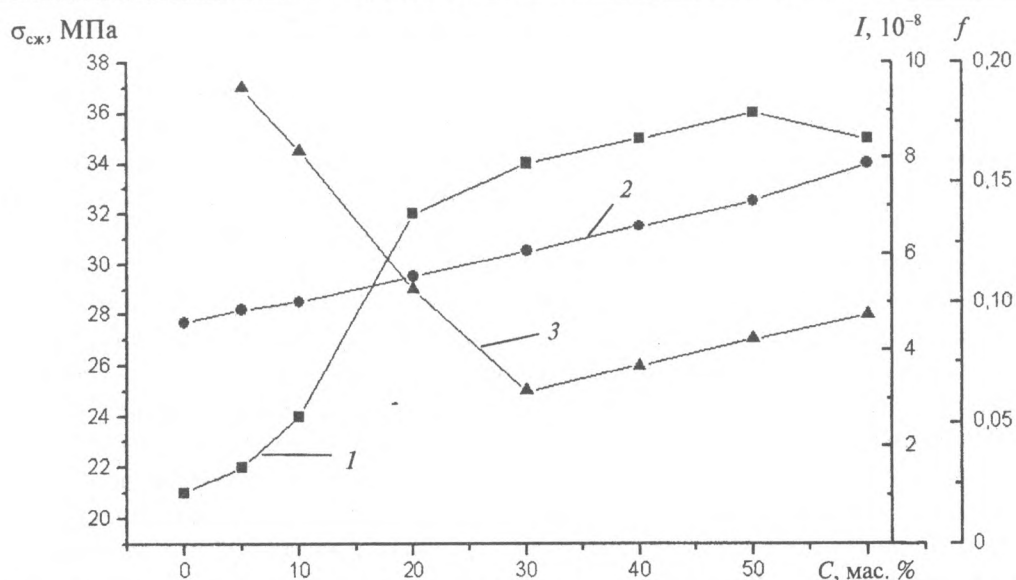


Рис. 2. Зависимость напряжения сжатия (1), коэффициента трения (2) и интенсивности изнашивания (3) ПТФЭ от содержания органокремнезема ЭС

за. Благодаря наличию большого количества активных химических групп и связей данный органокремнезем способен к дальнейшей полимеризации при воздействии температуры.

Как следует из рис. 2 интенсивность изнашивания резко снижается при увеличении степени наполнения, а коэффициент трения плавно повышается. После увеличения степени наполнения > 30÷40 мас. %, интенсивность изнашивания начинает увеличиваться, а коэффициент трения растет более интенсивно. Это связано с потерей композицией антифрикционных свойств при большом содержании минеральной составляющей. Более подробные данные по зависимости коэффициента трения композиции ПТФЭ + 30 мас. % органосиликата ЭС от скорости скольжения и нагрузки приведены в таблице.

Характерной особенностью фрикционного поведения изучаемого материала является стабильность коэффициента трения при изменении параметров нагружения. Это объясняется тем, что по мере увеличения нагрузки увеличивается величина пластической деформации в зоне фрикционного контакта, что приводит к увеличению площади фактического контакта и, как следствие, к росту числа микрочастиц органокремнезема ЭС, контактирующих с металлическим контртелом.

Это компенсирует понижение коэффициента трения при повышении нагрузки характерное для чистого ПТФЭ. Интенсивность изнашивания композиции мало изменяется при повышении нагрузки, что также связано с увеличением количества твердых, износостойких включений на поверхности трения при росте степени деформации.

Проведенные исследования показали, что введение органокремнезёмов не приводит к заметному снижению влаго- и коррозионной стойкости композиций по сравнению с исходным ПТФЭ.

Заключение. Таким образом, разработанные органокремнеземы являются перспективными активными наполнителями для полимерных композиционных материалов триботехнического назначения, позволяющими не только повышать механическую прочность, но и регулировать их триботехнические свойства, в частности стабилизировать коэффициент трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Т03-027).

Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения и нагрузки

Скорость v , м/с	Нагрузка P , МПа		
	0,25	0,75	1,25
0,25	0,13	0,14	0,13
0,50	0,12	0,12	0,13
0,75	0,11	0,10	0,10

Обозначения

σ — напряжение сжатия; f — коэффициент трения; I — интенсивность изнашивания; v — скорость скольжения; p — давление.

Литература

1. Голубев Г. А., Кукин Г. М., Лазарев Г. Е., Чичинадзе А. В. Контактные уплотнения вращающихся валов. — М.: Машиностроение. — 1976
2. Истомин Н. П., Семенов А. П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров. — М.: Наука. — 1981
3. Пугачев А. К., Росляков О. А. Переработка фторопластов в изделия. — Л.: Химия. — 1987
4. Струк В. А., Рогачев А. В., Скаскевич А. А. и др. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения // Материалы, технологии, инструменты. — 2002 (7), № 3, 53—65
5. Злотников И. И., Плескачевский Ю. М. Силикатполимерные материалы в машиностроении // Материалы, технологии, инструменты. — 2002 (7), № 1, 42—49

Поступила в редакцию 18.09.03.

Zlotnikov I.I. and Ivanova E.M. Features of friction and wear of polytetrafluorethylene filled with finely dispersed organic silica.

The study deals with the triboengineering properties of polytetrafluorethylene filled with finely dispersed organic silica, a product of chemical reactions of sodium silicate with oligomers, such as phenolformaldehyde, epoxy and N, N'-meta-phenylene-dimaleimide. It is shown that introduction of fillers into polytetrafluorethylene boosts its wear resistance over 200 times that persists and withstands faster speeds and heavier loads. It is explained by the appearance of a continuous reinforcing silicate-polymeric structure in the polytetrafluorethylene polymeric structure.