

Сортамент». Москва, Издательство стандартов (1980).

V.P. Golovin, V.Yu. Sholom, O.L. Kramer, A.S. Trofimov, T.I. Gilmanov
Self-Supporting creative center of Ufa aviation institute,
Ufa, Russia, golovin_vasy@mail.ru

EXPANDING THE CAPABILITIES OF THE RUNNING MACHINE FOR TESTING ROPE LUBRICANTS

Abstract

The paper presents comparative tests of steel ropes impregnated with lubricants for wear resistance by three different methods, using a running machine manufactured according to GOST 2387-80. It is shown that the developed test methods for assessing the wear resistance of a steel rope make it possible to assess the effect of a lubricant on a steel rope operating in various operating conditions at minimal cost. As a result of the work done, a new composition of rope lubricant has been developed for impregnating steel rope operated in sea water and at negative temperatures, which makes it possible to increase the wear resistance of the steel rope, thereby extending its service life and reducing operating costs in general.

Key words: cable compound; wearability; steel rope; test; running machine.

УДК 621.892

doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-226

А.О. Поздняков^{1,2}, Е.Б. Седакова²

¹ ФГБУН Физико-Технический Институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
ул. Политехническая, д. 26, г. Санкт-Петербург 194021, Россия

² Институт проблем машиноведения РАН,
В.О. Большой просп., д. 61, г. Санкт-Петербург, 199178, Россия
Санкт-Петербург, Россия, ao.pozd@mail.ioffe.ru

ТЕПЛОВЫЙ АНАЛИЗ ИЗНАШИВАНИЯ ПАР ТРЕНИЯ ПОЛИМЕР-ПОЛИМЕР В ГЕОМЕТРИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА

Аннотация

Проведено исследование трения и изнашивания пар трения полиоксиметилен-полиоксиметилен и политетрафторэтилен-политетрафторэтилен с одновременным контролем вызываемого трением уровня разогрева. Данные проанализированы с помощью решений тепловой задачи, получаемых методом конечных элементов [1], в использованной геометрии типа упорного подшипника. Точность решений предварительно проверена их сравнением с известными аналитическими решениями уравнений диффузии [2]. Развитый подход применен для сопоставления изнашивания чистого полиоксиметилена и его композита с фуллереном C₆₀, а также трения этих полимеров относительно стали.

Введение

Анализ трения пар полимер-полимер необходим не только для понимания его механизмов в этих парах, но и в парах трения полимеров относительно других

материалов, например, металлов. Последнее очевидно ввиду наличия на поверхностях металлических контртел слоев переноса полимеров [3]. В последнее время этой теме посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований ([4-7] и ссылки в них). Цель данной работы заключается в сопоставлении результатов экспериментальных исследований трения, изнашивания и фрикционного разогрева пар полимер-полимер и полимер-сталь с численными решениями тепловой задачи в использованной геометрии трения.

Методы и материалы

Для определения силы трения (F_{fr}) и потери массы образцом в результате трения (Δm) в атмосферных условиях использована машина трения собственной разработки, в которой трение реализовано в геометрии упорного подшипника скольжения. Контртела представляют собой полые цилиндры высотой 18 мм, внешним r_1 и внутренним r_2 диаметрами 9 и 6 мм и пластинки толщиной $\sim 1-2$ мм и боковыми размерами $\sim 15 \times 20$ мм. Они были изготовлены из промышленных ПОМ (РОМ-Н, TiconaTM), ПТФЭ (ПКП, Полимерхимпром) и стали марки 20 (ГОСТ 1050-88). Образцы композитов ПОМ-фуллерен C_{60} получали введением раствора фуллерена в толуоле в расплав ПОМ при температуре расплава $\sim 175^\circ\text{C}$ при постоянном механическом перемешивании в атмосферных условиях. Концентрация фуллерена в пленках составляла ~ 0.5 масс. %. Пленки ПОМ- C_{60} получали неизотермической кристаллизацией при остывании расплава до комнатной температуры под давлением ~ 0.1 МПа. Температуру в ходе трения измеряли термопарой хромель-алюмель плотно зажатой между плоским неподвижным образцом и слоем пористой бумаги, расположенной на столе-держателе образца.

Процессы разогрева описывались решениями нестационарных уравнений диффузии вида (T - температура, t - время, k - коэффициент теплопроводности) для конкретной геометрии трения типа упорного подшипника, реализованного в нашей машине трения [6]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} - k \cdot \nabla^2 T = 0 \quad (1)$$

Решения получены с помощью оригинальных программ, разработанных в среде Comsol Multiphysics 5.6, в которой реализован метод конечных элементов. Начальные условия выбирались как постоянная исходная температура всех объектов модели, равная температуре окружающей среды. Граничными условиями в расчетах была функция плоского источника тепла на границе раздела трения с удельной мощностью $W(t) = F_{fr}(t) \cdot V/S$ (S - площадь контакта в форме кольца) и условия теплоотвода с поверхностей контактирующих тел конвекцией и излучением. Аппроксимации измеряемых в эксперименте в заданной геометрической точке (~ 0.5 mm под границей раздела внутри плоского образца) зависимостей трибогенерируемого разогрева (ΔT) получали с использованием синхронно измеряемых в том же эксперименте зависимостей $F_{fr}(t)$. В Таблице 1 приведены использованные в расчетах основные тепловые свойства материалов (плотность, теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, температуры стеклования и плавления).

Таблица 1 - Основные тепловые свойства материалов

	ПОМ	ПТФЭ	Сталь 20
$\rho[\text{kg/m}^3]$	1410	2200	7900
$C_v[\text{J/kgK}]$	1470	1500	420

	ПОМ	ПТФЭ	Сталь 20
λ [W/(m·K)]	0.31	0.167±0.3	45
$k = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_v}$ [m ² /sec]	1.49·10 ⁻⁷	9.95·10 ⁻⁷	1.35·10 ⁻⁵
T _g , [K]	182 [8,9]	160-400	
T _m , [K]	442	600	

Результаты и обсуждение

В экспериментах были получены статистические выборки экспериментально измеренных величин Δm , определенных после опытов реализованных в диапазоне средних скоростей скольжения $V=0.021\div 0.1$ м/сек и величин номинального нормального давления P в диапазоне $0.39\div 3.6$ МПа. Для всех пар получены сопоставимые статистические выборки. На Рис. 1а в двойных логарифмических координатах показаны экспериментальные точки, соответствующие всем проведенным экспериментам, представленным в координатах $\Delta m \div A$, где A – полная работа, совершенная в эксперименте силой трения ($A = \int_0^L F_{fr} \cdot dl$, L - путь трения).

Серыми значками показаны результаты, полученные для пары ПОМ-ПОМ, полыми кружками для пары ПТФЭ-ПТФЭ. Видно, что при изменении параметров эксперимента в том же диапазоне значений, данные для пары ПОМ-ПОМ имеют гораздо больший разброс (~ в 5 раз) по сравнению с парой ПТФЭ-ПТФЭ и парами ПТФЭ-сталь и ПОМ-сталь. Для пар ПТФЭ-ПТФЭ и пар ПТФЭ-сталь и ПОМ-сталь зависимости Δm от A хорошо описываются линейными зависимостями (прямые линии). В случае пары ПОМ-ПОМ разброс данных не позволяет выявить общую линейную зависимость для всех комбинаций P и V . Отметим, тем не менее, что для фиксированных P и V зависимости Δm от A в паре ПОМ-ПОМ также хорошо описываются линейными зависимостями. Построение величины энергетического износа ($I=\Delta m/A$) от величины мощности трения W по методике, развитой нами в работе [4] показывают, что I для пары ПОМ-ПОМ экспоненциально зависит от W (коэффициент трения $\mu \sim 0.35$). Для пар ПТФЭ-ПТФЭ а также пар ПТФЭ-сталь и ПОМ-сталь величина I меняется пренебрежимо мало при варьировании величины W в том же диапазоне значений (в этих парах μ составлял ~ 0.1). Крупными сплошными кружками на Рис. 1b показаны измерения, проведенные при разных W для композита ПОМ-С₆₀ при трении относительно ПОМ. Видно, что в пределах разброса данных, величина I чистого ПОМ и композита ПОМ-С₆₀ практически не отличаются.

Возможная роль разогрева в обнаруженных эффектах была количественно оценена сопоставлением экспериментально измеряемых температур и решениями диффузионных уравнений для исследованных пар трения. На Рис 1с показан пример синхронных измерений F_{fr} и ΔT для пары ПОМ-ПОМ и пример расчетов, проведенных методом конечных элементов. Видно, что расчет разогрева в точке измерения (кривая 1) неплохо описывает экспериментально определяемую в ней зависимость ΔT от времени (кривая 2) с использованием в расчете экспериментально определяемой зависимостью F_{fr} от времени (кривая 3). В докладе обсуждены примененные способы оптимизации параметров теплоотвода и коэффициента разделения тепловых потоков от границы раздела. Кроме этого, обсуждена точность расчета температур непосредственно на границе раздела (кривая 4), обусловленная этими параметрами. На основании расчетов проведено сопоставление уровней разогрева и характерных температурных переходов в

полимерах, а также данных по износостойкости исследованных полимерных пар.

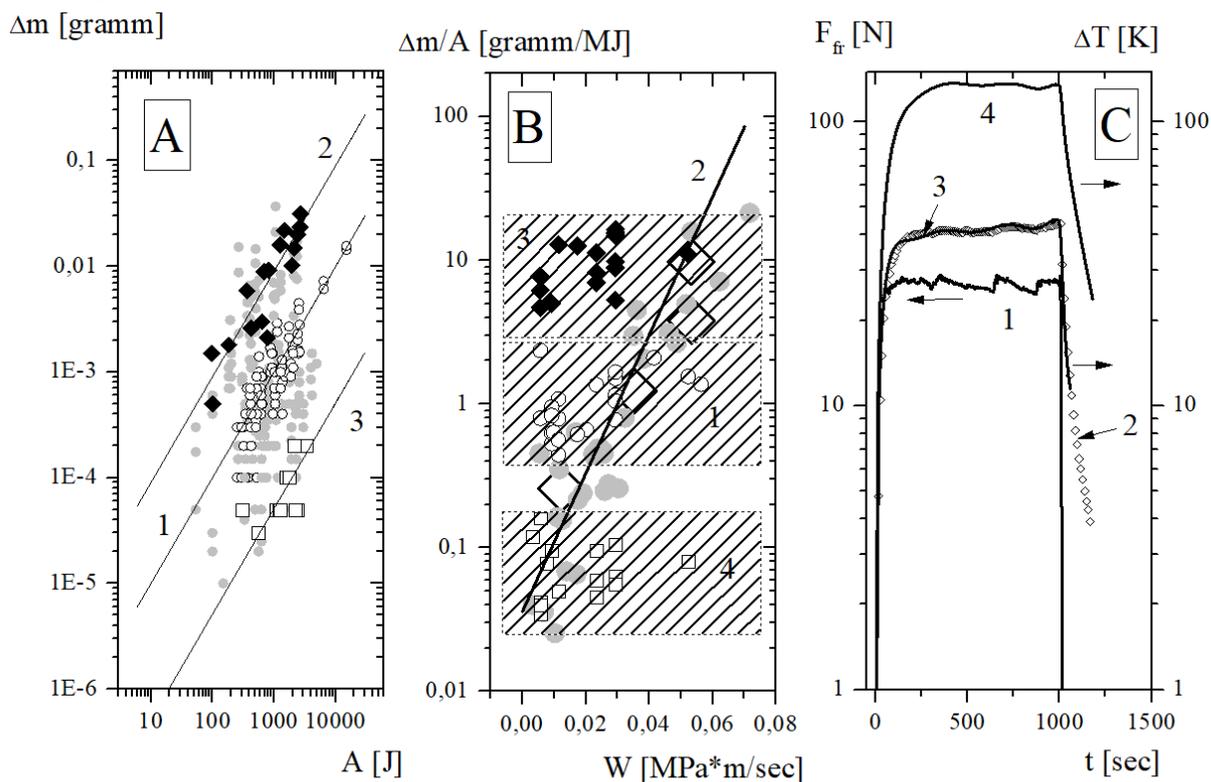


Рисунок 1 - а) Зависимости Δm от работы трения A для экспериментов, проведенных для всех комбинаций P и V . Серые значки: пара трения ОМ-ПОМ. Полые кружки - пара ПТФЭ-ПТФЭ (линия 1), сплошные ромбы: пара сталь-ПТФЭ (линия 2), полые квадраты - пара сталь-ПОМ (линия 3). Используются двойные логарифмические координаты. б) Зависимости величины энергетического износа от величины мощности трения для пар трения ПТФЭ-ПТФЭ (1, круглые полые ромбы), ПОМ-ПОМ (2, серые сплошные кружки), сталь-ПТФЭ (3, сплошные ромбы), сталь-ПОМ (4, полые квадраты). Крупные полые ромбы - данные экспериментов с парой ПОМ-ПОМ-С₆₀. Ось ординат логарифмическая. Для удобства блоками выделены точки для отдельных пар трения. в) Пример одновременной регистрации зависимости от времени силы трения (1) и разогрева (2) при трении пары ПОМ-ПОМ. Линии 3 и 4 показывают расчетные зависимости разогрева в точке измерения (3) и на границе раздела (4). Измерения разогрева проводились на расстоянии ~ 1 мм в плоской неподвижной пластине. Ось ординат логарифмическая.

Заключение

Описанный в работе экспериментальный подход представляет собой новый метод количественного исследования износа полимеров и их композитов с учетом трибоиндуцированного разогрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Р. Галлагер, Метод конечных элементов: Основы, Мир, 1984, С 428
2. B. N. J. Persson, Sliding Friction, Springer, 2000. 515.
3. Седакова Е.Б., Козырев Ю.П., Влияние фрикционного переноса в паре трения полимер-сталь на трибологические свойства политетрафторэтилена при разных контактных температурах // Вестник машиностроения. 2017, № 7, 45-47
4. Sivebaek I.M., Samoilov V.N., and Persson B.N.J. Frictional Properties of Confined Polymers // Eur. Phys. J. — 2008, no. 27, 37—46. DOI: 10.1140/epje/i2008-10349-8

5. A. O. Pozdnyakov, Li Syanshun and E. B. Sedakova, Molecular Mechanisms of Polyoxymethylene Wear, Journal of Friction and Wear, 2024, Vol. 45, No. 1, pp. 24–31.

DOI: 10.3103/S1068366624700041

6. В.И. Веттегрень, А.Я. Башкарев, М.А. Суслов, Физика твердого тела, 2005, том 47, вып. Кинетика трения и износа полимерных композиционных материалов, С. 1619-1624.

7. Тихонов Р. С. Старостин Н. П. Численное определение температурного поля в системе подшипников на общем валу с учетом скорости его вращения // Математические заметки СВФУ. 2014. №3.

8. Привалко В.П. О температуре стеклования политетрафторэтилена и полиоксиметилена // Высокомолекуляр. соединения А. 1976 (18), № 6, 1213

9. Поздняков А.О., Преображенский В.Л., Мясникова Л.П., Соловьева О.Ю., Данилова К.А., Бойко Ю.М., Новый подход к изучению процессов трения, Письма в журнал технической физики, 2023, 23, С. 65-68

A.O. Pozdnyakov^{1,2}, E.B. Sedakova²

¹Ioffe Institute, Saint Petersburg, Russia, ao.pozd@mail.ioffe.ru

²IPME, Saint Petersburg, Russia

THERMAL ANALYSIS OF POLYMER-POLYMER FRICTION PAIRS IN THRUST BEARING GEOMETRY

Abstract

The study of friction and wear of pairs polyoxymethylene-polyoxymethylene and polytetrafluoroethylene-polytetrafluoroethylene with the synchronized measurements of friction force and friction generated heating has been carried out. The data were analyzed by using finite element simulations of heat problem in the thrust bearing geometry used in the experiments. The accuracy of the simulations was proved by comparison with the analytic solutions. The approach developed in this work has been applied to compare the wear of neat POM and POM-C₆₀ composite as well as for comparison with the wear resistance of these polymers upon friction against steel.

Keywords: friction, wear resistance, heat generation, polyoxymethylene, polytetrafluoroethylene, fullerene, steel.

УДК 665.9.046

doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-227

Д. Г. Тюленев, В. Ю. Шолом, А.Н. Абрамов

«Хозрасчётный творческий центр Уфимского авиационного института»,

г. Уфа, Россия, zavlab@rosoil.ru

РАЗРАБОТКА ВОДОПОЛИМЕРНОЙ ЗАКАЛОЧНОЙ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ РЕЛЬСОВ

Аннотация

В статье представлены результаты разработки и внедрения импортозамещающей водорастворимой закалочной жидкости «Росойл-51» для термической обработки металлов.

Приведены результаты сравнительных лабораторных испытаний