

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-42-68-72>

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРА НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ В ПАРЕ СО СТАЛЬЮ 40X

Бирюков В.П.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия*

Ключевые слова: полимеры, момент трения, карбид кремния, шероховатость поверхности стали, машина трения.

Аннотация. Работа посвящена определению моментов трения в паре со сталью 40X образцов полимеров сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ), полиэтилентерефталата (ПЭТ) и полиоксиметилена (ПОМ). Получены закономерности изменения моментов трения в зависимости от состава полимера. Наименьшим моментом обладали образцы СВМПЭ, за ними по возрастанию момента трения следовали образцы ПЭТ, ВМПЭ и ПОМ. Результаты экспериментов могут быть использованы для замены металлических деталей на полимерные материалы в автомобилестроении, кораблестроении и железнодорожном транспорте.

EFFECT OF THE POLYMER COMPOSITION ON THE MOMENT OF FRICTION PAIRED WITH 40X STEEL

Biryukov V.P.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Keywords: polymers, friction moment, silicon carbide, surface roughness of steel, friction machine.

Abstract. The work is devoted to the determination of friction moments in pairs with steel of 40Kh samples of polymers of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), high molecular weight polyethylene (HMWPE), polyethylene terephthalate (PET) and polyoxymethylene (POM). The regularities of the change of friction moments depending on the composition of the polymer are obtained. UHMWPE samples had the lowest moment, followed by PET, HMWPE and POM samples in increasing friction moment. The results of the experiments can be used to replace metal parts with polymer materials in the automotive industry, shipbuilding and railway transport.

Модификацию поверхности [1] сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) выполняли путем травления хромовой кислотой с целью улучшения характеристик его композитов с полиэтилентерефталатом (ПЭТ) в виде воёлок диаметром 18 мкм. Образцы композитов, содержащие 5 мас.% ПЭТ, были получены путем механического смешивания порошка СВМПЭ и измельченных волокон ПЭТ длиной около 6 мкм. Испытания композитов на износ проводились на модельном оборудовании AMTI Ortho-POD (Уотертаун, Массачусетс), оснащенном многофункциональным устройством для испытания на износ по схеме: «штифт (композит длиной 30 мм и диаметром 10 мм) – диск (нержавеющей стали с шероховатостью поверхности 0,1 мкм)», которое было способно одновременно тестировать шесть образцов.

Испытания на износ проводились при нормальной нагрузке 225 Н (номинальное контактное напряжение составляло 2,87 МПа) при частоте вращения 120 мин⁻¹ и комнатной температуре. В качестве смазки использовали фетальную бычью сыворотку (Sigma-Aldrich, товарный номер F0926). Для минимизации бактериальной деструкции в жидкую среду добавляли 0,2 мас.% азида натрия. В сыворотку добавляли этилендиаминтетрауксусную кислоту в концентрации 20 ммоль/л для связывания кальция в растворе и для сведения к минимуму осаждение фосфата кальция на поверхности подшипников. Результаты триботехнических испытаний показали, что СВМПЭ, немодифицированный композит СВМПЭ и модифицированный композит имели значения коэффициентов трения и удельный объемный износ 0,0361, 0,0360 и 0,0359, 0,0047, 0,0189 и 0,0037 см³/миллион циклов соответственно. Композиты, содержащие химически модифицированный СВМПЭ, обладали более высокими ударопрочными свойствами, чем композиты на основе немодифицированного СВМПЭ, благодаря улучшенной межфазной связи между полимерной матрицей и волокнами и лучшая дисперсия волокон в модифицированной матрице из СВМПЭ-ПЭТ. Химическая модификация СВМПЭ перед введением волокон ПЭТ привела к получению композитов, обладающих повышенной износостойкостью по сравнению с базовым материалом и по сравнению с немодифицированными композитами СВМПЭ-ПЭТ. На основе морфологических исследований изношенных образцов в качестве основных механизмов износа были определены микрорезание и усталостное разрушение, связанное с микротрещинами.

Экспериментальные исследования [2] проводились на пяти самосмазывающихся полимерах: полиэтилентерефталате (ПЭТ), литом полиамиде 6 (ПА6), поливинилиденфториде (ПВДФ), полиэтилене со сверхвысокой молекулярной массой (СВМПЭ) и политетрафторэтилене (ПТФЭ). Испытания на трение выполнялись с использованием круглых образцов из самосмазывающихся полимеров, при трении о лист из нержавеющей стали типа AISI 316 с обработкой поверхности до $Ra \leq 0,03$ мкм и $Rz \leq 0,12$ мкм для минимизации эффекта микрорезания. Диаметр полимерного образца составлял 25 мм для более твердых материалов (ПА6, ПВДФ и ПЭТ), что позволяло применять более высокие удельные нагрузки, и 65 мм для более мягких материалов (ПТФЭ и СВМПЭ), что обеспечивало более высокую точность измерения силы трения, особенно при низких уровнях давления. Коэффициент трения каждого полимера измерялся при различных уровнях нормальной нагрузки. На каждом уровне к образцу прикладывали нагрузку и поддерживали ее постоянной в течение 30 минут, чтобы обеспечить вязкоупругую деформацию неровностей полимера, а затем выполняли одно перемещение с постоянной скоростью 1 мм/с. Предполагалось, что влияние микрорезания и деформации на коэффициент трения незначительно (менее 0,002), если шероховатость стальной пластины не превышала $Ra = 0,06$ мкм, в противном случае данные о трении,

полученные на этом уровне, не учитывались, и испытание прекращалось. ПТФЭ обладал самым низким сопротивлением трению, в то время как коэффициенты трения у ПАБ, ПЭТ и ПВХДФ были более чем в три раза выше, чем у ПТФЭ. Коэффициент трения у СВМПЭ имел промежуточные значения.

Для исследований использовали образцы [3] полимера полиоксиметилен (ПОМ), который сохранял свои механические свойства при температуре до 92°C. В качестве экспериментальной установки применяли машину для испытаний на износ по схеме: «штифт (образец ПОМ диаметром 8 мм, с длиной 15 мм) – плоскость (закаленная сталь AISI 42CrMo6, 59-62 HRC с размерами 58×38×4 мм с шероховатостью поверхности 0,20-0,40 мкм, перпендикулярно направлению скольжения)» с возвратно-поступательным движением. Образец штифта крепился к направляющей для возвратно-поступательного перемещения или к держателю штифтового образца с помощью установочных винтов. Испытания проводились при нормальной нагрузке 50, 100, 150 и 200 Н, соответствующей контактному давлению 0,99, 1,98, 2,99 и 3,98 МПа. Скорость скольжения составляла 0,3 м/с при длине двойного хода 15 мм. Общий путь трения за один цикл испытаний составлял 2160 и 4320 м. Скорости износа полимерных образцов при нагрузках от 50 до 200 Н варьировались от $0,6102 \times 10^{-6}$ до $1,533 \times 10^{-6}$ мм³/Н м. Коэффициенты трения ПОМ-сталь при испытаниях при нагрузке 50 и 200 Н имели значения 0,74 и 0,26 соответственно. Наблюдения за поверхностью износа с помощью оптической микроскопии показали, что при низких нагрузках основными механизмами, влияющими на износ, были пропахивание и микрорезание, а при более высоких нагрузках доминирующими механизмами изнашивания были адгезия и пластическая деформация, поскольку увеличение нормальной нагрузки приводило к повышению износостойкости.

Эксперименты проводили на образцах полимеров прямоугольного сечения с размерами 40×20×8 мм сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) (1), высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ) (2), полиэтилентерефталата (ПЭТ) (3), полиоксиметилена (ПОМ) (4). Испытания проводили на машине трения с вертикальной осью вращения шпинделя по схеме: «торец кольцевой поверхности втулки контробразца (сталь 40Х, 48-52 HRC) – плоскость (широкая сторона образца полимера)». Момент трения и нагрузку на образцы определяли с помощью тензометрических датчиков, размещенных в машине трения, в непрерывном режиме (рис. 1). Торцы стального контробразца втулки обрабатывали на наждачной бумаге карбида кремния с зернистостью Р180, Р600, Р1200 для придания определенной шероховатости поверхности. Испытания проводили на сухую без смазочного материала.



а



б



в



г

Рис. 1. Графики моментов трения и нагрузки на образцы:
а – СВМПЭ, б – ВМПЭ, в – ПЭТ, г – ПОМ

Выводы. Определено влияние марки полимера на момент трения в паре со сталью 40Х. Установлено, что наименьший момент трения был у образцов СВМПЭ, за ними по возрастанию момента трения следовали образцы ПЭТ, ВМПЭ и ПОМ.

Список литературы / References

1. Samyn P., De Baets P., Schoukens G., Kontopoulou M. Surface Modification of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene. II. Effect on the Physicomechanical and Tribological Properties of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene/Poly (ethylene terephthalate) Composites // Journal of Applied Polymer Science. 2006, vol. 99, pp. 2352-2358. DOI: 10.1002/app.22688.
2. Quaglini V., Dubini P. Friction of Polymers Sliding on Smooth Surfaces // Advances in Tribology. 2011. DOI: 10.1155/2011/178943.
3. Şahin Y., Yalçınkaya S., Mirzayev H. The effect of load on the tribological property of polyacetal and metallographic observation // Proceedings of the International Symposium of Mechanism and Machine Science. AzC IFToMM – Azerbaijan Technical University, 11-14 September 2017. – Baku, Azerbaijan. 2017. – P. 169-174.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 23.06.2024