

ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА СМАЗКИ ПРИ РАЗНОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ СТАЛЬНОГО КОНТРОБРАЗЦА

Бирюков В.П., Якубовский А.А.

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

Ключевые слова: полиэфенилсульфид, полиэфир, композит, скорость скольжения, усилие прижима, коэффициент трения, шероховатость поверхности.

Аннотация. Работа посвящена определению коэффициентов трения образцов полифенилсульфида и композита на его основе с добавками полиэфира при сухом трении, смазке водой и маслом. Испытания были выполнены по схеме: «плоскость (образец полимера, композита) – торец кольцевой поверхности контробразца стальной втулки» при постоянном усилии нагружения и скорости скольжения. Торце стальной втулки обрабатывали наждачной бумагой для придания различной шероховатости поверхности. Установлено, минимальные коэффициенты трения получены для образцов композита при шероховатости поверхности стального контробразца 0,8 и 0,02 мкм. При смазке маслом коэффициенты трения композитного образца были ниже только при шероховатости поверхности 3,2 и 1,6 мкм, а при шероховатости 0,8 и 0,02 имели одинаковые значения коэффициентов трения с исходными полимерными образцами.

CHANGES IN THE FRICTION COEFFICIENTS OF POLYMERS DEPENDING ON THE TYPE OF LUBRICANT WITH DIFFERENT ROUGHNESS OF THE STEEL COUNTERPLATE

Biryukov V.P., Yakubovsky A.A.

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

Keywords: poly phenyl sulfide, polyester, composite, sliding speed, clamping force, coefficient of friction, surface roughness.

Abstract. The work is devoted to determining the friction coefficients of samples of poly phenyl sulfide and a composite based on it with polyester additives during dry friction, lubrication with water and oil. The tests were performed according to the scheme: "the plane (sample of polymer, composite) is the end face of the annular surface of the counter-plate of the steel sleeve" with constant loading force and sliding speed. The end face of the steel sleeve was treated with sandpaper to give different surface roughness. It is established that the minimum coefficients of friction were obtained for composite samples with a surface roughness of 0.8 and 0.02 microns on a steel counter sample. When lubricated with oil, the friction coefficients of the composite sample were lower only with a surface roughness of 3.2 and 1.6 microns, and with a roughness of 0.8 and 0.02, the friction coefficients had the same values as the original polymer samples.

В последнее время использование полимеров в деталях машин становится все чаще, так как благодаря своим свойствам они не уступают сталям, их применение приводит к уменьшению массы изделий. Одним из таких полимеров является полифенилсульфид, он обладает низким

водопоглощением, что составляет 0,02%, а также имеет стойкость к воздействию агрессивных сред.

В данном исследовании [1] образцы из полифенилсульфида (ПФС) с добавлением углеродного волокна (ПФС/УВ) и с различной миллимолярной концентрацией фенола 6, 10 и 50 мМ (ПФС/УВ/МФ) были изготовлены в виде штифтов с диаметром 6 мм и длиной 70 мм. Триботехнические испытания были выполнены на машине трения по схеме «штифт (образцы полимера и композитов)-диск (нержавеющая сталь с твердостью 322HV)» при меняющейся ступенчато нагрузке 25, 50, 75 и 100 Н, частоте вращения диска 150 мин⁻¹, линейной скорости 0,23 м/с, времени цикла 20 мин. Твердость композитов при концентрации фенола 6, 10 и 50 мМ составила 18, 17 и 21 HV соответственно, а образцов чистого ПФС 15 HV. Образцы модифицированные фенолом ПФС/УВ/МФ, имели пониженные коэффициенты трения при скольжении по стальному диску при всех приложенных нагрузках. При усилии нагружения 25 Н, и концентрации 10 и 50 мМ фенола коэффициенты трения были снижены с 0,36 до 0,28 и 0,27 по сравнению с ПФС. При нагрузке 100 Н коэффициент трения ПФС/УВ/МФ снизился на 18% по сравнению с ПФС и на 14,88% по сравнению с ПФС/УВ.

Образцы полифенилсульфида [2] (ПФС) и композита на его основе с добавками углеродных нано волокон 0,2-10 об% (ПФС/УНВ) были изготовлены методом компрессионного формования. Испытания на трение и износ были проведены по схеме: «штифт (диаметром 6,2 мм длиной 10 мм)-диск (инструментальная сталь 55-60 HRC)». Стальной диск был обработан наждачной бумагой на основе карбида кремния различной зернистости Р320, Р400, Р600 для обеспечения различной шероховатости 0,13-0,15; 0,09-0,011 и 0,06-0,08 мкм. Торцы образцов полимера и композита обрабатывали на наждачной бумаге Р600. Испытания были выполнены при скорости скольжения 1,0 м/с и номинальном контактном давлении 0,65 МПа в течение шести часов. Было установлено, что УНВ в качестве армирующего материала эффективно снижает износ композитных образцов ПФС/УНВ при скольжении по поверхности с шероховатостью 0,13-0,15 мкм Ra. Наименьшая скорость износа в стационарном режиме, равная 0,049 мм³/км, была получена для композита ПФС/10об%. Эта скорость износа была в семь раз ниже скорости износа образцов неармированного ПФС. Не было обнаружено существенных различий в коэффициентах трения независимо от изменения шероховатости поверхности и доли армирования образцов.

Для экспериментальных работ [3] были изготовлены образцы на основе полифенилсульфида (ПФС) с добавками политетрафторэтилена (ПТФЭ) и углеродного волокна (УВ) диаметром 7 мкм длиной 3 мм 5-15 об. %. Композиты получали путем смешивания в расплавленном виде на двухшнековом экструдере. Образцы были обозначены ПФС/ПТФЭ/5УВ, ПФС/ПТФЭ/10УВ, ПФС/ПТФЭ/15УВ. Триботехнические испытания были выполнены по схеме: «плоский прямоугольный образец (полимер, композит) – ролик (сталь диаметром 40 мм, с шероховатостью 0,2 мкм)» при скорости

скольжения 0,42 м/с и нормальной нагрузке 200-500 Н, на пути трения 15 000 метров. Добавление УВ повысило износостойкость композитов и продемонстрировало свойства самосмазывания, в отличие от композита ПФС/ПТФЭ. С увеличением содержания УВ в композите скорость износа снижалась. Наличие УВ вызывало абразивный износ при 200 Н. Наибольшее снижение коэффициента трения до 0,085 было получено на композитах ПФС/ПТФЭ/15УВ при нагрузке 500 Н.

Цель работы определение коэффициентов трения полифенилсульфида и его композита в условиях сухого трения, при смазке водой и гидравлическим маслом МГЕ-10А при разной шероховатости торца втулки стального контробразца.

Для испытаний использовали цилиндрические образцы чистого полифениленсульфида (ПФС) (ZX-530) и модифицированного полиэфиром (ZX-530 EL63) цилиндрической формы с размерами 25×15 мм. Для определения коэффициентов трения в условиях сухого трения, при смазке водой и маслом МГЕ-10А использовали машину трения МТУ-01, при нагрузке 20 Н, частоте вращения шпинделя 160 мин⁻¹ и линейной скорости 0,23 м/с, испытание проводили по схеме: «втулка (торец кольцевого контробразца, сталь 40Х) - плоскость (образец полимера, композита)». Торцы кольцевого контробразца обрабатывались на шлифовально-полировальной машине с использованием наждачной бумаги разной зернистости Р180, Р600, Р1200 и Р2500, что соответствует следующей шероховатости Ra 3,2; 1,6; 0,8; 0,02 соответственно. Результаты испытаний по определению коэффициента трения представлены в таблице 1.

Табл. 1. Коэффициенты трения полифенилсульфида и композита на его основе в условиях сухого трения, при смазке водой и маслом МГЕ-10А.

Шероховатость Ra, мкм	Коэффициенты трения					
	ZX-530			ZX-530 EL63		
	Сухое трение	Вода	Масло	Сухое трение	Вода	Масло
3,2	0,32	0,23	0,14	0,29	0,25	0,21
1,6	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15
0,8	0,2	0,16	0,14	0,21	0,15	0,14
0,02	0,18	0,17	0,13	0,2	0,15	0,13

По результатам приведенных в таблице данных видно, что коэффициенты трения при шероховатости поверхности 3,2 мкм при смазке водой и маслом были выше у образцов ZX-530 EL63 по сравнению с чистым ZX-530. При шероховатости поверхности 1,6 мкм коэффициенты трения образцов ZX-530 EL63 были несколько ниже при сухом трении, смазке водой и маслом. При шероховатости поверхности 0,8 и 0,02 мкм коэффициенты трения при сухом трении у образцов ZX-530 EL63 были выше, а при смазке водой ниже, чем у образцов ZX-530. При смазке маслом коэффициенты трения композитного образца ZX-530 EL63 были ниже только при шероховатости

поверхности 3,2 и 1,6 мкм, а при шероховатости 0,8 и 0,02 имели одинаковые значения коэффициентов трения с ZX-530.

Выводы

Определено влияние состава образцов полимеров на основе полифениленсульфида и композита на его основе с добавкой полиэфира при сухом трении, смазке водой и маслом. Минимальные коэффициенты трения получены для образцов ZX-530 EL63 при шероховатости поверхности стального контрольного образца 0,8 и 0,02 мкм. При смазке маслом коэффициенты трения композитного образца ZX-530 EL63 были ниже только при шероховатости поверхности 3,2 и 1,6 мкм, а при шероховатости 0,8 и 0,02 имели одинаковые значения коэффициентов трения с исходными полимерными образцами.

Список литературы / References

1. Dabees S., Wickramasingha Y.A., Dharmasiri B. Tribological behaviour of surface modified carbon-fibre-reinforced polyphenylene sulphide under dry condition // Tribology International. 2024, vol. 194, p. 109528. doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109528.
2. Cho M.H., Bahadur S. A study of the thermal, dynamic mechanical, and tribological properties of polyphenylene sulfide composites reinforced with carbon nanofibers // Tribology Letters. 2007, vol. 25, no. 3, pp. 237-246. DOI: 10.1007/s11249-006-9173-x.
3. Luo W., Liu Q., Li Y., Zhou S., Zou H., Liang M. Enhanced mechanical and tribological properties in polyphenylene sulfide/polytetrafluoroethylene composites reinforced by short carbon fiber // Composites Part B. 2016, vol. 91, pp. 579-588. doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.01.036.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник Laser-52@yandex.ru	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior researcher

Received 22.10.2025