

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-22-48-52>

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ И ПОТЕРЮ МАССЫ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ИЗНОС СВОБОДНЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

Бирюков В.П.

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

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полиэфирэфиркетон полифениленсульфид, полиэфиримид, морфология поверхности трения, потеря массы, незакрепленное абразивное зерно, износостойкость.

Аннотация. Работа посвящена определению морфологии поверхностей трения и абразивному изнашиванию образцов полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида, полиэфиримид и сверхвысокомолекулярного полиэтилена незакрепленным абразивным зерном. Испытания проводили по схеме: «широкая сторона плоского прямоугольного образца полимера – образующая поверхность резинового диска». В зону трения между образцом и резиновым кругом с помощью дозатора через калиброванное отверстие подавался кварцевый песок с размером частиц 200-600 мкм. Наибольшей износостойкостью обладали образцы сверхвысокомолекулярного полиэтилена, за ними по уменьшению стойкости следовали образцы полиэфирэфиркетона, полиэфиримид и полифениленсульфида.

DETERMINATION OF THE ABRASION RESISTANCE OF POLYURETHANES BY FREE ABRASIVE GRAIN

Biryukov V.P.

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

Keywords: ultrahigh molecular weight polyethylene, polyetheretherketone polyphenylene sulfide, polyetherimide, morphology of the friction surface, weight loss, loose abrasive grain, wear resistance.

Abstract. The work is devoted to determining the morphology of friction surfaces and abrasive wear of polyesteretherketone, polyphenylene sulfide, polyetherimide and ultrahigh molecular weight polyethylene samples with loose abrasive grain. The tests were carried out according to the scheme: «wide side a flat rectangular polymer sample is the forming surface of a rubber disc». Quartz sand with a particle size of 200-600 microns was fed into the friction zone between the sample and the rubber circle using a dispenser through a calibrated hole. Ultrahigh molecular weight polyethylene samples had the highest wear resistance, followed by polyesteretherketone, polyetherimide and polyphenylene samples in terms of reduced durability.

Композиты [1] на основе полиэфиркетона (ПЭЭК) и полифенилсульфида (ПФС) были исследованы с целью достижения комплекса механических и трибологических свойств за счет одновременного заполнения короткими углеродными армирующими (микро) волокнами (УВ) и частицами твердой смазки политетрафторэтилена (ПТФЭ). Для изготовления образцов были применены порошок ПЭЭК со средним размером частиц 50 мкм, порошок ПФС со средним размером частиц 20 мкм, наполнители – ПТФЭ (размер

частиц 6-20 мкм) и УВ (длиной 200 мкм и средним диаметром 7,5 мкм). Испытания образцов композитов на трение и износ без смазочного материала были проведены по схеме: «шар – диск» в соответствии со стандартом ASTM G99, при нагрузке 10 Н, скорость скольжения 0,3 м/с. В качестве контртела были использованы шарики диаметром 6 мм из подшипниковой стали ШХ15 и оксида алюминия (Al_2O_3). Путь трения составлял 3 км, при радиусе скольжения шариков 10 мм. По результатам трибологических испытаний композиты на основе ПЭЭК показали более высокую износостойкость в паре трения с металлическим шариком, чем образцы на основе ПФС с такой же степенью заполнения. В отличие от композита «ПЭЭК + 10% ПТФЭ + 10% УВ», композит «ПФС + 15% ПТФЭ + 22,5% УВ» показал более высокие трибологические свойства при трении по оксиду алюминия.

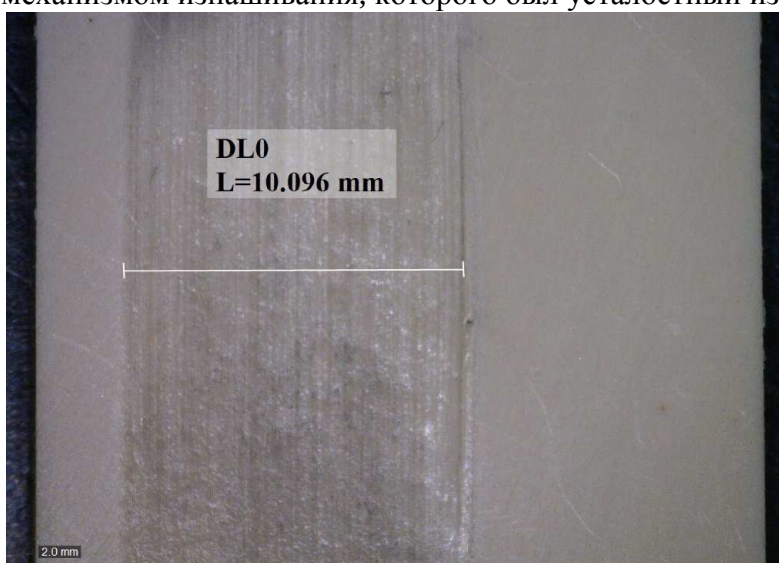
В работе [2] были изготовлены образцы стержни диаметром 6 мм и длиной 50 мм из полимеров полиацеталь (ПОМ), сверхвысокоморлекулярного полиэтилена (СВМПЭ), полиамида (ПА66) и полифениленсульфида (ПСФ+СВ 30%), армированного стекловолокном (СВ). Испытания на износ проводились на машине трения по схеме: «штифт-диск». Для обеспечения различных условий при каждом испытании на поверхности вращающегося диска была закреплена наждачная бумага с зернистостью Р150, Р360, Р800 и Р1200. Перед каждым испытанием образцы были очищены спиртом и высушивались на воздухе. Для каждого материала проводили испытание на износ без применения смазочного материала на пути трения 50, 100, 150 и 200 м при нагрузке 10 Н и скорости скольжения 1 м/с. Скорость износа образцов полимеров снижалась с увеличением пути трения. Наибольшая скорость износа наблюдалась у образцов полимера ПОМ, а наименьшая у образцов полимера СВМПЭ.

В качестве матрицы для изготовления образцов [3] был выбран порошкообразный СВМПЭ с молекулярной массой более пяти миллионов, и твердый наполнитель карбид кремния (SiC) микро (10-20 мкм 0, 2, 4, 6, 8 и 10%) и нано (50-60 нм 0, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5 и 4%). Испытания на абразивный износ были выполнены по схеме: «штифт (композит (10×10×3,5 мм)-шлифовальная бумага карбида кремния (SiC марки 120 с размером зерна 118 мкм) при четырех нагрузках 25, 50, 75 и 100 Н и постоянной скорости скольжения 5 м/мин. Перед началом эксперимента торец штифта был обработан на наждачной бумаге SiC марки 1000 для обеспечения равномерного контакта между штифтом и наждачной бумагой. Путь трения составлял 2,4 м для каждого образца эксперимент проводился на 10 дорожках, каждая из которых имела длину 0,24 м. Максимальной стойкостью к абразивному износу обладали образцы с содержанием 8% микро карбидов и 3,5% нано карбидов кремния.

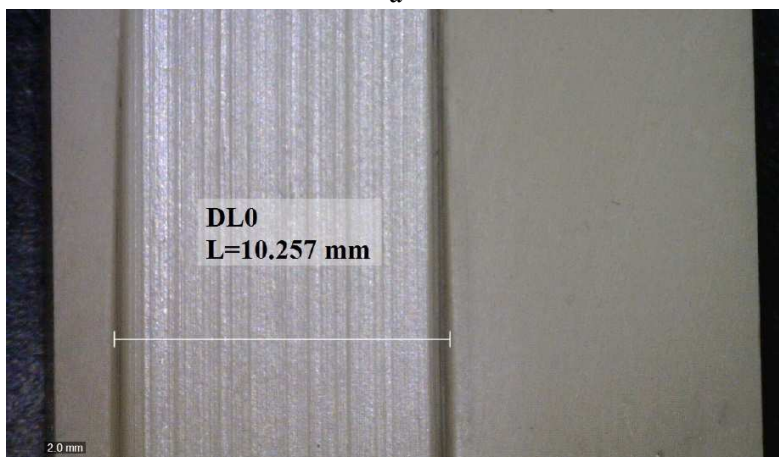
Целью нашей работы было определение влияния состава полимерных образцов на морфологию поверхности трения и потери массы образцов полимеров при испытании свободным абразивным зерном.

При проведении экспериментов были изготовлены образцы полимеров прямоугольной формы ПЭЭК (1) (ZX324), ПФС (2) (ZX 530), полиэфиримида (3) (ПЭИ) (ZX 510), СВМПЭ (4) (INKULEN PE-9000) с размерами 12×20×70 мм. Триботехнические испытания были выполнены на машине трения по схеме: «образующая поверхность резинового диска-плоский прямоугольный образец (полимер)». В зону трения между поверхностью резинового круга и образцом гравитационно с помощью дозатора с калиброванным отверстием подавался кварцевый песок с размером частиц 200-600 мкм. Продолжительность испытаний составляла 10 минут, а нагрузка на образец 15 Н.

На рисунке 1 показаны образцы полимеров ПЭЭК (а), ПФС (б), ПЭИ (в) на поверхности трения которых видны следы микрорезания и СВМПЭ (г) основным механизмом изнашивания, которого был усталостный износ.



а



б

Рис. 1. Морфология поверхностей трения при испытаниях незакрепленным абразивным зерном: а – ПЭЭК, б – ПФС

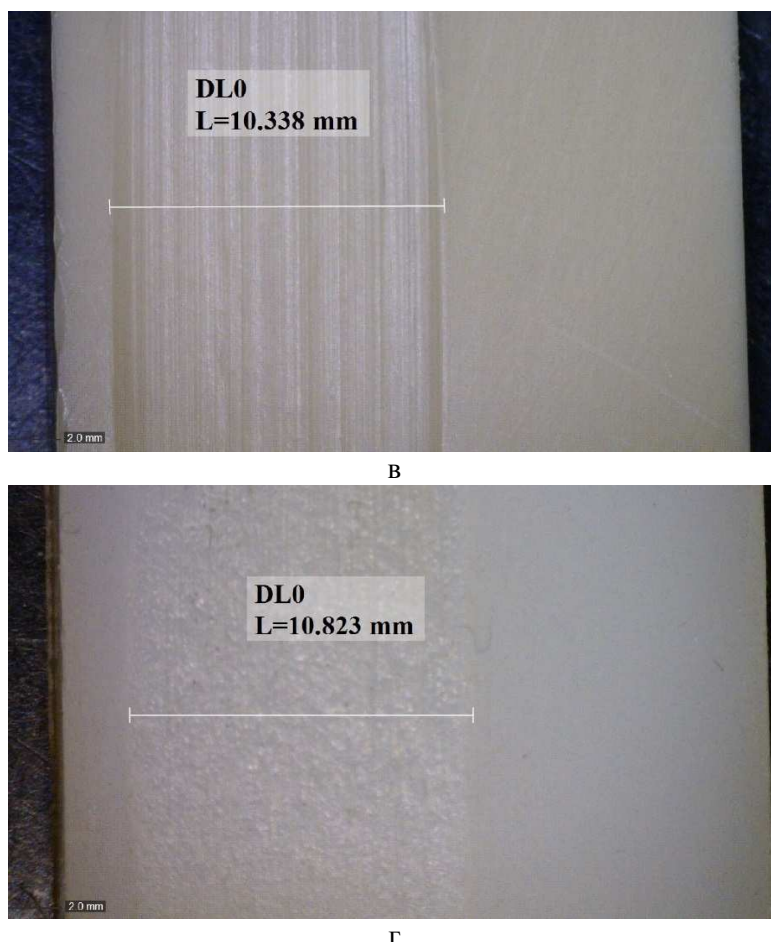


Рис. 1. Морфология поверхностей трения при испытаниях незакрепленным абразивным зерном: в – ПЭИ, г – СВМПЭ

В таблице 1 представлены результаты испытаний образцов полимеров при испытаниях незакрепленным абразивным зерном. Анализ результатов испытаний показал, что наибольшей стойкостью к износу обладали образцы СВМПЭ, далее по убыванию стойкости следовали образцы ПЭЭК, ПЭИ и ПФС.

Табл. 1. Потеря массы образцов при испытании незакрепленным абразивом

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
1,1	21,5941	21,5726	0,0215	0,0223
1,2	21,8962	21,8731	0,0231	
1,3	21,7485	21,7262	0,0223	
2,1	25,2288	24,1474	0,1814	0,2017
2,2	25,3674	24,2280	0,2394	
2,3	25,4672	24,3827	0,1845	

Табл. 1. Продолжение

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
3,1	21,4749	21,4358	0,0391	0,0383
3,2	21,4698	21,4294	0,0404	
3,3	21,5746	21,5591	0,0355	
4,1	15,3024	15,2983	0,0041	0,0036
4,2	15,2986	15,2948	0,0038	
4,3	15,3169	15,3138	0,0031	

Выводы. Определено влияние состава образцов полимеров на потерю массы свободным абразивным зерном. Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному износу обладали образцы СВМПЭ, за ними по возрастанию потери массы следовали образцы ПЭЭК, ПЭИ и ПФС. По анализу поверхностей трения определено, что основным видом износа образцов СВМПЭ было усталостное изнашивание, а для остальных образцов микрорезание.

Список литературы / References

1. Panin S.V., Lyukshin B.A., Bochkareva S.A., Kornienko L.A., Nguyen D.A., Hiep L.T.M., Panov I.L., Grishaeva N.Y. Material Design Methodology for Optimized Wear-Resistant Thermoplastic–Matrix Composites Based on Polyetheretherketone and Polyphenylene Sulfide // Materials. 2020, vol. 13, pp. 524-546. doi.org/10.3390/MA13030524.
2. Unal H., Sen U., Mimaroglu A. Abrasive wear behaviour of polymeric materials // Materials & Design. 2005, vol. 26(8), pp. 705-710. doi.org/j.matdes.2004.09.00.
3. Sharma, S., Bijwe, J., Panier, S., Sharma, M. Abrasive wear performance of SiC-UHMWPE nano-composites – Influence of amount and size // Wear. 2015, vol. 332-333, pp.863-871. doi.org/10.1016/j.wear.2015.01.012.

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

Received 12.05.2025