

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2025-49-74-78>

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК В СОСТАВ ПОЛИМЕРА НА ПОТЕРЮ МАССЫ ОБРАЗЦОВ ПРИ ТРЕНИИ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

Бирюков В.П.

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

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон, углеродное волокно, стекловолокно, скорость скольжения, нагрузка, потеря массы, закрепленный абразив, износостойкость.

Аннотация. Работа посвящена определению морфологии поверхностей трения и потери массы образцов при абразивном изнашивании полиэфирэфиркетона и его композитов со стекловолокном и углеродным волокном закрепленным абразивным зерном. Испытания проводили на машине трения с вертикальной осью вращения шпинделя по схеме: «широкая сторона плоского прямоугольного образца полимера, композита – торец стальной втулки с наклеенной наждачной бумагой» при постоянной нагрузке на образцы и скорости скольжения. Установлено, что наибольшая износостойкость при абразивном изнашивании закрепленным зерном получена у образцов полиэфиркетона за ним по уменьшению износостойкости к абразивному износу следовали композиты со стекловолокном и с углеродным волокном. По анализу морфологии поверхностей трения получено, что основным механизмом изнашивания было микрорезание для образцов полимера и композитов.

EFFECT OF ADDITIVES IN THE POLYMER COMPOSITION ON THE MASS LOSS OF SAMPLES DURING FRICTION WITH AN ABRASIVE GRAIN

Biryukov V.P.

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

Keywords: polyesteretherketone, carbon fiber, glass fiber, sliding speed, load, weight loss, fixed abrasive, wear resistance.

Abstract. The work is devoted to determining the morphology of friction surfaces and weight loss of samples during abrasive wear of polyesteretherketone and its composites with glass fiber and carbon fiber fixed with abrasive grain. The tests were carried out on a friction machine with a vertical axis of rotation of the spindle according to the scheme: "the wide side of a flat rectangular polymer sample, composite – the end of a steel sleeve with glued sandpaper" under constant load on the samples and sliding speed. It was found that the highest wear resistance during abrasive wear with fixed grain was obtained from polyether ketone samples, followed by composites with glass fiber and carbon fiber in terms of reducing wear resistance to abrasive wear. Based on the analysis of the morphology of the friction surfaces, it was found that the main mechanism of wear was micro-cutting for polymer and composite samples.

Абразивный износ является наиболее распространенным видом изнашивания деталей и механизмов машин. В работе [1] были исследованы две группы полимерных композитов на основе полиамида (ПА 6) и полиэфирэфиркетона (ПЭЭК). Целью исследования были сравнение различных композитов и изучение влияния добавок на их трибологические

свойства. Испытания были проведены на машине трения по схеме: «плоскость (движущейся наждачной бумаге, натянутой на двух вращающихся барабанах)-образец полимера, композита (диаметром 8 мм и длиной 10-15 мм)» при нормальной нагрузке 11,5 и 23 Н, и времени цикла 4 минуты. В качестве эталона был использован полиамид типа РА 6Е. Композит ПЭЭК/УВ/ПТФЭ/Гр наполнен углеродными волокнами (УВ), политетрафторэтиленом (ПТФЭ) и графитом (Гр). Образцы композита ПЭЭК СВ30 на 30% заполнены стекловолокном. Установлено, что наполнители оказывали положительное воздействие на композиты на основе ПА 6. Образцы чистого ПЭЭК обладали лучшей стойкостью к абразивному износу, на ними по убыванию износостойкости следовали композиты ПЭЭК/УВ/ПТФЭ/Гр и ПЭЭК СВ30.

Для экспериментов [2] были выбраны образцы полиэфирэфиркетона ПЭЭК, композит (А), армированный углеродным волокном (УВ) ПЭЭК/УВ и самосмазывающийся композит (Б) с добавками политетрафторэтилена (ПТФЭ) 10%, графита (Гр) 10% и полиэтилена (ПЭ) 10%. Испытания на абразивный износ были проведены с помощью тестера на микроабразивное изнашивание. В этих испытаниях стальные шары диаметром 20 мм двигались относительно образца в дистиллированной воде в присутствии мелких абразивных частиц диоксида кремния (SiO_2), при частоте вращения приводного вала 150 мин^{-1} . Суспензию непрерывно перемешивали для предотвращения оседания абразивных частиц. Наименьший абразивный износ был у композита Б. Для образцов композита А износ был в 7 раз выше, чем у композита Б, а образцы ПЭЭК имели абразивный износ в 38 раз выше, чем у композита Б.

Эксперименты [3] проводились с использованием образцов ПЭЭК без наполнителя, ПЭЭК с наполнителем ПТФЭ (5-95%) и ПЭЭК с короткими углеродными волокнами (УВ 5-30%). Трибологические испытания были проведены по схеме: «штифт (полимер, композит) – диск (сталь 100 Ст 6, НРС 62, с шероховатостью 0,2-0,3 мкм). Скорость скольжения оказывала более сильное влияние на износ ПЭЭК, чем давление. Самый низкий коэффициент трения был получен для смеси с объемной долей ПТФЭ 15%. Показатели износа смесей с объемной долей ПТФЭ, варьирующейся от 5 до 85%, были ниже, чем у исходного ПЭЭК. Минимальные значения износа наблюдались при объемной доле ПТФЭ от 5 до 40%. В качестве оптимального диапазона для ПТФЭ в ПЭЭК рекомендовано использовать 10-20%. В широком диапазоне температур армирование углеродным волокном повышает износостойкость ПЭЭК. Кроме того, при добавлении коротких волокон снижался коэффициент трения ПЭЭК.

Целью работы было определение морфологии поверхностей трения и потери массы образцов полиэфирэфиркетона и композитов на его основе с добавками стекловолокна и углеродного волокна при испытании закрепленным абразивным зерном.

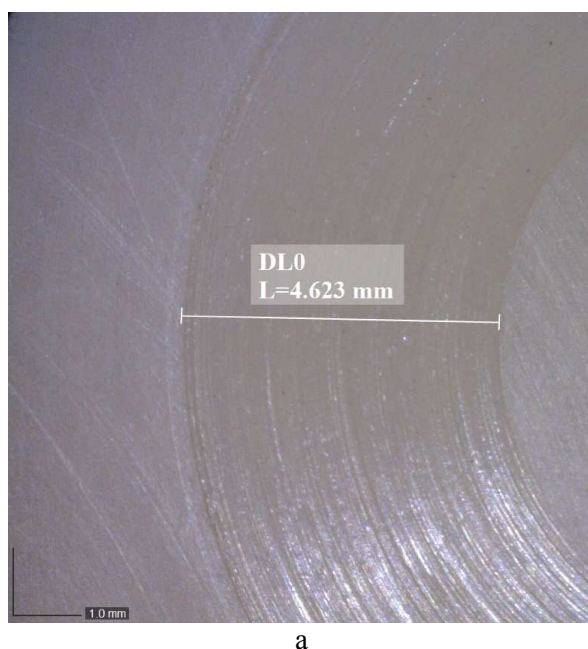
Для выполнения экспериментов были использованы образцы в виде цилиндров (рис. 1) диаметром 25 мм высотой 15 мм из полиэфирэфиркетона

(ПЭЭК) (ZX324), и композиционные образцы на основе ПЭЭК с добавками стекловолокна (ПЭЭК/СВ) (ZX324SW) и с добавками углеродного волокна (ПЭЭК/УВ) (ZX324UG30). Определение морфологии поверхностей трения было выполнено с использованием цифрового микроскопа. Испытание на абразивное изнашивание проводили на машине трения с вертикальной осью вращения шпинделя. Образец полимера, композита устанавливался и фиксировался неподвижно в оправке, размещенной на предметном столике машины трения, снабженной датчиками усилия нагружения и момента трения. Наждачная бумага наклеивалась на торец кольцевой стальной оправки, которая крепилась в трех кулачковый патрон, размещенный в шпинделе машины трения. Усилие нагружения составляло 200Н, а время испытаний 1 минута.

На рисунке 2 представлены фрагменты поверхностей трения полимера и композитов. По анализу морфологии поверхностей трения установлено, что основным видом изнашивания образцов было микрорезание.

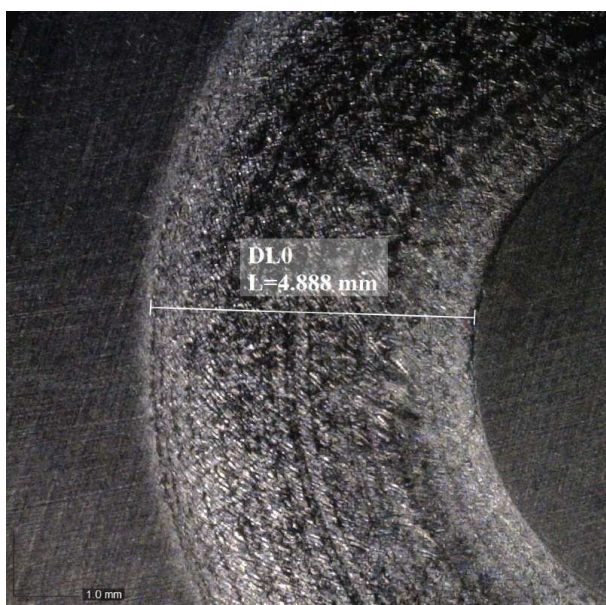


Рис. 1. Образцы для испытаний закрепленным зерном: а ПЭЭК, б – ПЭЭК/СВ, в – ПЭЭК/УВ

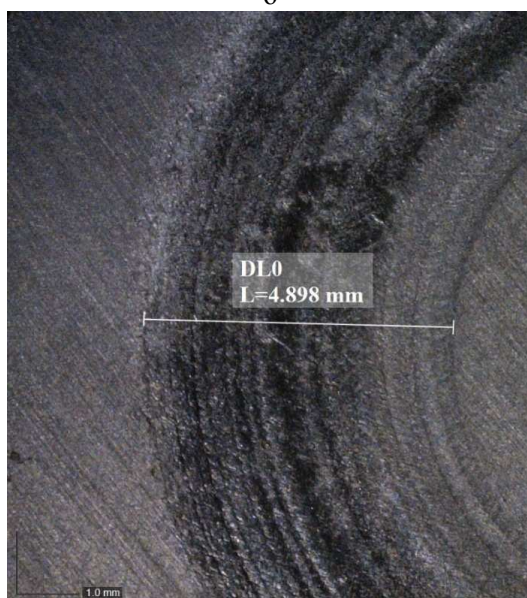


а

Рис. 2. Морфология поверхностей трения: а – ПЭЭК



б



в

Рис. 2. Морфология поверхностей трения: б – ПЭЭК/СВ, в – ПЭЭК/УВ

Результаты испытаний на абразивное изнашивание закрепленным зерном представлены в таблице 1. Наибольшая стойкость к абразивному износу была у образцов ПЭЭК, за ними по мере убывания стойкости следовали образцы ПЭЭК/СВ и ПЭЭК/УВ.

При анализе результатов испытаний на абразивное изнашивание установлено, что наибольшей износостойкостью обладали образцы ПЭЭК, за ними по уменьшению износостойкости следовали образцы ПЭЭК/СВ и ПЭЭК/УВ.

Табл. 1 Потеря массы образцов полимера и композитов

Образец	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
ПЭЭК	9,1342	9,1319	0,0022	0,0023
	9,1219	9,1188	0,0031	
	9,0895	9,0878	0,0017	
ПЭЭК/СВ	9,1277	9,1235	0,0037	0,0038
	9,1089	9,1054	0,0035	
	9,0934	9,0891	0,0043	
ПЭЭК/УВ	10,0943	10,0903	0,0040	0,0041
	10,0757	10,0720	0,0037	
	10,085	10,0539	0,0046	

Выводы. Определено влияние состава образцов термопластичных полимеров на основе полиэфирэфиркетона и его композитов с добавками стекловолокна и углеродного волокна на абразивную стойкость при трении по закрепленному абразивному зерну. Установлено, что наибольшая износостойкость к абразивному износу была у образцов ПЭЭК, за ними по уменьшению износостойкости при абразивном износе следовали композитные образцы со стекловолокном ПЭЭК/СВ и с углеродным волокном ПЭЭК/УВ. По анализу морфологии поверхностей трения получено, что основным механизмом изнашивания было микрорезание для образцов полимера и композитов.

Список литературы / References

1. Zsidai L., Kátai L. Abrasive Wear and Abrasion Testing of PA 6 and PEEK Composites in Small-Scale Model System // Acta Polytechnica Hungarica. 2016, vol. 13(6), pp. 197-214.
2. Schroeder R., Torres F.W., Binder C., Klein A.N., Mello J.D.B. Failure mode in sliding wear of PEEK based composites // Wear. 2013, vol. 301, pp. 717-726. doi.org/10.1016/j.wear.2012.11.055.
3. Lu Z.P., Friedrich K. On sliding friction and wear of PEEK // Wear. 1995, vol. 181-183, pp. 624-631.

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

Received 05.09.2025