

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-23-52-55>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ ПРИ ТРЕНИИ ЗАКРЕПЛЕННЫМ ЗЕРНОМ

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: полиэфиримид, углеродное волокно, стекловолокно, скорость скольжения, усилие прижима, закрепленный абразив, абразивный износ, стойкость к абразивному износу.

Аннотация. Работа посвящена определению абразивной износостойкости поверхности трения образцов полиэфиримида его композитов с добавками углеродного и стекловолокна при трении закрепленным абразивным зерном. Испытания были выполнены по схеме: «плоскость (цилиндрический образец полимера, композита) – кольцевая поверхность стальной оправки контробразца с наклеенной наждачной бумагой» при постоянном усилии нагружения и скорости скольжения. Установлено, что наибольшая стойкость к абразивному износу была у образцов полиэфиримида за ним по уменьшению стойкости к абразивному износу следовали композит со стекловолокном и композит с углеродным волокном.

DETERMINATION OF THE ABRASION RESISTANCE OF POLYMERS AND COMPOSITES UNDER FIXED GRAIN FRICTION

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: polyethyrimide, carbon fiber, glass fiber, sliding speed, clamping force, fixed abrasive, abrasive wear, resistance to abrasive wear.

Abstract. The work is devoted to the determination of the abrasive wear resistance of the friction surface of polyethyrimide samples of its composites with additives of carbon and glass fiber during friction with fixed abrasive grain. The tests were performed according to the scheme: "the plane (cylindrical sample of polymer, composite) is the annular surface of the counter-plate steel mandrel with glued sandpaper" with constant loading force and sliding speed. It was found that the polyetherimide samples had the highest resistance to abrasive wear, followed by a composite with glass fiber and a composite with carbon fiber.

Для испытаний на абразивное изнашивание [1] были изготовлены образцы полиэфиримида (ПЭИ) (А) и композиционные образцы с добавками стекловолокна ПЭИ+20% СВ (Б) и с дополнительными добавками политетрафторэтилена, дисульфида молибдена и графита ПЭИ+25%СВ+15%ПТФЭ+15%(MoS₂+Гр.) (С). Испытания закрепленным абразивным зерном карбида кремния были проведены по схеме: «штифт (полимер, композит диаметром 6,5мм) – диск с наклеенной наждачной бумагой». Композит (С) показал наилучший результат.

Композитные образцы [2] на основе полиэфиримида были изготовлены с различной ориентацией углеродных волокон (УВ) Во время резки композитных листов различные ориентации волокон в образцах определялись

углами наклона волокна и были обозначены как УВ0, УВ30, УВ45, УВ60, УВ75 и УВ90. Объемный процент УВ составлял около 80%. Трибологическая оценка проводилась в режиме абразивного износа в однопроводном режиме, при линейном и однонаправленном поступательном движении. Композитный образец штифт (10×10×3 мм) с площадью поверхности 100 мм² шлифовали наждачной бумагой карбида кремния SiC с волокнами различной ориентации с постоянной скоростью. Эксперименты проводились на наждачной бумаге марки Р120 закрепленной на подвижной подложке с постоянной скоростью 2 м/мин при различных нагрузках 10, 20, 30 и 40 Н. Эксперименты повторяли дважды, и среднее значение потери массы использовали для расчета удельной скорости износа. Коэффициенты трения и удельная скорость изнашивания композитов снижались с увеличением нагрузки. Включение УВ в ПЭИ ухудшало показатели абразивного износа, но улучшало показатели трения при более высоких нагрузках. Ориентация волокон существенно влияла, как на механические, так и на трибологические свойства. Образцы с направлением волокон, параллельно вектору скорости скольжения, показали лучшие результаты по износостойкости в обоих случаях испытаний.

Проведено исследование [3] абразивного износа композитных образцов на основе ПЭИ, армированных углеродным, стекло и арамидным волокном, при различных нагрузках. Испытание на износ проводилось по схеме: «штифт (образец композита 10×10×4 мм) – диск (сталь диаметром 100 мм с наклеенной наждачной бумагой» при скорости скольжения 2 м/с, усилия нагружения 10, 20 и 30 Н, пути трения 1,5 м и времени цикла 5 мин. Для испытаний была использована наждачная бумага из карбида кремния Р400. Композитные образцы углеродное волокно/ПЭИ имели меньший износ по сравнению композитными образцами стекловолокно/ПЭИ и арамидное волокно/ПЭИ.

Цель нашей работы было определение стойкости к абразивному изнашиванию образцов полиэфиримида и его композитов с углеродным волокном и стекловолокном при трении по закрепленному абразивному зерну.

Для проведения экспериментов были использованы цилиндрические образцы (рис. 1.) диаметром 25 мм, высотой 15 мм полиэфиримида (ПЭИ) (1) ZX-410 и его композитов с углеродным волокном ZX-410VMT (2) и стекловолокном ZX-410GF30 (3) содержащем 30% стекловолокна. Испытания были выполнены на машине трения с вертикальной осью вращения шпинделя с трех кулачковым патроном, в который устанавливали стальную оправку с наклеенной наждачной бумагой из карбида кремния зернистостью Р120. Торец оправки выполнен в виде кольца с наружным диаметром 18 мм и внутренним 8 мм. Испытания были проведены при частоте вращения шпинделя 160 мин⁻¹ и времени цикла 1 минута.

В таблице 1 представлены потери массы образцов по результатам трех испытаний и средние их значения.



Рис. 1. Образцы полиэфиримида и композитов: а – ZX-410, б – ZX-410VMT, в – ZX-410 GF30

Табл. 1. Потеря массы образцов при абразивном износе

Образец	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
ZX410	8,3379	8,3324	0,0055	0,0060
	8,3101	8,3036	0,0065	
	8,2775	8,2836	0,0061	
ZX410VMT	9,1095	9,0978	0,0117	0,0160
	9,0624	9,0524	0,0100	
	9,0262	8,9998	0,0264	
ZX410GF30	10,1909	10,1821	0,0088	0,0075
	10,1516	10,1443	0,0073	
	10,1195	10,1129	0,0066	

Наибольшей стойкостью к абразивному износу закрепленным зерном обладали образцы полиэфиримида ZX410, за ними по степени убывания стойкости следовали образцы композита со стекловолокном ZX410GF30 и композита с углеродным волокном ZX410VMT.

Выводы. Определено влияние состава образцов термопластичных полимеров на основе полиэфиримида и его композитов на абразивную стойкость при трении по закрепленному абразиву. Установлено, что наибольшая стойкость к абразивному износу была у образца ZX410, за ним по уменьшению стойкости к абразивному износу следовали композит со стекловолокном ZX410GF30 и композит с углеродным волокном ZX410VMT.

Список литературы / References

1. Bijwe J., Indumathi J., John J., Fahim M. Friction and wear behavior of polyetherimide composites in various wear modes // Wear. 2001, vol. 249(8), pp. 715-726. DOI: 10.1016/S0043-1648(01)00696-2.
2. Sharma M., Rao I.M., Bijwe J. Influence of fiber orientation on abrasive wear of unidirectionally reinforced carbon fiber–polyetherimide composites // Tribology International. 2010, vol.43, pp. 959-964. doi.org/10.1016/j.triboint.2009.12.064

3. Batra N.K., Dikshit I., Sidana D.S. Two-Body Abrasive Wear Behavior of Woven Carbon/Glass/Aramid Polytherimide Reinforced Hybrid Composites // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2021, pp. 523-531. doi.org/10.1007/978-981-33-6029-7_49.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Горюнов Ярослав Алексеевич – младший научный сотрудник	Goryunov Yaroslav Alekseevich – junior researcher
laser-52@yandex.ru	

Received 02.09.2025