

## АБРАЗИВНАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРОВ И ИХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ТРЕНИИ НЕЗАКРЕПЛЕННЫМ ЗЕРНОМ

*Бирюков В.П., Якубовский А.А., Горюнов Я.А.*

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

**Ключевые слова:** текстолит, ооскафен, свободное абразивное зерно, морфология поверхности трения, абразивное изнашивание, износостойкость.

**Аннотация.** Работа посвящена определению влияния состава композиционного полимерного материала на абразивную износостойкость. Испытания на изнашивание свободным абразивным зерном выполняли по схеме «плоский образец (текстолит ТКТ, ТКТП, ооскафен) – кольцевая образующая поверхность резинового диска» с введением в зону трения кварцевого песка с фракцией 0,2-0,6 мм при гравитационной его подаче через калиброванное сопло с помощью дозатора. Нагрузка на образец составляла 15 Н, при продолжительности цикла 5 минут. Установлено, что ооскафен обладал наибольшей абразивной износостойкостью, за ним по убыванию следовали образцы ТКТП и ТКТ.

## ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF POLYMERS AND THEIR COMPOSITES DURING FRICTION WITH LOOSE GRAIN

*Biryukov V.P., Yakubovsky A.A., Goryunov Ya.A.*

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

**Keywords:** textolite, ascophene, free abrasive grain, morphology of the friction surface, abrasive wear, wear resistance.

**Abstract.** The work is devoted to determining the effect of the composition of a composite polymer material on abrasive wear resistance. Wear tests with free abrasive grain were performed according to the scheme "a flat sample (textolite TKT, TKTP, oskafen) – an annular forming surface of a rubber disc" with the introduction of quartz sand with a fraction of 0,2-0,6 mm into the friction zone during its gravitational supply through a calibrated nozzle using a dispenser. The load on the sample was 15 N, with a cycle duration of 5 minutes. It was found that ascopen had the highest abrasive wear resistance, followed by samples of TKTP and TKT in descending order.

Образцы полиэфирных композитов [1], армированные волокнами сахарного тростника длиной (1, 5, 10 мм) SCF (C-SCRП) получали путем длительного перемешивания вручную для получения однородного распределения волокон. Отверждение образцов в формах с размерами 90×90×20 мм проводили в течение 24 часов при комнатной температуре и выдерживали еще 24 часа на воздухе. Однонаправленные полиэфирные композиты, армированные SCF (U-SCRП) получали послойной заливкой полиэфирной смолы на слой волокна сахарного тростника и последующим отверждением по тем же режимам. Размер образцов для испытаний на абразивное изнашивание составлял 11×11×20 мм. Триботехнические испытания образцов композитов проводили по схеме: «цилиндр (нержавеющая сталь диаметром 60 мм с закрепленной наждачной бумагой из

карбида кремния (SiC) с зернистостью P400) – торец прямоугольного образца композита 11×11 мм» при нагрузках 5, 10, 15, 20 и 25 Н, скоростях скольжения 0,157, 0,314 и 4,71 м/с, соответствующих частотам вращения 50, 100 и 150 мин<sup>-1</sup> при продолжительности теста 180 с. Абразивная стойкость композитов C-SCRП и U-SCRП уменьшалась при увеличении нормальной нагрузки и была менее чувствительна к изменению скорости скольжения. Композитный материал C-SCRП с длиной волокна 1 мм обеспечивал наименьший износ по сравнению с композитным материалом с длиной волокна 5 и 10 мм.

Исследования на абразивное изнашивание проводились на полимерных композитах [2] с матричной основой из эпоксидной смолы и армирующей фазы корунда Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> чистой 99% с размером зерна F220, F240, F280, F320, F360, что соответствует 53, 44,5, 36,5, 29,2 и 22,8 мкм. В качестве эталона использовали образцы из эпоксидной смолы. Для приготовления композиционных образцов методом гравитационного литья использовали эпоксидную смолу Л285 в смеси с отвердителем МГС Н285, а также корунд с массовой долей 5%, 10%, 15%, 20% и 25%. Изготовленные образцы испытывались в условиях абразивного износа при возвратно-поступательном движении с использованием триботестера Taber Linear Abraser, модель 5750 (Норт Тонаванда, штат Нью-Йорк, США). Абразивный камень с зернистостью P200, использованный на испытательном стенде, имел диаметр 6,6 мм. Путь трения составлял 177,8 мм/цикл, при нагрузке 18,50 Н. При сравнении износа композитов с добавкой различных зерен установлено, что наибольшее влияние на снижение абразивного износа испытываемых образцов оказывал корунд с размерами зерен F220 и F240. Однако с учетом параметров шероховатости корунд F280 позволил получить самые низкие параметры шероховатости Ra примерно на уровне 1 мкм, а Rmax в среднем составил 76 мкм при массовой доле 15%.

Образцы композиционных материалов [3] на основе эпоксидной смолы Pr 257 и отвердителя Aradur 140 с добавлением стекловолокон типа E-Glass с низким содержанием щелочи. Размеры изготовленной пластины составляли 200×200×10 мм. Введение алюминиевой пудры, как наполнителя в композит из эпоксидного стекловолокна привело к увеличению плотности образцов. Триботехнические испытания проводились по схеме: «штифт-диск» на машине трения DUCOM TR-210С. Добавление алюминиевых наполнителей в эпоксидные стекловолоконные композиты привело к увеличению твердости образцов EG5 и ее снижению для EG10. Абразивная износостойкость всех образцов с добавками алюминиевой пудры росла при всех исследованных нагрузках 5, 10 и 15 Н. Оптимальное процентное содержание алюминиевой пудры, используемой для изготовления композита, составляло от 5 до 10%. Добавление наполнителя в эпоксидно-стекловолоконный композит благоприятно влияло на абразивные свойства (зернистость 150, 320 и 600 мкм). Однако для всех применяемых условий испытаний наблюдалась тенденция к изменению коэффициента трения. При исследовании морфологии поверхности трения обнаружены трещины, основной механизм изнашивания соответствовал микрорезанию.

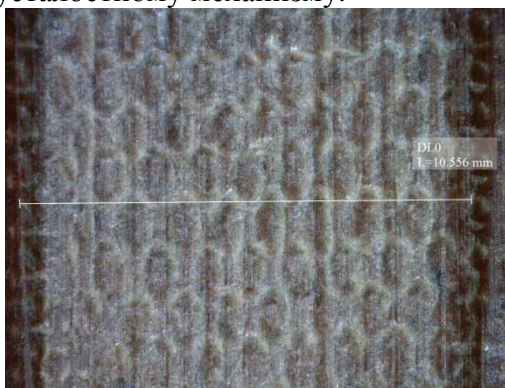
Цель работы заключалась в определении стойкости к абразивному изнашиванию незакрепленным абразивным зерном кварцевого песка образцов из текстолита ТПТ (1), ТПТК (2) и оксафена (3).

Образцы текстолита с размерами 70×20×5 мм наклеивались на вкладыш с размерами 70×20×10 мм с применением цианоакрилатного клея. Испытания на абразивное изнашивание незакрепленным зерном выполняли по схеме: «кольцевая поверхность резинового диска – широкая сторона плоского образца (текстолит ТПТ, ТПТК, оксафен)». В качестве абразива использовали кварцевый песок с размером частиц 0,2-0,6 мм с гравитационной подачей его через калиброванное отверстие в тракте питателя. Результаты испытаний на абразивное изнашивание незакрепленным зерном по трем образцам представлены в таблице 1.

Табл. 1. Потеря массы образцов при испытании закрепленным абразивным зерном

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
1.1	17,6658	17,6658	0,1444	0,1456
1.2	16,6735	16,5266	0,1469	
1.3	16,3258	16,1802	0,1456	
2.1	18,1064	17,9629	0,1435	0,1419
2.2	16,4066	16,2660	0,1406	
2.3	16,4546	16,313	0,1416	
3.1	16,1868	16,0608	0,126	0,1263
3.2	16,9393	16,8133	0,126	
3.3	17,7361	17,6092	0,1269	

Морфология поверхностей трения текстолита и оксафена представлена на рисунке 1. На данном рисунке видно, что основным механизмом износа ТПТ и ТПТК было микрорезание, а у оксафена износ проходил в основном по усталостному механизму.



а



б

Рис. 1. Морфология поверхности трения полимеров при трении незакрепленным абразивным зерном: а – ТПТ, б – ТПТК



В

Рис. 1. Морфология поверхности трения полимеров при трении незакрепленным абразивным зерном: в – ооскафен

### Выводы

Проведенные эксперименты показали, что максимальной износостойкостью при изнашивании незакрепленным абразивным зерном обладали образцы ооскафена, далее по убыванию износостойкости следовали образцы ТПТК и ТПТ.

### Список литературы / Reference

1. El-Tayeb N.S.M. Abrasive wear performance of untreated SCF reinforced polymer composite // Journal of materials processing technology. 2008, vol. 206, pp. 305-314. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.028.
2. Krzyzak A., Kosicka E., Szczepaniak R. Research into the Effect of Grain and the Content of Alundum on Tribological Properties and Selected Mechanical Properties of Polymer Composites // Materials. 2020, vol. 13, pp. 5735-5750. DOI: 10.3390/ma13245735.
3. Pavana Kumara B., Souza R.D., Saakshath G., Fernandez J.B., Jason Brenden D.S. Abrasive Wear Performance of Aluminium Modified Epoxy-Glass Fibre Composites // International Journal of Materials Engineering. 2017, vol. 7(3), pp. 55-60. DOI: 10.5923/j.ijme.20170703.03.

<b>Бирюков Владимир Павлович</b> – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	<b>Biryukov Vladimir Pavlovich</b> – candidate of technical Sciences, leading researche
<b>Якубовский Антон Алексеевич</b> – младший научный сотрудник	<b>Yakubovsky Anton Alekseevich</b> – junior researcher
<b>Горюнов Ярослав Алексеевич</b> – младший научный сотрудник	<b>Goryunov Yaroslav Alekseevich</b> – junior researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 04.04.2024