

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К АБРАЗИВНОМУ ИЗНАШИВАНИЮ ПОЛИМЕРОВ ПРИ ТРЕНИИ НЕЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВОМ

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

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

Ключевые слова: полимеры, абразивное изнашивание, незакрепленный абразив, потеря массы образца, абразивная стойкость, морфология поверхности трения.

Аннотация. Работа посвящена определению стойкости к абразивному изнашиванию незакрепленным абразивным зерном сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ), полиэтилентерефталата (ПЭТ), полиоксиметилена (ПОМ) и полиуретана (ПУ). Получены закономерности износостойкости незакрепленным абразивом в зависимости марки полимера. Наибольшей износостойкостью обладали образцы СВМПЭ, за ними по убыванию износостойкости следовали образцы ПЭТ, ВМПЭ, ПОМ и ПУ. Результаты исследований могут быть использованы для замены металлических деталей в автомобилестроении, кораблестроении и подвижном составе железнодорожного транспорта.

DETERMINATION OF RESISTANCE TO ABRASIVE WEAR OF POLYMERS DURING FRICTION WITH LOOSE ABRASIVE

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

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

Keywords: polymers, abrasive wear, loose abrasive, sample mass loss, abrasion resistance, friction surface morphology.

Abstract. The work is devoted to determining the resistance to abrasive wear by loose abrasive grain of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), high molecular polyethylene (HMPE), polyethylene terephthalate (PET), polyoxymethylene (POM) and polyurethane (PU), the patterns of wear resistance by loose abrasive depending on the polymer brand are obtained. UHMWPE samples had the highest wear resistance, followed by PET, HMPE, POM and PU samples in descending order of wear resistance. The research results can be used to replace metal parts in the automotive industry, shipbuilding and rolling stock of railway transport.

Смеси полиэтилена [1] высокой плотности (ВМПЭ) и полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы (СВМПЭ) были получены путем смешивания в расплавленном состоянии в концентрациях от 10 до 30% по массе в двухшнековом экструдере. Стойкость смесей к истиранию была оценена в соответствии со стандартом DIN53516, и было обнаружено, что объемные потери смесей уменьшались с увеличением концентрации СВМПЭ. Механические свойства образцов были проанализированные с точки зрения прочности на изгиб, растяжение и удар; в целом, смеси ВМПЭ/СВМПЭ обладали хорошим набором свойств, большинство из которых были лучше, чем свойства чистого ВМПЭ. Морфологический анализ, проведенный с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), показал, что

СВМПЭ присутствует в ВМПЭ матрице и между ними существует хорошее взаимодействие. Обнаружена обратная зависимость между объемными потерями при абразивном износе образцов, и пределом прочности при растяжении.

Композиты [2] на основе СВМПЭ с добавлением волокон как термопластичные, так и термореактивные находят широкое применение в различных областях например, военные защитные костюмы, автомобильное, аэрокосмическое, электронное оборудование, трибологические материалы. СВМПЭ широко используется при разработке баллистических защитных доспехов. Помимо областей применения, где ударпрочность является ключевым требованием, композиты на основе СВМПЭ в настоящее время используются в таких областях, как биомедицинские имплантаты, антифрикционные системы.

Различные количества коротких волокон (стеклянных и углеродных) и гранулированных наполнителей, таких как политетрафторэтилен (ПТФЭ), карбид кремния (SiC) и оксид алюминия (Al_2O_3), вводились в матрицу из термопластичного сополиэфирного эластомера (ТСЭ) для увеличения прочности и износостойкости [3]. Были проведены испытания на разрыв для определения модуля упругости и на абразивное изнашивание при гравитационной подаче песка в зону трения между образцом и резиновым кругом. При более низких температурах (в стеклообразной области) модуль упругости увеличивался с увеличением массовой доли армирования (волокно + наполнители), и это значение является максимальным для композита с 40 масс.% армирования. Результаты испытаний на абразивный износ показали, что ПТФЭ композит с наполнителем из ТСЭ обладал лучшей стойкостью к истиранию. Однако повышение стойкости к истиранию не было достигнуто за счет использования коротковолокнистых и дисперсных наполнителей. На основе экспериментальных данных была получена оптимальная комбинация факторов для минимального объема износа.

Для получения композитных образцов [4] в качестве основного материала использовали термопластичный полиуретан с добавками стекловолокна длиной 3-4 мм и диаметром около 8-10 мкм с различным весовым соотношением 10 (PU-I), 20 (PU-II), 30 (PU-III) и 40 (PU-IV)%, с помощью двухшнекового экструдера при температуре 280°C. Абразив подавался на контактирующую поверхность между вращающимся резиновым кругом и испытуемым образцом. Испытания проводились при частоте вращения 200 мин⁻¹. Скорость подачи абразива составляла 255,5 г/мин. Абразивные частицы кварцевого песка марки AFS 60 имели угловатую форму с острыми краями. Эксперименты проводились при двух различных нагрузках 22 и 32 Н. при постоянной скорости скольжения 2,15 м/с. Кроме того, расстояние истирания варьировалось с шагом 150 м от 150 до 600 м.

Объем изнашиваемого материала увеличивался с увеличением содержания короткого стекловолокна. Увеличение содержания материала с высокой степенью истирания в гибкой полиуретановой матрице, как и ожидалось, увеличивало скорость износа композитов. Объем износа композитов при нагрузке 22 Н находился в диапазоне $0,04-0,11 \times 10^3$ и $0,12-0,24 \times 10^3$ мм³ на пути трения 150 и 600 м соответственно.

Целью нашей работы было определение величины абразивного изнашивания незакрепленным абразивным зерном различных полимерных материалов.

Для выполнения экспериментов были изготовлены прямоугольные образцы полимеров сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) (1), высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ) (2), полиэтилентерефталата (ПЭТ) (3), полиоксиметилена (ПОМ) (4) и полиуретана (ПУ) (5). Испытания на абразивное изнашивание незакрепленным абразивным зерном проводили по схеме: «кольцевая поверхность резинового диска – широкая сторона плоского образца (полимер)». В зону трения с помощью дозатора, через втулку с калиброванным отверстием, гравитационно подавался кварцевый песок с размером частиц 200-600 мкм. К вращающемуся диску прижимался образец полимера под нагрузкой 15 Н. Время цикла испытаний составляло 5 минут. Потерю массы образцов определяли с помощью электронных аналитических весов с точностью измерений 0,0001 г. Морфологию поверхностей трения образцов определяли с помощью цифрового микроскопа.

На рисунке 1 представлены поверхности трения полимеров после испытаний незакрепленным абразивным зерном. У образцов СВМПЭ основным механизмом изнашивания был усталостный износ. Основным видом изнашивания образцов ВМПЭ, ПЭТ и ПОМ было микрорезание. Для образцов ПУ преобладающим было усталостное изнашивание.

Результаты испытаний на абразивное изнашивание незакрепленным абразивным зерном по трем образцам представлены в таблице 1.

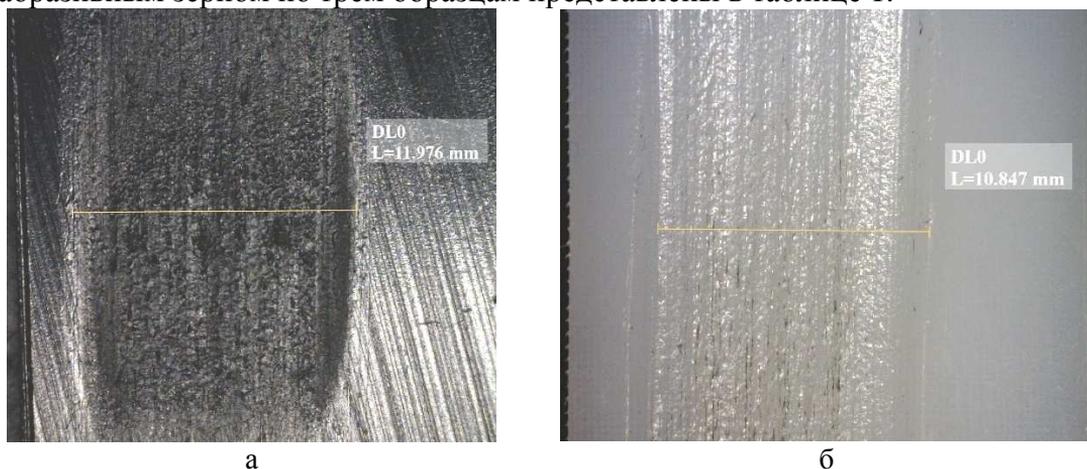


Рис. 1. Морфология поверхностей трения полимеров при трении незакрепленным абразивным зерном: а – СВМПЭ, б – ВМПЭ

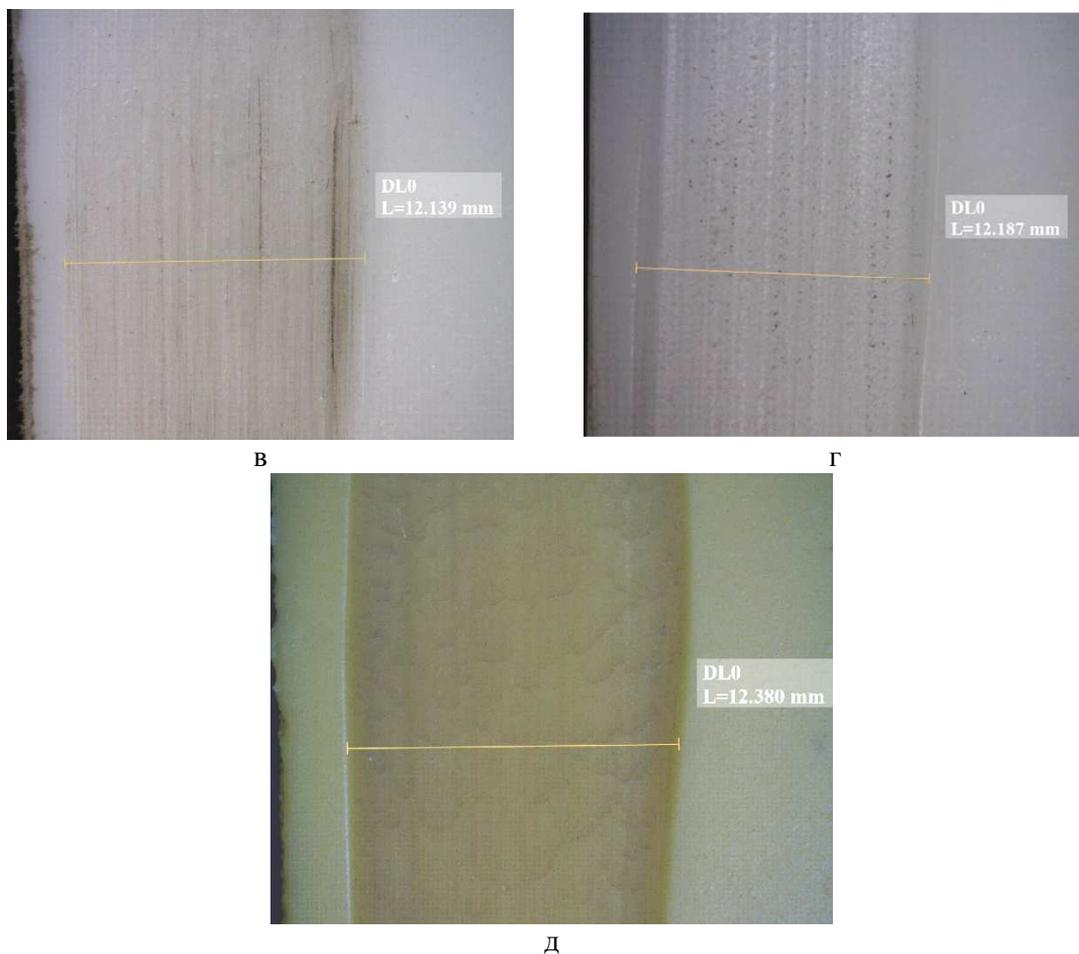


Рис. 1. Морфология поверхностей трения полимеров при трении незакрепленным абразивным зерном: в – ПЭТ, г – ПОМ, д – ПУ

Табл. 1. Потеря массы образцов при трении незакрепленным абразивом

Номер образца	Масса до испытания, г	Масса после испытания, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
1,1	8,6563	8,6493	0,007	0,01153
1,2	8,6493	8,6342	0,0151	
1,3	8,4968	8,4843	0,0125	
2,1	8,6827	8,5804	0,1023	0,1554
2,2	8,5804	8,3758	0,2046	
2,3	8,8186	8,6594	0,1592	
3,1	13,2751	13,2540	0,0211	0,0179
3,2	13,2540	13,2401	0,0139	
3,3	13,7063	13,6874	0,0189	
4,1	8,9647	8,5390	0,4257	0,4054
4,2	8,5390	8,1542	0,3848	
4,3	9,1669	8,7613	0,4056	

Табл. 1. Продолжение

Номер образца	Масса до испытания, г	Масса после испытания, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
5,1	12,7397	12,4315	0,3082	0,2705
5,2	12,4315	12,2125	0,219	
5,3	12,7707	12,4863	0,2844	

Выводы. Определено влияние марки полимера на стойкость к абразивному изнашиванию при трении незакрепленным абразивным зерном. Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному износу обладали образцы СВМПЭ, за ними по убыванию износостойкости следовали образцы ВМПЭ, ПЭТ, ПОМ и ПУ.

Список литературы / References

1. Lucas A.A., Ambrósio J.D., Otaguro H., Costa L. C., Agnelli J.A.M. Abrasive wear of HDPE/UHMWPE blends // *Wear*. 2011, vol. 270, pp. 576-583. DOI: 10.1016/j.wear.2011.01.011.
2. Khan A.N., Gupta M., Mahajan P., Das A., Alagirusamy R. UHMWPE textiles and composites // *Textile Progress*. 2021, vol. 53(4), pp. 183-335. DOI: 10.1080/00405167.2022.2087400.
3. Rajashekaraiyah H., Mohan S., Pallathadka P.K., Bhimappa S. Dynamic Mechanical Analysis and Three-Body Abrasive Wear Behaviour of Thermoplastic Copolyester Elastomer Composites // *Advances in Tribology*. 2014. DOI: 10.1155/2014/210187.
4. Suresha B., Chandramohan G., Jawali N.D. Effect of Short Glass Fiber Content on Three-Body Abrasive Wear Behaviour of Polyurethane Composites // *Journal of Composite Materials*. 2007, vol. 41(22), pp. 2701-2713. DOI: 10.1177/0021998307078730.

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
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 15.06.2024