

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-22-43-47>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ И ПОТЕРИ МАССЫ ПОЛИМЕРНЫХ ОБРАЗЦОВ ЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВОМ

Бирюков В.П., Якубовский А.А.

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

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полиэфирэфиркетон, полифениленсульфид, полиэфиримид, морфология поверхности трения, потеря массы, закрепленный абразив, износостойкость.

Аннотация. Работа посвящена определению морфологии поверхности трения и потере массы образцов полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида, полиэфиримида и сверхвысокомолекулярного полиэтилена при изнашивании закрепленным абразивом. Испытания были выполнены по схеме: «широкая сторона плоского образца полимера – кольцевая поверхность стальной оправки с наклеенной наждачной бумагой». Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному износу обладали образцы с сверхвысокомолекулярного полиэтилена, далее по убыванию стойкости следовали образцы полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида и полиэфиримида.

DETERMINATION OF THE MORPHOLOGY OF THE FRICTION SURFACE AND MASS LOSS OF POLYMER SAMPLES WITH A FIXED ABRASIVE

Biryukov V.P., Yakubovsky A.A.

*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, fixed abrasive, wear resistance

Abstract. The work is devoted to the determination of the morphology of the friction surface and mass loss of samples of polyetheretherketone, polyphenylene sulfide, polyetherimide and ultrahigh molecular weight polyethylene when worn with a fixed abrasive. The tests were performed according to the scheme: "wide side a flat polymer sample is an annular surface of a steel mandrel with sandpaper glued on." It was found that samples with ultrahigh molecular weight polyethylene had the greatest resistance to abrasive wear, followed by samples of polyetheretherketone, polyphenylene and polyetherimide in descending order of resistance.

Для получения композиционных полимерных образцов были изготовлены смеси на основе порошка сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [1] с молекулярной массой $4,0 \cdot 10^6$ и наполнителями: частицами гидроокиси алюминия $AlO(OH)$ (2-5 мкм), оксида алюминия (Al_2O_3 , 50 мкм), меди (Cu, 90-100 нм), оксида кремния (SiO_2 , 20-30 нм), углеродными нано волокнами (УНВ, диаметром 60 нм, длиной 2-3 мм). Испытания на абразивный износ проводилось с использованием испытательной машины МИ-2, по схеме: «ролик (с наклеенной наждачной

бумагой) – плоский прямоугольный образец (полимер, композит)». Параметры эксперимента при сухом трении и абразивном износе были следующими: нагрузка – 0,15 МПа, скорость скольжения диска – 17,0 м/мин. Была использована абразивная шкурка с различной зернистостью Р 240, Р 400 и Р 1000. Размер образцов для испытаний на износ составлял 7×7×10 мм. Износ оценивали путем взвешивания образцов с последующим расчетом потери массы через 5 минут испытаний. Стойкость к абразивному износу композитов на основе СВМПЭ повышалась в 16-18 раз при наполнении СВМПЭ микрочастицами $\text{AlO}(\text{OH})$ и Al_2O_3 . Основную роль в абразивной износостойкости образцов композитов играло соотношение размеров частиц микронаполнителя и абразивных зерен. Абразивная износостойкость композитов несколько выше по сравнению с износостойкостью тех же композитов при сухом трении скольжения. Положительная роль нанонаполнителей в качестве твердой смазки при абразивном износе для повышения износостойкости полимерных композитов сдерживалась диспропорцией размеров нанонаполнителей и зернистостью абразивного материала.

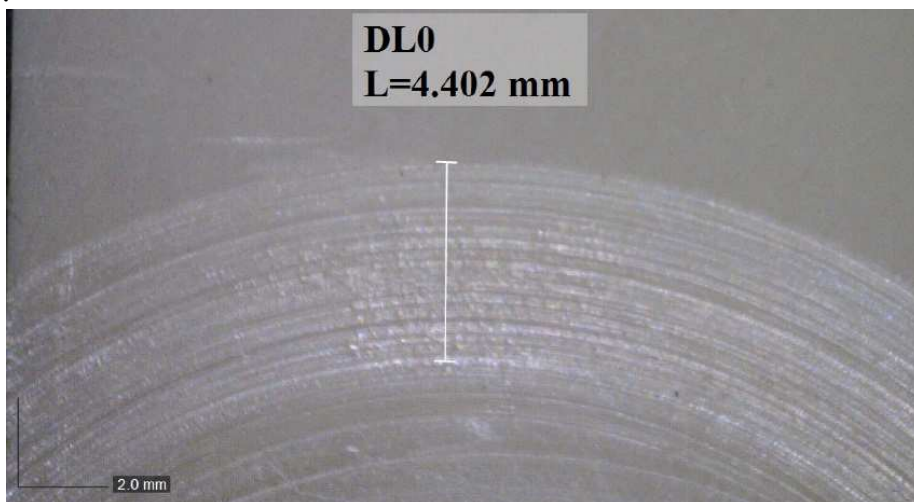
Образцы [2] СВМПЭ и композиционные образцы с добавками карбида кремния СВМПЭ+SiC (40-600 нм) для определения абразивной износостойкости были изготовлены из листов, полученных методом горячего прессования с последующей механической обработкой до размеров 30×7×6 мм. Испытания на изнашивание проводили по схеме: «кольцо (с наклеенной на образующую поверхность наждачной бумагой) – полимерный образец». В качестве рабочей поверхности использовалась абразивная бумага (Al_2O_3), наклеенная на кольцо (сталь 45) диаметром 40 мм толщиной 10 мм с внутренним диаметром 10 мм. Кольцо вращали в течение 150 с с частотой 200 мин⁻¹. Все образцы с добавками SiC имели более высокую износостойкость по сравнению с образцами СВМПЭ, при этом оптимальный размер частиц SiC составлял 150 нм.

Образцы композитов [3] на основе СВМПЭ были получены при добавлении порошков в количестве 2, 4, 6, 8, 10 и 12 мас.% нитрида кремния (Si_3N_4), нитрида алюминия (AlN) и нитрида титана (TiN) со средним диаметром 35, 22 и 17 мкм соответственно. Исследования абразивного износа были проведены на машине трения UMT 3MT по схеме: «штифт (с размерами 10×10×3,5 мм) – диск (с наклеенной наждачной бумагой Р120)». Штифт сначала шлифовали водостойкой наждачной бумагой из карбида кремния Р600 при линейной скорости 0,25 м/с до полного контакта с поверхностью. Испытания были проведены при четырех различных нагрузках 25, 50, 75 и 100 Н, скорости скольжения 0,024 м/с. Было установлено, что оптимальным для достижения максимальной износостойкости является содержание наполнителя в количестве 10 мас.%.

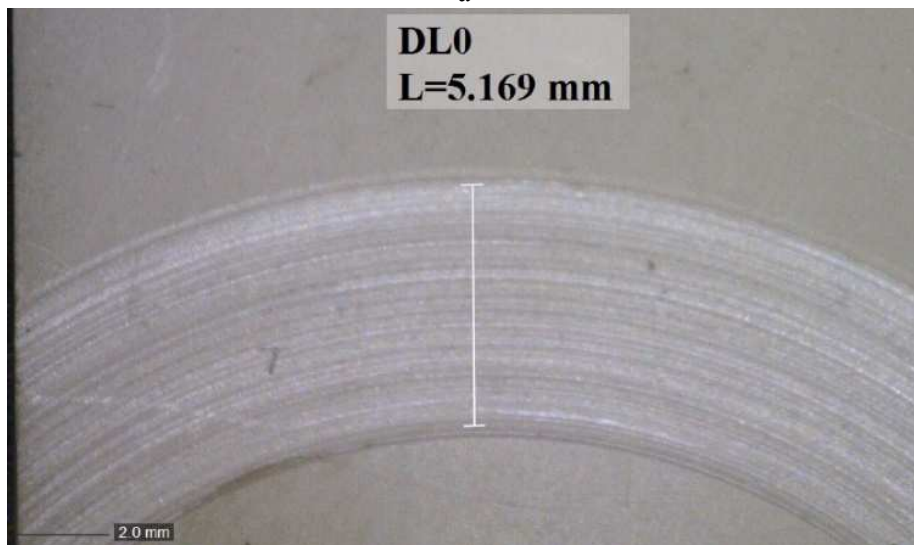
Целью нашей работы было определение морфологии поверхности трения и потери массы образцов полимеров при испытании закрепленным абразивом.

Для проведения экспериментальных работ были изготовлены плоские прямоугольные образцы полимеров полиэфирэфиркетона (1) (ПЭЭК) (ZX324), полифениленсульфида (2) (ПФС) (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 с вертикальной осью вращения, в патрон шпинделя, которой устанавливалась оправка с торцевой поверхностью в виде кольца с наклеенной на нее наждачной бумагой.

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

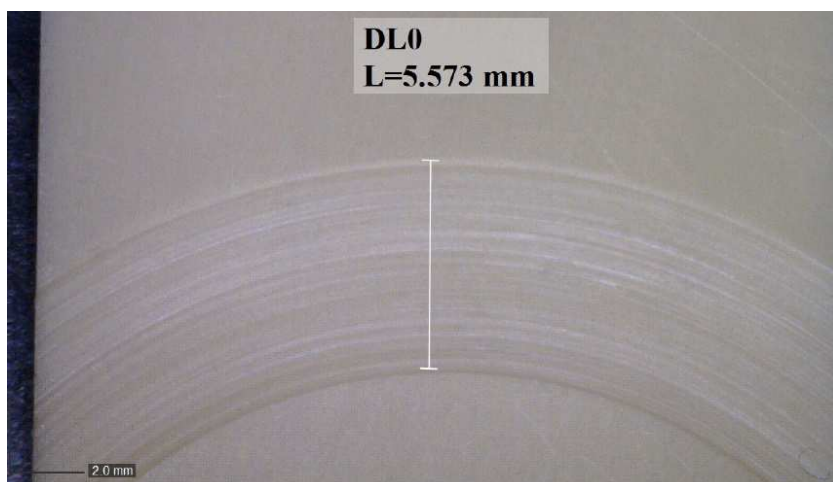


а

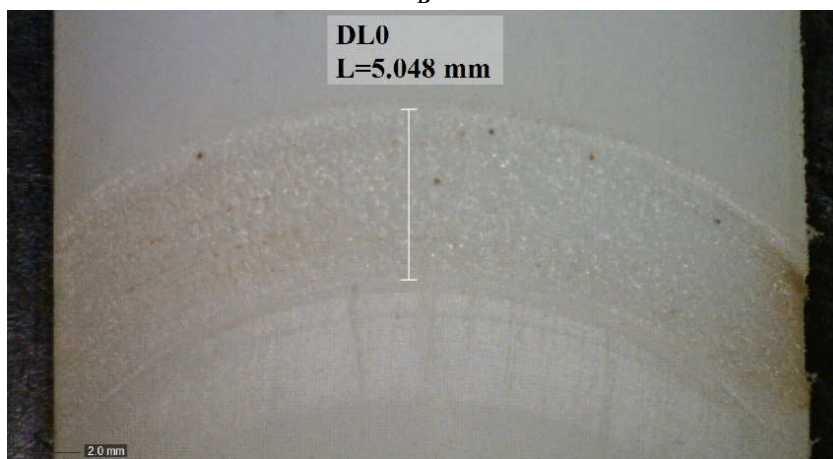


б

Рис. 1. Морфология поверхностей трения полимерных образцов после испытаний закрепленным абразивом: а – ПЭЭК, б – ПФС



В



Г

Рис. 1. Морфология поверхностей трения полимерных образцов после испытаний закрепленным абразивом: в – ПЭИ, г – СВМПЭ

В таблице 1 представлены результаты испытаний на износ закрепленным абразивом. Наибольшей износостойкостью обладали образцы СВМПЭ, за ними по возрастанию потери массы следовали ПЭЭК, ПФС и ПЭИ.

Табл. 1. Результаты изнашивания закрепленным абразивом

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
1,1	21,5941	21,5826	0,0115	0,0101
1,2	21,5894	21,5796	0,0098	
1,3	21,5765	21,5654	0,0091	
2,1	25,2288	25,1874	0,0414	0,0414
2,2	25,2176	25,1734	0,0442	
2,3	25,2237	25,1851	0,0386	

Табл. 1. Продолжение

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
3,1	21,4332	21,3884	0,0448	0,0440
3,2	21,4524	21,4112	0,0412	
3,3	21,4284	21,3822	0,0462	
4,1	15,2983	15,8924	0,0059	0,0057
4,2	15,3186	15,3118	0,0068	
4,3	15,3143	15,3097	0,0046	

Выводы. Определено влияние состава полимерных образца на потерю массы закрепленным абразивом. Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному изнашиванию обладали образцы СВМПЭ, за ними по возрастанию потери массы следовали образцы ПЭЭК, ПФС и ПЭИ. Основным механизмом износа образцов СВМПЭ было усталостное изнашивание, а для остальных образцов микрорезание.

Список литературы / References

1. Panin S., Kornienko L., Thuc N.X., Ivanova L.R., Shilko S.V. Role of micro-and nanofillers in abrasive wear of composites based on ultra-high molecular weight polyethylene // Advanced Materials Research. 2014, vol. 1040, pp. 148-154. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.148.
2. Zhang, H., Zhao, S., Xin, Z., Ye C., Li Z., Xia J., Li J. Mechanism of size effects of a filler on the wear behavior of ultrahigh molecular weight polyethylene // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2020, vol. 28, pp. 1950-1963. doi.org/10.1016/j.cjche.2020.03.001.
3. Kumar A., Bijwen J., Sharma S. Hard metal nitrides: Role in enhancing the abrasive wear resistance of UHMWPE // Wear. 2017, vol. 378-379, pp. 35-42. doi.org/10.1016/j.wear.2017.02.010.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 12.05.2025