

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ПРИ ПОДАЧЕ В ЗОНУ ТРЕНИЯ АБРАЗИВНО-МАСЛЯНОЙ СУСПЕНЗИИ

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, высокомолекулярный полиэтилен, абразивно-масляная суспензия, объем износа, удельная интенсивность изнашивания, сталь 45.

Аннотация. В данной работе приведены результаты испытаний, а также формулы для расчета объема износа и удельной интенсивности изнашивания образцов сверхвысокомолекулярного и высокомолекулярного полиэтилена в паре со сталью 45. Испытания проводились по схеме: «колодка (полимер) – ролик (сталь 45)» с дозированной подачей абразивно-масляной суспензии. Результаты показали, что образцы высокомолекулярного полиэтилена имели наименьший объем износа и удельную интенсивность изнашивания, чем образцы сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

DETERMINATION OF THE WEAR INTENSITY OF HIGH-MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE WHEN AN ABRASIVE-OIL SUSPENSION IS SUPPLIED INTO THE FRICTION ZONE

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: ultra-high-molecular-weight high-density polyethylene, high-molecular-weight polyethylene, abrasive-oil suspension, wear volume, specific wear rate, 45 steel.

Abstract. This paper presents the test results, as well as formulas for calculating the wear volume and specific wear intensity of ultra-high molecular weight and high molecular weight polyethylene samples paired with 45 steel. The tests were conducted using a "block (polymer) on ring (45 steel)" scheme with a metered supply of an abrasive-oil suspension. The results showed that high molecular weight polyethylene samples had a lower wear volume and specific wear rate than ultra-high molecular weight polyethylene samples.

Высокомолекулярный полиэтилен (ВМПЭ, СВМПЭ) – это разновидность конструкционных полимеров, которые нашли применение в узлах трения различных агрегатов. СВМПЭ применяют в качестве кормовых подшипников. Также детали из СВМПЭ обеспечивают эффективное демпфирование вибраций.

Для сравнения триботехнических свойств полимеров были изготовлены образцы с размерами 30×7×4 мм из исходного СВМПЭ (300 мкм) [1] и СВМПЭ с добавлением 0-30 мас.% полипропилена (ПП). Испытания для определения триботехнических характеристик проводились по схеме: «колодка (полимер) – ролик (сталь)» при нагрузке 30 кг и частоте вращения ролика 200 мин⁻¹ в течение 30 минут. Ролик, изготовленный из стали 45

(50 HRC), имел внешний диаметр 40 мм. Шероховатость образующей поверхности ролика составляла Ra 0,015 мкм. По результатам испытаний получено, что наименьший коэффициент трения 0,11 имели образцы СВМПЭ, содержавшие 25 мас. % ПП, что в 1,7 раз ниже, чем у образцов исходного СВМПЭ 0,19. Самая малая ширина лунки износа 5,5 мм также получена у образцов СВМПЭ, содержавших 25 мас. % ПП, что в 18% меньше, чем у образцов исходного СВМПЭ.

Образцы СВМПЭ ($0,935 \text{ г/см}^3$) [2] с размерами $10 \times 10 \times 5$ мм были подвергнуты триботехническим испытаниям с применением схемы: «колодка (полимер) – ролик (сталь)». Испытания проходили при нагрузке 15, 30 и 50 кг и частоте вращения ролика 200 и 400 мин^{-1} в течение 60, 90 и 120 минут. Ролик, изготовленный из стали 45 (50 HRC), имел внешний диаметр 50 мм и толщину 10 мм. Шероховатость образующей поверхности ролика составляла Ra 0,3 мкм. Коэффициент трения образцов варьировался в диапазоне 0,09-0,12. Замечено, что во время испытаний при нагрузке 30 кг увеличение частоты вращения ролика с 200 мин^{-1} до 400 мин^{-1} приводило к росту потери массы с 3 до 90 мг.

Для проведения сравнительных испытаний триботехнических характеристик полимеров были подготовлены три группы образцов. В группе 1 находились образцы СВМПЭ [3], модифицированные стекловолокном (СВ) длиной 120-150 мкм. Группу 2 входили образцы СВМПЭ, содержавшие СВ длиной 150 мкм. Группа 3 включала в себя образцы СВМПЭ с добавлением СВ длиной 330 мкм. Часть образцов каждой партии была также модифицирована 10 мас. % стекловолокном длиной 200 мкм и диаметром 9-14 нм. Испытания для определения трибологических характеристик проводились по схеме: «колодка (полимер) – ролик (сталь)» при нагрузке 60 и 140 Н и скорости скольжения 0,3 и 0,5 м/с. Путь трения составил 1 км. Ролик имел внешний диаметр 35 мм и толщину 11 мм. Шероховатость образующей поверхности ролика составляла Ra 0,20-0,25 мкм. По результатам испытаний установлено, что наименьшим коэффициентом трения 0,09 обладали образцы из группы 2, что на 10 и 20% ниже, чем у образцов из группы 1 – 0,10 и 3 – 0,11. Минимальную скорость изнашивания $40 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{м}$ при нагрузке 140 Н и скорости скольжения 0,5 м/с также имели образцы из группы 2, что в 1,17 и 1,42 раза меньше, чем у образцов из группы 1 $47 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{м}$ и группы 3 $57 \cdot 10^{-5} \text{ мм}^3/\text{м}$.

Целью работы являлось определение интенсивности изнашивания высокомолекулярного и сверхвысокомолекулярного полиэтилена при трении о ролик из стали 45 с подачей в зону трения абразивно-масляной суспензии.

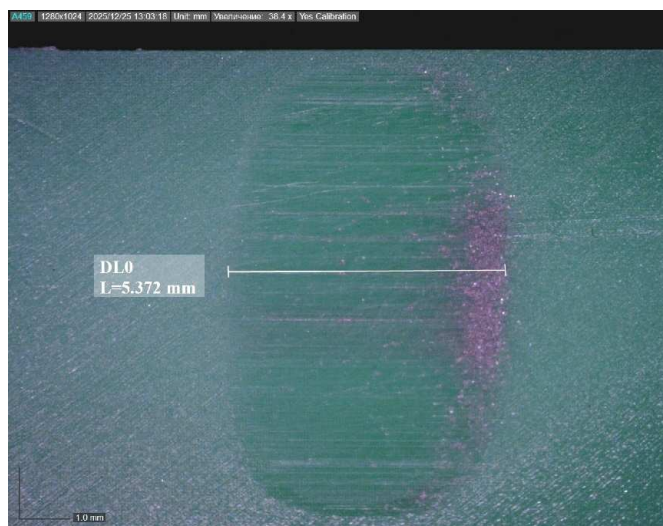
Образцы полимеров с размерами $20 \times 10 \times 10$ мм были изготовлены из сверхвысокомолекулярного (1) (PE-1000), (2) (PE-9000) и высокомолекулярного (3) (PE-500) полиэтилена. Испытания для определения коэффициента трения были проведены по схеме: «колодка – ролик» с дозированной подачей абразивно-масляной суспензии при нагрузке 400 Н и скорости скольжения 0,785 м/с. Ролик диаметром 50 и высотой 10 мм был изготовлен из стали 45 (145 HV_{0,1}). Частота вращения ролика составляла 300 мин^{-1} . Суспензия на основе гидравлического масла МГЕ-10А,

содержавшая 3 мас. % порошок карбида кремния (M28) (20 мкм), подавалась со скоростью 40 ± 5 капель/мин. Перед каждым испытанием образующая поверхность ролика обрабатывалась наждачной бумагой зернистостью P180.

На рисунке 1 представлены снимки поверхностей трения полимеров после испытаний. Исследование морфологии поверхностей трения полимерных образцов выявило, что основным механизмом изнашивания являлось микрорезание.

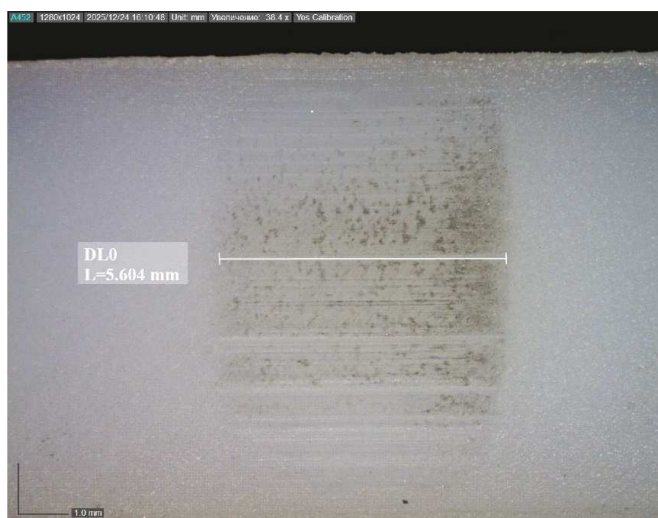


а



б

Рис. 1. Снимки поверхностей трения полимеров после испытаний:
а – PE-1000, б – PE-500



В

Рис. 1. Снимки поверхностей трения полимеров после испытаний: в – РЕ-9000

В таблице 1 приведены результаты испытаний по определению объема износа и удельной интенсивности изнашивания полимеров. Анализ полученных результатов показал, что наименьшим средним объемом износа $1,77 \text{ мм}^3$ обладали образцы РЕ-9000, что в 1,6 раз меньше, чем у РЕ-1000 $2,90 \text{ мм}^3$. Стоит отметить, что, образцы РЕ-500 обладали на 14 и 64% более низкой удельной интенсивностью изнашивания $18,77 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Нм}$, чем образцы РЕ-9000 $21,50 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Нм}$ и РЕ-1000 $30,79 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Нм}$.

Табл. 1. Результаты испытаний полимеров

№ образца	Материал	Объемный износ, мм^3	Средний объемный износ, мм^3	Удельная интенсивность изнашивания, $\cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Нм}$	Средняя удельная интенсивность изнашивания, $\cdot 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Нм}$
1.1	РЕ-1000 (СВМПЭ)	2,84	2,90	30,11	30,79
1.2		2,93		31,11	
1.3		2,93		31,16	
2.1	РЕ-9000 (СВМПЭ)	2,48	1,77	26,37	21,50
2.2		1,79		18,97	
2.3		1,82		19,26	
3.1	РЕ-500 (ВМПЭ)	1,86	2,03	19,70	18,77
3.2		1,94		20,59	
3.3		1,51		16,02	

Выводы. По результатам испытаний установлено, что образцы РЕ-500 имели в 1,14 и 1,64 раз более низкую удельную интенсивность изнашивания, чем образцы РЕ-9000 и РЕ-1000. Получено, что основным механизмом изнашивания являлось микрорезание.

Список литературы / Reference

1. Liu G., Chen Y., Li H., A study on sliding wear mechanism of ultrahigh molecular weight polyethylene/polypropylene blends // Wear. 2004, vol. 256, pp. 1088-1094. DOI: 10.1016/S0043-1648(03)00531-3.
2. Wang Y.Q., Li J., Sliding wear behavior and mechanism of ultra-high molecular weight polyethylene // Materials Science and Engineering. 1999, vol. A266, pp. 155-160. DOI: 10.1016/s0921-5093(99)00040-4.
3. Panin S.V., Kornienko L.A., Huang Q., Buslovich D.G., Bochkareva S.A., Alexenko V.A., Panov I.L., Berto F. Effect of Adhesion on Mechanical and Tribological Properties of Glass Fiber Composites, Based on Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Powders with Various Initial Particle Sizes // Materials. 2020, vol. 13, p. 1602. DOI: 10.3390/ma13071602.

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 22.02.2026