

АНАЛИЗ ИСПЫТАНИЙ НА ТРЕНИЕ И ИЗНОС ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Бирюков В.П.¹, Горюнов Я.А.¹, Гущин Д.С.²

¹*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва, Россия;*

²*Российский университет транспорта, Москва, Россия*

Ключевые слова: эластомер, термопластичный полиуретан, резина, морфология поверхности, гидравлическое масло, абразивно-масляная суспензия.

Аннотация. В данной работе рассматриваются результаты испытаний по определению геометрических параметров лунок износа образцов термопластичного полиуретана и термостойкого эластомера в паре со сталью. Трибологические испытания проходили по схеме: «колодка (полимер) – ролик (сталь 45)» с дозированной подачей абразивно-масляной суспензии. Результаты показали, что образцы термопластичного полиуретана имели в 1,4-1,6 раз меньшую глубину изношенных лунок, чем образцы термостойкого эластомера. Основным механизмом изнашивания образцов являлось микрорезание.

ANALYSIS OF FRICTION AND WEAR TESTS OF ELASTOMERIC MATERIALS

Biryukov V.P.¹, Goryunov Ya.A.¹, Gushchin D.S.²

¹*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia;*

²*Russian University of Transport, Moscow, Russia*

Keywords: elastomer, thermoplastic polyurethane, rubber, surface morphology, hydraulic oil, abrasive-oil suspension.

Abstract. This paper examines the results of tests to determine the geometric parameters of wear craters in thermoplastic polyurethane and heat-resistant elastomer samples paired with steel. Tribological tests were conducted using a "block (polymer) - ring (45 steel)" configuration with a metered supply of an abrasive-oil slurry. The results showed that thermoplastic polyurethane samples had 1.4-1.6 times smaller wear depth of track than heat-resistant elastomer samples. The primary wear mechanism for the samples was microcutting.

Для определения трибологических свойств, были изготовлены композитные образцы с высотой 10 мм и внешним диаметром 30 мм из термопластичного полиуретана (ТПУ) [1], смешанного с 1 мас. % углеродным волокном (УВ) с длиной 1-10 мм и диаметров 8-12 мкм, 0,5 мас. % графеновыми нанопластиками (ГНП) с размером частиц 7-12 мкм и 10 мас. % сверхвысокомолекулярным полиэтиленом (СВМПЭ). Трибологические испытания были проведены по схеме: «торец диска (полимер, композит) – торец медного диска» при нагрузке 45-407 Н, скорости скольжения 0,062-0,628 м/с в течение 2 часов. Диск, изготовленный из меди QSn4-3, имел внешний диаметр 40 и высоту 5 мм. По завершении испытаний установлено, что наименьший коэффициент трения 0,2 имели образцы ТПУ, содержавшие

10 мас. % СВМПЭ, что в 2,5 раза ниже, чем у образцов исходного ТПУ 0,5. Стоит отметить, что минимальную удельную интенсивность изнашивания $3 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм показывали образцы ТПУ, содержавшие 0,5 мас. % ГНП, что в 10 раз меньше, чем у образцов исходного ТПУ $30 \cdot 10^{-5}$ мм³/Нм.

Образцы ТПУ (1,15 г/см³) [2], смешанные с 0,1 мас. % воском (В), наполненные 10 мас. % графитом (Гр) с размером частиц 20 мкм, 1-5 мас. % наночастицами диоксида кремния (нано-SiO₂), 0,5-3 мас. % диоксидом титана (TiO₂) с размером частиц менее 5 мкм, 5-15 мас. % дисульфидом молибдена (MoS₂) с размером частиц менее 5 мкм и 3-10 мас. % диоксидом циркония (ZrO₂) с размером частиц менее 5 мкм были подвергнуты испытаниям для определения трибологических характеристик на возвратно-поступательной машине трения. Испытания на трение и износ проходили по схеме: «палец (сталь) – плоскость (полимер, композит)» при нагрузке 6,4 Н, частоте колебаний 4 Гц в течение 30 минут. Пальчиковый контробразец, изготовленный из стали 100Cr6, имел диаметр 6 мм. Длина хода составляла 5 мм. По завершении испытаний получено, что наименьшим коэффициентом трения 0,53 обладали образцы ТПУ с добавлением 15 мас. % MoS₂, что в 1,5 раза ниже, чем у чистого ТПУ 0,80. Найдено, что минимальной удельной интенсивностью изнашивания $0,22 \cdot 10^{-3}$ мм³/Нм обладали образцы ТПУ, содержавшие 10 мас. % ZrO₂, что в 5,5 раз меньше, чем у образцов исходного ТПУ $1,21 \cdot 10^{-3}$ мм³/Нм. Отмечено, что наибольшей удельной интенсивностью изнашивания $5,35 \cdot 10^{-3}$ мм³/Нм обладали образцы ТПУ, наполненные 5 мас. % MoS₂.

Для проведения сравнительных испытаний триботехнических характеристик полимеров были подготовлены образцы из чистого термопластичного полиуретана (ТПУ) (1,13 г/см³) [3] и ТПУ, наполненного 5 мас. % полимерными сферами (ТПУ+ПС) (0,98 г/см³) с размерами 38×13×6 мм. Испытания проходили на возвратно-поступательной машине трения с применением схемы: «палец (чугун) – плоскость (полимер, композит)» при нагрузке 4-6 Н, частоте колебаний 0,5-2 Гц в течение 6000-60000 циклов. Длина хода составляла 6 и 10 мм. Пальчиковый контробразец, изготовленный из чугуна марки GG25, имел диаметр 6,5 и длину 20 мм. По завершении испытаний определено, что наименьший коэффициент трения 0,7 имели образцы исходного ТПУ, что в 1,14 раз ниже, чем у образцов ТПУ+ПС 0,8. Отмечено, что при повышении температуры до 60°C объемный износ образцов чистого ТПУ достиг 0,8 мм³, что в 2,6 раза меньше, чем у образцов ТПУ+ПС 2,1 мм³. Отмечено, что результаты испытаний зависели от температуры и шероховатости поверхности пальчикового контробразца.

Целью работы являлось определение геометрических параметров лунок износа термопластичного полиуретана и термостойкого эластомера при трении о стальной ролик.

Образцы с размерами 20×10×3 мм, изготовленные из ТПУ различных марок (1175А, 1185А и 1195А) и термостойкого эластомера (резина 7-7130), были закреплены на брусках с размерами 20×10×7 мм. Испытания были

проведены по схеме: «колодка – ролик» с дозированной подачей абразивно-масляной суспензии при нагрузке 200 Н и скорости скольжения 0,785 м/с в течение 5 минут. Ролик диаметром 50 и толщиной 10 мм был изготовлен из стали 45 (145 HV_{0,1}). Путь трения, пройденный каждым образцом, составлял 235 м. Подача суспензии на основе гидравлического масла МГЕ-10А, содержащей 3 мас. % порошок карбида кремния (М28) (20 мкм), осуществлялась со скоростью 40±5 капель/мин. Перед каждым испытанием образующая поверхность ролика обрабатывалась наждачной бумагой зернистостью Р180.

В таблице 1 приведены результаты испытаний эластомеров на износ в паре с роликом из стали 45 при постоянной скорости скольжения.

Табл. 1. Результаты испытаний эластомеров на износ

Образец	Ширина лунки, мм	Средняя ширина лунки, мм	Глубина лунки, мм	Средняя глубина лунки, мм
1175А-1	8,834	9,298	0,260	0,288
1175А-2	9,582		0,306	
1175А-3	9,478		0,299	
1185А-1	9,772	9,220	0,288	0,273
1185А-2	9,002		0,270	
1185А-3	8,886		0,263	
1195А-1	8,590	8,922	0,249	0,261
1195А-2	9,076		0,276	
1195А-3	8,801		0,258	
7-7130-1	10,058	10,870	0,397	0,415
7-7130-2	11,419		0,435	
7-7130-3	11,134		0,413	

Наименьшей средней глубиной изношенных лунок 0,261 мм обладали образцы эластомера марки 1195А, что в 1,6 раза меньше, чем у образцов 7-7130 0,415 мм. Отмечено, что у образцов термопластичного полиуретана марок 1175А, 1185А и 1195А глубина изношенных лунок была в 1,4-1,6 раз меньше, в сравнении с термостойким эластомером 7-7130.

Выводы. В результате проведенных испытаний определены геометрические параметры лунок износа образцов. Наименьшей средней глубиной изношенных лунок отличались образцы 1195А. Согласно результатам испытаний, средняя глубина изношенных лунок термостойкого эластомера 7-7130 была в 1,4-1,6 раз больше, чем у термопластичного полиуретана. Анализ морфологии поверхностей трения эластомеров показал, что основным механизмом изнашивания являлось микрорезание.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств Государственного задания, код (шифр) научной темы, присвоенной учредителем (организацией) FFGU-2026-2003.

Список литературы / References

1. Jiang S., Wong J. S. S., Puhan D., Yuan T., Bai X., Yuan C., Tribological evaluation of thermoplastic polyurethane-based bearing materials under water lubrication: Effect of load, sliding speed, and temperature // Friction. 2024, vol. 12, pp. 1801-1815. doi.org/10.1007/s40544-023-0856-1.
2. Golaz B., Tetouani S., Diomidis N., Michaud V., Mischler S., Processing and Tribology of Thermoplastic Polyurethane Particulate Composite Materials // Journal of Applied Polymer Science. 2012, vol. 125, iss. 5, pp. 3745-3754. doi.org/10.1002/app.36543.
3. Kaltzakorta O., Wasche R., Hartelt M., Aginagalde A., Tato W., Influence of Polymer Filler on Tribological Properties of Thermoplastic Polyurethane Under Oscillating Sliding Conditions Against Cast Iron // Tribology Letters. 2012, vol. 48, pp. 209-216. doi.org/10.1007/s11249-012-0017-6.

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
Гущин Дмитрий Сергеевич – аспирант	Gushchin Dmitry Sergeevich – postgraduate student
laser-52@yandex.ru	

Received 25.06.2026