

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-54-86-89>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПОЛИУРЕТАНА РАЗЛИЧНЫХ МАРОК

**Бирюков В.П., Горюнов Я.А.**

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

**Ключевые слова:** полимер, полиуретан, сталь, коэффициент трения, гидравлическое масло, абразивно-масляная суспензия, микрорезание.

**Аннотация.** В данной работе рассматриваются результаты испытаний по определению коэффициента трения образцов полиуретана различных марок в паре со сталью 45. Трибологические испытания проходили по схеме: «колодка (полимер) – ролик (сталь 45)» с дозированной подачей абразивно-масляной суспензии в зону трения. Результаты показали, что у образцов с минимальной твердостью, коэффициент трения был в 1,8 раз ниже, чем у образцов с максимальной твердостью. Основным механизмом изнашивания образцов являлось микрорезание.

## DETERMINATION OF THE COEFFICIENT OF FRICTION OF VARIOUS GRADES OF POLYURETHANE

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

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

**Keywords:** polymer, polyamide, polyurethane, friction coefficient, hydraulic oil, abrasive-oil suspension, microcutting.

**Abstract** This paper examines the results of tests to determine the friction coefficient of polyurethane samples of various grades in combination with steel 45. Tribological tests were carried out according to the scheme: “pad (polymer) – roller (steel 45)” with a dosed supply of an abrasive-oil suspension to the friction zone. The results showed that the friction coefficient for samples with minimum hardness was 1.8 times lower than for samples with maximum hardness. The main wear mechanism of the samples was micro-cutting.

Исследованы трибологические свойства композитов диаметром 25 мм и толщиной 2 мм на основе полиамида (1,14 г/см<sup>3</sup>) [1] с добавлением 0-15 мас. % термопластичного полиуретана (ТПУ). Испытания на трение и износ проводились по схеме: «шар (сталь) – диск (полимер, композит)» при нагрузках 5-10 Н и частоте вращения диска 500-1000 мин<sup>-1</sup> в течение 40 минут. Шар, изготовленный из нержавеющей стали, имел диаметр 6 мм. По завершении испытаний при минимальной нагрузке и частоте вращения получено, что наименьший коэффициент трения 0,33 имели образцы, наполненные 10 мас. % ТПУ, что в 1,3 раза ниже, чем у образцов исходного полиамида 0,43. Стоит отметить, что самую малую удельную интенсивность изнашивания  $9 \cdot 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>/Нм замечена у образцов исходного полиамида, что в 2,3 раза меньше, чем у образцов, наполненных 10 мас. % ТПУ  $21 \cdot 10^{-4}$  мм<sup>3</sup>/Нм. В исследовании были изучены трибологические характеристики образцов, изготовленных из

ТПУ, наполненных 5-20 мас. % микрокапсулами, состоявшими из карбаминоформальдегидной смолы (КФС) и масла. Испытания для определения износостойкости осуществлялись по стандарту GB/T 1689-2014 с применением схемы: «ролик (полимер, композит) – шлифовальный круг» при нагрузке 26,7 Н и частотой вращения ролика  $76 \text{ мин}^{-1}$ . Частота вращения шлифовального круга составляла  $34 \text{ мин}^{-1}$ . Ролик имел диаметр 68 и толщину 12,7 мм. Для определения коэффициента трения испытания проходили на возвратно-поступательной машине трения по схеме: «шар (сталь) – плоскость (полимер, композит)» при нагрузке 3 Н и частоте колебаний 0,5 Гц в течение 2 часов. Длина хода составила 20 мм. Исследуемые образцы полимера имели форму квадрата со стороной 12 мм. Шар, изготовленный из стали, имел диаметр 5 мм. По завершении испытаний было установлено, что самый малый объемный износ  $7,6 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3$  имели образцы, наполненные 10 мас. % КФС, что в 2,1 раз меньше, чем у образцов исходного ТПУ  $16,1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3$ . Замечено, что добавление 20 мас. % КФС увеличило объемный износ до  $16,6 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^3$ . Стоит отметить, что наименьший коэффициент трения 0,17 зафиксирован у образцов, наполненных 15 мас. % КФС, что в 5 раз ниже, чем у образцов исходного ТПУ 0,85. Для исследования трибологических свойств, образцы полиоксиметилена были модифицированы путем добавления в матрицу 10 мас. % частиц полиуретана, 5 мас. % политетрафторэтилена с размером частиц 60 мкм и 3 мас. % силиконового масла. Испытания проходили по схеме: «колодка (полимер, композит) – ролик (нейлон)» при нагрузке 100-200 Н и скорости скольжения 0,42-0,84 м/с в течение 10 минут. Образцы исходных полимеров и композитов имели размеры  $30 \times 6 \times 7 \text{ мм}$ . Ролик имел внешний диаметр 40 мм и толщину 1 мм. По завершении испытаний при максимальной скорости скольжения и нагрузке получено, что наименьшим средним коэффициентом трения 0,7 обладали модифицированные, что на 12% меньше, чем у образцов исходного полиоксиметилена 0,0875.

Целью работы являлось определение коэффициента трения полиуретана различных марок при трении о стальной ролик.

Образцы с размерами  $20 \times 10 \times 10 \text{ мм}$  были изготовлены из полиуретана различных марок (ПУ1, ПУ2, ПУ3). Испытания проводились по схеме: «колодка (полимер, композит) – ролик (сталь)» с дозированной подачей абразивно-масляной суспензии при нагрузке 400 Н и скорости скольжения 0,785 м/с в течение 5 минут. Ролик диаметром 50 мм и толщиной 10 мм был изготовлен из стали 45 ( $145 \text{ HV}_{0,1}$ ). Путь трения, пройденный каждым образцом, составлял 235 м. Подача суспензии на основе гидравлического масла МГЕ-10А, содержавшей 3 мас. % порошок карбида кремния (М28) (20 мкм), осуществлялась со скоростью  $40 \pm 5$  капель/мин. Перед каждым испытанием образующая поверхность ролика обрабатывалась наждачной бумагой зернистостью Р180.

В таблице 1 приведены технические характеристики исследуемых марок полиуретана.

Табл. 1. Технические характеристики полиуретана

| № образца | Условная прочность при растяжении, МПа | Условное напряжение при 100% удлинении, МПа | Твердость по Шору А |
|-----------|----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| ПУ1       | 38                                     | 9                                           | 98                  |
| ПУ2       | 30                                     | 9                                           | 93-95               |
| ПУ3       | 20                                     | 5                                           | 85-88               |

На рисунке 1 приведены результаты испытаний полимеров в паре с роликом из стали 45 при постоянной скорости скольжения.

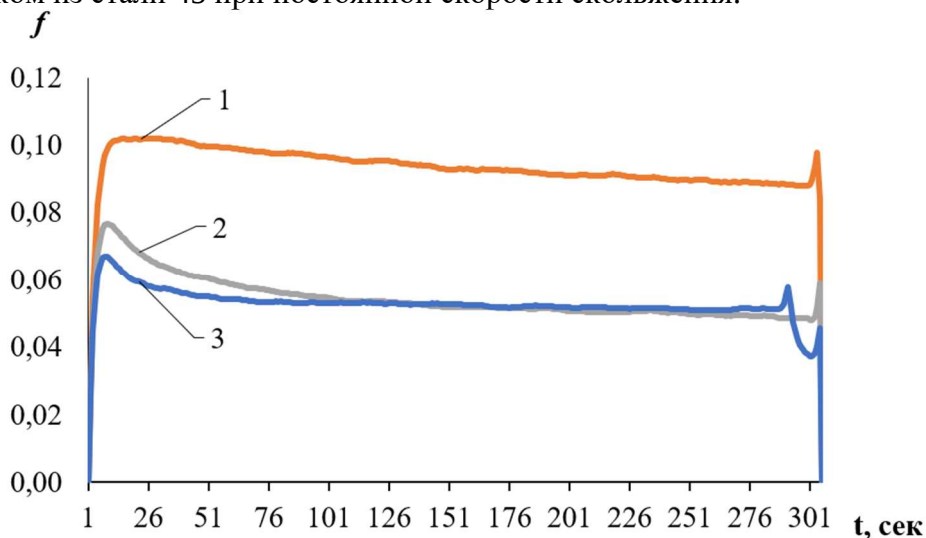


Рис. 1 Графики сравнения коэффициентов трения полимеров:  
1 – ПУ1, 2 – ПУ2, 3 – ПУ3

Представленные на графике данные позволили сделать вывод, что средний коэффициент трения образцов марки 3, составивший 0,052, был в 1,8 раз меньше, чем у образцов марки 1 0,094. Отмечено, что средний коэффициент трения образцов марок 2 составил 0,054.

**Выводы.** В результате проведенных испытаний определен коэффициент трения полимеров. Наименьшим коэффициентом трения отличались образцы марки 3.

**Финансирование.** Работа выполнена за счет средств Государственного задания, код (шифр) научной темы, присвоенной учредителем (организацией) FFGU-2026-0003.

#### Список литературы / References

1. Zhou S., Huang J., Zhang Q., Mechanical and tribological properties of polyamide-based composites modified by thermoplastic polyurethane // Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2012, vol. 27, pp. 1-17. DOI: 10.1177/0892705712439565.
2. Mao Y.J., Gao P.P., Sun Z.B., Tang J.H., Dai K., Lin H., Zhong G.J., Li Z. M. Tribological Properties of Self-Lubricating Thermoplastic Polyurethane/Oil-Loaded

- Microcapsule Composites Based on Melt Processing // Industrial and Engineering Chemistry Research. 2021, vol. 60, pp. 16023-16031. DOI: 10.1021/acs.iecr.1c03271.
3. Hu X., Tribological behaviour of modified polyacetal against MC nylon without lubrication // Tribology Letters. 1998, vol. 5, pp. 313-317. DOI: 10.1023/A:1019130800478.

|                                                                                                 |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Бирюков Владимир Павлович</b> – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник | <b>Biryukov Vladimir Pavlovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, leading researcher |
| Горюнов Ярослав Алексеевич – аспирант, младший научный сотрудник<br>laser-52@yandex.ru          | <b>Goryunov Yaroslav Alekseevich</b> – postgraduate student, junior researcher                                |

*Received 14.09.2026*