

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2023-18-67-70>

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

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

Ключевые слова: полиуретан, коэффициент трения, скорость скольжения.

Аннотация. Работа посвящена определению триботехнических свойств полимерных материалов при трении по стали 40Х с различной шероховатостью поверхности в сравнении с эталоном бутадиен нитрильным каучуком (БНК). Получены закономерности изменения коэффициентов трения от скорости скольжения. Наименьшими значениями коэффициентов трения обладали образцы ПА-6 с графитом., далее по возрастанию следовали образцы ПА-6 маслonaполненные с дисульфидом молибдена, ПА-6, SKU-7Л и БНК. Задиростойкость образцов при трении по более гладкой поверхности стали выше, чем на более шероховатых поверхностях стали. Результаты исследований могут быть использованы для замены резиновых деталей в узлах трения на автомобильном транспорте и в подвижном составе.

INFLUENCE OF STEEL SURFACE ROUGHNESS ON TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS

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

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

Keywords: polyurethane, coefficient of friction, sliding speed.

Abstract. The work is devoted to the determination of tribotechnical properties of polymer materials during friction on 40Cr steel with different surface roughness in comparison with the standard butadiene nitrile rubber (BNR). The regularities of the change in the coefficients of friction from the sliding speed are obtained. PA-6 samples with graphite had the lowest values of friction coefficients, followed by PA-6 oil-filled samples with molybdenum disulfide, PA-6, SKU-7L and BNR in ascending order. The wear resistance of the samples during friction on a smoother surface of steel is higher than on more rough surfaces of steel. The results of the research can be used to replace rubber parts in friction units in transport and in rolling stock.

В экспериментах [1] в качестве штифтов использовался полиэтилен сверхвысокомолекулярный (СВМПЭ) марки GUR 415 диаметром 3 мм высотой 10 мм с радиусом на конце 1,5 мм. Контрообразцы были изготовлены из стали 080 М40 с размерами 28×20×10 мм. В этом исследовании текстуры поверхности были разделены на три типа, а именно однонаправленные, 8-точечные и случайные, которые были получены на поверхностях стальных пластин. Для обработки поверхности пластин использовали наждачную бумагу различной крупности (P220, P400, P600, P800 и P1000), Нормальная нагрузка варьировалась от 1 до 70 Н при длине дорожки износа 10 мм для каждого испытания. Скорость скольжения во время испытания составляла 2 мм/с. Наибольший процент защитной пленки получен при испытаниях на стальных пластинах с однонаправленной текстурой. Максимальные

коэффициенты трения также получены при трении по поверхности образцов с однонаправленной текстурой.

Для исследования выбрали эластомер Silastic (SIL) [2] с размерами $100 \times 30 \times 2$ мм с различной шероховатостью поверхности. В качестве контртела использовали шарики из стали 100 Cr 6 с различными диаметрами 4, 5,5 и 9,5 мм. Стальной шарик после вдавливания, выполнял царапание при постоянной нормальной нагрузке. Сенсорная система измеряла нормальную и тангенциальную силы в режиме реального времени. Испытания на трение проводились при скорости нагружения $V_p = 50$ мН/с (приложение нормальной нагрузки) и скорости скольжения $V = 250$ мкм/с при нормальной нагрузке $F_n = 20$ и 40 мН. Амплитуда скольжения была приблизительно равна 5 мм. Было обнаружено, что коэффициент трения увеличивается при уменьшении шероховатости поверхности и при увеличении нормальной нагрузки. Установлено, что коэффициент трения увеличивался при увеличении диаметра шарика, т.е. при увеличении площади контакта.

В настоящем исследовании [3] были испытаны два различных полимера РА6 и РА6 с 6 мас. % твердых смазочных материалов (частицы PTFE + масло) для улучшения его фрикционных свойств по стальной поверхности S1100QL, с различной шероховатостью поверхности Rz 40 и Rz 5. Статическое и динамическое трение анализировалось при номинальных контактных давлениях от 40 Н/мм^2 до $2,5 \text{ Н/мм}^2$, которые неуклонно снижались в ходе испытаний. Номинальная площадь контакта составляла 21 мм^2 скорость скольжения (средняя) 0,2 м/с, длина хода 24 мм при продолжительности испытаний 15 минут. В качестве смазочного материала использовали консистентную смазку (минеральное масло, мыло с кальциевым комплексом, класс NLGI 2). В результате испытаний получено незначительное влияние скорости скольжения на коэффициент трения в пределах использованного скоростного режима. Шероховатость поверхности стального образца играла значительную роль в общих характеристиках трения исследуемых трибологических систем, чем грубее шероховатость поверхность стали, тем большее влияние оказывала деформационная составляющая коэффициента трения. Для более гладкой поверхности стали, определяющим фактором являлась адгезионная составляющая коэффициента трения. Модифицированные образцы имели более низкие значения коэффициентов трения.

Целью нашей работы было определение величины коэффициентов трения полимеров при трении по стали 40X в сравнении с эталоном резиной БНК.

Для выполнения экспериментов были изготовлены прямоугольные образцы полимеров ПА-6 ($70 \times 20 \times 2$ мм), ПА-6, маслонеполненные с дисульфидом молибдена, ($70 \times 20 \times 10$ мм), ПА-6 с графитом ($70 \times 20 \times 10$ мм), полиуретан литейный СКУ 7Л и БНК ($70 \times 20 \times 2$ мм). Образцы полимеров и БНК толщиной 2 мм наклеивались на вкладыш с размерами $70 \times 20 \times 10$ мм. Испытания трение скольжение выполняли по схеме: «торец кольцевой оправки (сталь 40X) – широкая сторона образца (полимер, БНК)». Для обработки торца кольцевого стального образца использовали наждачную

бумагу карбида кремния с зернистостью Р180, Р600. Для смазки пары трения использовали гидравлическое масло МГЕ-10.

На рисунке 1 представлены графики изменения коэффициентов трения от скорости скольжения в паре со сталью 40Х с обработкой торца наждачной бумагой зернистостью Р180 (рис. 1,а), Р600 (рис. 1,б). Минимальные значения коэффициентов трения 0,05-0,07 получены для пары сталь – ПА-6 с графитом при трении по стальным образцам с различной шероховатостью. Однако на более грубой поверхности при скорости скольжения более 1,2 м/с наступает заедание, тогда как на более гладкой поверхности заедание наступает на скорости более 1,7 м/с. Далее по возрастанию коэффициентов трения следовали образцы ПА-6, маслonaполненные с дисульфидом молибдена (MoS_2), ПА-6, СКУ-7Л и БНК.

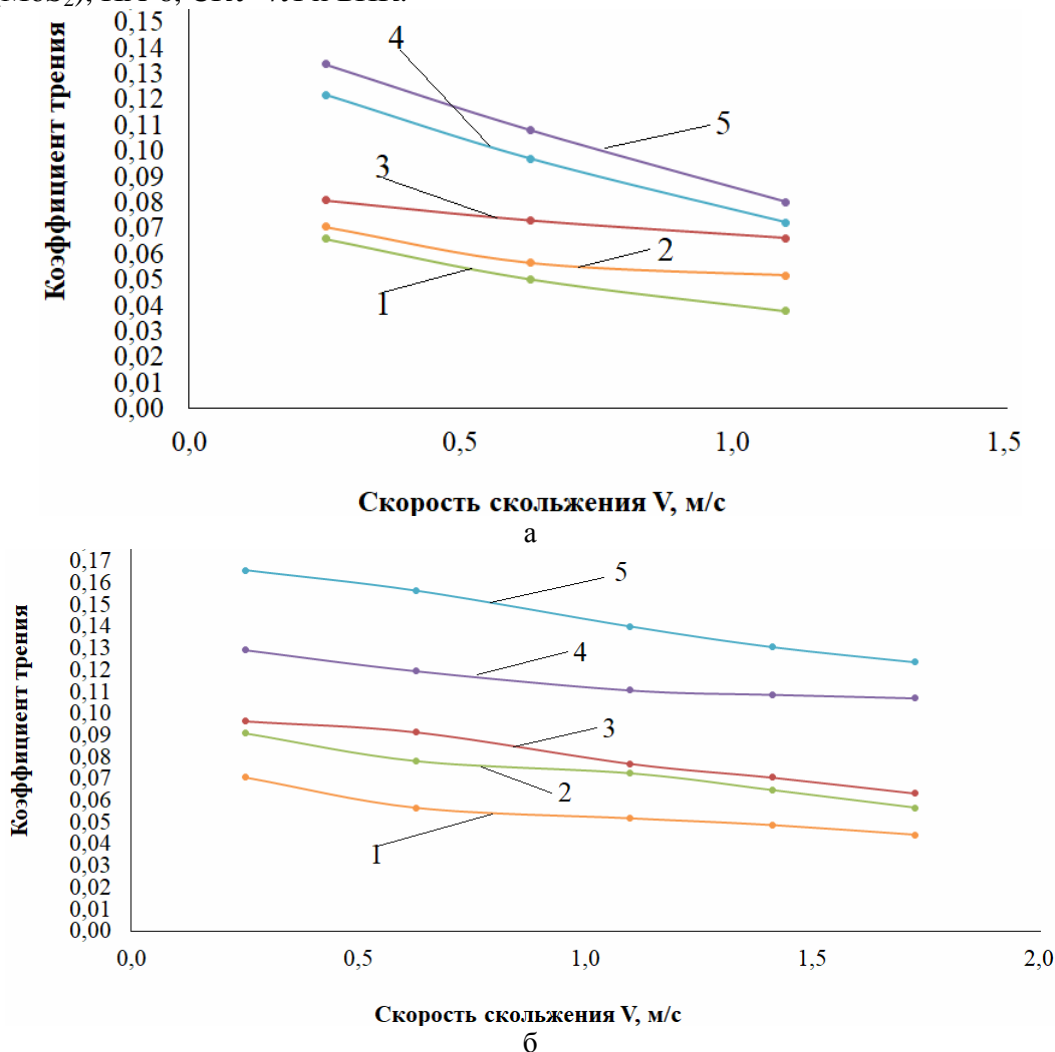


Рис. 1. Зависимости коэффициентов трения от скорости скольжения с обработкой стали 40Х наждачной бумагой Р180 (а) и Р600 (б):
1 – ПА-6 с графитом, 2 – ПА-6 + MoS_2 , 3 – ПА-6, 4 – СКУ-7Л, 5 – БНК

Заедание образцов полимеров и БНК наступало на скоростях выше 1,2 и 1,7 м/с при трении по стали 40Х обработанной наждачной бумагой Р180 и Р600 соответственно.

Выводы

Проведенные эксперименты показали, что минимальными коэффициентами трения обладали образцы ПА-6 с графитом, далее по убыванию следовали образцы ПА-6 с дисульфидом молибдена, ПА-6, полиуретана СКУ 7Л и БНК соответственно. Заедание полимерных образцов и БНК с более гладкими образцами стали 40Х наступает на скоростях скольжения выше, чем на более шероховатых поверхностях стали.

Список литературы / References

1. Menezes P.L., Kailas S.V. Role of surface texture and roughness parameters on friction and transfer film formation when UHMWPE sliding against steel // *Biosurface and Biotribology*. 2016, vol. 2, pp. 1-10. doi.org/10.1016/j.bsbt.2016.02.001.
2. Elleuch R., Elleuch K., Abdelounis H.B., Zahouani H. Surface roughness effect on friction behaviour of elastomeric material // *Materials Science and Engineering*. 2007. vol. 465, pp. 8-12. doi.org/10.1016/j.msea.2007.02.127.
3. Voyer J., Klien S., Velkavrh I., Ausserer F., Diem A. Static and Dynamic Friction of Pure and Friction-Modified PA6 Polymers in Contact with Steel Surfaces: Influence of Surface Roughness and Environmental Conditions // *Lubricants*. 2019. vol. 7, pp. 17-31. doi.org/10.3390/lubricants7020017.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Горюнов Ярослав Алексеевич – инженер	Goryunov Yaroslav Alekseevich – engineer
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior research assistant
laser-52@yandex.ru	

Received 25.03.2023