

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРАФИТОПОЛНЕННОГО КАПРОЛОНА

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: капролон, графит, коэффициент трения, давление, момент трения, интенсивность изнашивания, стекловолокно.

Аннотация. В работе приведены результаты триботехнических исследований пары трения капролон-сталь 40X при подаче в зону трения масла МГЕ-10А. Испытания проводили по схеме: широкая сторона прямоугольного образца (капролон) – торец кольцевой оправки (сталь 40X (48-52 HRC)) при нагрузке 1,64 МПа и скорости скольжения 0,25 м/с. Обнаружено, что графитополенный капролон имел меньший момент трения в сравнении с ненаполненным капролоном.

STUDY OF TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF GRAPHITE- FILLED CAPROLON

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: caprolon, graphite, coefficient of friction, pressure, moment of friction, wear rate, fiberglass.

Abstract. The work presents the results of tribotechnical studies of a friction pair of caprolon-40Cr steel with MGE-10A oil supplied to the friction zone. The tests were carried out according to the scheme: wide side of a rectangular sample (caprolon) - end face of an annular mandrel (40Cr steel (48-52 HRC)) at a load of 1.64 MPa and a sliding speed of 0.25 m/s. It was found that graphite-filled caprolon has a lower friction coefficient compared to unfilled caprolon.

Капролон (полиамид-6, ПА-6) – это конструкционный полимер, работающий в самых разных условиях. Его популярность обусловлена сочетанием хороших механических свойств, относительно невысокой стоимости и низким коэффициентом трения. Из капролона изготавливают множество деталей машиностроения, судостроения, авиационной, нефтегазовой и железнодорожной промышленности. Для улучшения трибологических свойств в состав капролона добавляют различные наполнители: стекловолокно, углеродное волокно, графит, дисульфид молибдена, масла, политетрафторэтилен и т. д.

Для исследования влияния состава на трибологические характеристики полимера были выбраны образцы полиамида-66 (ПА-66) [1]. В состав исходного ПА-66 для сравнения было добавлено 10 и 20 мас. % стекловолокна. Испытания для определения трибологических характеристик проводились по схеме «палец-диск» при нагрузке 5-15 Н и скорости 0,5-1,5 м/с. Наименьший коэффициент трения 0,0428 при нагрузке 5 Н и скорости

скольжения 1,5 м/с был выявлен у образцов ПА-66 с добавлением 20 мас. % стекловолокна, что в 3,77 раз ниже, чем у ненаполненных образцов полиамида-66 0,1617. Самая низкая удельная интенсивность изнашивания $0,126 \times 10^{-6}$ мм³/Нм также обнаружена у образцов ПА-66 с добавлением 20 мас. % стекловолокна. Удельная интенсивность изнашивания таких образцов была в 3,5 раз меньше, чем у образцов ненаполненного полиамида $0,441 \times 10^{-6}$ мм³/Нм. Минимальный объем износа 10 мм³ зафиксирован у образцов ПА-66 с добавлением 20 мас. % стекловолокна. Установлено, что добавление стекловолокна в полиамид-66 повышает износостойкость.

Образцы полиамида-6 (ПА-6) [2], диаметром 6 и высотой 50 мм, были предварительно разделены на две группы. Первая группа состояла из образцов ПА-6 в исходном состоянии. Во второй группе находились образцы ПА-6 с добавлением 6 мас. % гранулированной восковой смеси (ПА-6+ГВС). Для испытаний для определения трибологических характеристик применялась схема «палец (полиамид)-диск (сталь AISI 316L)». Нагрузка и скорость скольжения составляли 50-100 Н и 0,5-2,0 м/с, соответственно. Наименьший коэффициент трения 0,10 был обнаружен при нагрузке 50 Н и скорости скольжения 0,5 м/с у образцов ПА-6+ГВС, что в 2,5 раза ниже, чем у образцов ПА-6 0,25. Минимальную удельную интенсивность изнашивания $1,2 \times 10^{-5}$ мм³/Нм, при нагрузке 100 Н, также показывали образцы ПА-6+ГВС, что в 66,6 раз меньше, чем у образцов ненаполненного ПА-6 $8,0 \times 10^{-4}$ мм³/Нм. Обнаружено, что добавление 6 мас. % гранулированной восковой смеси в полиамид-6 вызвало снижение коэффициента трения в 2,5, а удельной интенсивности изнашивания в 66,6 раз.

В работе образцы полиамида-6 (ПА-6) [3] с размерами 30×8×3 мм чувствовали в исследовании триботехнических характеристик. В исходный ПА-6 добавляли 3, 6, 9 и 12 мас. % синтезированные микрокапсулы полисульфона и полиальфаолефинового масла PAO40 (ПСФ+PAO40). Испытания для определения триботехнических характеристик проводились по схеме «шар (сталь)-плоскость (полиамид)» при нагрузке 10 Н в течение 3600 секунд. Шар, диаметром 6 мм и изготовленный из стали GCr15, совершал возвратно-поступательные движения с частой 3 Гц и длиной хода 8 мм. Наименьший коэффициент трения 0,088 выявлен у образцов ПА-6 с добавлением 9 мас. % микрокапсул ПСФ+PAO40, что в 4,65 раз ниже, чем у образцов ненаполненного полиамида-6 0,41. После модифицирования 9 мас. % микрокапсул ПСФ+PAO40 исходного ПА-6, скорость изнашивания снизилась с $4,0 \times 10^{-3}$ мм³/Нм до $4,3 \times 10^{-6}$ мм³/Нм. Отмечено, что добавление синтезированные микрокапсулы полисульфона и полиальфаолефинового масла PAO40 значительно улучшает триботехнические характеристики полиамида-6.

Для проведения испытаний по определению триботехнических характеристик были получены конструкционные полимеры ненаполненного (ПА-6), и графитонаполненного (ПА-6+Гр) капролона марки K45 с размерами 70×20×12 мм, предоставленные ООО НТО «Альвис», г. Тула. Испытания для

определения триботехнических характеристик выполняли по схеме: «торец кольцевой оправки (сталь 40X) – широкая сторона прямоугольного образца (полиамид)» при нагрузке 1,64 МПа и скорости скольжения 0,25 м/с в условиях смазки маслом МГЕ-10А. Торец кольцевой стальной оправки перед каждым циклом испытаний подвергали обработке наждачной бумагой зернистостью Р180, Р600 и Р1200 для придания различной шероховатости поверхности. Испытания выполняли при нормальном атмосферном давлении и температуре.

На рисунках 1-3 представлены графики моментов трения (красная линия) и нагрузки (синяя линия) на образцы капролона. Наименьший момент трения 0,987 мВ был выявлен у графитонаполненных образцов при обработке стали 40X наждачной бумагой Р600. У ненаполненного капролона момент трения находился в диапазоне 0,989-1,166 мВ.

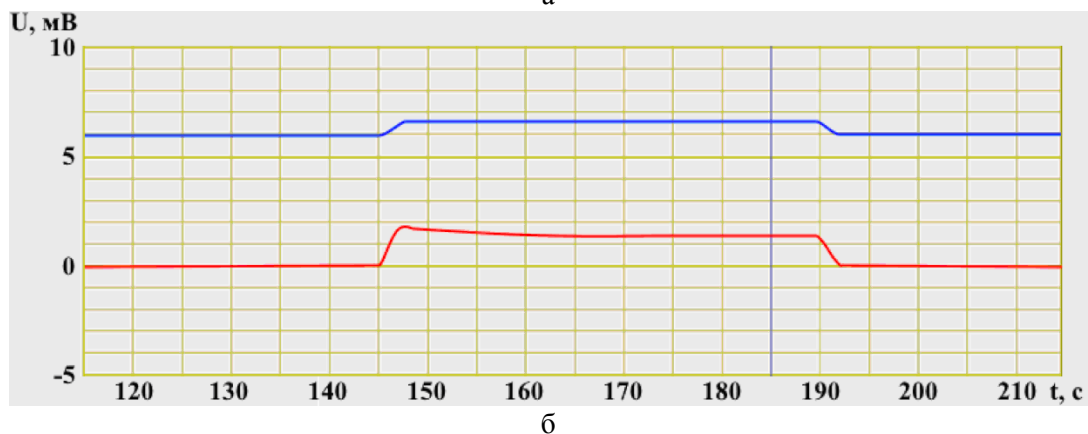
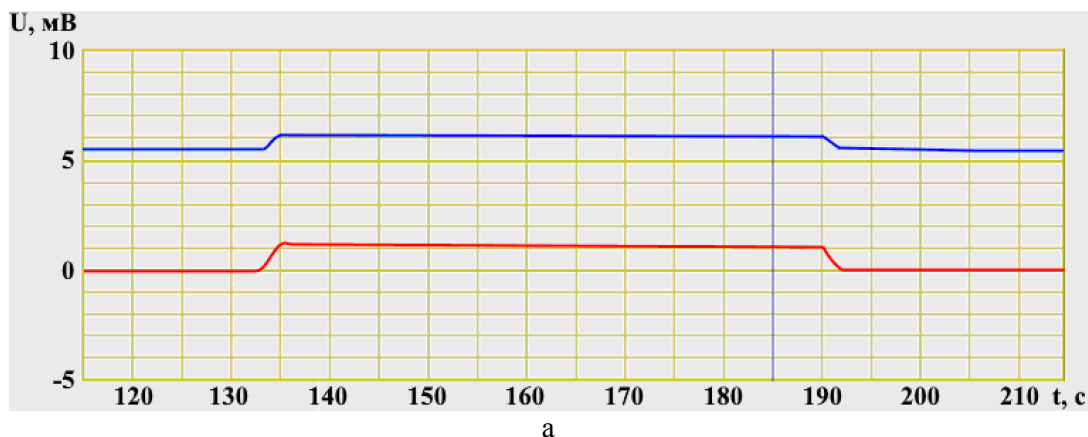


Рис. 1. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой Р180 на образцы капролона: а – ПА-6, б – ПА-6+Гр

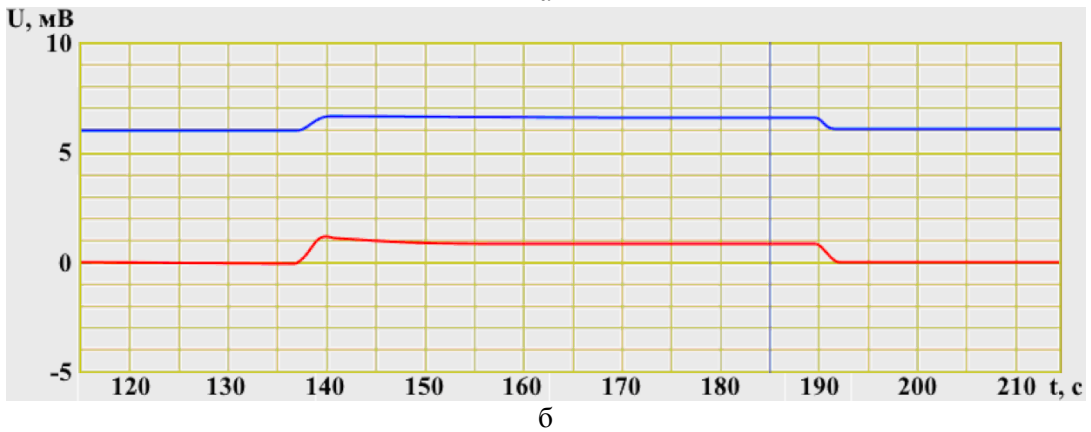
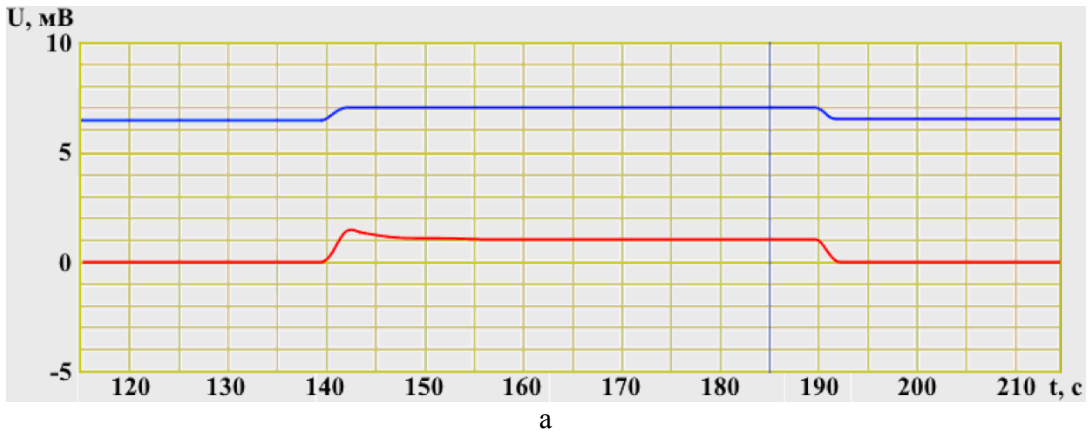


Рис. 2. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой Р600 на образцы капролона: а – ПА-6, б – ПА-6+Гр

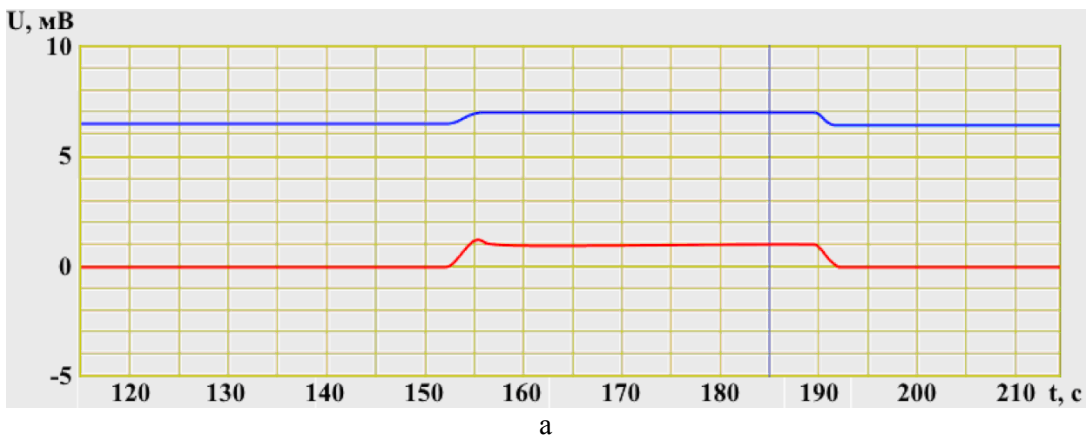


Рис. 3. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой Р1200 на образцы капролона: а – ПА-6

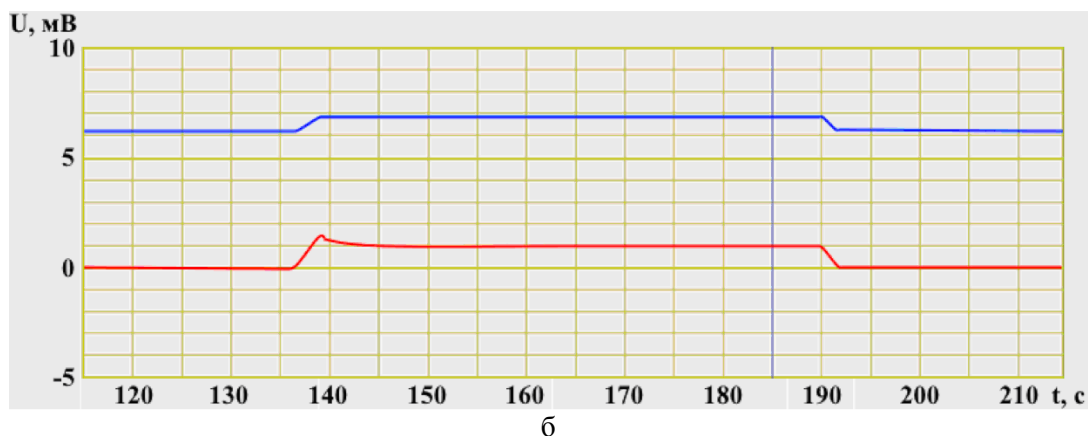


Рис. 3. Графики моментов трения и нагрузки при обработке стальной втулки наждачной бумагой P1200 на образцы капролона: б – ПА-6+Гр

Выводы. Получены закономерности изменения момента трения от нагрузки при трении по стали 40X. Проведенные испытания показали, что наименьшим моментом трения обладали образцы графитонаполненного капролона.

Список литературы / References

1. Ravi N., Shanmugam M., Bheemappa S., Gowripalan N., Influence of reinforcement on tribological properties of friction stir welded glass fiber reinforced polyamide 66 // Journal of Manufacturing Processes. 2020, vol. 58, pp. 1052-1063. DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.08.068.
2. Ünal H., Yetgin S. H., Köse S., Tribological performance of polyamide 6/wax blend for rolling bearing, bushing and gear applications // International Journal of Chemistry and Technology. 2023, vol. 7 (1), pp. 75-81. DOI: 10.32571/ijct.1292871.
3. Zhang W., Qi X., Li X., Dong Y., Yao W., Liang L., Zhang Y., Surface modification of polysulfone/PAO40 microcapsules via polydopamine to improve thermal stability and used to prepare polyamide 6-based self-lubricating composite // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2021, vol. 625, pp. 126906. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.126906.

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 29.10.2024