

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2025-50-82-86>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИЭФИРЭМИДА И ЕГО КОМПОЗИТОВ ПРИ СУХОМ ТРЕНИИ И СМАЗКЕ ВОДОЙ

Бирюков В.П., Якубовский А.А.

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

Ключевые слова: полиэфиримид, углеродное волокно, стекловолокно, скорость скольжения, усилие прижима, коэффициент трения.

Аннотация. Работа посвящена определению коэффициентов трения образцов полиэфиримида композитов на его основе с добавками углеродного и стекловолокна при сухом трении и смазке водой. Испытания были выполнены по схеме: «плоскость (образец полимера, композита) – кольцевая поверхность контробразца стальной втулки» при постоянном усилии нагружения и скорости скольжения. Получено, что композит, армированный стекловолокном, имел минимальный коэффициент трения при смазке водой в обоих случаях испытаний. Для образцов композита с добавкой углеродного волокна коэффициенты трения при смазке водой возрастали по сравнению с сухим трением. Для исходного полимера коэффициент трения снижался при испытании с водяной смазкой по более шероховатому контробразцу, а при трении по менее шероховатой поверхности контробразца возрастал по сравнению с сухим трением.

DETERMINATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF POLYETHYREAMIDE AND ITS COMPOSITES IN DRY FRICTION AND WATER LUBRICATION

Biryukov V.P., Yakubovsky A.A.

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

Key words: polyetherimide, carbon fiber, glass fiber, sliding speed, clamping force, coefficient of friction.

Abstract. The work is devoted to the determination of the friction coefficients of polyetherimide samples of composites based on it with additives of carbon and fiberglass during dry friction and lubrication with water. The tests were performed according to the scheme: "the plane (sample of polymer, composite) is the annular surface of the counter-plate of the steel sleeve" with constant loading force and sliding speed. It was found that the glass fiber reinforced composite had a minimum coefficient of friction when lubricated with water in both test cases. For composite samples with the addition of carbon fiber, the coefficients of friction during lubrication with water increased compared with dry friction. For the initial polymer, the coefficient of friction decreased when tested with water lubrication on a rougher counter sample, and when rubbing on a less rough surface of the counter sample, it increased compared to dry friction.

В работе [1] предпринята попытка определения трибологических свойств композита на основе полиэфиримида (ПЭИ), армированного углеродным волокном (ПЭИ/УВ) в условиях смазывания водой. Экспериментальные результаты показали, что композит ПЭИ/УВ обладал

лучшими фрикционные характеристики при смазывании водой, чем при сухом трении. Однако, не обнаружено заметных различий в износостойкости при трении с водой и сухим трением и величина удельной скорости износа в обоих случаях составляла $1 \times 10^{-6} \text{ мм}^3/\text{Н} \cdot \text{м}$. Установлено, что твердость поверхности трения композита ПЭИ/УВ снижалась после испытания в воде, особенно морская вода ускоряла диффузию молекул воды в матрицу, в результате чего удельная скорость износа в морской воде в десять раз была выше, чем в водопроводной воде для тяжело нагруженных условий. Обнаружено, что, в режиме граничной смазки преобладал абразивный износ, а в режиме смешанной смазки адгезионный износ. Установлено, что давление оказывало большее влияние на повышение температуры поверхности композита, чем скорость. Получено, что, трибологические характеристики образцов ПЭИ/УВ при смазке водой были лучше, чем у большинства полимеров и композитов.

Образцы композитов [2] на основе полиэфиримида (ПЭИ), наполненные стекло волокном (СВ), углеродным волокном (УВ) и твердыми смазочными материалами графитом (Гр), политетрафторэтиленом (ПТФЭ), и дисульфидом молибдена (MoS_2). Испытания на трение и износ проводились на машине трения возвратно-поступательного движения по схеме: «плоский образец композита-стальной цилиндрический контробразец». Перемещение цилиндрического контробразца происходило по нормали к продольной оси образца. Установлено, что свойства ПЭИ и композитов демонстрировали сходные характеристики трения при комнатной температуре и до 120°C . Однако показатели износостойкости были совершенно иными, особенно при высокой температуре. Композит из ПЭИ/УВ показал повышенный износ при нормальной, но при повышенной температуре скорость износа была ниже. При повышении температуры происходило размягчение матрицы, и углеродное волокно на поверхности трения снижало абразивное воздействие, что приводило к меньшему износу по сравнению с другими материалами. Образцы композитов со стекловолокном с наполнителем из твердых смазочных материалов показали лучшие показатели трения и износа при комнатной температуре. Однако при повышенной температуре износостойкость этих образцов ухудшалась.

Для изготовления композитных образцов [3] использовали ткань из углеродных волокон с полотняным переплетением. На первом этапе полиэфиримид (ПЭИ), используемый в качестве растворенного вещества, и дихлорметан (ДХМ), используемый в качестве растворителя, смешивали в соотношении 1:10. Для экспериментального исследования образцы размером $280 \times 215 \times 5 \text{ мм}$ были вырезаны в направлении переплетения ткани. Был получен единый композитный образец из 24 слоев ткани со связующим веществом раствором ДХМ и ПЭИ. Было обнаружено, что значение коэффициента трения для полиэфиримидного композита из углеродных волокон очень высокое и более стабильное по сравнению с чистым полиэфиримидом в условиях сухого трения. Получено, что коэффициент

трения снижался с 0,39 до 0,13 из-за нагрева поверхности образца при трении и размягчения композита. Установлено, что потеря объема при износе углепластиковых композитов была максимальной в условиях сухого трения при нагрузке 70 Н, что в 18 раз больше, чем при нагрузке 10 Н.

Целью нашей работы было определение коэффициентов трения скольжения образцов полиэфиримида и его композитов с углеродным волокном и стекловолокном в зависимости от шероховатости поверхности стального контробразца при сухом трении и смазке водой.

Для выполнения экспериментальных работ были применены образцы цилиндрической формы (рис. 1) диаметром 25 мм, высотой 15 мм полиэфиримида (ПЭИ) (1) ZX-410 и композитов на его основе с углеродным волокном ZX-410VMT (2) и стекловолокном ZX-410GF30 (3) содержащем 30% стекловолокна. Испытания были выполнены по схеме: «плоскость (полимер, композит) – торец стального контробразца втулки» на машине трения с вертикальной осью вращения шпинделя. Испытания были проведены при сухом трении и смазывании водой, постоянной частоте вращения шпинделя 160 мин⁻¹ и времени цикла 1 минута.



а

б

в

Рис. 1. Образцы полиэфиримида и композитов на его основе: а – ZX-410, б – ZX-410VMT, в – ZX-410 GF30

На рисунках 2 и 3 представлены диаграммы изменения коэффициентов трения в зависимости от шероховатости поверхности стального контробразца при обработке наждачной бумагой с зернистостью P600 (рис. 2) и P1200 (рис. 3) и сухом трении (рис. 2, а и 3, а) и смазке водой (рис. 2, б и 3, б). Полученные результаты испытаний показали, что композит, армированный стекловолокном ZX-410 GF30, имел минимальный коэффициент трения при смазке водой в обоих случаях испытаний. Для образцов композита с добавкой углеродного волокна коэффициенты трения при смазке водой возрастали по сравнению с сухим трением. Для исходного полимера ZX-410 коэффициент трения при испытании по более шероховатому контробразцу снижался, а при менее шероховатой поверхности контробразца возрастал по сравнению с сухим трением.

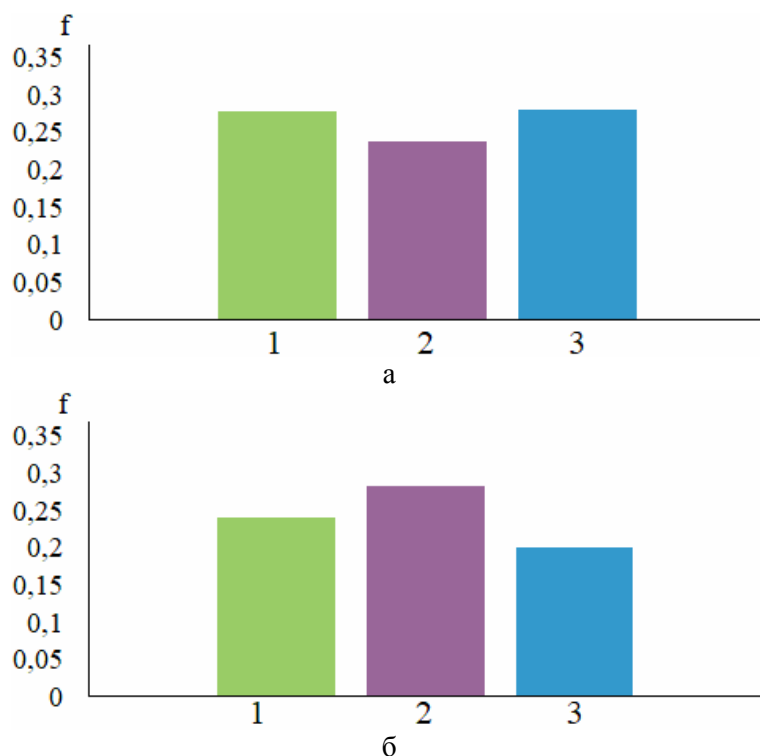


Рис. 2. Коэффициенты трения при сухом трении (а) и смазке водой (б) при обработке торца контробразца бумагой с зернистостью P600: 1 – ZX-410, 2 – ZX-410VMT, 3 – ZX-410 GF30

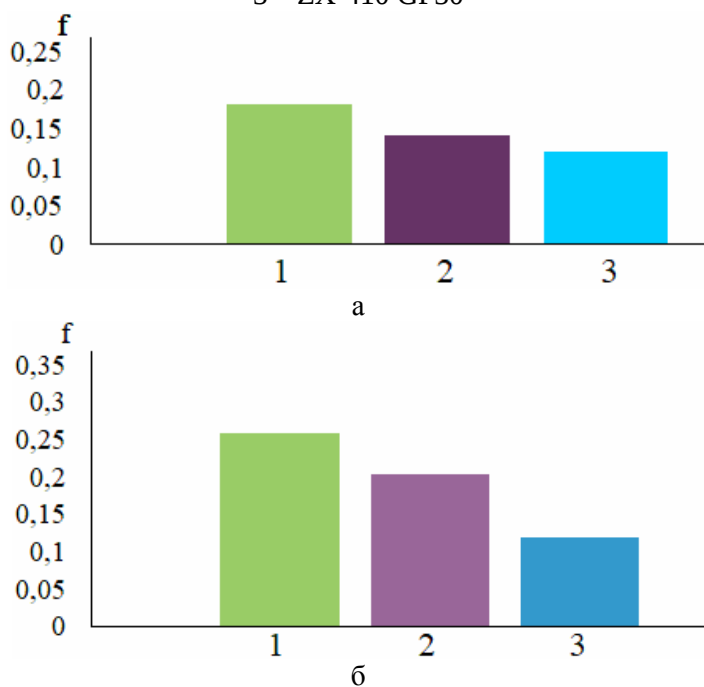


Рис. 3. Коэффициенты трения при сухом трении (а) и смазке водой (б) при обработке торца контробразца бумагой с зернистостью P1200: 1 – ZX-410, 2 – ZX-410VMT, 3 – ZX-410 GF30

Выводы. Определено влияние состава образцов термопластичных полимеров на основе полиэфиримида и композитов на его основе с добавками углеродного волокна и стекловолокна на абразивную стойкость при сухом трении и смазке водой. Установлено, что композит, армированный стекловолокном ZX-410 GF30, имел минимальный коэффициент трения при смазке водой в обоих случаях испытаний. Для образцов композита с добавкой углеродного волокна коэффициенты трения при смазке водой возрастали по сравнению с сухим трением. Для исходного полимера ZX-410 коэффициент трения при испытании по более шероховатому контробразцу снижался, а при менее шероховатой поверхности контробразца возрастал по сравнению с сухим трением.

Список литературы / References

1. Zhang Y.Y., Chen Q., Mo X.L., Huang P., Li Y.Q., Zhu C.C., Hu N., Fu S.Y. Tribological behavior of short carbon fiber reinforced polyetherimide composite under water lubrication conditions // Composites Science and Technology. 2021, vol. 216, p. 109044. doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.109044.
2. Harsha A.P., Wäsche R., Hartelt M. Friction and wear studies of polyetherimide composites under oscillating sliding condition against steel cylinder // Polymer composites. 2017, vol. 38, iss. 1. doi.org/10.1002/pc.23559.
3. Shard A., Chand R., Nauriyal S., Gupta V., Garg M.P., Batra N.K. Fabrication and Analysis of Wear Properties of Polyetherimide Composite Reinforced with Carbon Fiber // Journal of failure analysis and prevention. 2020, vol. 20, pp. 1388-1398. doi.org/10.1007/s11668-020-00943-5.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник	Biryukov Vladimir Pavlovich – candidate of technical sciences, leading researcher
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 06.10.2025