

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-23-46-51>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДИРОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ТРЕНИИ ПО СТАЛИ В ПРИСУТСТВИИ СМАЗКИ

Бирюков В.П., Горюнов Я.А.

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

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, полиэфирэфиркетон, полифениленсульфид, полиэфиримид, давление заедания, скорость скольжения, стойкость к заеданию.

Аннотация. Работа посвящена определению задиристости поверхности трения образцов полиэфирэфиркетона, полифениленсульфида, полиэфиримида и сверхвысокомолекулярного полиэтилена при трении по стали в присутствии смазки. Испытания были выполнены по схеме: «широкая сторона. прямоугольного плоского образца полимера – кольцевая поверхность стальной втулки контрообразца» при ступенчатом изменении нагрузки и скорости скольжения. Установлено, что наибольшей стойкостью к заеданию обладали образцы с сверхвысокомолекулярного полиэтилена, далее по убыванию стойкости следовали образцы полифенилсульфида, полиэфиримида и полиэфиркетона. По анализу морфологии поверхностей трения определено, что основным видом износа образцов полифенилсульфида, полиэфиримида и полиэфиркетона было микрорезание, а для образцов сверхвысокомолекулярного полиэтилена усталостное изнашивание.

DETERMINATION OF THE ABRASION RESISTANCE OF THE FRICTION SURFACES OF POLYMER SAMPLES DURING FRICTION ON STEEL IN THE PRESENCE OF GREASE

Biryukov V.P., Goryunov Ya.A.

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

Keywords: ultrahigh molecular weight polyethylene, polyester ester ketone, polyphenylene sulfide, polyetherimide, jamming pressure, sliding speed, jamming resistance.

Abstract. The work is devoted to determining the abrasion resistance of the friction surface of samples of polyether ether ketone, polyphenylene sulfide, polyetherimide and ultrahigh molecular weight polyethylene when rubbing on steel in the presence of grease. The tests were performed according to the scheme: "wide side. A rectangular flat polymer sample is an annular surface of a steel sleeve of a counter-sample" with a stepwise change in load and sliding speed. It was found that samples from ultrahigh molecular weight polyethylene had the highest resistance to jamming, followed by samples of polyphenylene sulfide, polyetherimide and polyester ester ketone in descending order of resistance. Based on the analysis of the morphology of the friction surfaces, it was determined that the main type of wear on the samples of polyphenylene sulfide, polyetherimide and polyether ester ketone was micro-cutting, and fatigue wear for the samples of ultrahigh molecular weight polyethylene.

Полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) и полиимид (ПИ) применяются в качестве сепараторов и колец роликовых подшипников благодаря их свойствам снижения шума [1]. Нитрид кремния (Si_3N_4) является наиболее

распространенным материалом для изготовления тел качения подшипников при сухом трении и смазке водой. Экспериментальные результаты показали, что две пары трения ПЭЭК-Si₃N₄ и ПИ-Si₃N₄ показали близкие трибологические свойства при сухом трении. При смазке водой пара ПИ-Si₃N₄ были снижены коэффициенты трения на 35,5%, и скорость износа на 32%. Поглощение воды поверхностью образцов ПИ улучшало его трибологические свойства. Кроме того, углубления, на поверхности ПИ при смазке водой, создавали дополнительную гидродинамическую пленку и улучшали антифрикционные свойства поверхности. Пара трения ПЭЭК-Si₃N₄ показала близкие коэффициенты трения при двух видах испытаний. Скорость износа под водой была более, чем в два раза выше, чем при сухом трении. Тем не менее, вода повышала несущую способность пары трения. В целом пара трения ПИ-Si₃N₄ обладала лучшими свойствами по сравнению с РЕЭК под водой и более перспективна для применения в подшипниках качения.

В работе [2] проведены исследования с композитными образцами на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) с низким коэффициентом трения. В состав композита входил политетрафторэтилен (ПТФЭ) в качестве твердой смазки и полифенилентерефталамид (ПТФТА) в качестве армирующего материала в матрице ПЭЭК. Эти компоненты были изготовлены методом компрессионного формования, за которым последовала серия исследовательских экспериментов по трению и износу при сухом трении смазке маслом. Результаты экспериментов показали, что основными механизмами износа композитов ПТФЭ/ПТФТА/ПЭЭК и подшипниковой стали являются износ в виде микрорезания и адгезионный износ. Наличие ПТФТА снижало износ, а коэффициент трения уменьшался, поскольку ПТИФЭ создавал гладкую, прочную смазочную пленку на поверхности. Установлено, что композиты ПЭЭК с содержанием 25 мас.% ПТФЭ и 6 мас.% ПТФТА обеспечивали наименьший износ и пониженный коэффициент трения как при сухом трении, так и в присутствии смазки.

В работе [3] было изучено влияние различных металлических подложек, алюминия и стали, на трибологические характеристики покрытий на основе полиэфирэфиркетона (ПЭЭК), по схеме: «пластина (с нанесенным полимером) – ролик (сталь100Cr6)». Испытания на износ проводились при сухом трении с широким диапазоном нагрузок. Результаты экспериментов показали, что коэффициент трения нанесенного слоя ПЭЭК незначителен. Установлено, что удельный износ алюминиевой подложки значительно ниже, чем у стальной. Скорость износа слоя ПЭЭК на алюминиевой подложке значительно выше, чем на стальной. При моделировании температуры контакта было обнаружено, что различные металлические подложки изменяют тепловые характеристики системы из-за их различной теплопроводности, которая влияла на трибологические характеристики, включая механизмы трения и износа.

Целью нашей работы было определение влияния состава полимерных образцов на морфологию поверхности трения и давления заедания при различных скоростях скольжения образцов полимеров при смазке гидравлическим маслом МГЕ-10.

Для выполнения экспериментов были изготовлены образцы полимеров прямоугольной формы ПЭЭК (1) (ZX324), ПФС (2) (ZX 530), полиэфиримида (3) (ПЭИ) (ZX 410), СВМПЭ (4) (INKULEN PE-9000) с размерами 12×20×70 мм. Триботехнические испытания были выполнены на машине трения с вертикальной осью вращения шпинделя по схеме: «широкая сторона плоского прямоугольный образца (полимер) – торец стальной втулки контробразца». В зону трения капельным способом подавалось гидравлическое масло МГЕ-10А. Давление на образец и частота вращения контробразца втулки изменялись ступенчато от минимальных к максимальным значениям.

На рисунке 1 показаны фрагменты полимерных образцов ПЭЭК (рис. 1, а), ПФС (рис. 1, б), ПЭИ (рис. 1, в) и СВМПЭ (рис. 1, г). При изучении морфологии поверхностей трения полимерных образцов установлены два механизма изнашивания микрорезание для образцов 1, 2 и 3 и усталостное изнашивание для образца 4.

На рисунке 2 представлены зависимости критических давлений заедания пары трения сталь – полимер от скорости скольжения.

Наибольшей стойкостью к заеданию обладали образцы СВМПЭ, за ними по степени убывания стойкости к заеданию следовали образцы ПФС, ПЭИ и ПЭЭК.

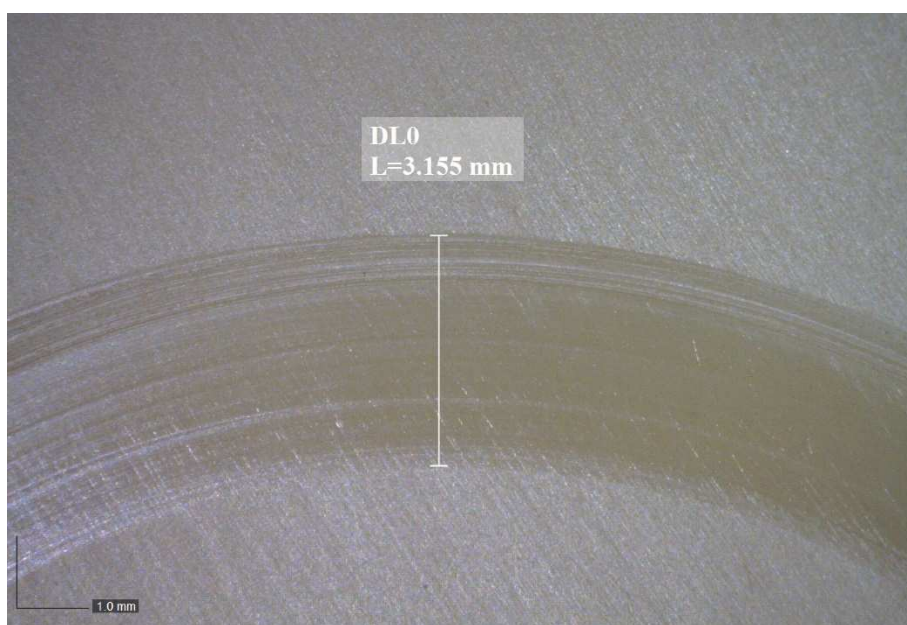


а

Рис. 1. Фрагменты поверхности трения образцов полимеров: а – ПЭЭК

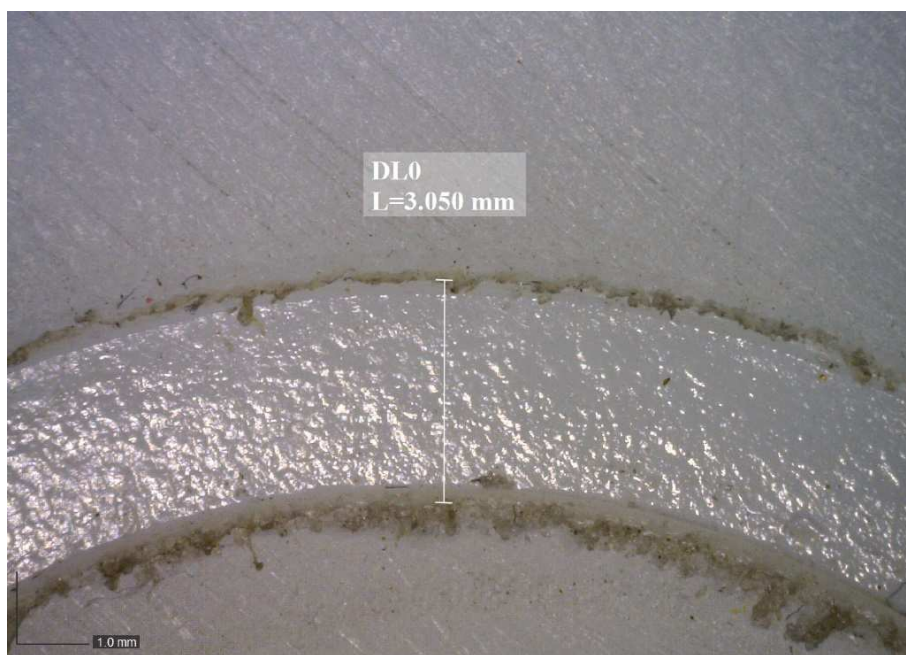


б



в

Рис. 1. Фрагменты поверхности трения образцов полимеров: б – ПФС, в – ПЭИ



Г

Рис. 1. Фрагменты поверхности трения образцов полимеров: Г – СВМПЭ

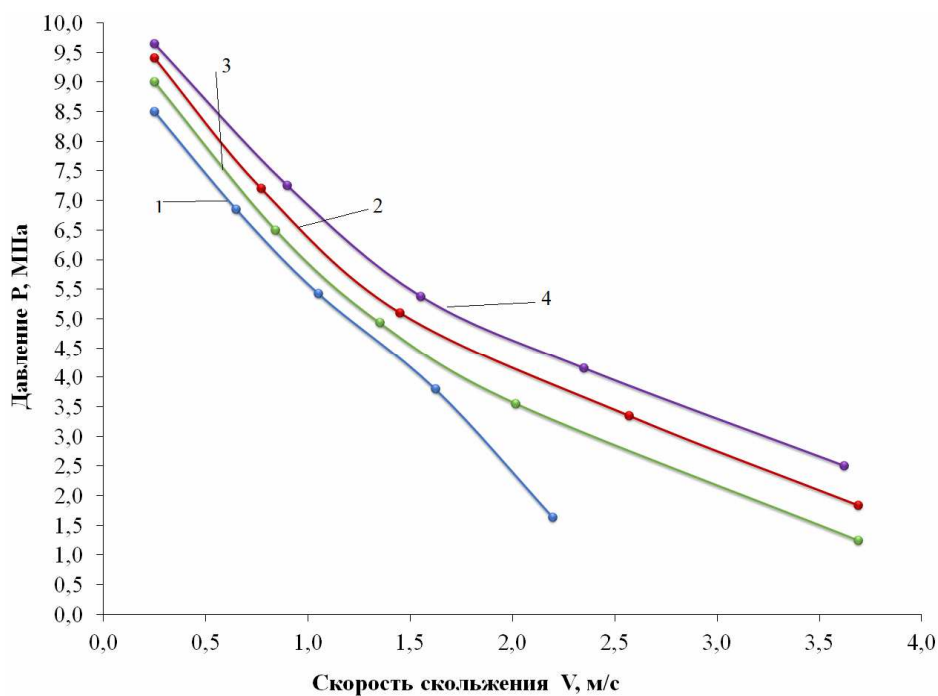


Рис. 2. Зависимость давления заедания пары трения сталь-полимер от скорости скольжения: 1-ПЭЭК, 2 – ПФС, 3 – ПЭИ, 4 – СВМПЭ

Выводы. Определено влияние состава образцов полимеров на критические давления заедания от скорости скольжения при смазке пары

трения сталь-полимер гидравлическим маслом МГЕ-10А. Установлено, что наибольшей стойкостью к заеданию обладали образцы СВМПЭ, за ними по степени убывания стойкости к заеданию следовали образцы ПФС, ПЭИ и ПЭЭК. По анализу морфологии поверхностей трения установлено, что основным видом износа образцов ПФС, ПЭИ и ПЭЭК было микрорезание, а для образцов СВМПЭ усталостное изнашивание.

Список литературы / References

1. Wang A., Yan S., Lin B., Zhang X., Zhou X. Aqueous lubrication and surface microstructures of engineering polymer materials (PEEK and PI) when sliding against Si₃N₄ // Friction. 2017, vol. 5(4), pp. 414-428. doi.org/10.1007/s40544-017-0155-9.
2. Wu S., Yan Z., Sun H., Liu Z., Xue L., Sun T. Tribological Performance Study of Low-Friction PEEK Composites under Different Lubrication Conditions // Applied Sciences. 2024, vol. 14, p. 3723. doi.org/ 10.3390/app14093723.
3. Xu Y., Hua C., Lin L. Effect of the metallic substrates on the tribological performance of fused filament fabricated sliding layers made of PEEK-based materials // Wear. 2025, vol. 576-577, p. 206142. doi.org/10.1016/j.wear.2025.206142.

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 26.08.2025