

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2024-42-58-62>

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПОЛИМЕРОВ НА АБРАЗИВНУЮ СТОЙКОСТЬ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВОМ

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

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

Ключевые слова: полимеры, абразивное изнашивание, закрепленный абразив, потеря массы образца, абразивная стойкость, морфология поверхности трения.

Аннотация. Работа посвящена определению износостойкости при изнашивании закрепленным абразивом карбида кремния сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ), полиэтилентерефталата (ПЭТ), полиоксиметилена (ПОМ) и полиуретана (ПУ), Получены закономерности стойкости к абразивному изнашиванию закрепленным абразивом в зависимости марки полимера. Наибольшей износостойкостью обладали образцы СВМПЭ, близкими к ним были образцы ВМПЭ, за ними по убыванию износостойкости следовали образцы ПЭТ, ПОМ и ПУ. Результаты исследований могут быть использованы для замены металлических деталей в автомобилестроении, кораблестроении и подвижном составе железнодорожного транспорта.

EFFECT OF THE POLYMER COMPOSITION ON THE ABRASION RESISTANCE WHEN TESTED WITH A FIXED ABRASIVE

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

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

Keywords: polymers, abrasive wear, fixed abrasive, sample mass loss, abrasion resistance, friction surface morphology.

Abstract. The work is devoted to determining the wear resistance of silicon carbide with a fixed abrasive of ultrahigh molecular weight polyethylene (UHMWPE), high molecular polyethylene (HMPE), polyethylene terephthalate (PET), polyoxymethylene (POM) and polyurethane (PU), patterns of resistance to abrasive wear with a fixed abrasive depending on the polymer brand are obtained. UHMWPE samples had the greatest wear resistance, HMPE samples were close to them, followed by PET, POM and PU samples in descending order of wear resistance. The research results can be used to replace metal parts in the automotive industry, shipbuilding and rolling stock of railway transport.

Две серии композитов на основе двух типов [1] высокоэффективных волокон арамидных и жидкокристаллических полиоксазольных были разработаны с использованием двух различных базовых матриц полиэфиримид (ПЭИ) и сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ). Композиты на основе ПЭИ, армированные тканями из Zylon (жидкокристаллический полиоксазол) и кевлара-49 (арамид), были разработаны с использованием технологии пропитки, в то время как композит из СВМПЭ, армированный волокнами из арамида, был разработан с использованием новой технологии совместного смешивания. Эти композиты были оценены на предмет их абразивного износа при различных нагрузках и

ориентации по отношению к абразивной бумаге из карбида кремния (SiC) за один проход. Эти тканевые усилители увеличивали абразивную стойкость до 50%, когда ткань была ориентирована перпендикулярно поверхности скольжения. Однако износостойкость ухудшалась, когда ткань была ориентирована параллельно поверхности скольжения. Ткань Zylon оказалась наиболее эффективной для повышения износостойкости матрицы ПЭИ.

Поверхность частиц [2] сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), модифицированная прямым фторированием, была использована в качестве износостойкого наполнителя, входящего в состав термопластичного полиуретана (ТПУ), для получения композита с высокой износостойкостью. В этом исследовании поверхность частиц СВМПЭ была модифицирована прямым фторированием с использованием фтор-азотной или фтор-кислородно-азотнореактивной смеси фторида. Два вида частиц СВМПЭ с модифицированной поверхностью были смешаны в растворе с одним типом полиэфирного материала ТПУ. Сканирующий электронный микроскоп и механические свойства композитов показали, что частицы СВМПЭ с модифицированной поверхностью были получены путем смешивания в растворе с одним типом полиэфирного материала ТПУ. межфазное взаимодействие между двумя компонентами изменялось в зависимости от химической структуры фторированного поверхностного слоя частиц. Композит с функционализированными оксифтором частицами СВМПЭ обеспечивал высокие трибологические характеристики при значительном снижении потерь на износ – примерно на 62,7% по сравнению с первичным ТПУ.

Композиты из полиэтилена [3] высокой плотности (ВПЭ), содержащие до 10 мас.% полиэтилена сверхвысокой молекулярной массы (СВМПЭ), были получены путем смешивания расплава в двухшнековом экструдере при температуре в цилиндре 240°C. Структура, морфология композитных образцов были изучены методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и абразивного износа. Результаты ДСК и механических испытаний показывают, что добавление СВМПЭ приводит к образованию двухфазной структуры, в которой СВМПЭ представляло собой дисперсную фазу и играло роль зародышеобразователя кристаллизации, что при содержании 1 мас. % СВМПЭ приводило к образованию мелкокристаллической структуры с пониженной вязкостью разрушения под воздействием статической и ударной нагрузки. Скорость абразивного износа композитов монотонно снижалась с увеличением содержания СВМПЭ, что объяснялось увеличением работы растяжения до разрушения, затрачиваемой на пластическую деформацию частиц СВМПЭ, прочно связанных с матрицей ВМПЭ.

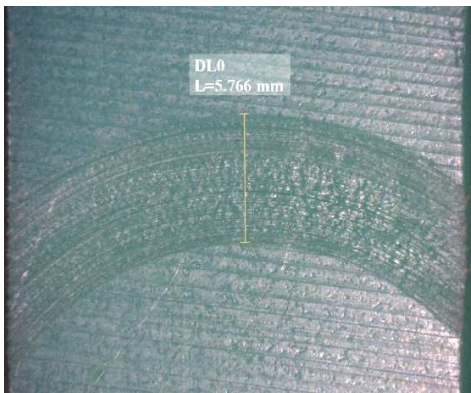
Разработаны нанокompозитные покрытия [4] на основе полимеров путем армирования сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) различными добавками наноглины (НГ) (0,5, 1,5 и 3 мас.%) для улучшения трибологических характеристик полимерного покрытия. Для нанесения

покрытий на алюминиевую подложку была использована новая технология электростатического напыления порошка. Трибологические характеристики нанокompозитных покрытий НГ+СВМПЭ с различными нагрузками и скоростями определяли по схеме: «шар (закаленная нержавеющая сталь) – диск (образец с покрытием)» при комнатной температуре. Методами рентгеновской дифракции, сканирующей электронной микроскопии и оптической профилометрии были определены характеристики морфологии и дисперсии наноглины в полимерной матрице, толщина покрытия и механизм износа, соответственно. Установлено, что нанокompозитное покрытие содержащее 1,5 мас.% НГ не разрушалось даже после 100 000 циклов (путь трения 1,3 км) при нормальной нагрузке 9 Н и линейной скорости скольжения 0,1 м/с по сравнению с первоначальным покрытием из СВМПЭ, которое разрушалось раньше при тех же условиях. Улучшение эксплуатационных характеристик нанокompозитного покрытия, содержащего 1,5 мас.% НГ, объясняли получающейся в результате износа расслоенной морфологией пластинок глины в полимерной матрице благодаря ее однородной дисперсии, которая обеспечивала эффективный соединительный эффект, удерживая полимерные цепи и препятствуя их легкому разрыву.

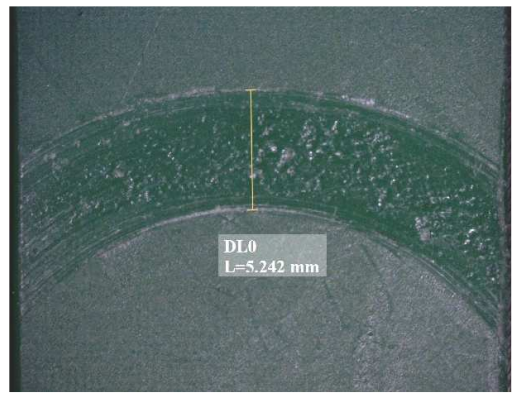
Целью нашей работы было определение величины абразивного изнашивания закрепленным абразивом различных полимерных материалов.

Для выполнения экспериментов были изготовлены прямоугольные образцы полимеров сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) (1), высокомолекулярного полиэтилена (ВМПЭ) (2), полиэтилентерефталата (ПЭТ) (3), полиоксиметилена (ПОМ) (4) и полиуретана (ПУ) (5). Испытания на абразивное изнашивание закрепленным абразивом выполняли по схеме: «торец кольцевой стальной оправки с наклеенной наждачной бумагой – широкая сторона плоского образца (полимер)». Для испытаний использовали наждачную бумагу карбида кремния с зернистостью Р120. После испытаний каждого образца проводили замену наждачной бумаги на новую. Продолжительность испытаний составляла 20 секунд. Нагрузка испытаний и скорость скольжения составляли 2 МПа и 0,25 м/с соответственно. Потерю массы образцов определяли с помощью электронных аналитических весов с точностью измерений 0,0001 г. Морфологию поверхностей трения образцов определяли с помощью цифрового микроскопа. На рисунке 1 представлена морфология поверхности трения полимеров. В таблице 1 представлены результаты испытаний при трении закрепленным зерном.

На образцах СВМПЭ наблюдали глубокие риски, в направлении скольжения, свидетельствующие о механизме микрорезания, но вместе с ними имелись и области усталостного отделения фрагментов полимера. В целом преобладал механизм микрорезания. У образцов ВМПЭ основным механизмом изнашивания было усталостное отделение частиц полимера. Для образцов ПЭТ и ПОМ основным механизмом изнашивания было микрорезание. На поверхности трения образцов ПУ видны глубокие вырывы частиц полимера и основным механизмом было усталостное изнашивание.



а



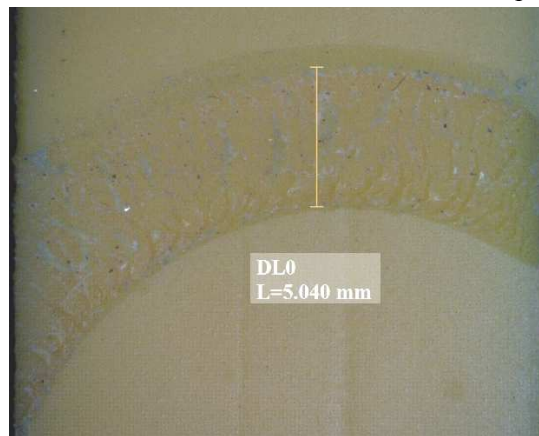
б



в



г



д

Рис. 1. Морфология поверхностей трения полимеров при трении закрепленным абразивом: а – СВМПЭ, б – ВМПЭ, в – ПЭТ, г – ПОМ, д – ПУ

Табл.1. Потеря массы образцов при трении закрепленным абразивом

Номер образца	Масса до испытания, г	Масса после испытания, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
1,1	8,5941	8,5855	0,0086	0,0095
1,2	8,5855	8,5752	0,0103	
1,3	8,7037	8,6941	0,0096	

Табл.1. Продолжение

Номер образца	Масса до испытания, г	Масса после испытания, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы, г
2,1	8,9521	8,9416	0,0105	0,0096
2,2	8,9416	8,9333	0,0083	
2,3	8,3666	8,3568	0,0098	
3,1	12,2334	12,2170	0,0164	0,01843
3,2	12,217	12,1967	0,0203	
3,3	12,187	12,1684	0,0186	
4,1	8,4185	8,4066	0,0119	0,0111
4,2	8,4066	8,3966	0,01	
4,3	8,1361	8,1248	0,0112	
5,1	10,8155	10,6596	0,1559	0,1535
5,2	10,8051	10,6515	0,1536	
5,3	10,6358	10,8485	0,1512	

Выводы. Определено влияние марки полимера на стойкость к абразивному изнашиванию при трении закрепленным зерном. Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному износу обладали образцы СВМПЭ, за ними по убыванию износостойкости следовали образцы ВМПЭ, ПЭТ, ПОМ и ПУ.

Список литературы / References

1. Sharma S., Bijwe J., Panier S. Exploration of potential of Zylon and Aramid fibres to enhance the abrasive wear performance of polymers // *Wear*. 2019, vol. 422-423, pp. 180-190. DOI: 10.1016/j.wear.2019.01.068.
2. Li B., Li M., Fan C., Ren M., Wu P., Luo L., Wang X., Liu X. The wear-resistance of composite depending on the interfacial interaction between thermoplastic polyurethane and fluorinated UHMWPE particles with or without oxygen // *Composites Science and Technology*. 2015, vol. 106, pp. 68-75. doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.11.005.
3. Aderikha V.N., Feipeng C., Koval V.N., Xiaoyu L., Shapovalov V.A., Makarenko O.A., Yongguang X. Increasing the Resistance of HDPE to Abrasive Wear with Small Additions of UHMWPE // *Journal of Friction and Wear*. 2022, vol. 43, pp. 1-7. DOI: 10.3103/S1068366622010020.
4. Azam M.U., Samad M.A. A novel organoclay reinforced UHMWPE nanocomposite coating for tribological applications // *Progress in Organic Coatings*. 2018, vol. 118, pp. 97-107. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2018.01.028.

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
Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник	Yakubovsky Anton Alekseevich – junior researcher
Laser-52@yandex.ru	

Received 10.06.2024