

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2024-19-24-27>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АБРАЗИВНОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАКРЕПЛЕННЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ

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

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

Ключевые слова: фторполимер, радиационная модификация, закрепленное абразивное зерно, композиционный полимер.

Аннотация. Работа посвящена определению износостойкости при изнашивании закрепленным зерном карбида кремния политетрафторэтилена (ПТФЭ), радиационно-модифицированных образцов ПТФЭ по режимам (А) и (Б) и коксонаполненного ПТФЭ с добавками кокса 20%. Получены закономерности стойкости к абразивному изнашиванию закрепленным абразивным зерном в зависимости от исходного состояния ПТФЭ и композита. Наибольшей износостойкостью обладали образцы с коксом. Результаты исследований могут быть использованы для замены резиновых деталей в автомобилестроении и подвижном составе железнодорожного транспорта.

DETERMINATION OF THE ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF POLYMER MATERIALS WITH FIXED ABRASIVE GRAIN

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

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

Keywords: fluoropolymer, radiation modification, fixed abrasive grain, composite polymer.

Abstract. The work is devoted to determining the wear resistance of polytetrafluoroethylene (PTFE) silicon carbide with fixed grain, radiation-modified PTFE samples according to modes (A) and (B) and coke-filled PTFE with 20% coke additives, patterns of resistance to abrasive wear with fixed abrasive grain depending on the initial state of PTFE and composite are obtained. The samples with coke had the greatest wear resistance. The research results can be used to replace rubber parts in the automotive industry and railway rolling stock.

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) нашел широкое применение в машиностроении, он используется в уплотнителях, сальниках, подшипниках, так как обладает хорошими фрикционными свойствами, а также выступает как самосмазывающийся материал, имея низкий коэффициент трения, все эти характеристики делают его использование актуальным. Испытание на абразивное изнашивание проводили на образцах [1] полимеров (PEI, PEEK, PPS, PES, PPSU, PBT, PEKK, PA6, EP) с размерами 76×25×6 мм и со следующими параметрами: нагрузка 5-20 Н, частота вращения диска 200 мин⁻¹ (2,4 м/с), подача песка 200 г/мин, время 10 мин. PEEK показал наименьшую скорость изнашивания, тогда как PA6 и PPS наибольшую скорость износа остальные полимеры имели промежуточные значения скорости изнашивания.

Для повышения трибологических характеристик образцы [2] из ПТФЭ облучали протонами по режимам (1) и (2). Испытание на износостойкость проводили по схеме «штифт-диск» со следующими параметрами: нагрузка 5 Н, радиус штифта 3 мм, частота вращения 300 мин⁻¹, время цикла 15 мин. Интенсивность изнашивания составила ПТФЭ 2,7, ПТФЭ (1) и ПТФЭ (2) – 1,6 и 0,4·10⁻⁶ г/Н·м, а глубина лунки износа – 2,5, 1,7, 0,7 мкм соответственно. Микротвердость образцов материала основы была 0,033 ГПа, а облученных образцов достигла 0,075 ПТФЭ (1) и 0,082 ПТФЭ (2) ГПа. Облучение протонами приводило к образованию новых структур и эффективно вызвало сшивку в ПТФЭ. Сшивание линейных молекулярных цепей превратилось в сетчатую структуру, что привело к межмолекулярному соединению, что повысило износостойкость ПТФЭ (1) и ПТФЭ (2) в 4 и 7 раз, а твердость в 2 раза выше, чем у первичного образца.

Штифты [3] из армированного полимера были изготовлены путем смешивания политетрафторэтилена и полиакрилонитрила в соотношении 80% и 20%, средний диаметр углеродных волокон составил 15-150 мкм. Испытание на интенсивность изнашивания проводили по схеме «штифт-диск», со следующими параметрами: скорость скольжения 0,75 мм/с, давление 2 МПа и температуре 80°С, диск был выполнен из стали 34ХНМ с твердостью 460 НV. Коэффициент трения и интенсивность изнашивания в нормальной среде составили: 0,3 и 2,9·10⁻⁷ мм/Н·м. В средах с меняющейся влажностью и уровнем кислорода: 0,054-0,34 и 0,18-1,3·10⁻⁷ мм/Н·м. По данным испытаниям было выявлено, что при низких концентрациях кислорода износ увеличивается в 5 раз, а коэффициент трения в 4 раза. Совместное действие кислорода и влаги при низких концентрациях снижают скорость изнашивания в 2,5 раза. В среде с дефицитом кислорода и влаги на изношенной поверхности ПТФЭ имелась гладкая и прочная трибопленка, что повышало износостойкость композита.

В работе [4] описываются характеристики трения и износа двух высокоэффективных полимеров (полиимида и ПТФЭ) с добавками арамида, углерода, стекла, базальтового волокна и дисульфида молибдена и без них. Для испытания на абразивное изнашивания были выбраны композитные материалы на основе полиимида (PI) и политетрафторэтилена (ПТФЭ), с добавками волокон: 1) AF-15%, 2) CF-15%, 3) GF-15%, 4) VF-0,5%, 5) VF-0,5%+MoS₂ -10%. Испытания проводились на возвратно-поступательной машине трения УМТ-2 с использованием абразивной бумаги на основе карбида кремния (SiC) с зернистостью Р 400. Даже низкое содержание базальтового волокна (0,5 мас. %, с MoS₂ или без него) было достаточным для обеспечения высокой износостойкости композитов в большинстве условий испытаний.

Целью нашей работы было определение стойкости ПТФЭ, радиационно-модифицированного ПТФЭ-РМ (А), ПТФЭ-РМ (Б) и коксонаполненного ПТФЭ к изнашиванию закрепленным абразивным зерном и определение морфологии поверхности трения в сравнении с чистым политетрафторэтиленом.

Для исследований были изготовлены образцы полимеров ПТФЭ (70×20×2 мм) (1), радиационно-модифицированных (ПТФЭ-РМ) (70×20×2 мм) (2), режим облучения – А, (3), ПТФЭ-РМ (70×20×2 мм) режим облучения – Б и ПТФЭ коксонаполненный с содержанием кокса 20% (Ф4К20) (70×20×2 мм) (4). Испытания на абразивное изнашивание закрепленным зерном выполняли по схеме: «торцевая поверхность стальной втулки с наклеенной наждачной бумагой – образцы ПТФЭ и композита». Для испытаний использовали наждачную бумагу с абразивным зерном Р120 карбида кремния. Нагрузка на образец составляла 1 МПа, время испытаний 20 секунд.

На рисунке 1 представлена морфология поверхностей трения образцов после испытаний закрепленным абразивным зерном.

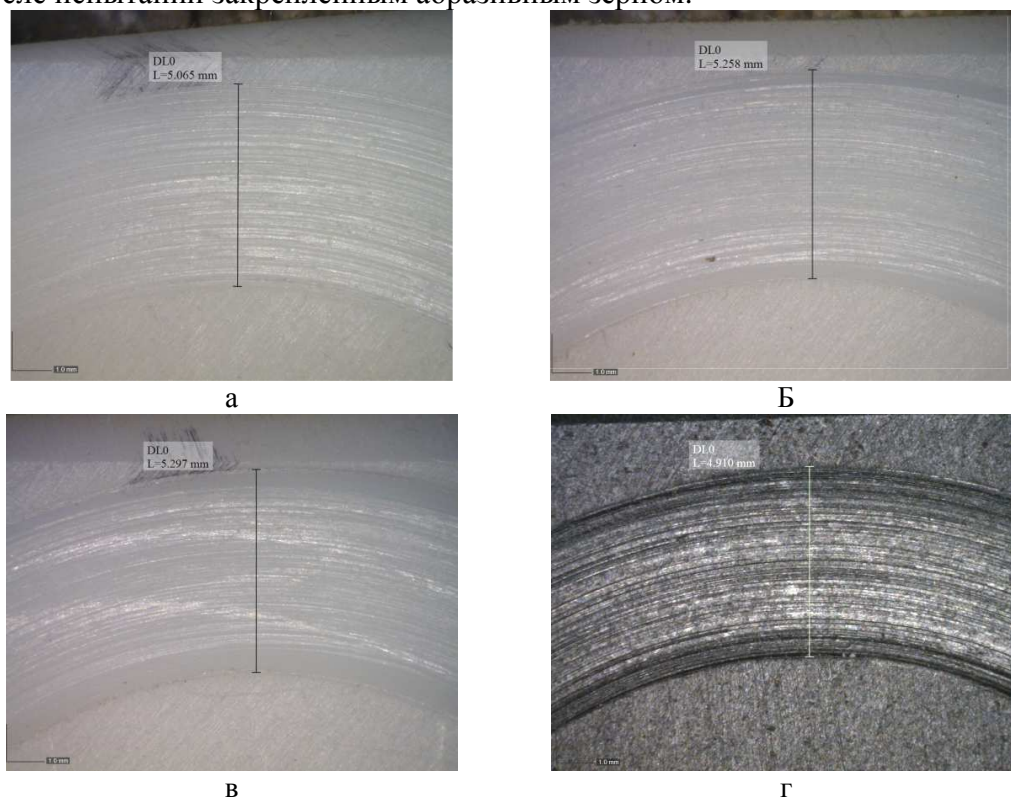


Рис. 1. Морфология зон трения образцов фторполимеров испытанных закрепленным абразивным зерном: а – ПТФЭ, б – ПТФЭ –РМ (А), в – ПТФЭ-РМ (Б), г – Ф4К20

На всех образцах наблюдались мелкие риски, следы микро резания, но на радиационно-модифицированных образцах имелись углубления в виде сколов, что свидетельствует о кристаллической микроструктуре этих образцов.

В таблице 1 представлены результаты испытаний фторполимеров и композита на изнашивание закрепленным абразивным зерном.

Анализ полученных результатов показал, что минимальную потерю массы имели коксонаполненные образцы, за ними по возрастанию потери массы следовали образцы ПТФЭ, ПТФЭ-РМ (А) и ПТФЭ-РМ (Б).

Табл.1. Результаты испытаний закрепленным абразивным зерном

№ образца	Масса до испытаний, г	Масса после испытаний, г	Потеря массы, г	Средняя потеря массы образца, г
1.1	24,9342	24,9006	0,0366	0,0337
1.2	24,9006	24,8681	0,0325	
1.3	24,8681	24,8332	0,0349	
2.1	25,0357	24,8664	0,1693	0,1686
2.2	24,8664	24,7010	0,1654	
2.3	24,7010	24,5298	0,1712	
3.1	24,9296	24,7041	0,2255	0,2251
3.2	24,7041	24,4755	0,2286	
3.3	24,4755	24,2542	0,2213	
4.1	25,3813	25,3524	0,0289	0,0299
4.2	25,3524	25,3209	0,0315	
4.3	25,3209	25,2914	0,0295	

Выводы. Определено влияние радиационного модифицирования и добавок кокса на износ закрепленным абразивным зерном фторполимеров. Установлено, что наибольшей стойкостью к абразивному износу обладали коксонаполненного ПТФЭ, за ними по возрастанию потери массы следовали образцы ПТФЭ и радиационно-модифицированные образцы по режимам (А) и (Б).

Список литературы / References

1. Narsha A.P. An investigation on low stress abrasive wear characteristics of high performance engineering thermoplastic polymers // *Wear*. 2011, vol. 271, p. 942-951. DOI: 10.1016/j.wear.2011.03.019.
2. Yuliang Y., Yong F., Liyu H. Super antiwear properties of polytetrafluoroethylene (PTFE) induced by MeV proton irradiation // *Polymer*. 2023, vol. 285, p. 126350. DOI: 10.1016/j.polymer.2023.126350.
3. Johansson P., Marklund P., Björling M., Shi Y. Mechanisms behind the environmental sensitivity of carbon fiber reinforced polytetrafluoroethylene (PTFE) // *Friction*. 2024, vol. 12, p. 997-1015. DOI: 10.1007/s40544-023-0824-9.
4. Kumar R., Malaval B., Antonov M. Performance of polyimide and PTFE based composites under sliding, erosive and high stress abrasive conditions // *Tribology International*. 2020, vol. 148, p. 106282. DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106282.

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 12.03.2024