

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-72-77>

УДК 621.81:621.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ФРИКЦИОННОГО ПЕРЕНОСА В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНОМ ТРИБОКОНТАКТЕ

А. Н. КАРАПЕТЯН⁺, К. В. ОГАНЕСЯН, В. В. САРОЯН

Национальный Политехнический Университет Армении (НПУА), ул. Теряна, 105, 0009, г. Ереван, Армения

Цель работы — исследование морфологии пленок фрикционного переноса, сформированных при трении полимерных композитов на основе полифениленсульфида, содержащего в качестве наполнителя молибденовый концентрат, способствующий улучшению износостойкости узлов трения.

Морфологию пленок фрикционного переноса, образовавшихся в металлополимерных трибосопряжениях, исследовали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии, что позволило без разрушения образца оценить толщину пленок, адгезию между пленкой и металлическим контртелом, изучить частицы износа. Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии изучили химический состав пленок фрикционного переноса. Установлено, что трибохимические реакции, происходящие между пленкой и металлическим контртелом, стимулируют формирование химических соединений, способствующих повышению прочности, износостойкости и увеличению ресурса трибосопряжения.

Проведен сравнительный анализ результатов трибологических испытаний полимерных композитов, содержащих молибденовый концентрат и модифицированный политетрафторэтиленом молибденовый концентрат. В зависимости от условий испытаний, содержания наполнителя показано, что износ уменьшился с 0,29 мм³/км до 0,024 мм³/км, а значение коэффициента трения находится в пределах 0,27–0,33. Введение наполнителей в состав композита способствовало переносу их основных элементов на поверхность металлического контртела, и, обогащение поверхностной пленки этими элементами привело к увеличению поверхностной плотности, следовательно, увеличению толщины переносимого слоя в 1,5–1,9 раза, а также повышению адгезионной прочности пленок в 1,2–1,5 раза, по сравнению с исходным полимерным материалом.

Ключевые слова: антифрикционный композит, пленка фрикционного переноса, адгезионная прочность, износостойкость.

STUDY OF FRICTION TRANSFER FILMS IN A METAL-POLYMER TRIBOCONTACT

A. N. KARAPETYAN⁺, K. V. HOVHANNISYAN, W. V. SAROYAN

National Armenian Polytechnic University of Armenia (NPUA), Teryan St., 105, 0009, Yerevan, Armenia

The purpose of the work is to study the morphology of friction transfer films formed during friction of polymer composites based on polyphenylene sulfide containing molybdenum concentrate as a filler, improving the wear resistance of friction units.

The morphology of friction transfer films formed in metal-polymer tribojoints was studied using optical and scanning electron microscopy, which made it possible to evaluate the film thickness, adhesion between the film and the metal counterface, and study wear particles without destroying the sample. The chemical composition of friction transfer films was studied using X-ray photoelectron spectroscopy. It has been

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: ars.karapetyan56@mail.ru

established that tribochemical reactions occurring between the film and the metal counterface stimulate the formation of chemical compounds that increase strength, wear resistance and durability of the tribojoint.

A comparative analysis of the results of tribological tests of polymer composites containing molybdenum concentrate and molybdenum concentrate modified with polytetrafluoroethylene was carried out. Depending on the test conditions, filler content, it is shown that wear has decreased from 0.29 mm³/km to 0.024 mm³/km, and the friction coefficient value is in the range of 0.27–0.33. The introduction of fillers into the composite contributed to the transfer of their main elements to the surface of the metal counterface, and the enrichment of the surface film with these elements led to an increase in surface density, therefore, an increase in the thickness of the transferred layer by 1.5–1.9 times, as well as an increase in film adhesion strength by 1.2–1.5 times compared to the original polymer material.

Keywords: antifriction composite, friction transfer film, adhesion strength, wear resistance.

Поступила в редакцию 15.07.2024

© А. Н. Карапетян, К. В. Оганесян, В. В. Сароян, 2024

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Карапетян А. Н., Оганесян К. В., Сароян В. В. Исследование пленок фрикционного переноса в металлополимерном трибоконтакте // Полимерные материалы и технологии. 2024. Т. 10, № 3. С. 72–77. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-72-77>

Citation sample:

Karapetyan A. N., Oganesyanyan K. V., Saroyan V. V. Issledovanie plenok friktsionnogo perenosa v metallopolimernom tribokontakte [Study of friction transfer films in a metal-polymer tribocontact]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2024, vol. 10, no. 3, pp. 72–77. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2024-10-3-72-77>

Литература

1. Pogosian A. K., Novhannisyanyan K. V., Isajanyan A. R. Polymer friction transfer // Encyclopedia of Tribology / eds: Wang Q. J., Chung Y. W. US : Springer Science, 2013, pp. 2585–2592.
2. Меликсетян Н. Г., Карапетян А. Н., Сароян В. В., Оганесян К. В. Основные закономерности трения и изнашивания композиционных материалов и смазочных масел // Вестник научно-технического развития. 2016. Т. 105, № 5. С. 27–42.
3. Колесников И. В., Лебединский К. С. Пути повышения трибологических характеристик композиционных полимерных материалов и смазок в узлах трения // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 6. С. 52–57.
4. Любимов Д. Н., Колесников В. И., Гершман И. С., Колесников И. В. Критерий выбора материалов трибосопряжения, основанный на теории адгезионного взаимодействия Лифшица – Гаммакера // Физическая мезомеханика. 2020. Т. 23, № 1. С. 56–61. doi: 10.24411/1683-805X-2020-11005
5. Dangnan F., Espejo C., Liskiewicz T., Gester M., Neville A. Friction and wear of additive manufactured polymers in dry contact // Manufacturing Processes, 2020, vol. 59, pp. 238–247. doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.051
6. Карапетян А. Н., Оганесян К. В., Сароян В. В. Влияние условий эксплуатации на трение и износ полимерных композитов // Полимерные композиты и трибология (Поликотриб-2022) : тезисы докладов международной научно-технической конференции, Гомель, Беларусь, 28–30 июня 2022 г. Гомель : ИММС НАНБ, 2022. С. 133.
7. Ye Jiaxin, Burris D. L., Xie Ting. A Review of Transfer Films and Their Role in Ultra-Low-Wear Sliding of Polymers // Lubricants, 2016, vol. 4, is. 1. doi: 10.3390/lubricants4010004
8. Onodera T., Kawasaki K., Nakakawaji T., Higuchi Y., Ozawa N., Kurihara K., and Kubo M. Effect of tribochemical reaction on transfer-film formation by polytetrafluoroethylene // The Journal of Physical Chemistry C, 2014, vol. 118, is. 22, pp. 11820–11826. doi: 10.1021/jp503331e
9. Khare H. S., Moore A. C., Haidar D. R., Gong L., Ye J., Rabolt J. F., Burris D. L. Interrelated effects of temperature and

- environment on wear and tribochemistry of an ultralow wear PTFE composite // *The Journal of Physical Chemistry C*, 2015, vol. 119, is. 29, pp. 16518–16527. doi: 10.1021/acs.jpcc.5b00947
10. Meliksetyan N. G., Karapetyan A. N., Oganessian K. V., Saroyan V. V., Agbalyan S. G., Meliksetyan G. N. Исследование и прогнозирование износостойкости полимерных композитов с минеральными добавками // *Трение и износ*. 2023. Т. 44, № 4. С. 350–359. doi: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-350-359
 11. Chernets M., Świć A., Kornienko A., Yurchuk A. Evaluation of Wear Resistance of Functional Composite Polymeric Materials and Durability of Metal-Polymer Bearings // *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 2023, vol. 17, is. 2, pp. 258–267. doi: 10.12913/22998624/161591
 12. Ван-Кревелен Д. В. Свойства и химическое строение полимеров : пер. с англ. / под ред. А.Я. Малкина. Москва : Химия, 1976. 416 с.
 13. Meliksetyan N. G., Karapetyan A. N., Hovhannisyann K. V., Saroyan W. V. Influence of the exploitation test conditions on friction and wear of polymer composites // *Proceedings of NPUA. Mechanics, Machine Science, Machine-building*, 2022, no. 2, pp. 34–44. doi: 10.53297/18293387-2022.2-34

References

1. Pogosian A. K., Hovhannisyann K. V., Isajanyan A. R. Polymer friction transfer. *Encyclopedia of Tribology*. Eds: Wang Q. J., Chung Y. W. US : Springer Science, 2013, pp. 2585–2592.
2. Meliksetyan N. G., Karapetyan A. N., Saroyan V. V., Oganessian K. V. Osnovnye zakonomernosti treniya i iznashivaniya kompozitsionnykh materialov i smazochnykh masel [Main regularities of friction and wear of composite materials and lubricants]. *Vestnik nauchno-tekhnicheskogo razvitiya* [Proceedings of Scientific and Technical Development], 2016, vol. 105, no. 5, pp. 27–42.
3. Kolesnikov I. V., Lebedinskiy K. S. Puti povysheniya tribologicheskikh kharakteristik kompozitsionnykh polimernykh materialov i smazok v uzlakh treniya [Ways to improve the tribological characteristics of composite polymer materials and lubricants in friction units]. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin* [Problems of mechanical engineering and machine reliability], 2017, no. 6, pp. 52–57.
4. Lyubimov D. N., Kolesnikov V. I., Gershman I. S., Kolesnikov I. V. Kriteriyi vybora materialov tribosopryazheniya, osnovannyi na teorii adgezionnogo vzaimodeystviya Lifshitsa – Gamakera [Criterion for selecting materials of tribojoints based on the Lifshitz-Hamaker theory of adhesion interaction]. *Fizicheskaya mezomekhanika* [Physical mesomechanics], 2020, vol. 23, no. 1, pp. 56–61. doi: 10.24411/1683-805X-2020-11005
5. Dangnan F., Espejo C., Liskiewicz T., Gester M., Neville A. Friction and wear of additive manufactured polymers in dry contact. *Manufacturing Processes*, 2020, vol. 59, pp. 238–247. doi: 10.1016/j.jmapro.2020.09.051
6. Karapetyan A. N., Oganessian K. V., Saroyan V. V. Vliyaniye usloviy ekspluatatsii na trenie i iznos polimernykh kompozitov [Influence of operating conditions on friction and wear of polymer composites]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya (Polikomtrib-2022)»* [Abstracts of the international scientific and technical conference “Polymer composites and Tribology (Polycomtrib-2022)”]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2022, pp. 133.
7. Ye Jiaxin, Burris D. L., Xie Ting. A Review of Transfer Films and Their Role in Ultra-Low-Wear Sliding of Polymers. *Lubricants*, 2016, vol. 4, is. 1. doi: 10.3390/lubricants4010004
8. Onodera T., Kawasaki K., Nakakawaji T., Higuchi Y., Ozawa N., Kurihara K., and Kubo M. Effect of tribochemical reaction on transfer-film formation by polytetrafluoroethylene. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2014, vol. 118, is. 22, pp. 11820–11826. doi: 10.1021/jp503331e
9. Khare H. S., Moore A. C., Haidar D. R., Gong L., Ye J., Rabolt J. F., Burris D. L. Interrelated effects of temperature and environment on wear and tribochemistry of an ultralow wear PTFE composite. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2015, vol. 119, is. 29, pp. 16518–16527. doi: 10.1021/acs.jpcc.5b00947
10. Meliksetyan N. G., Karapetyan A. N., Oganessian K. V., Saroyan V. V., Agbalyan S. G., Meliksetyan G. N. Issledovanie i prognozirovaniye iznosostoykosti polimernykh kompozitov s mineral'nymi dobavkami [Research and prediction of wear resistance of polymer composites with mineral additives]. *Trenie i iznos* [Journal of Friction and Wear], 2023, vol. 44, no. 4, pp. 350–359. doi: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-350-359
11. Chernets M., Świć A., Kornienko A., Yurchuk A. Evaluation of Wear Resistance of Functional Composite Polymeric Materials and Durability of Metal-Polymer Bearings. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 2023, vol. 17, is. 2, pp. 258–267. doi: 10.12913/22998624/161591
12. Van-Krevelen D. V. *Svoystva i khimicheskoe stroeniye polimerov* [Properties and chemical structure of polymers]. Moscow : Khimiya Publ., 1976. 416 p.
13. Meliksetyan N. G., Karapetyan A. N., Hovhannisyann K. V., Saroyan W. V. Influence of the exploitation test conditions on friction and wear of polymer composites. *Proceedings of NPUA. Mechanics, Machine Science, Machine-building*, 2022, no. 2, pp. 34–44. doi: 10.53297/18293387-2022.2-34