

УДК 621.897: 539.3

Применение субмикромеханической диагностики для характеристики антифрикционных свойств стеклонаполненных полиамидных композитов

М. Пашечко¹, С. Шилько², М. Чернец³, Я. Борц¹, Я. Чабанюк¹

¹Люблинский политехнический институт,
ул. Надбыстрицька, 38, г. Люблин 20-618, Польша

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

³Национальный авиационный университет,
проспект Любомира Гузара, 1, г. Киев 03056, Украина

Поступила в редакцию 15.08.2022.

После доработки 17.10.2022.

Принята к публикации 18.10.2022.

На примере стеклонаполненного полиамида ПА6-Л-СВ30-1 предложен комплексный подход к исследованию трибомеханических свойств антифрикционных полимерных композитов, перспективных для изготовления средненагруженных металлополимерных подшипников, зубчатых передач и других трибосопряжений. Предварительно определены характеристики износостойкости указанного полимерного материала в условиях трения скольжения без смазки в зависимости от удельных нагрузок при заданной скорости скольжения и длительности испытаний. Для более полной характеристики антифрикционных свойств привлекаются методы субмикромасштабного индентирования и скретч-тестирования. С их помощью получены важные деформационные параметры поверхностного слоя образцов ПА6-Л-СВ30-1 до и после трения, включая работу упругого A_{el} и пластического A_{pl} деформирования, показатель релаксационной способности, коэффициент пластичности, модуль Юнга, микротвёрдость HV при заданной глубине внедрения индентора и диаграммы «сила — глубина внедрения». Анализируются характер изменения глубины внедрения P_d и упругого восстановления R_d индентора, а также структура поверхностного слоя при скретч-тестировании. Научная значимость предлагаемого подхода заключается в проведении трибоанализа на двух (макроскопическом и субмикроскопическом) масштабных уровнях, что позволяет получить новые данные о стабильности структуры и свойств поверхностных слоёв трибопар. Его практическая значимость обусловлена возможностью разработки уточнённых инженерных методов расчёта напряженно-деформированного состояния, прочности, контактной жёсткости, износостойкости и долговечности узлов трения из композиционных материалов.

Ключевые слова: металлополимерные трибопары, стеклонаполненные полиамидные композиты, сухое трение, износостойкость, микромеханические характеристики, контактное индентирование, скретч-тестирование.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-447-457

Адрес для переписки:

М. Пашечко
Люблинский политехнический институт,
ул. Надбыстрицька, 38, г. Люблин 20-618, Польша
e-mail: mpashechko@hotmail.com

Address for correspondence:

M. Pashechko
Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka, 38, Lublin 20-618, Polska
e-mail: mpashechko@hotmail.com

Для цитирования:

М. Пашечко, С. Шилько, М. Чернец, Я. Борц, Я. Чабанюк.
Применение субмикромеханической диагностики для
характеристики антифрикционных свойств стеклонаполненных
полиамидных композитов.

Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 5. – С. 447–457.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-447-457

For citation:

M. Pashechko, S. Shil'ko, M. Czerniec, Ya. Borc, and Ya. Chabanyuk.
[Application of Submicromechanical Diagnostics for Characterization
of Glass-Filled Polyamide Composites].

Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 5, pp. 447–457 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-447-457

Application of Submicromechanical Diagnostics for Characterization of Glass-Filled Polyamide Composites

M. Pashechko¹, S. Shil'ko², M. Czerniec³, Ya. Borc¹, and Ya. Chabanyuk¹

¹Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka, 38, Lublin 20-618, Polska

²V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus

³National Aviation University,
Lubomir Huzar Avenue, 1, Kyiv 03056, Ukraine

Received 15.08.2022.

Revised 17.10.2022.

Accepted 18.10.2022.

Abstract

The tribomechanical properties of polyamide composites PA6-L-SV30-1 dispersed dopped glass fibers, which are promising for the manufacture of metal-polymer bearings, gears, and other products, have been studied. The characteristics of their wear resistance under conditions of sliding friction without lubrication are determined depending on the specific loads, at a certain sliding speed and test time. The absolute values of the micromechanical characteristics of the surface layer important for tribomaterials science before and after friction are given: the work of elastic A_{el} and plastic A_{pl} deformation, relaxation ability, plasticity coefficient, Young's modulus, microhardness HV at a given penetration depth of the indenter and the microstructure of the scratch-tested layer. Diagrams of changes in loads, kinetic diagrams of microindentation are constructed, the nature of the change in the penetration depth of P_d and the recovery of R_d of the indenter during scratch testing of polyamide composites is illustrated. The scientific significance of suggested approach consist in triboanalysis carrying out on two (macroscopic and microscopic) scale levels allowing to obtain new data about stability of structure and properties of subsurface layers of tribopairs. Its practical significance specifies by possibility of development refined engineering methods of calculation of stress-strained state, strength, contact stiffness, wear resistance and durability of tribojoints made of composite materials.

Keywords: metal-polymer tribopairs, glass-filled polyamide composites, wear resistance, submicromechanical characteristics, contact indentation, scratch testing.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-447-457

Адрес для переписки:

М. Пашечко
Люблинский политехнический институт,
ул. Надбыстрицька, 38, г. Люблин 20-618, Польша
e-mail: mpashechko@hotmail.com
С.В. Шилько
Институт механики металлополимерных систем
имени В.А. Белого НАН Беларуси,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Address for correspondence:

M. Pashechko
Politechnika Lubelska,
ul. Nadbystrzycka, 38, Lublin 20-618, Polska
e-mail: mpashechko@hotmail.com
S.V. Shil'ko
V.A. Bely Metal-Polymer Research Institute of NAS Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: shilko_mpri@mail.ru

Для цитирования:

М. Пашечко, С. Шилько, М. Чернец, Я. Борц, Я. Чабанюк.
Применение субмикромеханической диагностики для
характеризации антифрикционных свойств стеклонаполненных
полиамидных композитов.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 5. – С. 447–457.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-447-457

For citation:

M. Pashechko, S. Shil'ko, M. Czerniec, Ya. Borc, and Ya. Chabanyuk.
[Application of Submicromechanical Diagnostics for Characterization
of Glass-Filled Polyamide Composites].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 5, pp. 447–457 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-447-457

Список использованных источников

1. **Friedrich K.** Polymer Composites for Tribological Applications // *Advanced Ind. Eng. Polymer Research*. — 2018, no. 1, 3—39
2. **Sinha S.K.** Handbook of Polymer Tribology. — Singapore: World Scientific Publishing. — 2018; ISBN 978-9-81322-778-1
3. **Богданович С.П.** Композиционные материалы триботехнического назначения на основе компатибилизированных смесей алифатических полиамидов и полиолефинов: дис. ... канд. техн. наук. — 2006
4. **Li D., Xie Y., Li W., You, Y., and Deng X.** Tribological and Mechanical Behaviors of Polyamide 6/Glass Fiber Composite Filled with Various Solid Lubricants // *Science World J.* — 2013, ID 320837, 9 p., <https://doi.org/10.1155/2013/320837>
5. **Технические условия ТУ РБ 500048054.020-2001 «Полиамиды стеклонаполненные»**
6. **Hooke C.J., Kukureka S.N. Liao P., Rao M., and Chen Y.K.** The Friction and Wear of Polymers in Non-Conformal Contacts // *Wear*. — 1996 (200), 83—94
7. **Cathelin J., Letzelter E., Guingand M., De Vaujany J.P., and Chazeau L.** Experimental and Numerical Study a Loaded Cylindrical PA66 Gear // *Journal of Mechanical Design*. — 2013 (135), 89—98
8. **Sukumaran J., et al.** Modelling Gear Contact with Twin-Disc Setup // *Tribology International*. — 2012 (49), 1—7
9. **Kalacska G., et al.** Friction and Wear of Engineering Polymer Gears // *Proc. of WTC2005 World Tribology Congress III*. — Sept. 12–16, 2005. — Washington. — 2005
10. **Keresztes R. and Kalacska G.** Friction of Polymer/Steel Gear Pairs // *Plastics and Rubber*. — 2008 (45), 236—242
11. **Шилько С.В., Старжинский В.Е., Петроковец Е.М., Черноус Д.А.** Двухуровневый метод расчета трибосопряжений из дисперсно-армированных композитов. Часть 1 // *Трение и износ*. — 2013 (34), № 1, 82—86
12. **Шилько С.В., Старжинский В.Е.** Расчет износостойкости зубчатой передачи с колесами из армированных композиционных материалов // *Трение и износ*. — 1993 (14), № 3, 444—451
13. **Чернец М.В., Шилько С.В., Пашечко М.И., Барц М.** Износостойкость стекло- и угленаполненных полиамидных композитов для металлополимерных зубчатых передач // *Трение и износ*. — 2018 (39), № 5, 557—461
14. **Bhushan B.** Nanotribology and Nanomechanics: An Introduction. — Springer. — 2008
15. **Суханова Т.Е., Кузнецова Т.А., Вылегжанина М.Э. Светличный В.М., Зубарь Т.И., Чижик С.А.** Возможности применения зондовых методов в диагностике наномодифицированных термоэластопластов // *Trans. Conf.: Methodological Aspects of Scanning Probe Microscopy (Bel-SPM-2016)*. — Minsk, 18—21 Oct. — 2016, 8—17
16. **Ammar Emad Al-kawaz.** A Review in Scratch Deterioration Patterns for Polymer and Its Composites // *The Iraqi J. for Mech. and Material Eng.* — 2020 (20), no. 2, 87—96 // doi.org/10.32852/ijqfmme.v20i2.490
17. **Голубец В.М., Пашечко М.И., Дзедзик К., Борц Я., Тисов А.В.** Фрикционная прочность электроискрового покрытия из порошковой проволоки при трении без смазки // *Трение и износ*. — 2020 (41), № 5, 599—603
18. **Голубец В.М., Пашечко М.И., Борц Я., Барц М.** Мікромеханічні характеристики поверхневого шару сталі 45 після електроіскрової обробки // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. — 2019 (55), № 3, 102—108

References

1. **Friedrich K.** Polymer Composites for Tribological Applications // *Advanced Ind. Eng. Polymer Research*. — 2018, no. 1, 3—39
2. **Sinha S.K.** Handbook of Polymer Tribology. — Singapore: World Scientific Publishing. — 2018; ISBN 978-9-81322-778-1
3. **Bogdanovich S.P.** Kompozitsionnye materialy tribotekhnicheskogo naznacheniya na osnove kompatibilizirovannykh smesey alifaticheskikh poliamidov i poliolefinov: dis. ... kand. tekhn. nauk. — 2006 (in Russian)
4. **Li D., Xie Y., Li W., You, Y., and Deng X.** Tribological and Mechanical Behaviors of Polyamide 6/Glass Fiber Composite Filled with Various Solid Lubricants // *Science World J.* — 2013, ID 320837, 9 p., <https://doi.org/10.1155/2013/320837>
5. **Tekhnicheskie usloviya TU RB 500048054.020-2001 «Poliamidy steklonapolnennye»** (in Russian)
6. **Hooke C.J., Kukureka S.N. Liao P., Rao M., and Chen Y.K.** The Friction and Wear of Polymers in Non-Conformal Contacts // *Wear*. — 1996 (200), 83—94
7. **Cathelin J., Letzelter E., Guingand M., De Vaujany J.P., and Chazeau L.** Experimental and Numerical Study a Loaded Cylindrical PA66 Gear // *Journal of Mechanical Design*. — 2013 (135), 89—98
8. **Sukumaran J., et al.** Modelling Gear Contact with Twin-Disc Setup // *Tribology International*. — 2012 (49), 1—7
9. **Kalacska G., et al.** Friction and Wear of Engineering Polymer Gears // *Proc. of WTC2005 World Tribology Congress III*. — Sept. 12–16, 2005. — Washington. — 2005
10. **Keresztes R. and Kalacska G.** Friction of Polymer/Steel Gear Pairs // *Plastics and Rubber*. — 2008 (45), 236—242
11. **Shil'ko S.V., Starzhinskii V.E., Petrokovets E.M., and Chernous D.A.** Two-level Calculation Method for Tribojoints Made of Disperse-Reinforced Composites: Part 1 // *Journal of Friction and Wear*. — 2013 (34), no. 1, 65—69

12. **Shilko S.V. and Starzhinskii V.E.** Prediction of Wear Resistance of Gearing with Wheels Made of Reinforced Composites // Journal of Friction and Wear. — 1993 (**14**), no. 3, 7—13
13. **Chernets M.V., Shil'ko S.V., Pashechko M.I., and Barshch M.** Wear Resistance of Glass- and Carbon-Filled Polyamide Composites for Metal-Polymer Gears // Journal of Friction and Wear. — 2018 (**39**), no. 5, 361—364
14. **Bhushan B.** Nanotribology and Nanomechanics: An Introduction. — Springer. — 2008
15. **Sukhanova T.E., Kuznetsova T.A., Vylegzhanina M.E. Svetlichnyy V.M., Zubar' T.I., Chizhik S.A.** Vozmozhnosti primeneniya zondovykh metodov v diagnostike nanomodifitsirovannykh termoelastoplastov // Trans. Conf.: Methodological Aspects of Scanning Probe Microscopy (BelSPM-2016). — Minsk, 18–21 Oct. — 2016, 8—17 (in Russian)
16. **Ammar Emad Al-kawaz.** A Review in Scratch Deterioration Patterns for Polymer and Its Composites // The Iraqi J. for Mech. and Material Eng. — 2020 (**20**), no. 2, 87—96 //doi.org/10.32852/ijqfmme.v20i2.490
17. **Holubets V.M., Pashechko M.I., Dzedzic K., Borc J., and Tisov A.V.** Frictional Strength of Electric Spark Coatings from Powder Wires under Friction without Lubrication // Journal of Friction and Wear. — 2020 (**41**), no. 5, 443—446
18. **Golubec' V.M., Pashechko M.I., Borc Ja., Barshh M.** Mikromehanichni karakterystyky poverhnevogo sharu stali 45 pislja elektroiskrovoi' obrobky // Fizyko-himichna mehanika materialiv. — 2019 (**55**), № 3, 102—108 (in Ukrainian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by