

УДК 678.074:620.178.162

Абразивный износ резин на основе натурального каучука, технического углерода и полиоксадиазольного волокна

В.Н. Адериха, Н.А. Марусенко

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

Поступила в редакцию 18.01.2024.

После доработки 12.04.2024.

Принята к публикации 17.04.2024.

Исследовано влияние размера частиц закреплённого абразива и модификаторов (низкомолекулярных жидких каучуков и сульфидосилана) на скорость изнашивания резин на основе натурального каучука (НК), технического углерода (ТУ) и полиоксадиазольного (ПОД) волокна. Модельные резиновые смеси готовили в смесителе закрытого типа, скорость абразивного изнашивания определяли на машине барабанного типа, структуру и механические свойства резин характеризовали статическими механическими испытаниями при растяжении, раздире, индентировании, а также ДМА. Поверхности трения анализировали с помощью СЭМ. Испытания показали, что введение волокна не влияет на скорость абразивного изнашивания исходной резины НК/ТУ независимо от размера зерна абразива. Введение модификаторов, повышающих модуль при растяжении M_{10} , твёрдость H_{Sh} , сопротивление раздиру T_R , работу разрушения при растяжении A , степень сшивки γ снижает скорость изнашивания при трении по грубодисперсному абразиву, что характерно для абразивного изнашивания с преобладанием микрорезания. Наибольшее влияние, судя по величине коэффициента корреляции, оказывает величина M_{10} , характеризующая прочность связи матрицы с волокном, что позволяет прогнозировать величину скорости изнашивания резин по результатам механических испытаний. При изнашивании по мелкодисперсному абразиву рост показателей M_{10} , H_{Sh} , T_R , γ напротив, увеличивает скорость изнашивания резины, а работа разрушения при растяжении A на неё практически не влияет. Это обусловлено преобладанием усталостного механизма изнашивания, при котором скорость изнашивания увеличивается с контактными напряжениями, пропорционально показателям прочности, при этом наибольшее влияние на скорость изнашивания оказывает сопротивление раздиру.

Ключевые слова: каучук, волокно, низкомолекулярный каучук, силан, абразивный износ, размер частиц абразива, работа разрушения, сопротивление раздиру.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-89-100

Адрес для переписки:

В.Н. Адериха

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: vnad@tut.by

Для цитирования:

В.Н. Адериха, Н.А. Марусенко.

Абразивный износ резин на основе натурального каучука, технического углерода и полиоксадиазольного волокна. Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 2. — С. 89–100.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-89-100

Address for correspondence:

V.N. Aderikha

V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: vnad@tut.by

For citation:

V.N. Aderikha and N.A. Marusenko.

[Abrasive Wear of Rubbers Based on Natural Rubber, Carbon Black and Polyoxadiazole Fiber].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 2, pp. 89–100 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-89-100

Abrasive Wear of Rubbers Based on Natural Rubber, Carbon Black and Polyoxadiazole Fiber

V.N. Aderikha and N.A. Marusenko

*V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus*

Received 18.01.2024.

Revised 12.04.2024.

Accepted 17.04.2024.

Abstract

The influence of the abrasive particle size and modifiers (low molecular weight liquid rubbers (LMWR), sulfidosilane) on the rate of wear on abrasive paper of rubbers based on natural rubber (NR), carbon black (CB) and polyoxadiazole (POD) fiber is studied as a function of structure and mechanical properties of rubbers. Model rubber blends were prepared in a closed-type mixer, the abrasive wear tests were conducted on a drum-type machine, the structure and the mechanical properties of rubbers were characterized by DMA, static tensile tests, hardness measurements and tear resistance. The wear surfaces were analyzed by SEM. Tests have shown that the addition of fiber does not affect the rate of abrasive wear of the original NR/CB rubber regardless of the grain size of the abrasive. Addition of modifiers that increase the tensile modulus M_{10} , hardness H_{Sh} , tear resistance T_R , tensile strength A , degree of crosslinking γ reduces the wear rate at friction on coarse abrasive, which is characteristic of abrasive wear with a predominance of micro-cutting. The greatest influence, judging by the value of the correlation coefficient, is exerted by the value of M_{10} , dependent on the bond strength between the matrix and the fiber, which allows to predict the wear rate of rubbers based on the results of mechanical tests. When worn on a fine abrasive paper, the increase in M_{10} , H_{Sh} , T_R , γ on the contrary, raises the wear rate of rubber, and the tensile toughness has practically no effect on it. This is attributed to the predominance of the fatigue wear mechanism, in which the wear rate increases with contact stresses, in proportion to the strength properties, with tear resistance exerting the greater effect on the wear rate.

Keywords: rubber, fiber, low molecular weight rubber, abrasive wear, particle size, toughness, tear resistance.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-89-100

Адрес для переписки:

В.Н. Адериха

Государственное научное учреждение «Институт механики
металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: vnad@tut.by

Для цитирования:

В.Н. Адериха, Н.А. Марусенко.

Абразивный износ резин на основе натурального каучука,
технического углерода и полиоксадиазольного волокна.
Трение и износ.

2024. — Т. 45, № 2. — С. 89–100.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-89-100

Address for correspondence:

V.N. Aderikha

V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of
Sciences of Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: vnad@tut.by

For citation:

V.N. Aderikha and N.A. Marusenko.

[Abrasive Wear of Rubbers Based on Natural Rubber, Carbon Black
and Polyoxadiazole Fiber].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 2, pp. 89–100 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-89-100

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Wagner S., Hüffer T., Klöckner P., Wehrhahn M., Hofmann T., and Reemtsma T.** Tire Wear Particles in the Aquatic Environment - A Review on Generation, Analysis, Occurrence, Fate and Effects // *Water Res.* — 2018 (**139**), 83—100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.051>
2. **Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В.** Трение и износ полимеров. — Л.: Химия. — 1972
3. **Бродский Г.И., Евсратов В.Ф., Сахновский Н.Л., Слюдилов Л.Д.** Истирание резин. — М.: Химия. — 1975
4. **Jung J. and Sodano H. A.** Aramid Nanofiber Reinforced Rubber Compounds for the Application of Tire Tread with High Abrasion Resistance and Fuel Saving Efficiency // *ACS Appl. Polym. Mater.* — 2020 (**2**), no. 11, 4874—4884. DOI: 10.1021/acsapm.0c00797
5. **Jung J. and Sodano H. A.** Synergetic Effect of Aramid Nanofiber-Graphene Oxide Hybrid Filler on the Properties of Rubber Compounds for Tire Tread Application // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2022 (**139**), e51856. <https://doi.org/10.1002/app.51856>
6. **Zhang X., Chen Y., Yin Q., Wu J., Song W., Mohamed A., Jia H., Yang F., and Rui X.** Highly Improved Compatibility and Mechanical Properties of Carboxylated Nitrile Rubber/Styrene Butadiene Rubber by Incorporating Modified Kevlar Nanofibers // *Mater. Chem. Phys.* — 2019 (**238**), 121926. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.121926>
7. **Sirishinha C., Sae-oui P., Suchiva K., and Thap-tong P.** Properties of Tire Tread Compounds Based on Functionalized Styrene Butadiene Rubber and Functionalized Natural Rubber // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2019 (**137**), 48696. <https://doi.org/10.1002/app.48696>
8. **Molnar W., Varga M., Braun P., Adam K., and Badisch E.** Correlation of Rubber Based Conveyor Belt Properties and Abrasive Wear Rates under 2- and 3-Body Conditions // *Wear.* — 2014 (**320**), 1—6
9. **Zhong J., Luo Z., Hao Z., Guo Y., Zhou Z., Li P., and Xue B.** Enhancing Fatigue Properties of Styrene Butadiene Rubber Composites by Improving Interface Adhesion Between Coated Aramid Fibers and Matrix // *Composites Part B.* — 2019 (**172**), 485—495. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.091>
10. **Xu D., Karger-Kocsis J., and Schlarb A. K.** Friction and Wear of HNBR with Different Fillers under Dry Rolling and Sliding Conditions // *eXPRESS Polym. Lett.* — 2009 (**3**), no. 2, 126—136. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2009.16]
11. **Адериха В.Н., Коваль В.Н., Марусенко Н.А.** Усиление резины на основе натурального каучука и технического углерода полиоксидазольным волокном, силаном и низкомолекулярными каучуками // *Полимерные материалы и технологии.* — 2023 (**9**), № 4, 50—59
12. **Saramolee P., Sahakaro K., Lopattananon N., Dierkes W.K., and Noordermeer J.W.M.** Comparative Properties of Silica- and Carbon Black Reinforced Natural Rubber in the Presence of Epoxidized Low Molecular Weight Polymer // *Rubber Chem. Technol.* — 2014 (**87**), no. 2, 320—339
13. **Liang H., Fukahori Y., Thomas A.G., and Busfield J.J.C.** The Steady State Abrasion of Rubber: Why are the Weakest Rubber Compounds So Good in Abrasion? // *Wear.* — 2010 (**268**), 756—762
14. **Адериха В.Н., Коваль В.Н., Марусенко Н.А.** Модифицирование резины на основе натурального каучука и технического углерода полиоксидазольным волокном, силаном и низкомолекулярными каучуками // *Полимерные материалы и технологии.* — 2023 (**9**), № 3, 29—38
15. **Tiwari S. and Bijwe J.** Influence of Fiber-Matrix Interface on Abrasive Wear Performance of Polymer Composites // *J. Reinf. Plast. Comp.* — 2014 (**33**), no. 2, 115—126

References

1. **Wagner S., Hüffer T., Klöckner P., Wehrhahn M., Hofmann T., and Reemtsma T.** Tire Wear Particles in the Aquatic Environment - A Review on Generation, Analysis, Occurrence, Fate and Effects // *Water Res.* — 2018 (**139**), 83—100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.051>
2. **Bartenev G.M., Lavrent'ev V.V.** Tрение i iznos polimerov [Friction and wear of polymers]. — Leningrad: Khimiya. — 1972 (in Russian)
3. **Brodskii G.I., Evstratov V.F., Sakhnovskii N.L., Sliudikov L.D.** Istiranje rezin [Wear of rubbers]. — Moscow: Khimiya. — 1975 (in Russian)
4. **Jung J. and Sodano H. A.** Aramid Nanofiber Reinforced Rubber Compounds for the Application of Tire Tread with High Abrasion Resistance and Fuel Saving Efficiency // *ACS Appl. Polym. Mater.* — 2020 (**2**), no. 11, 4874—4884. DOI: 10.1021/acsapm.0c00797
5. **Jung J. and Sodano H. A.** Synergetic Effect of Aramid Nanofiber-Graphene Oxide Hybrid Filler on the Properties of Rubber Compounds for Tire Tread Application // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2022 (**139**), e51856. <https://doi.org/10.1002/app.51856>
6. **Zhang X., Chen Y., Yin Q., Wu J., Song W., Mohamed A., Jia H., Yang F., and Rui X.** Highly Improved Compatibility and Mechanical Properties of Carboxylated Nitrile Rubber/Styrene Butadiene Rubber by Incorporating Modified Kevlar Nanofibers // *Mater. Chem. Phys.* — 2019 (**238**), 121926. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.121926>
7. **Sirishinha C., Sae-oui P., Suchiva K., and Thap-tong P.** Properties of Tire Tread Compounds Based on Functionalized Styrene Butadiene Rubber and Functionalized Natural Rubber // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2019 (**137**), 48696. <https://doi.org/10.1002/app.48696>
8. **Molnar W., Varga M., Braun P., Adam K., and**

- Badisch E.** Correlation of Rubber Based Conveyor Belt Properties and Abrasive Wear Rates under 2- and 3-Body Conditions // *Wear*. — 2014 (**320**), 1—6
9. **Zhong J., Luo Z., Hao Z., Guo Y., Zhou Z., Li P., and Xue B.** Enhancing Fatigue Properties of Styrene Butadiene Rubber Composites by Improving Interface Adhesion between Coated Aramid Fibers and Matrix // *Composites Part B*. — 2019 (**172**), 485—495 <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.05.091>
10. **Xu D., Karger-Kocsis J., and Schlarb A. K.** Friction and Wear of HNBR with Different Fillers under Dry Rolling and Sliding Conditions // *eXPRESS Polym. Lett.* — 2009 (**3**), no. 2, 126—136. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2009.16]
11. **Aderikha V.N., Koval V.N., Marusenko N.A.** Usilenie reziny na osnove natural'nogo kautchuka I tehničeskogo ugleroda polioksadiazol'nyim voloknom, silanom I nizkomolekulyarnymi rautchukami [Reinforcement of rubber based on natural rubber and carbon black with polyoxadiazole fiber and low molecular weight rubbers] // *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymer materials and technologies]. — 2023 (**9**), no. 4, 50—59 (in Russian)
12. **Saramolee P., Sahakaro K., Lopattananon N., Dierkes W.K., and Noordermeer J.W.M.** Comparative Properties of Silica- and Carbon Black Reinforced Natural Rubber in the Presence of Epoxidized Low Molecular Weight Polymer // *Rubber Chem. Techn.* — 2014 (**87**), no. 2, 320—339
13. **Liang H., Fukahori Y., Thomas A.G., and Busfield J.J.C.** The Steady State Abrasion of Rubber: Why are the Weakest Rubber Compounds So Good in Abrasion? // *Wear*. — 2010 (**268**), 756—762
14. **Aderikha V.N., Koval V.N., Marusenko N.A.** Vliyanie nizkomolekulyarnykh kauchukov na mehanicheskie svoistva reziny na osnove natural'nogo kauchuka i polioksadiazol'nogo volokna [Effect of low molecular weight rubber on mechanical properties of rubber based on natural rubber and polyoxadiazole fiber] // *Polimernye materialy I tehnologii* [Polymer materials and technologies]. — 2023 (**9**), no. 3, 29—38 (in Russian)
15. **Tiwari S. and Bijwe J.** Influence of Fiber–Matrix Interface on Abrasive Wear Performance of Polymer Composites // *J. Reinf. Plast. Comp.* — 2014 (**33**), no. 2, 115—126

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