

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-4-44-53>

УДК 678.046

УСИЛЕНИЕ РЕЗИНЫ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА И ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫМ ВОЛОКНОМ, СИЛАНОМ И НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ КАУЧУКАМИ

В. Н. АДЕРИХА⁺, В. Н. КОВАЛЬ, Н. А. МАРУСЕНКО

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

Цель работы — исследовать влияние армирования резин на основе натурального каучука (НК) и технического углерода (ТУ) короткорезанными полиоксадиазольными (ПОД) волокнами и их дальнейшего модифицирования жидкими низкомолекулярными полибутадиеновыми каучуками (НМК) и бис-[(3-триэтоксисил)л]-пропил]-тетрасульфид силаном на структуру и показатели свойств.

В работе использовали НМК с концевыми углеводородными и с гидроксильными группами, резиновые смеси получали с использованием смесителя закрытого типа. Кинетику вулканизации изучали по изменению динамических механических свойств при сдвиге, показатели прочности при растяжении определяли на испытательной машине «Инстрон-5567», динамические механические характеристики на оригинальном релаксометре методом затухающих крутильных колебаний, скорость абразивного изнашивания на трибометре барабанного типа.

Установлено, что введение ПОД волокон, отдельно или в сочетании с НМК повышает степень сшивания, статические модули резин М10 и М20 (до 1,5–1,8 раз), предел текучести и прочность резин при растяжении по сравнению с неармированным вулканизатом НК. Найдено, что введение ПОД волокна повышает сопротивление абразивному изнашиванию резины на основе НК лишь в сочетании с НМК, или в сочетании НМК с силаном, обеспечивая рост износостойкости до 9–15% по сравнению с неармированным составом.

Ключевые слова: натуральный каучук, полиоксадиазольное волокно, низкомолекулярный полибутадиеновый каучук, механические свойства, абразивостойкость.

REINFORCEMENT OF RUBBER BASED ON NATURAL RUBBER AND CARBON BLACK WITH POLYOXADIAZOLE FIBER AND LOW MOLECULAR WEIGHT RUBBERS

V. N. ADERIKHA⁺, V. N. KOVAL, N. A. MARUSENKO

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

The aim of the work is to investigate the effect of reinforcement of rubbers based on natural rubber (NR) and carbon black (CB) with short-cut polyoxadiazole (POD) fibers and their further modification with liquid low molecular weight polybutadiene rubbers (LMWR) and bis-[(3-triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide silane on the structure and properties.

The research has been conducted using LMWR with terminal hydrocarbon or hydroxyl groups, rubber blends were prepared in a closed chamber mixer. The kinetics of vulcanization was monitored via the changes of dynamic mechanical properties on the “RPA Flex” instrument, tensile strength indicators were determined

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: vnad@tut.by

on the Instron-5567 testing machine, dynamic mechanical characteristics on the original relaxometer with free torsional pendulum, the rate of abrasive wear was measured on a drum-type tribometer.

It is found that the introduction of POD fibers, alone or in combination with LMWR, increases the degree of crosslinking, static modules of M10 and M20 rubbers (up to 1.5–1.8 times), yield strength and tensile strength of rubbers compared with non-reinforced rubber. It is found that introduction of the fibers increases the resistance to abrasive wear of NR-based rubber only in combination with LMWR, or in combination with LMWR and silane, providing an increase in wear resistance up to 9–15% compared with the non-reinforced composition.

Keywords: natural rubber, polyoxadiazole fibers, low molecular weight polybutadiene rubber, mechanical properties, abrasion resistance.

Поступила в редакцию 12.10.2023

© В. Н. Адериха, В. Н. Коваль, Н. А. Марусенко, 2023

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:

Адериха В. Н., Коваль В. Н., Марусенко Н. А. Усиление резины на основе натурального каучука и технического углерода полиоксадиазольным волокном, силаном и низкомолекулярными каучуками // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 4. С. 44–53. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-4-44-53>

Citation sample:

Aderikha V. N., Koval' V. N., Marusenko N. A. Usilenie reziny na osnove natural'nogo kauchuka i tekhnicheskogo ugleroda polioksadiazol'nym voloknom, silanom i nizkomolekulyarnymi kauchukami [Reinforcement of rubber based on natural rubber and carbon black with polyoxadiazole fiber and low molecular weight rubbers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 9, no. 4, pp. 44–53. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2023-9-4-44-53>

Литература

1. Kim W., Muhammet I., Kim D., Kim I. J., Lee J.-Y., Kim W. Liquid Polybutadiene Extended ESBR/Silica Wet-Masterbatch Composites For Improving Abrasion Resistance And Dynamic Properties Of Tire Tread Compounds // *Rubber Chem. Technol.*, 2022, vol. 95, no. 1, pp. 82–100. doi: 10.5254/rct.21.79881
2. Saramolee P., Sahakaro K., Lopattananon N., Dierkes W. K., 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, vol. 87, no. 2, pp. 320–339. doi: 10.5254/rct.13.86970
3. Sreenivasan P., Ratna D., Albert P., J. Somashekar, Raut R., Chakraborty B. C. A New Liquid Rubber-Assisted Dispersion of Organoclay in Carbon Black Filled Carboxylated Acrylonitrile–Butadiene Rubber Matrix // *J. Appl. Polym. Sci.*, 2013, vol. 128, is. 4, pp. 2414–2423. doi: 10.1002/app.38256
4. Zhong J., Luo Z., Hao Y., Guo Y., Zhou Z., Li P., Xue B. Enhancing fatigue properties of styrene butadiene rubber composites by improving interface adhesion between coated aramid fibers and matrix // *Composites, Part B*, 2019, vol. 172, pp. 485–495. doi: 10.1016/j.compositesb.2019.05.091
5. Balachandrakurup V., George N., Gopalakrishnan J. Effect of compatibiliser on the mechanical, rheological and thermal properties of natural rubber/Cellulose nanofibre composites // *Mater. Today Proc.*, 2021, vol. 47, pp. 5345–5350. doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.065
6. Kim D., Ahn B., Kim K., Lee J. Y., Kim I. J., Kim W. Effects of Molecular Weight of Functionalized Liquid Butadiene Rubber as a Processing Aid on the Properties of SSBR/Silica Compounds // *Polymers*, 2021, vol. 13, is. 6. doi: 10.3390/polym13060850
7. Salort F., Henning S. K. Silane-terminated liquid poly(butadienes) in tread formulations: a mechanistic study // *Rubber Chem. Technol.*, 2021, vol. 94, no. 1, pp. 24–47. doi: 10.5254/rct.20.80359
8. Адериха В. Н., Коваль В. Н., Марусенко Н. А. Влияние низкомолекулярных каучуков на механические характеристики резины на ос-

- нове натурального каучука і поліоксидіазольного волокна // Полімерні матеріали і технології. 2023. Т. 9, № 3. С. 29–38. doi: 10.32864/polymmattech-2023-9-3-29-38
9. Thammathadukul V., O'Haver J. H., Harwell J. H., Osuwan S., Na-Ranong N., Waddell W. H. Comparison of Rubber Reinforcement Using Various Surface-Modified Precipitated Silicas // *J. Appl. Polym. Sci.*, 1996, vol. 59, pp. 1741–1750. doi: 10.1002/(SICI)1097-4628(19960314)59:11<1741::AID-APP10>3.0.CO;2-X
 10. Sae-oui P., Sirisinha C., Hatthapanit K., Thepsuwan U. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in an efficient vulcanization system // *Polym. Test.*, 2005, vol. 24, is. 4, pp. 439–446. doi: 10.1016/j.polymertesting.2005.01.008
 11. Mohamad N., Muchtar A., Ghazali M. J., Mohd D. Hj., Azhari C. H. Correlation of Filler Loading and Silane Coupling Agent on the Physical Characteristics of Epoxidized Natural Rubber-Alumina Nanoparticles Composites // *J. Elastomers Plast.*, 2010, vol. 42, is. 4, pp. 331–346. doi: 10.1177/0095244310368125
 12. Kaewsakul W., Sahakaro K., Dierkes W. K., Noordermeer J. Mechanistic Aspects of Silane Coupling Agents With Different Functionalities on Reinforcement of Silica-Filled Natural Rubber Compounds // *Polym. Eng. Sci.*, 2015, vol. 55, is. 4, pp. 836–842. doi: 10.1002/pen.23949
 13. Shen M.-X., Dong F., Zhang Z.-X., Meng X.-K., Peng X.-D. Effect of abrasive size on friction and wear characteristics of nitrile butadiene rubber (NBR) in two-body abrasion // *Trib. Int.*, 2016, vol. 103, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.025
 14. Ратнер С. Б., Фарберова И. И., Радюкевич О. В., Лурье Е. Г. Связь износостойкости пластмасс с другими механическими свойствами // *Пластические массы*. 1963. № 7. С. 38–42.
 15. Фарберова И. И., Ратнер С. Б., Лурье Е. Г., Гурман И. М., Игнатова Т. А., Носова Л. А. О влиянии некоторых рецептурных и технологических факторов на истирание пластмасс // *Пластические массы*. 1962. № 9. С. 35–38.
 16. Lancaster J. K. Abrasive wear of polymers // *Wear*, 1969, vol. 14, is. 4, pp. 223–239. doi: 10.1016/0043-1648(69)90047-7
 17. Huntink N., Pierik B., Lange P. de, Datta R. Material aims to improve rolling resistance, durability // *Rubber & Plastics News*, 2008, July 14, [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rubbernews.com/assets/PDF/RN86537218.pdf> (дата обращения: 10.10.2023).

References

1. Kim W., Muhammet I., Kim D., Kim I. J., Lee J.-Y., Kim W. Liquid Polybutadiene Extended SBR/Silica Wet-Masterbatch Composites For Improving Abrasion Resistance And Dynamic Properties Of Tire Tread Compounds. *Rubber Chem. Techn.*, 2022, vol. 95, no. 1, pp. 82–100. doi: 10.5254/rct.21.79881
2. Saramolee P., Sahakaro K., Lopattananon N., Dierkes W. K., 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, vol. 87, no. 2, pp. 320–339. doi: 10.5254/rct.13.86970
3. Sreenivasan P., Ratna D., Albert P., J. Somashekaran, Raut R., Chakraborty B. C. A New Liquid Rubber-Assisted Dispersion of Organoclay in Carbon Black Filled Carboxylated Acrylonitrile–Butadiene Rubber Matrix. *J. Appl. Polym. Sci.*, 2013, vol. 128, is. 4, pp. 2414–2423. doi: 10.1002/app.38256
4. Zhong J., Luo Z., Hao Z., Guo Y., Zhou Z., Li P., Xue B. Enhancing fatigue properties of styrene butadiene rubber composites by improving interface adhesion between coated aramid fibers and matrix. *Composites, Part B*, 2019, vol. 172, pp. 485–495. doi: 10.1016/j.compositesb.2019.05.091
5. Balachandrakurup V., George N., Gopalakrishnan J. Effect of compatibiliser on the mechanical, rheological and thermal properties of natural rubber/Cellulose nanofibre composites. *Mater. Today Proc.*, 2021, vol. 47, pp. 5345–5350. doi: 10.1016/j.matpr.2021.06.065
6. Kim D., Ahn B., Kim K. Lee J. Y., Kim I. J., Kim W. Effects of Molecular Weight of Functionalized Liquid Butadiene Rubber as a Processing Aid on the Properties of SBR/Silica Compounds. *Polymers*, 2021, vol. 13, is. 6. doi: 10.3390/polym13060850
7. Salort F., Henning S. K. Silane-terminated liquid poly(butadienes) in tread formulations: a mechanistic study. *Rubber Chem. Techn.*, 2021, vol. 94, no. 1, pp. 24–47. doi: 10.5254/rct.20.80359
8. Адериха В. Н., Коваль В. Н., Марусенко Н. А. Влияние низкомолекулярных каучуков на механические характеристики резины на основе натурального каучука и полиоксидазольного волокна [Effect of low molecular weight rubber on mechanical properties of rubber based on natural rubber and polyoxadiazole fiber]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2023, vol. 9, no. 3, pp. 29–38. doi: 10.32864/polymmattech-2023-9-3-29-38
9. Thammathadukul V., O'Haver J. H., Harwell J. H., Osuwan S., Na-Ranong N., Waddell W. H. Comparison of Rubber Reinforcement Using Various Surface-Modified Precipitated Silicas. *J. Appl. Polym. Sci.*, 1996, vol. 59, pp. 1741–1750. doi: 10.1002/(SICI)1097-4628(19960314)59:11<1741::AID-APP10>3.0.CO;2-X
10. Sae-oui P., Sirisinha C., Hatthapanit K., Thepsuwan U. Comparison of reinforcing efficiency between Si-69 and Si-264 in an efficient vulcanization system. *Polym. Test.*, 2005, vol. 24, is. 4, pp. 439–446. doi: 10.1016/j.polymertesting.2005.01.008
11. Mohamad N., Muchtar A., Ghazali M. J., Mohd D. Hj., Azhari C. H. Correlation of Filler Loading and Silane Coupling Agent on the Physical Characteristics of Epoxidized Natural Rubber-Alumina Nanoparticles Composites. *J. Elastomers Plast.*, 2010, vol. 42, is. 4, pp. 331–346. doi: 10.1177/0095244310368125
12. Kaewsakul W., Sahakaro K., Dierkes W. K., Noordermeer J. Mechanistic Aspects of Silane Coupling Agents With Different Functionalities on Reinforcement of Silica-Filled Natural Rubber Compounds. *Polym. Eng. Sci.*, 2015, vol. 55, is. 4, pp. 836–842. doi: 10.1002/pen.23949
13. Shen M.-X., Dong F., Zhang Z.-X., Meng X.-K., Peng X.-D. Effect of abrasive size on friction and wear characteristics of nitrile butadiene rubber (NBR) in two-body abrasion. *Trib. Int.*, 2016, vol. 103, pp. 1–11. doi: 10.1016/j.triboint.2016.06.025
14. Ratner S. B., Farberova I. I., Radyukevich O. V., Lur'e E. G. Svyaz' iznosostoykosti plastmass s drugimi mekhanicheskimi svoystvami [Relationship between the wear resistance of plastics and other mechanical properties]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 1963, no. 7, pp. 38–42.
15. Farberova I. I., Ratner S. B., Lur'e E. G., Gurman I. M., Ignatova T. A., Nosova L. A. O vliyaniy nekotorykh retsepturnykh i tekhnologicheskikh faktorov na istiranje plastmass [On the influence of some formulation and technological factors on the abrasion of plastics]. *Plasticheskie massy* [Plastics], 1962, no. 9, pp. 35–38.
16. Lancaster J. K. Abrasive wear of polymers. *Wear*, 1969, vol. 14, is. 4, pp. 223–239. doi: 10.1016/0043-1648(69)90047-7
17. Huntink N., Pierik B., Lange P. de, Datta R. Material aims to improve rolling resistance, durability. Available at: <https://www.rubbernews.com/assets/PDF/RN86537218.pdf> (accessed 10.10.2023).