

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-2-74-78>

УДК 678.046.5

## ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ КАРБОНИЗИРОВАННОЙ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПОЛНЕННЫХ РЕЗИН

Ю. Н. ХАКИМУЛЛИН, К. Р. ГАБДУЛХАЕВ<sup>+</sup>, Л. Ю. ЗАКИРОВА, Е. М. ГОТЛИБ

Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, 68, 420015, г. Казань, Россия

*Цель работы — изучение возможности замены белой сажи в наполненных вулканизатах изопренового каучука промышленной карбонизированной рисовой шелухой (ПКРШ) и анализ влияния размера ее частиц на механические свойства вулканизатов.*

*Методом рентгенофазового анализа, статическим волюметрическим методом низкотемпературной адсорбции азота, методом Barrett – Joyner – Halenda исследовали ПКРШ. Установлено, что ПКРШ полностью аморфная, имеет на порядок больший размер частиц и в несколько раз меньшую пористость, по сравнению с белой сажей БС-120. Исследовали механические характеристики резин на основе изопренового каучука, наполненного ПКРШ и белой сажей БС-120. Прочность и относительное удлинение при разрыве, эластичность по отскоку выше при применении ПКРШ на 10% и на 20% соответственно. При этом почти на 50% падает сопротивление раздиру.*

*При измельчении ПКРШ до размера, сопоставимого с размером частиц БС-120, сопротивление раздиру вулканизатов изопренового каучука незначительно растет. Поэтому можно предположить, что наибольшее влияние на межфазные взаимодействия вносит не дисперсность, а пористость наполнителя. В связи с этим, рационально частично (на 40%) заменять белую сажу БС-120 на ПКРШ, что позволяет улучшить все основных механические свойства резин, в том числе сопротивление раздиру.*

**Ключевые слова:** белая сажа, карбонизированная рисовая шелуха, диоксид кремния, пористость, фазовый состав, размер частиц, прочность, твердость, сопротивление раздиру, эластичность по отскоку.

## INFLUENCE OF CARBONIZED RICE HUSK MORPHOLOGY ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FILLED RUBBERS

YU. N. KHAKIMULLIN, K. R. GABDULKHAEV<sup>+</sup>, L. YU. ZAKIROVA, E. M. GOTLIB

Kazan National Research Technological University (KNRTU), K. Marx St., 68, 420015, Kazan, Russia

*The aim of the work is to study the possibility of the white soot replacement in isoprene rubber with industrial carbonized rice husk (ICRH) and to analyze the effect of its particle size on the mechanical properties of vulcanizates.*

*ICRH was studied by X-ray phase analysis, static volumetric method of low-temperature nitrogen adsorption, and the Barrett – Joyner – Halenda method. It has been established that ICRH is completely amorphous, has an order of magnitude larger particle size and several times lower porosity, compared with БС-120 white soot. The mechanical characteristics of rubbers based on isoprene rubber filled with ICRH and БС-120 white soot were studied. Tensile strength and elongation at break, rebound elasticity are higher with the use of ICRH by 10% and 20% respectively. At the same time the tear resistance drops by almost 50%.*

*When ICRH is crushed to a particle size comparable to БС-120, the tear resistance of isoprene rubber*

<sup>+</sup>Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: 19gkraikido99@mail.ru

vulcanizates increases slightly. Therefore it can be assumed that the porosity of the filler rather than the dispersion has the greatest effect on the interfacial interactions. In this regard, it is rational to partially (by 40%) replace the BC-120 white soot with ICRH, which improves all the basic mechanical properties of rubbers, including tear resistance.

**Keywords:** white soot, carbonized rice husk, silica, porosity, phase composition, particle size, strength, hardness, tear resistance, rebound elasticity.

Поступила в редакцию 18.04.2025

© Ю. Н. Хакимуллин, К. Р. Габдулхаев, Л. Ю. Закирова, Е. М. Готлиб, 2025

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](mailto:polmattex@gmail.com)  
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

#### Образец цитирования:

Хакимуллин Ю. Н., Габдулхаев К. Р., Закирова Л. Ю., Готлиб Е. М. Влияние морфологии карбонизированной рисовой шелухи на физико-механические свойства наполненных резин // Полимерные материалы и технологии. 2025. Т. 11, № 2. С. 74–78. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-2-74-78>

#### Citation sample:

Khakimullin Yu. N., Gabdul Khaev K. R., Zakirova L. Yu., Gotlib E. M. Vliyanie morfologii karbonizirovannoy risovoy shelukhi na fiziko-mekhanicheskie svoystva napolnennykh rezin [Influence of carbonized rice husk morphology on physical and mechanical properties of filled rubbers]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2025, vol. 11, no. 2, pp. 74–78. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2025-11-2-74-78>

#### Литература

- Arjmandi R., Hassan A., Majeed K., Zakaria Z. Rice Husk Filled Polymer Composites // *International Journal of Polymer Science*, 2015, vol. 2015. doi: 10.1155/2015/501471
- Spratte T., Plagge J., Wunde M., Klüppel M. Investigation of strain-induced crystallization of carbon black and silica filled natural rubber composites based on mechanical and temperature measurements // *Polymer*, 2017, vol. 115, pp. 12–20. doi: 10.1016/j.polymer.2017.03.019
- Sae-Oui P., Rakdee C., Thanmathorn P. Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers // *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 83, is. 11. pp. 2485–2493. doi: 10.1002/app.10249
- Arayarane W., Na-Ranong N., Rempel G. L. Application of rice husk ash as fillers in the natural rubber industry // *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, vol. 98, pp. 34–41. doi: 10.1002/app.21004
- Ibadullayev A., Teshabayeva E., Kakharov B., Nigmatova D. Composite elastomeric materials filled with modified mineral fillers // *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 264, no. 3. doi: 10.1051/e3sconf/202126405006
- Kornev Y. V., Valiev H. H., Karnet Y. N., Kornilova A. A., Semenov N. A., Vlasov A. N. Ch. 3. Composition and Structure Influence on Properties of Elastomeric Composites with Silicon Dioxide Fillers // *Application and Characterization of Rubber Materials* / Eds. Gülşen Akın Evingür, Önder Pekcan. London : IntechOpen, 2023, pp. 39–54. doi: 10.5772/intechopen.108515
- Готлиб Е. М., Козубов М. П., Хохлов Е. В., Габдулхаев К. Р., Хакимуллин Ю. Н. Устойчивость к агрессивным средам резин на основе изопренового каучука, наполненных диоксидом кремния из рисовой шелухи // *Вестник ЮУрГУ. Серия Химия*, 2024. Т. 16, № 4. С. 121–126. doi: 10.14529/chem240411
- Chandran V., ManvelRaj T., Lakshmanan T., SenthilKumar M. Influence of Different Fillers on Natural Rubber Composites to Assess Mechanical Performance // *International Journal of Engineering*, 2015, vol. 28, is. 6, pp. 932–939.
- Обзор рынка диоксида кремния (белая сажа и аэросил) в СНГ. 5 изд. Москва : Инфолайн, 2017. 121 с.
- Обзор рынка синтетического диоксида кремния (осажденного и пирогенного) в России и ЕАЭС. 8-е изд. Москва : Инфолайн, 2025. 137 с.
- Козубов М. П., Хохлов Е. В., Исламова Г. Г., Готлиб Е. М., Габдулхаев К. Р. Получение аморфного диоксида кремния в промышленных условиях на базе рисовой шелухи // *Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всероссийской научно-практической конференции*, Киров, 14–15 ноября 2023 г. Киров, 2023. С. 86–89.
- Ajinsamajan A., Rungvichaniwat A., Saetung A. Utilization of silicon dioxide powder from industrial wastes as novel filler in rubber isolator application // *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2022, vol. 32, no. 1, pp. 93–100. doi: 10.55713/jmmm.v32i1.1205

13. Cruz-Morales J. A., Gutiérrez-Flores C., Zárate-Saldaña D., Burelo M., García-Ortega H., Gutiérrez S. Synthetic Polyisoprene Rubber as a Mimic of Natural Rubber: Recent Advances on Synthesis, Nanocomposites, and Applications // *Polymers*, 2023, vol. 15, is. 20. doi: 10.3390/polym15204074
14. Xiao Jian-Shu, Wang Yu-Ge, Gu Qian-Qian, Zhang Zhi-Cai, Lyu Yong-Peng, Yin Yuan, Sun Hong-Guo, Zheng Ya-Fang, Sun Zhao-Yan Formation of Network by Carbon Black, Silica and Their Mixing Fillers in Isoprene Rubber // *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2022, vol. 39, no. 12, pp. 1833–1841. doi: 10.19894/j.issn.1000-0518.220095
15. Rahmaniari, Susanto T. Impacts of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile properties of natural rubber/ethylene propylene rubber blends // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 509. doi: 10.1088/1757-899X/509/1/012116
16. López B.L., Pérez L.D., Mesa M., Sierra L., Devaux E., Camargo M., Campagne C., Giraud S. Use of mesoporous silica as a reinforcing agent in rubber compounds // *e-Polymers*, 2005, vol. 5, no. 1. doi: 10.1515/epoly.2005.5.1.182
17. Люштык А. Ю., Каюшников С. Н., Шашок Ж. С., Усс Е. П., Кротова О. А., Лешкевич А. В. Особенности диспергирования кремнекислотных наполнителей в эластомерных композициях на основе растворных бутадиен-стирольных каучуков. Труды БГТУ. Серия 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 2. С. 19–25. doi: 10.52065/2520-2669-2022-259-2-19-25

## References

1. Arjmandi R., Hassan A., Majeed K., Zakaria Z. Rice Husk Filled Polymer Composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015, vol. 2015. doi: 10.1155/2015/501471
2. Spratte T., Plagge J., Wunde M., Klüppel M. Investigation of strain-induced crystallization of carbon black and silica filled natural rubber composites based on mechanical and temperature measurements. *Polymer*, 2017, vol. 115, pp. 12–20. doi: 10.1016/j.polymer.2017.03.019
3. Sae-Oui P., Rakdee C., Thanmathorn P. Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 83, is. 11, pp. 2485–2493. doi: 10.1002/app.10249
4. Arayaprane W., Na-Ranong N., Rempel G. L. Application of rice husk ash as fillers in the natural rubber industry. *Journal of Applied Polymer Science*, 2005, vol. 98, pp. 34–41. doi: 10.1002/app.21004
5. Ibadullayev A., Teshabayeva E., Kakharov B., Nigmatova D. Composite elastomeric materials filled with modified mineral fillers. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 264, no. 3. doi: 10.1051/e3sconf/202126405006
6. Kornev Y. V., Valiev H. H., Karnet Y. N., Kornilova A. A., Semenov N. A., Vlasov A. N. Ch. 3. Composition and Structure Influence on Properties of Elastomeric Composites with Silicon Dioxide Fillers. *Application and Characterization of Rubber Materials*. Eds. Gülşen Akın Evingür, Önder Pekcan. London : IntechOpen, 2023, pp. 39–54. doi: 10.5772/intechopen.108515
7. Gotlib E. M., Kozubov M. P., Khokhlov E. V., Gabdulkaev K. R., Khakimullin Yu. N. Ustoychivost' k agressivnym sredam rezin na osnove izoprenovogo kauchuka, napolnennykh dioksidom kremniya iz risovoy shelukhi [Resistance to aggressive environment of rubbers based on isoprene rubber, filled with silicon dioxide from rice husks]. *Vestnik YuUrGU. Seriya Khimiya* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry], 2024, vol. 16, no. 4, pp. 121–126. doi: 10.14529/chem240411
8. Chandran V., ManvelRaj T., Lakshmanan T., SenthilKumar M. Influence of Differ-ent Fillers on Natural Rubber Composites to Assess Mechanical Performance. *International Journal of Engineering*, 2015, vol. 28, is. 6, pp. 932–939.
9. Obzor rynka dioksida kremniya (belaya sazha i aerosil) v SNG [Review of the silicon dioxide market (white carbon black and aerosil) in the CIS]. 5th edition. Moscow : Infomayn Publ., 2017. 121 p.
10. Obzor rynka sinteticheskogo dioksida kremniya (osazhdennogo i pirogenno) v Rossii i EAES [Overview of the synthetic silicon dioxide market (precipitated and pyrogenic) in Russia and the EAES]. 8th edition. Moscow : Infomayn Publ., 2025. 137 p.
11. Kozubov M. P., Khokhlov E. V., Islamova G. G., Gotlib E. M., Gabdulkaev K. R. Poluchenie amorfno dioksida kremniya v promyshlennyykh usloviyakh na baze risovoy shelukhi [Production of amorphous silicon dioxide in industrial conditions based on rice husk]. *Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tekhnologii pererabotki otkhodov s polucheniem novoy produktsii»* [Proceedings of the V All-Russian scientific and practical conference “Technologies for waste processing with the production of new products”]. Kirov, 2023, pp. 86–89.
12. Ajinsamajan A., Rungvichaniwat A., Saetung A. Utilization of silicon dioxide powder from industrial wastes as novel filler in rubber isolator application. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2022, vol. 32, no. 1, pp. 93–100. doi: 10.55713/jmmm.v32i1.1205
13. Cruz-Morales J. A., Gutiérrez-Flores C., Zárate-Saldaña D., Burelo M., García-Ortega H., Gutiérrez S. Synthetic Polyisoprene Rubber as a Mimic of Natural Rubber: Recent Advances on Synthesis, Nanocomposites, and Applications. *Polymers*, 2023, vol. 15, is. 20. doi: 10.3390/polym15204074
14. Xiao Jian-Shu, Wang Yu-Ge, Gu Qian-Qian, Zhang Zhi-Cai, Lyu Yong-Peng, Yin Yuan, Sun Hong-Guo, Zheng Ya-Fang, Sun Zhao-Yan Formation of Network by Carbon Black, Silica and Their Mixing Fillers in Isoprene Rubber. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, 2022, vol. 39, no. 12, pp. 1833–1841. doi: 10.19894/j.issn.1000-0518.220095
15. Rahmaniari, Susanto T. Impacts of rice husk ash filler loading on curing, morphological characteristics and tensile properties of natural rubber/ethylene propylene rubber blends. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 509. doi: 10.1088/1757-899X/509/1/012116
16. López B.L., Pérez L.D., Mesa M., Sierra L., Devaux E., Camargo M., Campagne C., Giraud S. Use of mesoporous silica as a reinforcing agent in rubber compounds. *e-Polymers*, 2005, vol. 5, no. 1. doi: 10.1515/epoly.2005.5.1.182
17. Lyushtyk A. Yu., Kayushnikov S. N., Shashok Zh. S., Uss E. P., Krotova O. A., Leshkevich A. V. Osobennosti dispergirovaniya kremnekislotnykh napolniteley v elastomernyykh kompozitsiyakh na osnove rastvornykh butadien-stirol'nykh kauchukov [Features of the dispersion of silica fillers in elastomer compositions based on solutions styrene butadiene rubbers]. *Trudy BGTU. Seriya 2, Khimicheskie tekhnologii, biotekhnologii, geoekologiya* [Proceedings of BSTU. 2: Chemical technologies. Biotechnology. Geoecology], 2022, no. 2, pp. 19–25. doi: 10.52065/2520-2669-2022-259-2-19-25