

УДК 539.621

Механизм смазочного действия модельных систем с присадками углеродных наноструктур в условиях жесткого режима трения

М.А. Шилов^{1,2}, А.И. Смирнова¹, С.Ю. Купреенко³, А.А. Гвоздев⁴, Н.Н. Рожкова⁵, Т.П. Дьячкова⁶, Д.Н. Столбов^{1,3}, С.В. Савилов^{3,7}, Н.В. Усольцева¹

¹НИИ наноматериалов Ивановского государственного университета,
ул. Ермака, 39, г. Иваново 153025, Россия

²Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина,
ул. Рабфаковская, д. 34, г. Иваново 153003, Россия

³Химический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
г. Москва 119991, Россия

⁴Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет,
ул. Советская, д. 45, г. Иваново 153012, Россия

⁵Институт геологии Карельского центра РАН,
ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск 185910, Россия

⁶Тамбовский государственный технический университет,
ул. Советская, д. 106, г. Тамбов 392000, Россия

⁷Институт нефтехимического синтеза им. Топчиева РАН,
г. Москва 119991, Россия

Поступила в редакцию 27.08.2024.

После доработки 30.11.2024.

Принята к публикации 10.12.2024.

Рассмотрен механизм смазочного действия двух модельных смазок на основе вазелина медицинского с присадками 0,5 мас. % оксида графена (GO) и шунгитового наноуглерода (Sh) в условиях жёсткого режима трения (машина трения 2070 СМТ-1, нагрузка 2000 Н) при трении пары «диск–ролик» из закалённой стали ШХ15. Проведен анализ вклада химической компоненты в противоизносный процесс. Отмечено, что в случае использования обеих модельных смазок в зоне контакта формируются защитные оксидные плёнки, состоящие из оксидов железа (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄), при этом тип данных двух присадок УНС практически не оказывает влияния на химический состав оксидной плёнки и количественное соотношение образующихся оксидов железа. Полученные результаты показывают, что определяющий вклад в противоизносный процесс вносит механическая компонента, связанная с пространственной организацией присадок УНС.

Ключевые слова: трибология, трение, износ, углеродные наноструктуры, оксид графена, шунгитовый наноуглерод, вазелин, смазочные материалы.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-493-502

Адрес для переписки:

Н.В. Усольцева
НИИ наноматериалов Ивановского государственного университета,
ул. Ермака, 39, г. Иваново 153025, Россия
e-mail: nv_usol'tseva@mail.ru

Для цитирования:

М.А. Шилов, А.И. Смирнова, С.Ю. Купреенко, А.А. Гвоздев,
Н.Н. Рожкова, Т.П. Дьячкова, Д.Н. Столбов, С.В. Савилов,
Н.В. Усольцева.
Механизм смазочного действия модельных систем с присадками углеродных наноструктур в условиях жесткого режима трения. Трение и износ. 2024. – Т. 45, № 6. – С. 493–502.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-493-502

Address for correspondence:

N.V. Usol'tseva
Nanomaterials Research Institute, Ivanovo State University,
Ivanovo 153025, Russia
e-mail: nv_usoltseva@mail.ru

For citation:

M.A. Shilov, A.I. Smirnova, S.Yu. Kupreenko, A.A. Gvozdev,
N.N. Rozhkova, T.P. Dyachkova, D.N. Stolbov, S.V. Savilov, and
N.V. Usol'tseva.
[Mechanism of Lubricating Action of Model Systems with Additives of Carbon Nanostructures under Hard Friction Conditions].
Trenie i Iznos. 2024, vol. 45, no. 6, pp. 493–502 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-493-502

Mechanism of Lubricating Action of Model Systems with Additives of Carbon Nanostructures under Hard Friction Conditions

M.A. Shilov^{1,2}, A.I. Smirnova¹, S.Yu. Kupreenko³, A.A. Gvozdev⁴, N.N. Rozhkova⁵,
T.P. Dyachkova⁶, D.N. Stolbov^{1,3}, S.V. Savilov^{3,7}, and N.V. Usol'tseva¹

¹Nanomaterials Research Institute, Ivanovo State University,
Ivanovo 153025, Russia

²Ivanovo State Power Engineering University named
after V.I. Lenin,
Ivanovo 153003, Russia

³Department of Chemistry, Lomonosov Moscow State
University,
Moscow 119991, Russia

⁴Verkhnevolsk State University of Agronomy and Biotechnology,
Ivanovo 153012, Russia

⁵Institute of Geology Karelian Center of Russian
Academy of Sciences,
Petrozavodsk 185910, Russia

⁶Tambov State Technical University,
Tambov 392000, Russia

⁷Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis of Russian
Academy of Sciences,
Moscow 119991, Russia

Received 27.08.2024.

Revised 30.11.2024.

Accepted 10.12.2024.

Abstract

The mechanism of the lubricating effect of two model lubricants based on medical vaseline with 0.5 wt. % additives of carbon nanostructures (CNS), namely graphene oxide (GO) and shungite nanocarbon (Sh), under hard friction conditions (friction machine 2070 SMT-1, “disc–roller” friction pair made of hardened steel ShKh15, load 2000 N) has been established. The friction surfaces were examined by confocal laser microscopy and scanning electron microscopy. The elemental composition of the friction surfaces was determined with the help of energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The contribution of the chemical component (formation of iron oxides) to the anti-wear process was analyzed. It was found that despite the difference in the spatial structure of the used CNSs, the processes occurring in the friction zone are chemically similar. It has been demonstrated that with the use of both model lubricants, protective oxide films consisting of iron oxides (FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄) are formed in the contact zone. The chemical composition of the oxide film and the quantitative ratio of the formed iron oxides are not significantly affected by the type of CNS additives used. The obtained results, together with the studies we performed earlier, demonstrate that the mechanical component, associated with the spatial organization of CNS additive, makes the decisive contribution to the anti-wear process under hard friction conditions.

Keywords: tribology, friction, wear, carbon nanostructures, graphene oxide, shungite nanocarbon, vaseline, lubricants.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-493-502

Адрес для переписки:

Н.В. Усольцева

НИИ наноматериалов Ивановского государственного университета,
ул. Ермака, 39, г. Иваново 153025, Россия

e-mail: nv_usoltseva@mail.ru

Для цитирования:

М.А. Шилов, А.И. Смирнова, С.Ю. Купреенко, А.А. Гвоздев,
Н.Н. Рожкова, Т.П. Дьячкова, Д.Н. Столбов, С.В. Савилов,
Н.В. Усольцева.

Механизм смазочного действия модельных систем с присадками
углеродных наноструктур различной пространственной
организации в условиях жесткого режима трения.

Трение и износ.

2024. – Т. 45, № 6. – С. 493–502.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-493-502

Address for correspondence:

N.V. Usol'tseva

Nanomaterials Research Institute, Ivanovo State University,
Ivanovo 153025, Russia

e-mail: nv_usoltseva@mail.ru

For citation:

M.A. Shilov, A.I. Smirnova, S.Yu. Kupreenko, A.A. Gvozdev,
N.N. Rozhkova, T.P. Dyachkova, D.N. Stolbov, S.V. Savilov, and
N.V. Usol'tseva.

[Mechanism of Lubricating Action of Model Systems with Additives
of Carbon Nanostructures of Different Spatial Organization under Hard
Friction Conditions].

Trenie i Iznos.

2024, vol. 45, no. 6, pp. 493–502 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-6-493-502

Список использованных источников

1. **Unal H. and Mimaroglu A.** Friction and Wear Behaviour of Unfilled Engineering Thermoplastics // *Materials and Design*. — 2003 (**24**), no. 3, 183—187. DOI: 10.1016/S0261-3069(03)00018-9
2. **Hu J., Li D.Y., and Llewellyn R.** Computational Investigation of Microstructural Effects on Abrasive Wear of Composite Materials // *Wear*. — 2005 (**259**), 6—17. DOI: 10.1016/J.WEAR.2005.02.017
3. **Парфенов А.С., Шилов М.А., Смирнова А.И., Берёзина Е.В., Ткачев А.Г., Бурков А.А., Рожкова Н.Н., Усольцева Н.В.** Влияние различных аллотропов углерода на трибологические и реологические характеристики модельных смазочных систем // *Трение и износ*. — 2021 (**42**), № 3, 338—349. DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-338-349
4. **Fink M.** Wear Oxidation, a New Component of Wear // *Trans. Am. Soc. Steel Treating*. — 1930 (**18**), 1026—1034. DOI: 10.3389/fmats.2021.787729
5. **Шилов М.А., Смирнова А.И., Жукова Л.Н., Гвоздев А.А., Рожкова Н.Н., Дьячкова Т.П., Усольцева Н.В.** Влияние пространственной организации углеродных наноструктур на противозносные характеристики модельных смазочных систем при жестком режиме трения // *Трение и износ*. — 2023 (**44**), № 3, 225—232. DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-3-225-232
6. **Nagare P. and Kudal H.** A Taguchi Approach on Influence of Graphite as an Anti-Wear Additive on the Performance of Lithium Grease // *Proc. Manuf.* — 2018 (**20**), 487—492. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.072
7. **Zhang Y., Li P., Li, Liu X., Wan H., Chen L., Li H., and Jin Zh.** Tribological Properties of MoS₂ Coating for Ultra-Long Wear-Life and Low Coefficient of Friction Combined with Additive g-C₃N₄ in Air // *Friction*. — 2021 (**9**), no. 4, 789—801. DOI: 10.1007/s40544-020-0374-3
8. **Hou K.M., Han M.M., Liu X.H., et al.** In situ Formation of Spherical MoS₂ Nanoparticles for Ultra-low Friction // *Nanoscale*. — 2018 (**10**), no. 42, 19979—19986. DOI: 10.1039/C8NR06503A
9. **Джонс Э.И., Падгурскас Ю., Жунда А., Купчинскас А., Ковалева И.Н.** Исследование трибологических свойств говяжьего жира модифицированного графеном и терморасширенным графитом // *Трение и износ*. — 2018 (**39**), № 4, 428—432. DOI: 10.3103/S1068366618040049
10. **Choa M.H., Jeong J., Kima S.J., and Jang H.** Tribological Properties of Solid Lubricants (Graphite, Sb₂S₃, MoS₂) for Automotive Brake Friction Materials // *Wear*. — 2006 (**260**), 855—860. DOI: 10.1016/J.WEAR.2005.04.003
11. **Fan X., Xia Y., Wang L., and Li W.** Multilayer Graphene as a Lubricating Additive in Bentone Grease // *Tribol. Lett.* — 2014 (**55**), 455—464. DOI: 10.1007/s11249-014-0369-1
12. **Scardi P., Leoni M., Straffelini G., and De Giudici G.** Microstructure of Cu–Be Alloy Tribooxidative Wear Debris // *Acta Mater.* — 2007 (**55**), no. 7, 2531—2538. DOI: 10.1016/j.actamat.2006.11.046
13. **Mischler S.** Triboelectrochemical Techniques and Interpretation Methods in Tribocorrosion: a Comparative Evaluation // *Tribology International*. — 2008 (**41**), no. 7, 573—58. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.003
14. **Song H., Wang Zh., and Yang J.** Tribological Properties of Graphene Oxide and Carbon Spheres as Lubricating Additives // *Appl. Phys. A*. — 2016 (**122**), article no. 933, 9 p. DOI: 10.1007/s00339-016-0469-x
15. **Ali I., Basheer A.A., Kucherova A., Memetov N., Pasko T., Ovchinnikov K., Pershin V., Kuznetsov D., Galunin E., Grachev V., and Tkachev A.** Advances in Carbon Nanomaterials as Lubricants Modifiers // *Journal of Molecular Liquids*. — 2019 (**279**), 251—266. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.01.113
16. **Yunusov F.A., Brteki A.D., Vasilyeva E.S., and Tolochko O.V.** The Influence of Nano Additives on Tribological Properties of Lubricant Oil // *Materials Today: Proceedings*. — 2019 (**30**), 632—634. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.01.447

References

1. **Unal H. and Mimaroglu A.** Friction and Wear Behaviour of Unfilled Engineering Thermoplastics // *Materials and Design*. — 2003 (**24**), no. 3, 183—187. DOI: 10.1016/S0261-3069(03)00018-9
2. **Hu J., Li D.Y., and Llewellyn R.** Computational Investigation of Microstructural Effects on Abrasive Wear of Composite Materials // *Wear*. — 2005 (**259**), 6—17. DOI: 10.1016/J.WEAR.2005.02.017
3. **Parfenov A.S., Berezina E.V., Shilov M.A., Smirnova A.I., Usol'tseva N.V., Tkachev A.G., Burkov A.A., and Rozhkova N.N.** Influence of Various Carbon Allotropes on Tribological and Rheological Characteristics of Model Lubricating Systems // *Journal of Friction and Wear*. — 2021 (**42**), no. 3, 217—224. DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-3-338-349
4. **Fink M.** Wear Oxidation, a New Component of Wear // *Trans. Am. Soc. Steel Treating*. — 1930 (**18**), 1026—1034. DOI: 10.3389/fmats.2021.787729
5. **Shilov M.A., Smirnova A.I., Zhukova L.N. et al.** The Influence of the Spatial Organization of Carbon Nanostructures on Antiwear Characteristics of Model Lubricating Systems under a Hard Friction Mode // *Journal of Friction and Wear*. — 2023 (**44**), no. 3, 144—149. DOI: 10.3103/S1068366623030091
6. **Nagare P. and Kudal H.** A Taguchi Approach on Influence of Graphite as an Anti-Wear Additive on the Performance of Lithium Grease // *Proc. Manuf.* — 2018 (**20**), 487—492. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.02.072
7. **Zhang Y., Li P., Li, Liu X., Wan H., Chen L., Li H., and Jin Zh.** Tribological Properties of MoS₂ Coating for Ultra-Long Wear-Life and Low Coefficient of Friction Combined with Additive g-C₃N₄ in

- Air // Friction. — 2021 (9), no. 4, 789—801. DOI: 10.1007/s40544-020-0374-3
8. **Hou K.M., Han M.M., Liu X.H., et al.** In situ Formation of Spherical MoS₂ Nanoparticles for Ultra-low Friction // Nanoscale. — 2018 (10), no. 42, 19979—19986. DOI: 10.1039/C8NR06503A
 9. **Johns E.I., Padgurskas J., Zunda A., Kupcinskis A., and Kavaliova I.N.** Study of Tribological Properties of Tallow Modified by Graphene and Expanded Graphite // Journal of Friction and Wear. — 2018 (39), no. 4, 341—344. DOI: 10.3103/S1068366618040049
 10. **Choa M.H., Jeong J., Kima S.J., and Jang H.** Tribological Properties of Solid Lubricants (Graphite, Sb₂S₃, MoS₂) for Automotive Brake Friction Materials // Wear. — 2006 (260), 855—860. DOI: 10.1016/J.WEAR.2005.04.003
 11. **Fan X., Xia Y., Wang L., and Li W.** Multilayer Graphene as a Lubricating Additive in Bentone Grease // Tribol. Lett. — 2014 (55), 455—464. DOI: 10.1007/s11249-014-0369-1
 12. **Scardi P., Leoni M., Straffelini G., and De Giudici G.** Microstructure of Cu–Be Alloy Tribooxidative Wear Debris // Acta Mater. — 2007 (55), no. 7, 2531—2538. DOI: 10.1016/j.actamat.2006.11.046
 13. **Mischler S.** Triboelectrochemical Techniques and Interpretation Methods in Tribocorrosion: a Comparative Evaluation // Tribology International. — 2008 (41), no. 7, 573—58. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.003
 14. **Song H., Wang Zh., and Yang J.** Tribological Properties of Graphene Oxide and Carbon Spheres as Lubricating Additives // Appl. Phys. A. — 2016 (122), article no. 933, 9 p. DOI: 10.1007/s00339-016-0469-x
 15. **Ali I., Basheer A.A., Kucherova A., Memetov N., Pasko T., Ovchinnikov K., Pershin V., Kuznetsov D., Galunin E., Grachev V., and Tkachev A.** Advances in Carbon Nanomaterials as Lubricants Modifiers // Journal of Molecular Liquids. — 2019 (279), 251—266. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.01.113
 16. **Yunusov F.A., Brteki A.D., Vasilyeva E.S., and Tolochko O.V.** The Influence of Nano Additives on Tribological Properties of Lubricant Oil // Materials Today: Proceedings. — 2019 (30), DOI: 10.1016/j.matpr.2020.01.447

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