

Анализ эффективности антикоррозийного действия наноалмазов модифицированных высокоэнергетическим ультразвуковым воздействием на примере ружейного масла РЖ

© Иванов*+ Михаил Григорьевич, Лузгин Владислав Игоревич,

Иванов Денис Михайлович, Коптяков Александр Сергеевич

Кафедра общей химии. Уральский федеральный университет им. первого Президента

России Б.Н. Ельцина. ул. Мира, 19. г. Екатеринбург, 620002. Россия.

Тел.: +7 (343) 375-93-87. E-mail: m.g.ivanov@urfu.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: ружейное масло РЖ, коррозия, детонационные наноалмазы, высокоэнергетическая кавитация.

Аннотация

Боевые характеристики стрелкового оружия зависят от состояния его конструктивных элементов, которые подвержены влиянию окружающей среды и условий эксплуатации. Коррозия в стрелково-пушечных системах обусловлена наличием водорастворимых солей-электролитов, таких как хлорид калия и сульфат калия, в нагаре. В связи с этим важно обеспечивать обслуживание стрелкового оружия и защиту от коррозии в различных климатических условиях.

Для улучшения антикоррозионных свойств ружейного масла РЖ предложено использовать состав, включающую детонационные наноалмазы и поверхностно-активные вещества (ПАВ) – ингибиторы коррозии. Эта комбинация является новым и эффективным способом повышения антикоррозионных характеристик масла РЖ. Исследования показали, что эффективность таких композиций в камере солевого тумана значительно зависит от дзета-потенциала детонационных наноалмазов (ДНА). Ружейное масло с ДНА с отрицательным значением ζ -потенциала (образец ДНА-RUDDM) не влияют), а композиции с ДНА с положительным значением ζ -потенциала кратно увеличивают защитную эффективность композиций.

Ультразвуковая обработка на диспергаторе УЗЭД-5-9/5-18 оказывает сильное влияние на антикоррозионные свойства композиции. Особенностью УЗЭД-5-9/5-18 является высокая мощность (5+5 кВт) и камера с двухчастотными излучателями, в которой создается эффект сложения радиального и аксиального акустических полей кратных частот. При этом в рабочем объеме камеры создается область высокоэнергетической кавитации, обеспечивающей мощное воздействие на материалы. В работе представлены эффективные марки детонационных наноалмазов и ПАВ-ингибиторов, показавшие максимальный эффект в усилении антикоррозионных свойств. Рассматриваются их характеристики и возможности применения. Было установлено, что антикоррозионные свойства штатного ружейного масла РЖ можно значительно улучшить путем добавления небольших количеств дополнительных компонентов без существенного изменения основной рецептуры.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Иванов М.Г., Лузгин В.И., Иванов Д.М., Коптяков А.С. Анализ эффективности антикоррозийного действия наноалмазов модифицированных высокоэнергетическим ультразвуковым воздействием на примере ружейного масла РЖ. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.86. №6. С.57-65. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-57

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Иванов М.Г., Лузгин В.И., Иванов Д.М., Коптяков А.С. Анализ эффективности антикоррозийного действия наноалмазов модифицированных высокоэнергетическим ультразвуковым воздействием на примере ружейного масла РЖ. *Бутлеровские сообщения В*. 2026. Т.13. №2. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-57/ROI-jbc-B/26-13-2-8 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Mikhail G. Ivanov, Vladislav I. Luzgin, Denis M. Ivanov, Alexander S. Koptiyakov. Analysis of the effectiveness of anti-corrosive action of nanodiamonds modified by highenergy ultrasonic exposure using RZh gun oil as an example. *Butlerov Communications B*. 2026. Vol.13. No.2. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-57/ROI-jbc-B/26-13-2-8

Литература

- [1] D.S. Chauhan, M. Quraishi, K. Ansari, T.A. Saleh. Graphene and graphene oxide as new class of materials for corrosion control and protection: Present status and future scenario. *Progress Organic Coat.* **2020.** 147. Id.105741. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105741
- [2] T. Qureshi, G. Wang, S. Mukherjee, M.A. Islam, T. Filleter, C.V. Singh, D. K. Panesar. Graphene-based anti-corrosive coating on steel for reinforced concrete infrastructure applications: Challenges and potential. *Construct. Build. Mater.* **2022.** 351. Id.128947. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128947
- [3] M. Yan, Y.X. Lan, J.-M. Yeh. Application of graphene and its derivatives in anticorrosion coatings: research advances and future perspectives. *J. Taiwan Ins. Chem. Eng.* **2024.** 154. Id.105130. DOI: 10.1016/j.jtice.2023.105130
- [4] Иванов М.Г., Иванов Д.М., Риева А.Г., Прибавкин А.Б. Влияние бронирования высокоэнергетической композиции полимерной лентой при «сухом» синтезе наноалмазов на содержание примесей при окислении на воздухе в присутствии борного ангидрида. *Бутлеровские сообщения.* **2024.** Т.77. №3. С.35-41. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-77-3-35. [Mikhail G. Ivanov, Denis M. Ivanov, Aziza G. Rioeva, Andrey B. Pribavkin. The influence of armoring a high-energy composition with a polymer tape during the «dry» synthesis of nanodiamonds on the impurity content during oxidation in air in the presence of boric anhydride. *Butlerov Communications B.* **2024.** Vol.7. No.1. Id.9. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-77-3-35/ROI-jbc-B/24-7-1-9]
- [5] Детонационные наноалмазы. Технология, структура, свойства и применения. Под ред. А.Я. Вуля и О.А. Шендерович. Москва: Издательство ФТИ им. А.Ф. Иоффе. **2016.** 379с. [Detonation nanodiamonds. technology, structure, properties, and applications. Edited by A.Ya. Vul and O.A. Shenderova. (Books published with the support of the Russian Foundation for Basic Research). Moscow: Publishing House A.F. Ioffe Physical-Technical Institute. **2016.** 379p. ISBN: 978-5-93634-025-2]
- [6] Петров Е.А. Детонационный синтез наноматериалов. Наноалмазы и нанотехнологии. Бийск: Изд-во Алтайского гос. технического ун-та им. И.И. Ползунова. **2015.** 259с. [Evgeny A. Petrov. Detonation synthesis of nanomaterials. Nanodiamonds and nanotechnology = Nanodiamonds and nanotechnology. Biysk: Publishing House of Altai State Technical University Named after I.I. Polzunov. **2015.** 259p. (Russian)]
- [7] Долматов В.Ю. Детонационные наноалмазы. Получение, свойства, применение. Санкт-Петербург: Профессинал. **2011.** 534с. [Valery Yu. Dolmatov, Detonation nanodiamonds. Production, properties, application. St. Petersburg: Publishing House Professional. **2011.** 534p. (Russian)]
- [8] M.G. Ivanov, D.M. Ivanov. Ultrananocrystalline diamond. Synthesis, properties and application. Chapter 14. Nanodiamonds nanoparticles additive to lubricants. *Elsevier.* **2012.** P.457-492. 558p. DOI: 10.1016/B978-1-4377-3465-2.00014-1
- [9] Atsushi Kumea, Vadym N. Mochalin. Sonication-assisted hydrolysis of ozone oxidized detonation nanodiamond. *Diamond and Related Materials.* **2020.** P.107705. DOI: 10.1016/j.diamond.2020.107705
- [10] I.I. Kulakova. Surface chemistry of nanodiamonds. *Physics of the Solid State.* **2004.** Vol.46. №4. P.636-643.
- [11] Daiki Terada, Frederick Tze Kit So, Bodo Hattendorf, Tamami Yanagi, Eiji Ōsawa, Norikazu Mizuochi, Masahiro Shirakawa, Ryuji Igarashi, Takuya Fabian Segawa. A simple and soft chemical deaggregation method producing single-digit detonation nanodiamonds. *Nanoscale Advances.* **2022.** Vol.4. Iss.10. P.2268-2277. DOI: 10.1039/D1NA00556A
- [12] A.M. Schrand, S.A.C. Hens, O. Shenderova. Nanodiamond particles: Properties and perspectives for bioapplications. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences.* **2009.** Vol.34(1-2). P.18-74. DOI: 10.1080/10408430902831987
- [13] Патент РФ № 2284215. Кольцевой магнитострикционный преобразователь. Шестовских А.Е., Петров А.Ю., Лузгин В.И., Кандалинцев Б.А. Опубликовано 27.09.2006. Бюл. №27. [Patent RU No.2284215, C1. Ring-type magnetostriuctive transducer. A.E. Shestovskikh, A.Y. Petrov, V.I. Luzgin, B. Kandalintsev, V.A. Telnov. Closed joint-stock company "REHLTEK". No. 2005104192/15; declared 16.02.2005; published 27.10.2006. Bulletin No.27. (Russian)]
- [14] Лузгин В.И., Шестовских А.Е., Петров А.Ю., Коптяков А.С. Ультразвуковые резонансные излучатели для технологий получения нанодисперсных эмульсий и суспензий. Актуальные проблемы энергосберегающих электротехнологий АПЭЭТ-2014: Сборник научных трудов. Екатеринбург: УрФУ. **2014.** С.72-77. [V.I. Luzgin, A.E. Shestovskikh, A.Yu. Petrov, et al. Ultrasonic resonant emitters for technologies for obtaining nanodispersed emulsions and suspensions. Actual problems of energy-saving electrical technologies APEET-2014: collection of scientific papers. Ekaterinburg: Ural Federal University. **2014.** P.72-77.]
- [15] Лаврушин А.В., Стариков Н.Е., Семенов С.А., Жданова О.А., Науменко И.С. Оценка грибостойкости смазочных материалов, применяемых для защиты изделий машиностроения. *Известия ТулГУ. Технические науки.* **2019.** Вып.9. С.307-313. [A.V. Lavrushin, N.E. Starikov, S.A. Semenov, O.A. Zhdanova,

- I.S. Naumenko. Evaluation of the greasability of lubricants materials used for protection of products mechanical engineering. *Tula State University News. Technical Sciences*. **2019**. Iss.9. P.307-313]
- [16] O. Shenderova, I. Petrov, V. Walsh, V. Grichko, T. Tyler, G. Cunningham. Modification of detonation nanodiamonds by heat treatment in air. *Diamond & Related Materials*. **2006**. Vol.15. P.1799-1803. DOI: 10.1016/j.diamond.2006.08.032.
- [17] M.A. Deyab, S.T. Keera. On corrosion and corrosion inhibition of carbon steel in stored biodiesel: electrochemical (AC and DC) studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. **2016**. 68. P.187-191. DOI: 10.1016/j.jtice.2016.08.035
- [18] Ланин В.Д. Электрокинетические явления при воздействии ультразвука на жидкие среды. *Электронная обработка материалов*. **2011**. 47(4). P.130-135. [V.L. Lanin. Electrokinetic effects under the action of ultrasound in liquid media. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. **2011**. Vol.47. No.4. P.351-355.]
- [19] Иванов М.Г., Иванов Д.М. Об антикоррозионных свойствах ружейного масла РЖ. Проблема ингибитора коррозии АКОР-1. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.66. №5. С.51-57. ROI: jbc-01/21-66-5-51 [Mikhail G. Ivanov, Denis M. Ivanov. About the anticorrosive properties of RZH gun oil. The problem of the ACOR-1 corrosion inhibitor. *Butlerov Communications B*. **2021**. Vol.1. No.1. P.13. DOI: 10.37952/ROI-jbc-B/21-1-1-13]
- [20] M.G. Ivanov, L.E. Deev, O.A. Shenderova. Lubricant and synergistic additive formulation. *US Patent*. No.9. 441. 181. Publication Date: September 13. **2016**.
- [21] Lu Zhou, Mengna Chai, Honghe Ma. Ultrasound-enhanced stability of aqueous cu nanofluids: A molecular dynamics study on surfactant adsorption and interfacial electrostatics. *Journal of Molecular Liquids*. **2026**. Vol.451. Id.129490. DOI: 10.1016/j.molliq.2026.129490
- [22] Mikhail G. Ivanov, Vladislav I. Luzgin, Denis M. Ivanov, Alexander S. Koptiyakov. Analysis of the effectiveness of anti-corrosive action of nanodiamonds modified by highenergy ultrasonic exposure using RZh gun oil as an example. *Butlerov Communications B*. **2026**. Vol.13. No.2. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-57/ROI-jbc-B/26-13-2-8
- [23] Иванов М.Г., Лузгин В.И., Иванов Д.М., Коптяков А.С. Анализ эффективности антикоррозионного действия наноалмазов модифицированных высокоэнергетическим ультразвуковым воздействием на примере ружейного масла РЖ. *Бутлеровские сообщения В*. **2026**. Т.13. №2. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-57/ROI-jbc-B/26-13-2-8 (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications B
Advances in Chemistry & Thermophysics

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-B/26-13-2-8

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-86-6-57/ROI-jbc-B/26-13-2-8

**Analysis of the effectiveness of anti-corrosive action
of nanodiamonds modified by highenergy ultrasonic
exposure using RZh gun oil as an example**

Mikhail G. Ivanov,^{*,†} Vladislav I. Luzgin, Denis M. Ivanov, Alexander S. Koptiyakov

Department of General Chemistry. Ural Federal University the first President of Russia B.N. Yeltsin.

Mira St., 19. Yekaterinburg, 620002. Russia. Phone: +7 (343) 375-93-87. E-mail: m.g.ivanov@urfu.ru

^{*}Supervising author; [†]Corresponding author

Keywords: gun oil, corrosion, detonation nano-diamonds, high-energy cavitation.

Abstract

The combat performance of small arms depends on the condition of their structural components, which are exposed to environmental and operating conditions. Corrosion in small arms and gun systems is caused by the presence of water-soluble electrolyte salts, such as potassium chloride and potassium sulfate, in the carbon deposits. Therefore, it is important to ensure the maintenance of small arms and their corrosion protection in various climatic conditions.

To improve the anti-corrosion properties of RZh gun oil, a composition containing detonation nanodiamonds and surface-active agents (SAS) – corrosion inhibitors – has been proposed. This combination is a new and effective way to enhance the anti-corrosion properties of RZh oil. Research has shown that the effectiveness of such compositions in a salt spray chamber significantly depends on the zeta potential of the detonation nanodiamonds (DNDs). Gun oil with DNDs with a negative ζ -potential (DND-RUDDM sample) has no effect, while compositions with DNDs with a positive ζ -potential significantly increase the protective effectiveness of the compositions.

Ultrasonic treatment using the UZED-5-9/5-18 disperser has a significant impact on the anti-corrosion properties of the composition. The UZED-5-9/5-18 features high power (5+5 kW) and a chamber with dual-frequency emitters, which creates the effect of summing radial and axial acoustic fields of multiple frequencies. This creates a region of high-energy cavitation within the chamber, providing a powerful effect on materials. This paper presents effective grades of detonation nanodiamonds and surfactant inhibitors that have demonstrated maximum effectiveness in enhancing anti-corrosion properties. Their characteristics and application possibilities are discussed. It was found that the anti-corrosion properties of standard RZh gun oil can be significantly improved by adding small amounts of additional components without significantly changing the basic formula.