

# Техническая информация

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-82-88>

УДК 678:621.89:629.7

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В. Г. КУДРИЦКИЙ<sup>†</sup>

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

*Цель работы — анализ научно-технической информации о тенденциях развития научных исследований в области создания полимерных композиционных материалов, покрытий, композиционных смазочных материалов, конструкционных материалов космического назначения и их диагностики с имитацией воздействия космической среды.*

*Подчеркнута актуальность исследований эрозии полимеров в условиях воздействия космической среды. Проанализированы возможные пути создания новых материалов для космоса под новые задачи. Сделан вывод, что несмотря на колоссальный опыт в области космического материаловедения, продолжается систематическое накопление информации о поведении материалов в условиях космоса, расширяющее новые горизонты в освоении космического пространства. Подчеркнуто, что в обозримом будущем состав материалов в аэрокосмической промышленности продолжит меняться. Промышленность продолжит двигаться в направлении создания материалов с меньшим весом, повышенной прочностью, более высокой тепло- и коррозионной стойкостью. Количество отдельных деталей будет снижаться в пользу более прочных, близких к окончательной форме узлов, а их дизайн будет обусловлен не только конструктивными особенностями, но и характеристиками материалов. Снижение стоимости аэрокосмического производства, экономия топлива за счет облегчения конструкции и, как следствие, увеличение полезного веса — важнейшие задачи, которые стоят перед исследователями.*

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы космического назначения, адаптивные композитные покрытия, твердые смазочные материалы, эрозия полимеров.

## COMPOSITE MATERIALS FOR SPACE FRICTION UNITS

V. G. KUDRITSKY

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

*The purpose of the work is to analyze scientific and technical information on the trends of scientific research in the field of creation of polymer composite materials, coatings of composite, lubricants, structural materials for space applications and their diagnostics with simulation of space environment exposure.*

*The relevance of studies of polymer erosion under the influence of the space environment is emphasized. Possible ways of creating new materials for new space tasks are analyzed. It is concluded that despite the colossal experience in the field of outer space exploration, the systematic accumulation of information about the development of materials for outer space continues. It is emphasized that in the foreseeable future the range of materials for the aerospace industry will expand. The industry will continue to move in the direction of creating materials with lower weight, increased strength, higher heat and corrosion resistance. The number of individual parts will decrease in favor of more durable, close to the final shape of the nodes. Their design will depend not only on the design features, but also on the characteristics of the materials. Reducing the cost of aerospace production, saving fuel due to lightweight design and, as a significant increase in useful weight, are important tasks that researchers face.*

<sup>†</sup>E-mail: vladukas@mail.ru

**Keywords:** space polymer composite materials, adaptive composite coatings, solid lubricants, polymer erosion.

Поступила в редакцию 08.09.2022

© В. Г. Кудрицкий, 2022

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:

Кудрицкий В. Г. Композиционные материалы для узлов трения космического назначения // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 3. С. 82–88. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-82-88>

### Citation sample:

Kudritskiy V. G. Kompozitsionnye materialy dlya uzlov treniya kosmicheskogo naznacheniya [Kudritsky V. G. Composite materials for space friction units]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 3, pp. 82–88. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-82-88>

### Литература

- Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого: 50 лет развития / сост.: А. Я. Григорьев, Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц; редкол.: А. Я. Григорьев (гл. ред.) [и др.]. Минск: Беларуская навука, 2020. 221 с.
- Kannel J. W., Dufrane K. F. Rolling element bearings in space // The 20th Aerospace Mechanisms Symposium: proceedings, Cleveland, Ohio, 7–9 May 1986. USA: NASA, 1986, pp. 121–132.
- Benton E. R., Benton E. V. Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 2001, vol. 184, is. 1–2, pp. 255–294. doi: 10.1016/S0168-583X(01)00748-0
- Дроздов Ю. Н., Юдин Е. Г., Белов А. И. Прикладная трибология (трение, износ, смазка) / под ред. Ю. Н. Дроздова. М.: Эко-пресс, 2010. 604 с.
- Белый В. А., Старжинский В. Е., Щербаков С. В. Металлополимерные зубчатые передачи. Минск: Наука и техника, 1981. 351 с.
- Roberts E. W. Space tribology: its role in spacecraft mechanisms // Journal of Physics D: Applied Physics, 2012, vol. 45, no. 50. doi: 10.1088/0022-3727/45/50/503001
- Kałdoński T., Wojdyła P., Liquid lubricants for space engineering and methods for their testing // Journal of KONES Powertrain and Transport, 2011, vol. 18, no. 1, pp. 163–184.
- Lansdown A. R. Molybdenum disulphide lubrication. Amsterdam: Elsevier, 1999. 406 p
- Donnet C., Le Mogne Th., Martin J. M. Superlow friction of oxygen-free MoS<sub>2</sub> coatings in ultrahigh vacuum // Surf. Coat. Technol., 1993, vol. 62, is. 1–3, pp. 406–411. doi: 10.1016/0257-8972(93)90275-S
- Roberts E. W., Price W. B. Advances in molybdenum disulphide film technology for space applications // Sixth European Space Mechanisms and Tribology Symposium: proceedings, 4–6 October 1995, Zürich, Switzerland. Zurich: European Space Agency, 1995, pp. 273–78.
- Bin Yaqub T., Kannur K. H., Vuchkov T., Heau C., Cavaleiro A. Molybdenum diselenide coatings as universal dry lubricants for terrestrial and aerospace applications // Mater. Lett., 2020, vol. 275. doi: 10.1016/j.matlet.2020.128035
- Aldridge D., Gentilhomme M., Gibson A., Cameron P., McColgan A., Dhanji Z., Lambros S., Anderson M. Cryogenic Motor Enhancement for the Nirisss Instrument on the James Webb Space Telescope // 16th European Space Mechanisms and Tribology Symposium: proceedings, Bilbao, Spain, 23–25 September 2015. 2015 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/284720210\\_CRYOGENIC\\_MOTOR\\_ENHANCEMENT\\_FOR\\_THE\\_NIRISS\\_INSTRUMENT\\_ON\\_THE\\_JAMES\\_WEBB\\_SPACE\\_TELESCOPE](https://www.researchgate.net/publication/284720210_CRYOGENIC_MOTOR_ENHANCEMENT_FOR_THE_NIRISS_INSTRUMENT_ON_THE_JAMES_WEBB_SPACE_TELESCOPE) (дата обращения: 14.08.2022).
- Serles P., Gaber K., Pajovic S., Colas G., Filleter T. High Temperature Microtribological Studies of MoS<sub>2</sub> Lubrication for Low Earth Orbit // Lubricants, 2020, vol. 8, is. 4. doi: 10.3390/lubricants8040049
- Voevodin A. A., Hu J. J., Fitz T. A., Zabinski J. S. Tribological properties of adaptive nanocomposite coatings made of yttria stabilized zirconia and gold // Surf. Coat. Technol., 2001, vol. 146–147, pp. 351–356. doi: 10.1016/S0257-8972(01)01396-2
- Baker C. C., Hu J. J., Voevodin A. A. Preparation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/DLC/Au/MoS<sub>2</sub> chameleon coatings for space and ambient environments // Surf. Coat. Technol., 2006, vol. 201, is. 7, pp. 4224–4229. doi: 10.1016/j.surfcoat.2006.08.067
- Muratore C., Voevodin A. A., Hu J. J., Zabinski J. S. Tribology of adaptive nanocomposite yttrium-stabilized zirconia coatings containing silver and molybdenum // Wear, 2006, vol. 261, is. 7–8, pp. 797–805. doi: 10.1016/j.wear.2006.01.029
- Burris D. L., Sawyer W. G. Improved wear resistance in alumina-PTFE nanocomposites with irregular shaped nanoparticles // Wear, 2006, vol. 260, is. 7–8, pp. 915–918. doi: 10.1016/j.wear.2005.06.009

18. McElwain S. E., Blanchet T. A., Schadler L. S., Sawyer W. G. Effect of particle size on the wear resistance of alumina-filled PTFE micro- and nanocomposites // *Tribology Transactions*, 2008, vol. 51, is. 3, pp. 247–253. doi: 10.1080/10402000701730494
19. Banks B. A., Rutledge S. K., Auer B. M., Di Filippo F. Atomic oxygen undercutting of defects on SiO<sub>2</sub> protected polyimide solar array blankets // *Materials Degradation in Low Earth Orbit (LEO) : Proceedings Of The Symposium, 119th Annual Meeting Of The Minerals, Metals, And Materials Society, Anaheim, Ca, Feb. 17–22, 1990. USA : TMS, 1990*, pp. 15–33.
20. Gregory J. C. Interaction of hyperthermal atoms on surfaces in orbit: the University of Alabama experiment // *Proceedings of the NASA Workshop on Atomic Oxygen Effects, Nov. 10–11, 1986. Springfield, Va., 1987*, pp. 29–30.
21. De Groh K. K., Banks B. A., Mccarthy C. E., Rucker R. N., Roberts L. M., Berger L. A. MISSE 2 PEACE Polymers Atomic Oxygen Erosion Experiment on the International Space Station // *High Performance Polymers*, 2008, vol. 20, is. 4-5. doi: 10.1177/0954008308089705
22. Ярош В. М., Моисеев А. А., Броновец М. А. Исследование материалов на трение и износ в открытом космическом пространстве на орбите вокруг Луны // *Трение и износ*. 2003. Т. 24, № 6. С. 626–635.

## References

1. *Institut mekhaniki metalopolimernykh sistem imeni V. A. Belogo: 50 let razvitiya* [V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute: 50 years of development]. Eds. A. Ya. Grigor'ev [et al.]. Minsk : Belaruskaya nauka Publ., 2020. 221 p.
2. Kannel J. W., Duffrane K. F. Rolling element bearings in space. *The 20th Aerospace Mechanisms Symposium : proceedings, Cleveland, Ohio, 7–9 May 1986. USA : NASA, 1986*, pp. 121–132.
3. Benton E. R., Benton E. V. Space radiation dosimetry in low-Earth orbit and beyond. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2001, vol. 184, is. 1–2, pp. 255–294. doi: 10.1016/S0168-583X(01)00748-0
4. Drozdov Yu. N., Yudin E. G., Belov A. I. *Prikladnaya tribologiya (trenie, iznos, smazka)* [Applied tribology (friction, wear, lubrication)]. Moscow : Eko-press Publ., 2010. 604 p.
5. Belyy V. A., Starzhinskiy V. E., Shcherbakov S. V. *Metallo-polimernye zubchatye peredachi* [Metal-polymer gears]. Minsk : Nauka i tekhnika Publ., 1981. 351 p.
6. Roberts E. W. Space tribology: its role in spacecraft mechanisms. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2012, vol. 45, no. 50. doi: 10.1088/0022-3727/45/50/503001
7. Kaldonski T., Wojdyna P., Liquid lubricants for space engineering and methods for their testing. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2011, vol. 18, no. 1, pp. 163–184.
8. Lansdown A. R. *Molybdenum disulphide lubrication*. Amsterdam : Elsevier, 1999. 406 p
9. Donnet C., Le Mogne Th., Martin J. M. Superlow friction of oxygen-free MoS<sub>2</sub> coatings in ultrahigh vacuum. *Surf. Coat. Technol.*, 1993, vol. 62, is. 1-3, pp. 406–411. doi: 10.1016/0257-8972(93)90275-S
10. Roberts E. W., Price W. B. Advances in molybdenum disulphide film technology for space applications. *Sixth European Space Mechanisms and Tribology Symposium : proceedings, 4-6 October 1995, Zürich, Switzerland. Zurich : European Space Agency, 1995*, pp. 273–78.
11. Bin Yaqub T., Kannur K. H., Vuchkov T., Heau C., Cavaleiro A. Molybdenum diselenide coatings as universal dry lubricants for terrestrial and aerospace applications. *Mater. Lett.*, 2020, vol. 275. doi: 10.1016/j.matlet.2020.128035
12. Aldridge D., Gentilhomme M., Gibson A., Cameron P., McColgan A. Dhanji Z., Lambros S., Anderson M. Cryogenic Motor Enhancement for the Niriss Instrument on the James Webb Space Telescope. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/284720210\\_CRYOGENIC\\_MOTOR\\_ENHANCEMENT\\_FOR\\_THE\\_NIRISS\\_INSTRUMENT\\_ON\\_THE\\_JAMES\\_WEBB\\_SPACE\\_TELESCOPE](https://www.researchgate.net/publication/284720210_CRYOGENIC_MOTOR_ENHANCEMENT_FOR_THE_NIRISS_INSTRUMENT_ON_THE_JAMES_WEBB_SPACE_TELESCOPE) (accessed 14.08.2022).
13. Serles P., Gaber K., Pajovic S., Colas G., Filleter T. High Temperature Microtribological Studies of MoS<sub>2</sub> Lubrication for Low Earth Orbit. *Lubricants*, 2020, vol. 8, is. 4. doi: 10.3390/lubricants8040049
14. Voevodin A. A., Hu J. J., Fitz T. A., Zabinski J. S. Tribological properties of adaptive nanocomposite coatings made of yttria stabilized zirconia and gold. *Surf. Coat. Technol.*, 2001, vol. 146–147, pp. 351–356. doi: 10.1016/S0257-8972(01)01396-2
15. Baker C. C., Hu J. J., Voevodin A. A. Preparation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/DLC/Au/MoS<sub>2</sub> chameleon coatings for space and ambient environments. *Surf. Coat. Technol.*, 2006, vol. 201, is. 7, pp. 4224–4229. doi: 10.1016/j.surfcoat.2006.08.067
16. Muratore C., Voevodin A. A., Hu J. J., Zabinski J. S. Tribology of adaptive nanocomposite yttrium-stabilized zirconia coatings containing silver and molybdenum. *Wear*, 2006, vol. 261, is. 7-8, pp. 797–805. doi: 10.1016/j.wear.2006.01.029
17. Burris D. L., Sawyer W. G. Improved wear resistance in alumina-PTFE nanocomposites with irregular shaped nanoparticles. *Wear*, 2006, vol. 260, is. 7-8, pp. 915–918. doi: 10.1016/j.wear.2005.06.009
18. McElwain S. E., Blanchet T. A., Schadler L. S., Sawyer W. G. Effect of particle size on the wear resistance of alumina-filled PTFE micro- and nanocomposites. *Tribology Transactions*, 2008, vol. 51, is. 3, pp. 247–253. doi: 10.1080/10402000701730494
19. Banks B. A., Rutledge S. K., Auer B. M., Di Filippo F. Atomic oxygen undercutting of defects on SiO<sub>2</sub> protected polyimide solar array blankets. *Materials Degradation in Low Earth Orbit (LEO) : Proceedings Of The Symposium, 119th Annual Meeting Of The Minerals, Metals, And Materials Society, Anaheim, Ca, Feb. 17–22, 1990. USA : TMS, 1990*, pp. 15–33.
20. Gregory J. C. Interaction of hyperthermal atoms on surfaces in orbit: the University of Alabama experiment. *Proceedings of the NASA Workshop on Atomic Oxygen Effects, Nov. 10–11, 1986. Springfield, Va., 1987*, pp. 29–30.
21. De Groh K. K., Banks B. A., Mccarthy C. E., Rucker R. N., Roberts L. M., Berger L. A. MISSE 2 PEACE Polymers Atomic Oxygen Erosion Experiment on the International Space Station. *High Performance Polymers*, 2008, vol. 20, is. 4-5. doi: 10.1177/0954008308089705
22. Yarosh V. M., Moiseev A. A., Bronovets M. A. Исследование материалов на трение и износ в открытом космическом пространстве на орбите вокруг Луны [Study of friction and wear of materials in open space in the lunar orbit]. *Trenie i iznos* [Friction and wear], 2003, vol. 24, no. 6, pp. 626–635.