

УДК 620.178.16:620.181:620.187:621.791

Контролируемая трибосинтезом FeWO_4 адаптационная способность покрытий WC/инструментальная сталь

Н.Л. Савченко, Е.Н. Москвичев, С.Ю. Тарасов

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия

Поступила в редакцию 05.05.2025.

Изучено влияние скорости скольжения на эволюцию приповерхностной структуры и трибоокисление покрытия из быстрорежущей стали, армированном WC, при трении по стальному контртелу без смазочного материала.

Электронно-лучевые композиционные покрытия получали из смеси порошковой стали Р6М5 и WC. Трение покрытий исследовали в контакте с контртелом из стали ШХ15. Установлено, что структура покрытий представляет собой матрицу на основе $\gamma+\alpha'$ железа, армированную скелетообразными структурами из эвтектических карбидов. Наблюдали одновременное снижение коэффициента трения и скорости изнашивания покрытий при увеличении скорости скольжения от 0,8 м/с до 3,6 м/с. Это связано с трибохимическим образованием вольфраматов железа FeWO_4 и Fe_2WO_6 при скоростях скольжения 2,4 м/с и 3,6 м/с, что затем позволяет сформироваться поверхностному механически перемешанному слою, в состав которого, помимо вольфраматов железа, входят фрагменты карбидов и металлических частиц матрицы покрытия. Такая структура поверхности трения обеспечивает эффект твёрдой смазки, а также защищает нижележащие структуры покрытия от разрушения. Специфика такого механизма адаптации заключается в том, что он реализуется при относительно низких скоростях скольжения, что соответствует максимальной расчётной температуре вспышки около 290 °С. Обнаруженный механизм трибологической адаптации должен способствовать успешному применению электроннолучевых композиционных покрытий WC/инструментальная сталь в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: покрытие, износ, трение, вольфрамат железа, механически перемешанные слои.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-3-231-239

Адрес для переписки:

Н.Л. Савченко
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: savnick@ispms.ru

Для цитирования:

Н.Л. Савченко, Е.Н. Москвичев, С.Ю. Тарасов.
Контролируемая трибосинтезом FeWO_4 адаптационная
способность покрытий WC/инструментальная сталь.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 3. — С. 231–239.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-3-231-239

Address for correspondence:

N.L. Savchenko
Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch
Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: savnick@ispms.ru

For citation:

N.L. Savchenko, E.N. Moskvichev, and S.Yu. Tarasov.
[Adaptability of WC/Tool Steel Coatings Controlled by Tribosynthesis
of FeWO_4].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 3, pp. 231–239 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-3-231-239

Adaptability of WC/Tool Steel Coatings Controlled by Tribosynthesis of FeWO_4

N.L. Savchenko, E.N. Moskvichev, and S.Yu. Tarasov

*Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia*

Received 05.05.2025.

Abstract

The aim of the work is to study the effect of sliding velocity on the evolution of the subsurface structure and tribooxidation in a high-speed steel coating reinforced with WC after friction on a steel counterbody without a lubricant.

In this work, we studied the tribological behavior of electron-beam composite coatings obtained from a mixture of R6M5 powder steel and WC in contact with a counterbody made of SHH15 steel. It was found that the structure of the coatings is a matrix based on $\gamma+\alpha'$ iron, reinforced with skeletal structures of eutectic carbides. A simultaneous decrease in the friction coefficient and wear rate of the coatings with an increase in the sliding velocity from 0.8 m/s to 3.6 m/s was obtained. This is due to the tribochemical formation of iron tungstates FeWO_4 and Fe_2WO_6 at sliding speeds of 2.4 m/s and 3.6 m/s, which then allows the formation of a surface mechanically mixed layer, which, in addition to the said iron tungstates, includes fragments of carbides and metal particles of the coating matrix. Such a friction surface structure provides a solid lubrication effect and protects the underlying coating structures from destruction. The specificity of such an adaptation mechanism is that it is realized at relatively low sliding speeds, which corresponds to the maximum calculated flash temperature of about 290 °C. The discovered tribological adaptation mechanism should contribute to the successful use of electron-beam composite coatings WC/tool steel in various industries.

Keywords: coating, wear, friction, iron tungstate, mechanically mixed layers.

DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-3-231-239

Адрес для переписки:

Н.Л. Савченко
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук,
пр. Академический, 2/4, г. Томск 634055, Россия
e-mail: savnick@ispms.ru

Для цитирования:

Н.Л. Савченко, Е.Н. Москвичев, С.Ю. Тарасов.
Контролируемая трибосинтезом FeWO_4 адаптационная
способность покрытий WC/инструментальная сталь.
Трение и износ.
2025. — Т. 46, № 3. — С. 231–239.
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-3-231-239

Address for correspondence:

N.L. Savchenko
Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch
Russian Academy of Sciences,
pr. Akademicheskii, 2/4, Tomsk 634055, Russia
e-mail: savnick@ispms.ru

For citation:

N.L. Savchenko, E.N. Moskvichev, and S.Yu. Tarasov.
[Adaptability of WC/Tool Steel Coatings Controlled by Tribosynthesis
of FeWO_4].
Trenie i Iznos.
2025, vol. 46, no. 3, pp. 231–239 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2025-46-3-231-239

Список использованных источников / References

1. **Kostetsky B.I.** The Structural-Energetic Concept in the Theory of Friction and Wear (Synergism and Self-Organization) // *Wear*. — 1992 (**159**), 1—15
2. **Kumar R. and Antonov M.** Self-Lubricating Materials for Extreme Temperature Tribo-Applications // *Materials Today: Proceedings*. — 2020 (**44**), 4583—4589
3. **Voevodin A.A., Muratore C., and Aouadi S.M.** Hard Coatings with High Temperature Adaptive Lubrication and Contact Thermal Management: Review // *Surface and Coatings Technology*. — 2014 (**257**), 247—265
4. **Savchenko N., Sevostyanova I., Grigoriev M., Sablina T., Buyakov A., Rudmin M., Vorontsov A., Moskvichev E., Rubtsov V., and Tarasov S.** Self-Lubricating Effect of WC/Y-TZP-Al₂O₃ Hybrid Ceramic-Matrix Composites with Dispersed Hadfield Steel Particles during High-Speed Sliding against an HSS Disk // *Lubricants*. — 2022 (**10**), 140
5. **Poletika I.M., Krylova T.A., Tetyutskaya M.V., and Makarov S.A.** Formation of the Structure of Wear-Resisting Coatings in Electron Beam Deposition of Tungsten Carbide // *Welding International*. — 2013 (**27**), 508—515
6. **Wang W., Fan X., Li Y., Li S., Wang D., Zhang H., and Yamaguchi T.** Effect of WC-10Co on Microstructure and Properties of Medium-Entropy Alloy Coatings via Electron Beam Cladding // *Journal of Alloys and Compounds*. — 2022 (**926**), 166882
7. **Krylova T.A., Chumakov Y.A., and Vasilyeva M.P.** Microstructure and Properties of WC-Ni₃Al Composite Coatings Fabricated by Non-Vacuum Electron Beam Cladding // *Materials Letters*. — 2022 (**308**), 131117
8. **Liu H., Wang, B., Qi Z., Zhang G., and Wang D.** Surface Microstructure and Anti-Wear of WC-CoCr Coatings Cladded by Electron Beam // *Rare Metal Materials and Engineering*. — 2018 (**47**), 3338—3344
9. **Gnyusov S., Tarasov S., Ivanov Y., and Rothstein V.** The Effect of Pulsed Electron Beam Melting on Microstructure, Friction and Wear of WC-Hadfield Steel Hard Metal // *Wear*. — 2004 (**257**), 97—103
10. **Savchenko N., Fedin E., Sevostyanova I., Moskvichev E., Vorontsov A., and Tarasov S.** Evidence of Tribological Adaptation Controlled by Tribosynthesis of FeWO₄ on an WC-Reinforced Electron Beam M2 Steel Coating Rubbed against a HSS Disk in a Range of Sliding Speeds // *Materials*. — 2023 (**16**), 1013
11. **Liu Y., Erdemir A., and Meletis E.I.** A Study of the Wear Mechanism of Diamond Like Carbon Films // *Surface and Coatings Technology*. — 1996 (**82**), 48—56
12. **Asif M., Ahad M.A., Iqbal M.F.H., and Reyaz S.** Experimental Investigation of Thermal Properties of Tool Steel and Mild Steel with Heat Treatment // *Materials Today: Proceedings*. — 2021 (**45**), 5511—5517
13. **Niederhofer P., Eger K., Schwingenschlogl P., and Merklein M.** Properties of Tool Steels for Application in Hot Stamping // *Steel Research International*. — 2020 (**91**), 1900422
14. **Jamil M., He N., Zhao W., Khan A.M., Xiang H., Gupta M.K., and Iqbal A.** A Novel Low-Pressure Hybrid Dry Ice Blasting System for Improving the Tribological and Machining Characteristics of AISI-52100 Tool Steel // *Journal of Manufacturing Processes*. — 2022 (**80**), 152—160
15. **Denkena B., Krödel A., and Heckemeyer A.** Numerical and Experimental Analysis of Thermal and Mechanical Tool Load when Turning AISI 52100 with Ground Cutting Edge Microgeometries // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. — 2021 (**35**), 494—501

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