

УДК 621.793:53.086

Связь морфологии и химического состава поверхности легированных алмазоподобных покрытий с коэффициентом трения

И.В. Шкалей, Т.И. Муравьева, А.М. Мезрин, Е.В. Торская

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия

Поступила в редакцию 27.09.2021.

После доработки 10.12.2021.

Принята к публикации 13.12.2021.

Перспективы использования алмазоподобных углеродных покрытий в трибологии во многом связаны с различными технологиями их легирования. В данной работе представлена комплексная методика исследований легированных кремнием алмазоподобных покрытий, включающая испытания на трение в паре со сталью и исследование механизмов фрикционного взаимодействия. Экспериментальные образцы покрытий были получены методом химического осаждения из паровой фазы, усиленного плазмой, на плоскую стальную подложку. Трибологические испытания проводились по схеме «шарик — плоскость» при возвратно-поступательном движении и отличались временем проведения эксперимента. Методами сканирующей электронной и зондовой микроскопии были изучены морфология и химический состав исходной поверхности образцов, поверхности образцов и контробразцов после трибологических испытаний. Были рассмотрены механизмы трансформации поверхностных слоёв в процессе трения и формирования защитной плёнки вторичных структур на поверхности. Установлено влияние этих изменений на свойства фрикционного контакта при различном содержании кремния в углеродных покрытиях. Проведён анализ влияния параметров нагрузки, продолжительности испытаний и состава покрытий на процессы образования поверхностных антифрикционных плёнок и их разрушения при трении. С увеличением нагрузки наблюдается уменьшение длительности приработки, однако вместе с этим уменьшается и длительность стабильного низкого коэффициента трения, который при сформировавшейся трибоплёнке составляет менее 0,1. Показано, что вторичные структуры, способствующие снижению коэффициента трения, покрывают часть рабочей поверхности образцов и эффективны при кратковременных испытаниях.

Ключевые слова: углеродные покрытия, легирование кремнием, фрикционные испытания, микроскопия, поверхностные изменения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-670-680

Адрес для переписки:

И.В. Шкалей
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской
академии наук,
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: ioann_shiva@list.ru

Address for correspondence:

I.V. Shkalei
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences,
Prospect Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: ioann_shiva@list.ru

Для цитирования:

И.В. Шкалей, Т.И. Муравьева, А.М. Мезрин, Е.В. Торская.
Связь морфологии и химического состава поверхности
легированных алмазоподобных покрытий с коэффициентом
трения.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 6. — С. 670—680.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-670-680

For citation:

I.V. Shkalei, T.I. Muravyeva, A.M. Mezrin, and E.V. Torskaya.
[Relationship of Morphology and Chemical Composition of the
Surface of Doped Diamond-Like Coatings with the Friction
Coefficient].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 6, pp. 670—680 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-670-680

Relationship of Morphology and Chemical Composition of the Surface of Doped Diamond-Like Coatings with the Friction Coefficient

Ivan Vladimirovich Shkalei, Tamara Ivanovna Muravyeva, Aleksei Mikhailovich Mezrin, and Elena Vladimirovna Torskaya

*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences,
Prospekt Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia*

Received 27.09.2021.

Revised 10.12.2021.

Accepted 13.12.2021.

Abstract

The prospects for the use of diamond-like carbon coatings in tribology are largely associated with various technologies for their alloying. This paper presents a comprehensive technique for studying silicon-doped diamond-like coatings, including tests for friction in a pair with steel and analysis of the mechanisms of frictional interaction. Experimental samples of the coatings were obtained by plasma-enhanced chemical vapor deposition on a flat steel substrate. Tribological tests were carried out according to the “ball — plane” scheme with reciprocating motion and differed in the time of the experiment. The morphology and chemical composition of the initial surface of the samples, the surface of the samples and counter-samples after tribological tests were studied using the methods of scanning electron and probe microscopy. The mechanisms of transformation of surface layers during friction and the formation of a protective film of secondary structures on the surface were considered. The effect of these changes on the properties of frictional contact at different silicon content in carbon coatings has been established. The analysis of the influence of load parameters, test duration and coating composition on the processes of formation of surface antifriction films and their destruction during friction is carried out. With an increase in the load, a decrease in the running-in duration is observed, however, at the same time, the duration of a stable low friction (with coefficient less than 0.1) stage decreases. It is shown that secondary structures, which contribute to a decrease in the coefficient of friction, cover a part of the working surface of the samples and are effective in short-term tests.

Keywords: carbon coatings, silicon doped, friction tests, microscopy, surface changes.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-670-680

Адрес для переписки:

И.В. Шкалей
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской
академии наук,
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: ioann_shiva@list.ru

Для цитирования:

И.В. Шкалей, Т.И. Муравьева, А.М. Мезрин, Е.В. Торская.
Связь морфологии и химического состава поверхности
легированных алмазоподобных покрытий с коэффициентом
трения.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 6. — С. 670—680.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-670-680

Address for correspondence:

I.V. Shkalei
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences,
Prospekt Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: ioann_shiva@list.ru

For citation:

I.V. Shkalei, T.I. Muravyeva, A.M. Mezrin, and E.V. Torskaya.
[Relationship of Morphology and Chemical Composition of the
Surface of Doped Diamond-Like Coatings with the Friction
Coefficient].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 6, pp. 670—680 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-670-680

Список использованных источников / References

1. **Vetter J.** 60 Years of DLC Coatings: Historical Highlights and Technical Review of Cathodic Arc Processes to Synthesize Various DLC Types, and Their Evolution for Industrial Applications // *Surface and Coatings Technology*. — 2014 (257), 213—240
2. **Peter S., Gunther M., Hauschild D., Grambole D., and Richter F.** Mid-Frequency Deposition of a-C:H Films Using Five Different Precursors // *Vacuum*. — 2010 (85), 510—513
3. **Jacob W. and Moller W.** On the Structure of Thin Hydrocarbon Films // *Appl. Phys. Lett.* — 1993 (63), 1771
4. **Robertson J.** Diamond-Like Amorphous Carbon // *Materials Science and Engineering R*. — 2002 (37), 129—281
5. **Hainsworth S.V. and Uhure N.J.** Diamond Like Carbon Coatings for Tribology: Production Techniques, Characterization Methods and Applications // *International Materials Reviews*. — 2007 (52), no. 3
6. **Hofmann D., Kunkel S., Bewilogua K., and Witorf R.** From DLC to Si-DLC Based Layer Systems with Optimized Properties for Tribological Applications // *Surface and Coatings Technology*. — 2013 (215), 357—363
7. **Grigoriev S.N., Volosova M.A., Fedorov S.V., and Mosyanov M.** Influence of DLC Coatings Deposited by PECVD Technology on the Wear Resistance of Carbide End Mills and Surface Roughness of Al-CuMg2 and 41Cr4 Workpieces // *Coatings*. — 2020 (10), 1038
8. **Zhang S., Xie H., Zeng X., and Hing P.** Residual Stress Characterization of Diamond-Like Carbon Coatings by an X-ray Diffraction Method // *Surface and Coatings Technology*. — 1999 (122), nos. 2–3, 219—224
9. **Grigoriev S.N., Volosova M.A., Vereschaka A.A., Sitnikov N.N., Milovich F., Bublikov J.I., Fyodorov S.V., and Seleznev A.E.** Properties of (Cr,Al,Si)N-(DLC-Si) Composite Coatings Deposited on a Cutting Ceramic Substrate // *Ceram. Int.* — 2020 (46), 18241—18255
10. **Gayathri S., Kumar N., Krishnan R., Ravindran T.R., Amirthapandian S., Dash S., Tyagi A.K., and Sridharan M.** Influence of Transition Metal Doping on the Tribological Properties of Pulsed Laser Deposited DLC Films // *Ceramics International*. — 2015 (41), no. 1, Part B, 1797—1805
11. **Orrit-Prat J., Bonet R., Ruperez E., Punset M., Ortiz-Hernandez M., Guillem-Marti J., Lousa A., Cano D., Diaz C., Garci Fuentes G., and Caro J.** Bactericidal Silver-Doped DLC Coatings Obtained by Pulsed Filtered Cathodic Arc Co-Deposition // *Surface and Coatings Technology*. — 2021 (411), 126977
12. **Murata Y., Choo C.-K., Ono H., Nagai Y., and Tanaka K.** Characterization of N-Doped DLC Thin Films Prepared by Hydrocarbons Pyrolysis Method // *Materials Today: Proceedings*. — 2016 (3), Supplement 2, 197—202
13. **Baia Neto A.L., Santos R.A., Freire F.L., Jr., Camargo S.S., Jr., Carius R., Finger F., and Beyer W.** Relation between Mechanical and Structural Properties of Silicon-Incorporated Hard a-C:H Films // *Thin Solid Films*. — 1997 (293), 206—211
14. **Torskaya E.V., Muravyeva T.I., and Sánchez-López J.C.** Study of TiC/a-C(:H) Coatings Before and After Friction by Nanoindentation // *ICIE 2018: Proc. of the 4th Int. Conf. on Industrial Engineering, Lecture Notes in Mechanical Engineering*. — Springer. — 2018, 1011—1018

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