

УДК 620.186.4

Изменение поверхности углерод-углеродных композитных материалов при трении

А.Г. Шпенев¹, Т.И. Муравьева¹, И.В. Шкалей¹, Д.Л. Загорский², В.В. Кулаков³,
А.К. Голубков³

¹Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
просп. Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия

²РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
просп. Ленинский, д. 65, корп. 1, г. Москва 119991, Россия

³ПАО «Авиационная корпорация «Рубин»,
шоссе Энтузиастов, д. 5, г. Балашиха 143912, Московская область, Россия

Поступила в редакцию 08.04.2021.

После доработки 25.10.2021.

Принята к публикации 25.10.2021.

Исследованы образцы углеродных волокнистых композитов на основе графитированных и карбонизованных волокон, применяющиеся в узлах фрикционного назначения. Проведены трибологические испытания, моделирующие условия эксплуатации на машине трения ИМ-58, после чего поверхность трения изучена методами СЭМ и СЗМ. Проведено исследование срезов материалов методами СЭМ, проведён рентгеноструктурный анализ образцов и исследование пористости материалов. Установлены особенности структуры поверхности трения и механизмов изнашивания материалов. Выявлены особенности изменения приповерхностных слоёв композита при высоких контактных давлениях и температурах. Установлено, что отличия в температуре термообработки волокон вызывают различия, как в структуре самих волокон, так и в структуре матрицы и распределении волокон в объёме материала. Более жёсткие графитированные волокна лежат практически параллельно поверхности трения, в то время как более гибкие карбонизованные волокна могут лежать под небольшими углами к рабочей поверхности. Материал на основе графитированных волокон имеет вдвое большую износостойкость, меньшую общую пористость (12 % против 17 %) и меньшую глубину изменения подповерхностных слоёв при трении (~ 34 мкм против ~ 64 мкм). Рассмотренные в работе композиты широко применяются в качестве материала для изготовления авиационных тормозных дисков, полученные результаты могут быть использованы для увеличения ресурса авиационных тормозов и улучшения их характеристик.

Ключевые слова: углеродный волокнистый композит, углеродные волокна, структура поверхности, сканирующая электронная микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия.

DOI:10.32864/0202-4977-2021-42-5-508-517

Адрес для переписки:

Т.И. Муравьева
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
просп. Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: muravyeva@list.ru

Address for correspondence:

T.I. Muravyeva
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Pr. Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: muravyeva@list.ru

Для цитирования:

А.Г. Шпенев, Т.И. Муравьева, И.В. Шкалей, Д.Л. Загорский,
В.В. Кулаков, А.К. Голубков.

Изменение поверхности углерод-углеродных композитных
материалов при трении.

Трение и износ.

2021. — Т. 42, № 5. — С. 508—517.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-508-517

For citation:

A.G. Shpenev, T.I. Muravyeva, I.V. Shkalei, D.L. Zagorskiy,
V.V. Kulakov, and A.K. Golubkov.

[Surface Change of Carbon-Carbon Composite Materials under
Friction].

Trenie i Iznos.

2021, vol. 42, no. 5, pp. 508—517 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-508-517

Surface Change of Carbon-Carbon Composite Materials under Friction

A.G. Shpenev¹, T.I. Muravyeva¹, I.V. Shkalei¹, D.L. Zagorskiy², V.V. Kulakov³, and A.K. Golubkov³

¹Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Pr. Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Gubkin Russian State University of Oil and Gas” (National Research University),
Leninsky Prospekt, 65, Moscow 119991, Russia

³Rubin Aviation Corporation (JSC AC “RUBIN”),
Entuziastov shosse, 5, Zapadnaya promzona, Balashikha 143900, Moscow Region, Russia

Received 08.04.2021.

Revised 25.10.2021.

Accepted 25.10.2021.

Abstract

The carbon fiber composites based on graphitized and carbonized fibers, which are used in frictional units was investigated. Composite samples were subjected to tribological tests on an IM-58 friction machine, that to simulates the operating conditions of aircraft brakes. The friction surface was studied by SEM and SPM methods, material sections were studied by SEM methods. X-ray structural analysis of the samples and the study of material porosity are carried out. Features of the friction surface structure and the wear mechanisms of materials were determined. Peculiarities of changes in the near-surface layers of the composite under high contact pressures and temperatures are revealed. It was found that differences in the fibers heat treatment temperature cause differences both in the structure of the fibers themselves and in the structure of the matrix with the distribution of fibers in the volume of the material. The stiffer graphitized fibers lie nearly parallel to the friction surface, while the more flexible carbonized fibers may lie at slight angles to the working surface. A material based on graphite fibers has twice the wear resistance, a lower overall porosity (12 % versus 17 %) and a shallower depth of changes in the subsurface layers during friction (~ 34 microns versus ~ 64 microns). The composites considered in this work are widely used as a material for the manufacture of aircraft brake discs; the results obtained can be used to increase the service life of aircraft brakes and improve their characteristics.

Keywords: carbon fiber composite, carbon fibers, surface structure, scanning electron microscopy, scanning probe microscopy.

DOI:10.32864/0202-4977-2021-42-5-508-517

Адрес для переписки:

Т.И. Муравьева
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
просп. Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: muravyeva@list.ru

Для цитирования:

А.Г. Шпенев, Т.И. Муравьева, И.В. Шкалей, Д.Л. Загорский,
В.В. Кулаков, А.К. Голубков.

Изменение поверхности углерод-углеродных композитных
материалов при трении.

Трение и износ.

2021. — Т. 42, № 5. — С. 508—517.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-508-517

Address for correspondence:

T.I. Muravyeva
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Pr. Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: muravyeva@list.ru

For citation:

A.G. Shpenev, T.I. Muravyeva, I.V. Shkalei, D.L. Zagorskiy,
V.V. Kulakov, and A.K. Golubkov.

[Surface Change of Carbon-Carbon Composite Materials under
Friction].

Trenie i Iznos.

2021, vol. 42, no. 5, pp. 508—517 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-508-517

Список использованных источников

1. **Khrushchov M.M.** Principles of Abrasive Wear // Wear. — 1974 (28), 69—88
2. **Горячева И.Г., Торская Е.В.** Контактные задачи при наличии износа для тел с переменным по поверхности коэффициентом износостойкости // Трение и износ. — 1992 (13), no. 1, 185—194
3. **Gun Y. Lee, Dharan C.K.H., and Ritchie R.O.** A Physically-Based Abrasive Wear Model for Composite Materials // Wear. — 2002 (252), 322—331
4. **Yen B. and Dharan C.K.H.** A Model for the Abrasive Wear of Fiber-Reinforced Polymer Composites // Wear. — 1996 (195), 123—127
5. **Shpenev A.** Model of Composite Wear with Abrasive Particles. In: Parinov I., Chang SH., Gupta V. (eds) // Advanced Materials. PHENMA 2017. Springer Proceedings in Physics. — 2018 (207)
6. **Патент RU2510387C1.** Способ получения фрикционного композиционного углерод-углеродного материала и материал. — 2014
7. **Hyun-kyu Shin, Hong-Bum Lee, and Kwang-Soo Kim.** Tribological Properties of Pitch-Based 2-D Carbon—Carbon Composites // Carbon. — 2001 (39), 959—970
8. **Shpenev A.G., Kenigfest A.M., and Golubkov A.K.** Theoretical and Experimental Study of Carbon Brake Discs Frictionally Induced Thermoelastic Instability // in Advanced Materials: Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications, Springer Proc. Phys. Ser. — 2016 (175), 551—559
9. **Ozcan S. and Filip P.** Wear of Carbon Fiber Reinforced Carbon Matrix Composites: Study of Abrasive, Oxidative Wear and Influence of Humidity // Carbon. — 2013 (62), 240—247
10. **Chang H.W.** Correlation of Wear with Oxidation of Carbon-Carbon Composites // Wear. — 1982 (80), 7—14
11. **Muravyeva T.I., Shcherbakova O.O., Shpenev A.G., and Zagorskiy D.L.** Microscopy of Composite Materials Based on Carbon Fiber // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2019 (699), 012032

References

1. **Khrushchov M.M.** Principles of Abrasive Wear // Wear. — 1974 (28), 69—88
2. **Goryacheva I.G., Torskaya E.V.** Kontaktnye zadachi pri nalichii iznosa dlya tel s peremennym po poverhnosti koeffitsientom iznosostojkosti // Friction and wear. — 1992 (13), no. 1, 185—194 (in Russian)
3. **Gun Y. Lee, Dharan C.K.H., and Ritchie R.O.** A Physically-Based Abrasive Wear Model for Composite Materials // Wear. — 2002 (252), 322—331
4. **Yen B. and Dharan C.K.H.** A Model for the Abrasive Wear of Fiber-Reinforced Polymer Composites // Wear. — 1996 (195), 123—127
5. **Shpenev A.** Model of Composite Wear with Abrasive Particles. In: Parinov I., Chang SH., Gupta V. (eds) // Advanced Materials. PHENMA 2017. Springer Proceedings in Physics. — 2018 (207)
6. **Patent RU2510387C1.** Sposob polucheniya frikcionnogo kompozitsionnogo uglerod-uglerodnogo materiala i material. — 2014 (in Russian)
7. **Hyun-kyu Shin, Hong-Bum Lee, and Kwang-Soo Kim.** Tribological Properties of Pitch-Based 2-D Carbon—Carbon Composites // Carbon. — 2001 (39), 959—970
8. **Shpenev A.G., Kenigfest A.M., and Golubkov A.K.** Theoretical and Experimental Study of Carbon Brake Discs Frictionally Induced Thermoelastic Instability // in Advanced Materials: Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications, Springer Proc. Phys. Ser. — 2016 (175), 551—559
9. **Ozcan S. and Filip P.** Wear of Carbon Fiber Reinforced Carbon Matrix Composites: Study of Abrasive, Oxidative Wear and Influence of Humidity // Carbon. — 2013 (62), 240—247
10. **Chang H.W.** Correlation of Wear with Oxidation of Carbon-Carbon Composites // Wear. — 1982 (80), 7—14
11. **Muravyeva T.I., Shcherbakova O.O., Shpenev A.G., and Zagorskiy D.L.** Microscopy of Composite Materials Based on Carbon Fiber // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2019 (699), 012032

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