

УДК 621.891

## Выявление факторов повышенного износа фрикционных углерод-углеродных материалов на режимах рулений самолетов

В.В. Кулаков, А.К. Голубков, Л.Н. Кириллова

ПАО Авиацiонная корпорация «Рубин»,  
шоссе Энтузиастов, 5, г. Балашиха 143903, Россия

Поступила в редакцию 03.10.2023.

После доработки 08.02.2024.

Принята к публикации 15.02.2024.

В исследовании сопоставлялись свойства углерод-углеродных композитов, применяемых в авиационных тормозах. Рассматривались композиты на основе графитированных и карбонизированных волокон и матриц из каменноугольного пека и на основе пироуглерода. Фрикционные испытания проводились на полноразмерных тормозных дисках (трёхдисковый стенд) и на модельных образцах (испытательная машина УМТ-2168). Обнаружен значительный рост износа композитов на основе пироуглеродной матрицы при рулёжных торможениях в интервале температур 50—250 °С. Износ композитов на основе пековой матрицы не зависел от температуры на поверхности трения. Обнаружено, что «третье тело» композитов на базе пироуглерода имеет более грубую структуру с различимыми отдельными абразивными частицами; его твёрдость более чем в два раза выше твёрдости «третьего тела» композитов на пековой матрице. Приведено распределение пор по размерам для композитов на разных матрицах, показана разница в количестве и размерах дефектов структуры. Обоснована разница в износе материалов при рулёжных торможениях. Отмечено, что с увеличением степени анизотропии пековой матрицы износ материала снижается. Измерен износ на режимах рулёжных торможениях образцов с гибридной матрицей, имеющих разное соотношение каменноугольного пека и пироуглерода. Углерод-углеродные композиты, содержащие 45 и более процентов пековой составляющей в матрице имеют стабильный пониженный износ на рулёжных торможениях вне зависимости от схемы армирования. Показана возможность снижения износа при рулёжных торможениях композитов на пироуплотненных матрицах путём модификации матрицы пеком.

**Ключевые слова:** углерод-углеродные материалы, износ, коэффициент трения, матрица, рулежные торможения, пироуглерод, графитизированные волокна, карбонизированные волокна, поры, дефекты структуры.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-1-59-67

**Адрес для переписки:**

А.К. Голубков  
ПАО Авиацiонная корпорация «Рубин»,  
шоссе Энтузиастов, 5, г. Балашиха 143903, Россия  
e-mail: golubkov@akrubin.ru

**Для цитирования:**

В.В. Кулаков, А.К. Голубков, Л.Н. Кириллова.  
Выявление факторов повышенного износа фрикционных углерод-углеродных материалов на режимах рулений самолетов. Трение и износ. 2024. – Т. 45, № 1. – С. 59–67.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-1-59-67

**Address for correspondence:**

A.K. Golubkov  
PJSC Aviation Corporation «Rubin»,  
Entuziastov Highway, 5, Balashikha 143903, Russia  
e-mail: golubkov@akrubin.ru

**For citation:**

V.V. Kulakov, A.K. Golubkov, and L.N. Kirillova.  
[Revealing of Factors of Increased Wear of Friction Carbon-Carbon Materials in Aircraft Taxi Brakes].  
Trenie i Iznos. 2024, vol. 45, no. 1, pp. 59–67 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-1-59-67

# Revealing of Factors of Increased Wear of Friction Carbon-Carbon Materials in Aircraft Taxi Brakes

V.V. Kulakov, A.K. Golubkov, and L.N. Kirillova

PJSC Aviation Corporation «Rubin»,  
Entuziastov Highway, 5, Balashikha 143903, Russia

Received 03.10.2023.

Revised 08.02.2024.

Accepted 15.02.2024.

## Abstract

The study compared properties of carbon-carbon composites for aircraft brakes manufacturing. Composites based on various graphitized and carbonized fibers, coal, tar pitch and pyrocarbon matrices were considered. Friction tests were carried out on full-size brake discs (3-disk stand) and on model samples (testing machine UTM-2168). A significant wear increase of composites based on pyrocarbon matrix was found during taxi braking in the temperature range of 50–250 °C. Wear of composites based on coal tar pitch matrix did not depend on the temperature of friction surface. It was found, that the “third body” of composites based on pyrocarbon has a coarse, rough structure with distinct individual abrasive particles; its hardness is more than twice as high as hardness of “third body” of composites based on pitch matrix. The size distribution of pores for composites based on different matrices is given, the difference in the quantity and size of structural defects is illustrated. The variation in wear of materials during taxi braking is explained. The increase of anisotropy degree of the pitch matrix, provided the decrease of wear of the material. The wear was measured during taxi braking of specimens with a hybrid matrix having a different ratio of coal tar pitch and pyrocarbon components. Carbon-carbon composites containing 45 percent or more of the pitch component in matrix have stable reduced wear during taxi braking, regardless of the reinforcement scheme. The possibility of reducing wear during taxi braking of composites on pyrocompacted matrices by modifying the matrix with pitch is shown.

**Keywords:** carbon-carbon composites, wear, coefficient of friction, matrix, taxi brake.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-1-59-67

---

### Адрес для переписки:

А.К. Голубков  
ПАО Авиацiонная корпорация «Рубин»,  
шоссе Энтузиастов, 5, г. Балашиха 143903, Россия  
e-mail: golubkov@akrubin.ru

### Для цитирования:

В.В. Кулаков, А.К. Голубков, Л.Н. Кириллова.  
Выявление факторов повышенного износа фрикционных  
углерод-углеродных материалов на режимах рулений самолетов.  
Трение и износ.  
2024. – Т. 45, № 1. – С. 59–67.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-1-59-67

---

### Address for correspondence:

A.K. Golubkov  
PJSC Aviation Corporation «Rubin»,  
Entuziastov Highway, 5, Balashikha 143903, Russia  
e-mail: golubkov@akrubin.ru

### For citation:

V.V. Kulakov, A.K. Golubkov, and L.N. Kirillova.  
[Revealing of Factors of Increased Wear of Friction Carbon-Carbon  
Materials in Aircraft Taxi Brakes].  
*Trenie i Iznos*.  
2024, vol. 45, no. 1, pp. 59–67 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-1-59-67

## Список использованных источников

1. **G. Di Santo.** Proper Operation of Carbon Brakes // Airbus Flight Operations Support 11th Performance and Operations Conference. URL: /https://studylib.net/doc/18367730/proper-operation-of-carbon-brakes—guy-di-santo (дата обращения 27.06.2023)
2. **Hoshino S., Tadokoro C., and Sasaki S.** Effect of Surface Texturing on Friction Transition of C/C Composite Material // Tribology Online. — 2016 (11), no. 2, 426—431
3. **Hutton T.J., Johnson D., and McEnaney B.** Effects of Fibre Orientation on the Tribology of a Model Carbon–Carbon Composite // Wear. — 2001 (246), 647—655
4. **Wu S., Liu Y., Ge Y., et al.** Structural Transformation of Carbon/Carbon Composites for Aircraft Brake Pairs in the Braking Process // Tribology International. — 2016 (102), 497—506
5. **Патент RU 2744923.** — 2021 / В.В. Кулаков, Д.С. Шмелев, А.К. Голубков и др.
6. **Методические указания: Методы экспериментальной оценки фрикционной совместимости материалов трущихся сопряжений. РД 50-662-88.** — 1988
7. **Jortner J.** Macroporosity and Interface Cracking in Multi-Directional Carbon-Carbon // Carbon. — 1986 (24), no. 5, 603—613
8. **Малкин А.И.** Закономерности и механизмы эффекта Ребиндера // Коллоидный журнал. — 2012 (74), № 2, 239—256
9. **Шпенев А.Г., Муравьева Т.И., Шкалей И.В. и др.** Влияние поверхностной пленки (третьего тела) на процесс трения и изнашивания углеродных волокнистых композитов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2022, № 6, 90—95
10. **Hao M., Luo R., Hou Zh., et al.** Effect of Fiber-Types on the Braking Performances of Carbon/Carbon Composites // Wear. — 2014 (319), 145—149

## References

1. **G. Di Santo.** Proper Operation of Carbon Brakes // Airbus Flight Operations Support 11th Performance and Operations Conference. URL: /https://studylib.net/doc/18367730/proper-operation-of-carbon-brakes—guy-di-santo (date of access 27.06.2023)
2. **Hoshino S., Tadokoro C., and Sasaki S.** Effect of Surface Texturing on Friction Transition of C/C Composite Material // Tribology Online. — 2016 (11), no. 2, 426—431
3. **Hutton T.J., Johnson D., and McEnaney B.** Effects of Fibre Orientation on the Tribology of a Model Carbon–Carbon Composite // Wear. — 2001 (246), 647—655
4. **Wu S., Liu Y., Ge Y., et al.** Structural Transformation of Carbon/Carbon Composites for Aircraft Brake Pairs in the Braking Process // Tribology International. — 2016 (102), 497—506
5. **RU Patent 2744923.** — 2021 / V.V. Kulakov, D.S. Shmelev, A.K. Golubkov et al. (in Russian)
6. **Methodical instructions: Methods of experimental evaluation of friction compatibility of rubbing couplings materials. RD 50-662-88.** — 1988 (in Russian).
7. **Jortner J.** Macroporosity and Interface Cracking in Multi-Directional Carbon-Carbon // Carbon. — 1986 (24), no. 5, 603—613
8. **Malkin A.I.** Regularities and Mechanisms of Rehbinder’s Effect // Colloid Journal. — 2012 (74), no. 2, 239—256
9. **Shpenev A.G., Muravyeva T.I., Shkalei I.V., et al.** Influence of the Surface Film (Third Body) on the Friction and Wear Process of Carbon-Fiber Composites // Journal of Investigation X-ray Synchrotron and Neutron Techniques // 2022 (16), no. 3, 397—401
10. **Hao M., Luo R., Hou Zh., et al.** Effect of Fiber-Types on the Braking Performances of Carbon/Carbon Composites // Wear. — 2014 (319), 145—149

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@mpri.org.by](mailto:FWJ@mpri.org.by)