

УДК 539.3, 621.891

Влияние термического расширения поверхности углерод-углеродного композита на контактное взаимодействие с кольцевым образцом

И.Ю. Цуканов, А.Н. Любичева

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

Поступила в редакцию 12.05.2023.

После доработки 25.07.2023.

Принята к публикации 10.08.2023.

Углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ) используются в тормозных системах и в подвижных уплотнительных соединениях, поскольку могут обладать как фрикционными, так и антифрикционными свойствами в зависимости от их структуры. В исследованиях последних лет получены данные о тепловых свойствах некоторых УУКМ и коэффициенте трения в паре с различными контртелами в зависимости от температуры. При этом характер зависимостей коэффициента трения и коэффициента линейного термического расширения от температуры схож и имеет близкие критические точки. В работе исследуется контактное взаимодействие нагретого теплоизолированного кольцевого штампа с полупространством, коэффициент термического расширения которого зависит от температуры. Получены аналитические зависимости для расчёта контактного давления и внедрения штампа при различных распределениях температуры по контактной поверхности. Для учета неравномерного нагрева контактирующих поверхностей проведены расчеты распределения температуры под кольцевым штампом при его фрикционном взаимодействии с упругим полупространством. Рассмотрен случай распределения температуры при нагреве от трения вращения, характерный для трибологических испытаний и эксплуатации сопряжений из углерод-углеродных композиционных материалов. Установлено, что в рассмотренном случае температура возрастает от внутреннего радиуса кольцевого штампа к внешнему. Исследовано совместное влияние ширины кольца и распределения температуры на величину контактных давлений. Расчеты показывают, что учет фрикционного разогрева более важен для узких штампов, при этом минимальное давление в области контакта может значительно снижаться при фиксированном значении внешней нагрузки.

Ключевые слова: кольцевой штамп, полупространство, контактное взаимодействие, упругость, трение, температура, фрикционный разогрев, коэффициент температурного расширения, углерод-углеродный композиционный материал, структура.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-360-368

Адрес для переписки:

И.Ю. Цуканов
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: ivan.yu.tsukanov@gmail.com

Address for correspondence:

I.Yu. Tsukanov
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences,
Prospekt Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: ivan.yu.tsukanov@gmail.com

Для цитирования:

И.Ю. Цуканов, А.Н. Любичева
Влияние термического расширения поверхности углерод-углеродного композита на контактное взаимодействие с кольцевым образцом.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 4. — С. 360–368.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-360-368

For citation:

I.Yu. Tsukanov and A.N. Lyubicheva
[Evaluation of the Carbon-Carbon Composite Surface Thermal Expansion Effect on the Contact Interaction with a Ring-Shaped Sample].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 4, pp. 360–368 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-360-368

Evaluation of the Carbon-Carbon Composite Surface Thermal Expansion Effect on the Contact Interaction with a Ring-Shaped Sample

I.Yu. Tsukanov and A.N. Lyubicheva

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

Received 12.05.2023.

Revised 25.07.2023.

Accepted 10.08.2023.

Abstract

Carbon-carbon composite materials (CCCM) are used in brake systems and in movable sealing joints, since they can have both frictional and antifriction properties, depending on their structure. In recent studies, data were obtained on the thermal properties of various CCCMs and the coefficient of friction in a pair with various counterbodies as a function of temperature. In this case, the nature of the dependences of the friction coefficient and the coefficient of linear thermal expansion on temperature is similar and has close critical points. The paper investigates the contact interaction of a heated heat-insulated annular punch with a half-space, the thermal expansion coefficient of which depends on temperature. Analytical expressions are obtained for calculation of the contact pressure and the penetration of the punch for various temperature distributions over the contact surface. To take into account the uneven heating of the contacting surfaces, the temperature distribution under the annular punch was calculated during its frictional interaction with the elastic half-space. The case of temperature distribution during heating from spinning friction, which is typical for tribological tests and operation of interfaces made of carbon-carbon composite materials, is considered. It is established that in the considered case the temperature increases from the inner radius of the annular punch to the outer one. The joint effect of the ring width and temperature distribution on the value of contact pressures is studied. Calculations show that taking into account frictional heating is more important for narrow punches, while the minimum pressure in the contact area can significantly decrease at a fixed value of the external load.

Keywords: annular punch, half-space, contact interaction, elasticity, friction, temperature, friction heating, thermal expansion coefficient, carbon-carbon composite material, structure.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-360-368

Адрес для переписки:

И.Ю. Цуканов
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: ivan.yu.tsukanov@gmail.com

Address for correspondence:

I.Yu. Tsukanov
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences,
Prospekt Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: ivan.yu.tsukanov@gmail.com

Для цитирования:

И.Ю. Цуканов, А.Н. Любичева
Влияние термического расширения поверхности углерод-
углеродного композита на контактное взаимодействие с
кольцевым образцом.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 4. — С. 360—368.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-360-368

For citation:

I.Yu. Tsukanov and A.N. Lyubicheva
[Evaluation of the Carbon-Carbon Composite Surface Thermal
Expansion Effect on the Contact Interaction with a Ring-Shaped
Sample].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 4, pp. 360—368 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-4-360-368

Список использованных источников

1. **Шпенев А.Г.** Влияние термоупругой неустойчивости на износ композитных тормозных дисков // Трение и износ. — 2021 (42), № 1, 52—62
2. **Luo R., Liu T., Li J. et al.** Thermophysical Properties of Carbon/Carbon Composites and Physical Mechanism of Thermal Expansion and Thermal Conductivity // Carbon. — 2004 (42), no. 14, 2887—2895
3. **Alisin V.V. and Roshchin M.N.** The Effect of Temperature on the Friction of a Carbon–Carbon Composite in Carbon Dioxide // J. Mach. Manuf. Reliab. — 2021 (50), 88—91
4. **Popov V.L., Heß M., and Willert E.** Handbook of Contact Mechanics. — Berlin, Heidelberg: Springer. — 2018
5. **Бородачев Н.М., Бородачева Ф.Н.** Вдавливание кольцевого штампа в упругое полупространство // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. — 1966 (1), № 4, 158—161
6. **Бородачев Н.М.** Температурные контактные задачи // В кн. «Развитие теории контактных задач в СССР». — М.: Наука. — 1976, 344—356
7. **Коровчинский М.В.** Основы теории термического контакта при локальном трении // Сб. науч. тр. «Вопросы трения и проблемы смазки». — М.: Наука. — 1968, 5—86
8. **Guo F., Yan Y., Hong Y., and Li Y.** Multiscale Modeling: Prediction for Thermophysical Properties of Needled Carbon/Carbon Composite and Evaluation of Brake Disk System // Materials Today Communications. — 2020 (22), 100685
9. **Маховская Ю. Ю.** Моделирование фрикционного разогрева тормозного диска из волокнистого композиционного материала // Трение и износ. — 2015 (36), № 4, 375—383
10. **Yevtushenko A., Kuciej M., and Topczewska K.** Frictional Heating during Braking of the C/C Composite Disc // Materials — 2020 (13), 2691
11. **Буковский П.О., Горячева И.Г.** Теоретико-экспериментальное исследование контактно-усталостного разрушения углерод-углеродных композитов // Трение и износ. — 2021 (42), № 5, 539—551

References

1. **Shpenev A.G.** The Influence of the Thermoelastic Instability on the Wear of Composite Brake Discs // Journal of Friction and Wear. — 2021 (42), no. 1, 30—37
2. **Luo R., Liu T., Li J. et al.** Thermophysical Properties of Carbon/Carbon Composites and Physical Mechanism of Thermal Expansion and Thermal Conductivity // Carbon. — 2004 (42), no. 14, 2887—2895
3. **Alisin V.V. and Roshchin M.N.** The Effect of Temperature on the Friction of a Carbon–Carbon Composite in Carbon Dioxide // J. Mach. Manuf. Reliab. — 2021 (50), 88—91
4. **Popov V.L., Heß M., and Willert E.** Handbook of Contact Mechanics. — Berlin, Heidelberg: Springer. — 2018
5. **Borodachev N.M. and Borodacheva F.N.** Pressing an Annular Stamp into an Elastic Half-Space // Mech. Solids. — 1966 (1), 158—161
6. **Borodachev N.M.** Temperaturnye kontaktnye zadachy // In: “Razvitie teorii kontaktnykh zadach v SSSR”. — M.: Nauka. — 1976, 344—356 (in Russian)
7. **Korovchinskii M.V.** Osnovy teorii termicheskogo kontakta pri lokalnom trenii // In: “Voprosy treniya i problem smazki”. — M.: Nauka. — 1968, 5—86 (in Russian)
8. **Guo F., Yan Y., Hong Y., and Li Y.** Multiscale Modeling: Prediction for Thermophysical Properties of Needled Carbon/Carbon Composite and Evaluation of Brake Disk System // Materials Today Communications. — 2020 (22), 100685
9. **Makhovskaya Yu.Yu.** Modeling Frictional Heating of Fibrous Composite Brake Disk // Journal of Friction and Wear. — 2015 (36), no. 4, 286—292
10. **Yevtushenko A., Kuciej M., and Topczewska K.** Frictional Heating during Braking of the C/C Composite Disc // Materials — 2020 (13), 2691
11. **Bukovskiy P.O. and Goryacheva I.G.** Theoretical and Experimental Study of Fatigue Failure of Contact in Carbon–Carbon Composites // Journal of Friction and Wear. — 2021 (42), № 4, 349—358

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