

УДК 620.22

## Термомеханических износ органических металлополимерных композитов

Ф.Ф. Юсубов

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности,  
проспект Азадлыг, 34, г. Баку AZ1010, Азербайджан

Поступила в редакцию 24.04.2024.

После доработки 07.02.2025.

Принята к публикации 18.02.2025.

Изучены механизмы изнашивания органических композиционных материалов с низким содержанием металлических элементов для тормозных систем средней и тяжелой нагруженности. Испытания проводились по схеме «палец—диск» на машине трения MMW-1. Тепловое воздействие при трении моделировалось методом конечных элементов с фокусом на распределение тепла по поверхности. Установлено, что скорость скольжения оказывает наибольшее влияние на интенсивность изнашивания, составляя 52,24 %. Отмечено снижение коэффициента трения при температуре выше 490 °С. Материалы с высоким содержанием Cu–C (20 мас. %) показали меньший износ и более низкие коэффициенты трения благодаря графиту, в то время как материалы с низким содержанием Cu–C (5 мас. %) были подвержены более выраженному абразивному износу из-за перегрева. Композиты с 25 мас. % связующего также имели признаки абразивного износа, в то время как при содержании связующего 35 мас. % поверхность характеризовалась более равномерным рельефом. Однако повышенное содержание связующего привело к локальному термическому разрушению, что проявилось в виде трещин и повреждений поверхности. Практическая значимость заключается в возможности оптимизации материалов для улучшения их износостойкости при высоких температурах и нагрузках.

**Ключевые слова:** фрикционные композиты, тормозные колодки, износ, трение, тепловое моделирование, дисульфид молибдена, тяжело нагруженные тормозные системы.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-1-96-104

**Адрес для переписки:**

Ф.Ф. Юсубов  
Азербайджанский Государственный Университет Нефти и  
Промышленности,  
проспект Азадлыг, 34, г. Баку AZ1010, Азербайджан  
e-mail: fikratyusub@gmail.com

**Address for correspondence:**

F.F. Yusubov  
Azerbaijan State University of Oil and Industry,  
34 Azadliq ave., Baku AZ1010, Azerbaijan  
e-mail: fikratyusub@gmail.com

**Для цитирования:**

Ф.Ф. Юсубов.  
Термомеханических износ органических металлополимерных  
композитов.  
Трение и износ.  
2025. – Т. 46, № 1. – С. 96–104.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-1-96-104

**For citation:**

F.F. Yusubov.  
[Thermomechanical Wear of Organic Metallopolymer Composites].  
Trenie i Iznos.  
2025, vol. 46, no. 1, pp. 96–104 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-1-96-104

# Thermomechanical Wear of Organic Metallopolymer Composites

F.F. Yusubov

Azerbaijan State University of Oil and Industry,  
34 Azadliq ave., Baku AZ1010, Azerbaijan

Received 24.04.2024.

Revised 07.02.2025.

Accepted 18.02.2025.

## Abstract

Wear mechanisms of organic composite materials with low content of metallic elements for braking systems of medium and heavy loading have been studied. The tests were carried out on the scheme “finger—disc” on the friction machine MMW-1. The thermal effect during friction was modelled by finite element method with focus on heat distribution on the surface. It was found that the sliding speed has the greatest influence on the wear intensity and constitutes 52.24 %. A decrease in the friction coefficient at temperatures above 490 °C was observed. Materials with high Cu–C content (20 wt. %) showed less wear and lower friction coefficients due to graphite, while materials with low Cu–C content (5 wt. %) were subjected to more pronounced abrasive wear due to overheating. Composites with 25 wt. % binder also showed signs of abrasion, while at 35 wt. % binder content the surface was characterized by a more uniform topography. However, the increased binder content led to local thermal failure, which manifested itself in the form of cracks and surface damage. The practical significance lies in the possibility of optimization of materials to improve their wear resistance at high temperatures and loads.

**Keywords:** friction composites, brake pads, wear, friction, thermal modelling, molybdenum disulphide, heavy duty brake systems.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-1-96-104

---

### Адрес для переписки:

Ф.Ф. Юсубов  
Азербайджанский Государственный Университет Нефти и  
Промышленности,  
проспект Азадлыг, 34, г. Баку AZ1010, Азербайджан  
e-mail: fikratyusub@gmail.com

### Address for correspondence:

F.F. Yusubov  
Azerbaijan State University of Oil and Industry,  
34 Azadliq ave., Baku AZ1010, Azerbaijan  
e-mail: fikratyusub@gmail.com

---

### Для цитирования:

Ф.Ф. Юсубов.  
Термомеханический износ органических металлополимерных  
композитов.  
Трение и износ.  
2025. – Т. 46, № 1. – С. 96–104.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-1-96-104

### For citation:

F.F. Yusubov.  
[Thermomechanical Wear of Organic Metallopolymer Composites].  
*Trenie i Iznos*.  
2025, vol. 46, no. 1, pp. 96–104 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-1-96-104

## Список использованных источников

1. **Tavangar R., Moghadam H.A., Khavandi A., and Banaeifar S.** Comparison of Dry Sliding Behavior and Wear Mechanism of Low Metallic and Copper-Free Brake Pads // *Tribology International*. — 2020 (151), 106416
2. **Григорчик А.Н., Кукареко В.А.** Субструктурные изменения в поверхностных слоях композиционных газотермических покрытий Cu-(Al-Si) при трении в различных условиях // *Трение и износ*. — 2024 (45), № 3, 210—219. DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-3-210-219
3. **Брундуков А.С., Ковалёва Я.А.** Экспериментальная оценка износостойкости полимерных материалов, применяемых в поршневом компрессорном оборудовании // *Механика машин, механизмов и материалов*. — 2024, № 1(66), 65—70. DOI: 10.46864/1995-0470-2024-1-66-65-70
4. **Gérard, M.** The Thermomechanics of Nonlinear Irreversible Behaviors: An Introduction. — World Scientific. — 1999
5. **Bhushan B.** Frictional Heating and Contact Temperatures // In *Modern Tribology Handbook*. — CRC Press. — 2000, 265—302
6. **Frangieh J., Desplanques Y., Mann R., and Dufrenoy P.** Downscaling for Disc-Brake Wear Testing Using a Thermomechanical Approach // *Mechanics & Industry*. — 2023 (24), 1—7
7. **Nakahara T.** A Model of Seizure Based on Burwell and Strang's Concept of Wear Mode Transition // *Tribology and Interface Engineering Series*, 48, 'Life Cycle Tribology'. Elsevier (Proc. 31st Leeds-Lyon Symp.). Series. — 2005, 547—533
8. **Ghosh P., Naskar K., and Das N.C.** Enhancement of Tribological and Thermo-Mechanical Properties of Phenolic Resin Friction Composites by Improving Interactions Between Elastomeric Phase and Matrix Resin // *SN Appl. Sci.* — 2020, no. 2, 1912
9. **Bao J., Zhu Z., Tong M. [et al.]** Dynamic Friction Heat Model for Disc Brake During Emergency Braking // *Advanced Science Letters*. — 2011 (4), nos. 11-12, 3716—3720
10. **Jara D.C. and Jang H.** Synergistic Effects of the Ingredients of Brake Friction Materials on Friction and Wear: A Case Study on Phenolic Resin and Potassium Titanate // *Wear*. — 2019 (430), 222—232

## References

1. **Tavangar R., Moghadam H.A., Khavandi A., and Banaeifar S.** Comparison of Dry Sliding Behavior and Wear Mechanism of Low Metallic and Copper-Free Brake Pads // *Tribology International*. — 2020 (151), 106416
2. **Grigorchik A.N. and Kukareko V.A.** Substructural Changes in the Surface Layers of Composite Gas-Thermal Cu-(Al-Si) Coatings during Friction under Various Conditions // *Journal of Friction and Wear*. — 2024 (45), 140—146. DOI 10.3103/S1068366624700211
3. **Brundukov A.S., Kavaliova Ya.A.** Eksperimental'naya ocenka iznosostojkosti polimernyh materialov, primenyayemyh v porshnevom kompressornom oborudovanii // *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov*. — 2024, № 1(66), 65—70. DOI: 10.46864/1995-0470-2024-1-66-65-70 (in Russian)
4. **Gérard, M.** The Thermomechanics of Nonlinear Irreversible Behaviors: An Introduction // World Scientific — 1999, 392 p.
5. **Bhushan B.** Frictional Heating and Contact Temperatures // In *Modern Tribology Handbook*. — CRC Press. — 2000, 265—302
6. **Frangieh J., Desplanques Y., Mann R., and Dufrenoy P.** Downscaling for Disc-Brake Wear Testing Using a Thermomechanical Approach // *Mechanics & Industry*. — 2023 (24), 1—7
7. **Nakahara T.** A Model of Seizure Based on Burwell and Strang's Concept of Wear Mode Transition // *Tribology and Interface Engineering Series*, 48, 'Life Cycle Tribology'. Elsevier (Proc. 31st Leeds-Lyon Symp.). Series. — 2005, 547—533
8. **Ghosh P., Naskar K., and Das N.C.** Enhancement of Tribological and Thermo-Mechanical Properties of Phenolic Resin Friction Composites by Improving Interactions Between Elastomeric Phase and Matrix Resin // *SN Appl. Sci.* — 2020, no. 2, 1912
9. **Bao J., Zhu Z., Tong M. [et al.]** Dynamic Friction Heat Model for Disc Brake During Emergency Braking // *Advanced Science Letters*. — 2011 (4), nos. 11-12, 3716—3720
10. **Jara D.C. and Jang H.** Synergistic Effects of the Ingredients of Brake Friction Materials on Friction and Wear: A Case Study on Phenolic Resin and Potassium Titanate // *Wear*. — 2019 (430), 222—232

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](mailto:FWJ@tut.by)