

УДК 621.891;621-039-419; 620.22-419

## Влияние обработки в магнитном поле на трибоакустические характеристики медьсодержащих полимерных фрикционных композитов

В.П. Сергиенко<sup>1</sup>, С.Н. Бухаров<sup>1</sup>, А.Г. Анисович<sup>2</sup>, В.К. Меринов<sup>1</sup>, Н.С. Абед<sup>3</sup>,  
А.Р. Алексиев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» (ИММС НАН Беларуси), ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси» (ИПФ НАН Беларуси), ул. Академическая, 1б, г. Минск 220072, Беларусь

<sup>3</sup>Государственное унитарное предприятие «ФАН ВА ТАРАККИЁТ» Ташкентского государственного технического университета им. И. Каримова, ул. Мирзо Галиба, 7а, г. Ташкент 100174, Узбекистан

<sup>4</sup>Институт механики болгарской академии наук, ул. Академика Г. Бончева, бл. 4, г. София 1113, Болгария

Поступила в редакцию 02.04.2024.

После доработки 15.06.2024.

Принята к публикации 18.06.2024.

Исследовано влияние обработки импульсным магнитным полем на трибоакустические характеристики полимерных фрикционных композитов, содержащих в своём составе в качестве наполнителя до 20 мас. % дисперсной меди. Показано, что среди различных физико-механических свойств статистически значимый отклик на обработку магнитным полем смеси компонентов демонстрируют динамические механические характеристики композитов. Установлено, что магнитная обработка исходных смесей композитов как в однополярном, так и в двухполярном режиме с напряженностью поля 20 кА/м приводит к снижению разности между коэффициентами статического и динамического трения в 3,0—3,4 раза без статистического значимого изменения скорости изнашивания и потери эффективности торможения. Экспериментально подтверждено снижение уровней звукового давления при трении на 23—24 дБ в диапазоне частот выше 2 кГц.

**Ключевые слова:** фрикционные композиционные материалы, трибоакустические характеристики, магнитное поле, динамические механические характеристики, коэффициент трения, модальный анализ, акустическое излучение при трении.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

**Адрес для переписки:**

В.П. Сергиенко  
Институт механики металлополимерных систем имени В.А.  
Белого Национальной академии наук Беларуси  
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь  
e-mail: sergienko\_vp@mail.ru

**Address for correspondence:**

V.P. Sergienko  
V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of  
Sciences of Belarus,  
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus  
e-mail: sergienko\_vp@mail.ru

**Для цитирования:**

В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, А.Г. Анисович, В.К. Меринов,  
Н.С. Абед, А.Р. Алексиев.  
Влияние обработки в магнитном поле на трибоакустические характеристики  
медьсодержащих полимерных фрикционных композитов.  
Трение и износ.  
2024. — Т. 45, № 3. — С. 187—198.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

**For citation:**

V.P. Sergienko, S.N. Bukharov, A.G. Anisovich, V.K. Merinov,  
N.S. Abed, and A.R. Alexiev.  
[Effect of Treatment in a Magnetic Field on the Triboacoustic  
Characteristics of Copper-Containing Polymer Friction Composites].  
*Trenie i Iznos*.  
2024, vol. 45, no. 3, pp. 187—198 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

# Effect of Treatment in a Magnetic Field on the Triboacoustic Characteristics of Copper-Containing Polymer Friction Composites

V.P. Sergienko<sup>1</sup>, S.N. Bukharov<sup>1</sup>, A.G. Anisovich<sup>2</sup>, V.K. Merinov<sup>1</sup>, N.S. Abed<sup>3</sup>, and A.R. Alexiev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>State Scientific Institution «V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus»,  
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus

<sup>2</sup>State Scientific Institution «Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus»,  
Kupreevich St., 10, Minsk 220141, Belarus

<sup>3</sup>State Unitary Enterprise «FAN VA TARAKKIYOT» of Tashkent State Technical University  
named after Islam Karimov,  
Mirzo Golib St., 7a, Tashkent 100174, Uzbekistan

<sup>4</sup>Institute of Mechanics at the Bulgarian Academy of Sciences,  
Acad. G. Bonchev Str., block 4, Sofia 1113, Bulgaria

Received 02.04.2024.

Revised 15.06.2024.

Accepted 18.06.2024.

## Abstract

The effect of treatment with a pulsed magnetic field on the triboacoustic characteristics of polymer friction composites containing up to 20 wt. % dispersed copper. It has been shown that among various physical and mechanical properties, a statistically significant response to magnetic field treatment of a mixture of composite components is demonstrated by dynamic mechanical characteristics. It was found that magnetic treatment of initial mixtures of composites in both unipolar and bipolar modes with field strength of 20 kA/m leads to a decrease in the difference between the coefficients of static and dynamic friction by 3.0—3.4 times without a statistically significant change in the wear rate and loss of braking efficiency. A reduction in sound pressure levels during friction by 23—24 dB in the frequency range above 2 kHz has been experimentally confirmed.

**Keywords:** friction composite materials, high-frequency electromagnetic field, dynamical mechanical properties, noise.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

---

### Адрес для переписки:

В.П. Сергиенко  
Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» (ИММС НАН Беларуси),  
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь  
e-mail: sergienko\_vp@mail.ru

### Address for correspondence:

V.P. Sergienko  
State Scientific Institution «V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus»,  
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus  
e-mail: sergienko\_vp@mail.ru

### Для цитирования:

В.П. Сергиенко, С.Н. Бухаров, А.Г. Анисович, В.К. Меринов, Н.С. Абед, А.Р. Алексиев.  
Влияние обработки в магнитном поле на трибоакустические характеристики медьсодержащих полимерных фрикционных композитов.  
Трение и износ.  
2024. — Т. 45, № 3. — С. 187—198.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

### For citation:

V.P. Sergienko, S.N. Bukharov, A.G. Anisovich, V.K. Merinov, N.S. Abed, and A.R. Alexiev.  
[Effect of Treatment in a Magnetic Field on the Triboacoustic Characteristics of Copper-Containing Polymer Friction Composites].  
*Trenie i Izнос*.  
2024, vol. 45, no. 3, pp. 187—198 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2024-45-3-187-198

## Список использованных источников

1. **Anisovich A.G., Azharonok V.V., Gologan V.F., Bobanova Zh.I., Ivashku S.Kh., and Kroitoru D.M.** The Effect of Low Temperature Nonequilibrium Air Plasma on the Structure and Properties of Copper and Chromium Electrodeposited Coatings // *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*. — 2016 (3), no. 2, 42—49
2. **Sufyan Akrama, Anatolii Babutskyi, Andreas Chrysanthou, Diogo Montalv, Mark J. Whiting, and Om Prakash Modi.** Improvement of the Wear Resistance of EN8 Steel by Application of Alternating Magnetic Field Treatment // *Wear*. — 2021 (484—485), 203926
3. **Sufyan Akrama, Anatolii Babutskyi, Andreas Chrysanthou, Diogo Montalv, Mark J. Whiting, and Nada Pizurova.** Improvement of the Wear Resistance of Nickel–Aluminium Bronze and 2014–T6 Aluminium Alloy by Application of Alternating Magnetic Field Treatment // *Wear*. — 2021 (480—481), 203940
4. **Licai Fu and Lingping Zhou.** Effect of Applied Magnetics Feld on Wear Behaviour of Martensitic Steel // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2019 (8), no. 3, 2880—2886
5. **Kanisha T.C., Narayananb S., Kuppanc P., and Ashokd D.** Investigations on Wear Behavior of Magnetic Field Assisted Abrasive Finished SS316L Material // *Materials Today: Proceedings*. — 2018, no. 5, 12734—12743
6. **Yetim A.F., Kovac H., Aslan M., and Çelik A.** The Effect of Magnetic Field on the Wear Properties of a Ferromagnetic Steel // *Wear*. — 2013 (301), no. 1—2, 636—640
7. **Lei Huang, Jianzhong Zhou, Jiale Xuab, Kun Huoa, and oth.** Microstructure and Wear Resistance of Electromagnetic Field Assisted Multi-Layer Laser Clad Fe901 Coating // *Surface & Coatings Technology*. — 2020 (395), 125876
8. **Zhaoyang Zhang, Yucheng Wu, Kun Xu, Xueren Dai and oth.** A Study on Steady—State Magnetic Field in the Surface Morphology and Internal Stress of Electrodeposited Amorphous Ni—Fe—P Alloy Based on Laser Irradiation // *Surface & Coatings Technology*. — 2021 (425), 127677
9. **Houming Zhou, Zixin Chen, Mingfu Li, Yuxu Zhu and oth.** Effect of Magnetic—Electric—Ultrasonic Fields on Microstructure and Properties of Ni60A Laser Cladding Coating // *Materials Letters*. — 2022 (X 14), — 100132
10. **Сергиенко В.П., Бухаров С.Н., Анисович А.Г., Абед Н.С., Григорьев А.Я.** Влияние обработки высокочастотным электромагнитным полем на динамические механические и триботехнические характеристики фрикционных композитов с термореактивной полимерной матрицей // *Трение и износ*. — 2021 (42), № 6, 619—628
11. **Бухаров С.Н., Анисович А.Г., Филатова И.И.,**

- Ахметов Т.А., Сергиенко В.П., Григорьев А.Я.** Влияние обработки неравновесной низкотемпературной плазмой на динамические механические и триботехнические характеристики фрикционных полимерных композитов // *Трение и износ*. — 2021 (42), № 3, 225—234
12. **Sergienko V.P. and Bukharov S.N.** *Noise and Vibration in Friction Systems*. — Switzerland: Springer. — 2015
  13. **Анисович А.Г.** Рентгеноструктурный анализ в практических вопросах материаловедения. — Минск: Беларуская навука. — 2017

## References

1. **Anisovich A.G., Azharonok V.V., Gologan V.F., Bobanova Zh.I., Ivashku S.Kh., and Kroitoru D.M.** The Effect of Low Temperature Nonequilibrium Air Plasma on the Structure and Properties of Copper and Chromium Electrodeposited Coatings // *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*. — 2016 (3), no. 2, 42—49
2. **Sufyan Akrama, Anatolii Babutskyi, Andreas Chrysanthou, Diogo Montalv, Mark J. Whiting, and Om Prakash Modi.** Improvement of the Wear Resistance of EN8 Steel by Application of Alternating Magnetic Field Treatment // *Wear*. — 2021 (484—485), 203926
3. **Sufyan Akrama, Anatolii Babutskyi, Andreas Chrysanthou, Diogo Montalv, Mark J. Whiting, and Nada Pizurova.** Improvement of the Wear Resistance of Nickel–Aluminium Bronze and 2014–T6 Aluminium Alloy by Application of Alternating Magnetic Field Treatment // *Wear*. — 2021 (480—481), 203940
4. **Licai Fu and Lingping Zhou.** Effect of Applied Magnetics Feld on Wear Behaviour of Martensitic Steel // *Journal of Materials Research and Technology*. — 2019 (8), no. 3, 2880—2886
5. **Kanisha T.C., Narayananb S., Kuppanc P., and Ashokd D.** Investigations on Wear Behavior of Magnetic Field Assisted Abrasive Finished SS316L Material // *Materials Today: Proceedings*. — 2018, no. 5, 12734—12743
6. **Yetim A.F., Kovac H., Aslan M., and Çelik A.** The Effect of Magnetic Field on the Wear Properties of a Ferromagnetic Steel // *Wear*. — 2013 (301), no. 1—2, 636—640
7. **Huang L., Zhou J., Xua J., and Huoa K.** Microstructure and Wear Resistance of Electromagnetic Field Assisted Multi-Layer Laser Clad Fe901 Coating // *Surface & Coatings Technology*. — 2020 (395), 125876
8. **Zhang Zh., Wu Yu., Xu K., and Dai X.** A Study on Steady-State Magnetic Field in the Surface Morphology and Internal Stress of Electrodeposited Amorphous Ni—Fe—P Alloy Based on Laser Irradiation // *Surface & Coatings Technology*. — 2021

- (425), 127677
9. **Zhou H., Chen Z., Li M., and Zhu Yu.** Effect of Magnetic–Electric–Ultrasonic Fields on Microstructure and Properties of Ni60A Laser Cladding Coating // *Materials Letters*. — 2022 (**X 14**), 100132
  10. **Sergienko V.P., Bukharov S.N., Anisovich A.G., Abed N.S., and Grigoriev A.Ya.** Effect of a High-Frequency Electromagnetic Field on Dynamic Mechanical and Tribotechnical Characteristics of Frictional Composites with a Thermosetting Polymer Matrix // *Friction and Wear*. — 2021 (**42**), no. 6, 619—628
  11. **Bukharov S.N., Anisovich A.G., Filatova I.I., Akhmetov T.A., Sergienko V.P., and Grigoriev A.Ya.** Effect of non-Thermal Energy Treatments on Dynamic Mechanical and Tribotechnical Characteristics of Polymer Friction Composites // *Friction and Wear*. — 2021 (**42**), no. 3, 225—234
  12. **Sergienko V.P. and Bukharov S.N.** *Noise and Vibration in Friction Systems*. — Switzerland: Springer. — 2015
  13. **Anisovich A.G.** *X-ray structural analysis in practical issues of materials science*. — Minsk: Belarusian Science. — 2017 (in Russian)

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)