

УДК 621.762

Влияние добавки порошка биоуглерода, полученного из скорлупы кедрового ореха, на триботехнические свойства фрикционного материала на основе меди, работающего в условиях граничного трения

А.Ф. Ильющенко¹, А.В. Лешок¹, Л.Н. Дьячкова¹, С.А. Янковский²

¹Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа»,
ул. Платонова, 41, Минск 220005, Беларусь

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
г. Томск, Россия

Поступила в редакцию 15.08.2022.

После доработки 17.10.2022.

Принята к публикации 18.10.2022.

Представлены результаты исследования влияния добавки биоуглерода (БУ), полученного путём пиролиза из скорлупы кедрового ореха, на триботехнические свойства фрикционного материала. В качестве объекта исследования использовался фрикционный материал на основе меди, легированной 12 % олова, с 10—40 об. % углеродсодержащей добавки в виде БУ. Средний размер частиц БУ составлял 10 мкм. Исследование триботехнических свойств осуществляли на машине трения типа ИМ-58. Триботехнические испытания показали, что с увеличением содержания БУ происходит рост динамического коэффициента трения с 0,041 до 0,066. Для сравнения, добавка порошка графита марки ГЭ-1 вызывает рост коэффициента трения с 0,038 до 0,069. Одновременно с ростом коэффициента трения отмечается и рост износа фрикционного материала, не превышающее предельного значения. Так при 10 об. % добавки БУ износ составляет 4,0 мкм/км, при 40 об. % — 12,1 мкм/км. Анализ морфологии поверхности бронзы показал, что частицы БУ изнашиваются равномерно со слоем бронзы, сохраняется исходная поровая структура. Продукты разрушения БУ размером 50—500 нм внедрены в поверхностный слой бронзы. Полученные результаты исследований показали перспективность добавки биоуглерода в составе фрикционного материала, которая может выступить в качестве замены традиционно используемых графитов. Следует отметить о перспективности использования биоуглерода в качестве добавки в состав порошкового антифрикционного материала, определяясь исходным сырьем для его получения.

Ключевые слова: фрикционный материал, биоуглерод, коэффициент трения, износ, граничное трение.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-466-475

Адрес для переписки:

А.В. Лешок
Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа»,
ул. Платонова, 41, Минск 220005, Беларусь
e-mail: sdilav@tut.by

Для цитирования:

А.Ф. Ильющенко, А.В. Лешок, Л.Н. Дьячкова, С.А. Янковский.
Влияние добавки порошка биоуглерода, полученного из скорлупы кедрового ореха, на триботехнические свойства фрикционного материала на основе меди, работающего в условиях граничного трения.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 5. — С. 466—475.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-466-475

Address for correspondence:

A.V. Liashok
State Scientific Institution "Institute of Powder Metallurgy named after Academician O.V. Roman",
str. Platonova, 41, Minsk 220005, Belarus
e-mail: sdilav@tut.by

For citation:

A.Ph. Ilyushchanka, A.V. Leshok, L.N. Dyachkova, and S.A. Yankovsky.
[Influence of the Additive of Powder Biocarbon Produced from Pine Nut Shell on the Tribotechnical Properties of a Copper-Based Friction Material Working under Boundary Friction].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 5, pp. 466—475 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-466-475

Influence of the Additive of Powder Biocarbon Produced from Pine Nut Shell on the Tribotechnical Properties of a Copper-Based Friction Material Working under Boundary Friction

A.Ph. Ilyushchanka¹, A.V. Liashok¹, L.N. Dyachkova¹, and S.A. Yankovsky²

¹State Scientific Institution “Institute of Powder Metallurgy named after Academician O.V. Roman”, str. Platonova, 41, Minsk 220005, Belarus

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “National Research Tomsk Polytechnic University”, Tomsk, Russia

Received 15.08.2022.

Revised 17.10.2022.

Accepted 18.10.2022.

Abstract

The results of a study of the effect of a biocarbon (BU) additive obtained by pyrolysis from a pine nut shell on the tribotechnical properties of a friction material are presented. The object of study was a friction material based on copper alloyed with 12 % tin, with 10—40 vol. % carbon-containing additive in the form of BU. The average particle size of BU was 10 μm. The study of tribotechnical properties was carried out on an IM-58. Tribotechnical testing showed that with an increase in the BU content, the dynamic coefficient of friction increases from 0.041 to 0.066. For comparison, the addition of GE-1 grade graphite powder causes an increase in the friction coefficient from 0.038 to 0.069. Simultaneously with the increase in the friction coefficient, an increase in the wear of the friction material is also noted, which does not exceed the limit value. So at 10 rev. % additives BU wear is 4.0 microns/km, at 40 vol. % — 12.1 microns/km. An analysis of the morphology of the bronze surface showed that the BU particles wear out evenly with the bronze layer, and the original pore structure is retained. Destruction products of BU 50—500 nm in size are embedded in the surface layer of bronze. The results of the research showed the promise of adding biocarbon in the composition of the friction material, which can act as a replacement for traditionally used graphites. It should be noted that it is promising to use biocarbon as an additive in the composition of a powdered antifriction material, being determined by the feedstock for its production.

Keywords: friction material, biocarbon, coefficient of friction, wear, boundary friction.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-466-475

Адрес для переписки:

А.В. Лешок

Государственное научное учреждение «Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа», ул. Платонова, 41, Минск 220005, Беларусь
e-mail: sdilav@tut.by

Для цитирования:

А.Ф. Ильющенко, А.В. Лешок, Л.Н. Дьячкова, С.А. Янковский. Влияние добавки порошка биоуглерода, полученного из скорлупы кедрового ореха, на триботехнические свойства фрикционного материала на основе меди, работающего в условиях граничного трения. Трение и износ. 2022. — Т. 43, № 5. — С. 466—475.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-466-475

Address for correspondence:

A.V. Liashok

State Scientific Institution “Institute of Powder Metallurgy named after Academician O.V. Roman”, str. Platonova, 41, Minsk 220005, Belarus
e-mail: sdilav@tut.by

For citation:

A.Ph. Ilyushchanka, A.V. Liashok, L.N. Dyachkova, and S.A. Yankovsky. [Influence of the Additive of Powder Biocarbon Produced from Pine Nut Shell on the Tribotechnical Properties of a Copper-Based Friction Material Working under Boundary Friction]. *Trenie i Iznos*. 2022, vol. 43, no. 5, pp. 466—475 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-5-466-475

Список использованных источников

1. **Ильющенко А.Ф., Лешок А.В., Дьячкова Л.Н., Алексеев Н.А.** Особенности изнашивания порошкового фрикционного материала на основе меди в условиях граничного трения // Трение и износ. — 2019 (40), № 6, 654—660
2. **Федорченко И.М., Пугина Л. И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы. — Киев. — 1980
3. **Ильющенко А.Ф.** Современные разработки в области порошковой металлургии для машиностроения // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012 (20), № 3, 113—120
4. **Шаринов В.М., Щерников Г.М., Соколов В.А.** Обзор и анализ свойств новых фрикционных материалов для автотракторных сцеплений. Нагруженность, тяговые свойства, надежность и долговечность тракторов. — М.: Машиностроение. — 1988, 162—170
5. **Альгин В.Б., Поддубко С.Н.** Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин. — Минск: Бел. наука. — 2019
6. **Федорченко И.М., Крячек В.М., Панаюти И.И.** Современные фрикционные материалы. — Киев. — 1975
7. **Бирюков В.П., Ильющенко А.Ф., Лешок А.В., Пинчук Т.И.** Влияние углеродсодержащих добавок в составе фрикционного материала на основе меди на процессы схватывания при граничном трении в минеральном и синтетических маслах // Трение и износ. — 2020 (41), № 5, 519—526
8. **Роговой А.Н., Лешок А.В.** Оценка триботехнических свойств фрикционного материала на основе меди содержащего порошок шунгита, а также углеродное, базальтовое и стекловолокно // Порошковая металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. / редкол.: А.Ф. Ильющенко [и др.] — Минск: Беларус. Навука. — 2018, № 41, 208
9. **Manya J.J.** Pyrolysis for Biochar Purposes: a Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs // Environ Sci Technol. — 2012 (46), 7939—7954 (<https://doi.org/10.1021/es301029g>)
10. **Wang L., Skreiberg O., Wesenbeeck S.V., Gronli M., and Antal J.** Experimental Study on Charcoal Production from Woody Biomass // Energy & Fuels. — 2016 (30), no. 10, 7994—8008. (<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01039>)
11. **Kuznetsov G.V., Zenkov A.V., Tolokolnikov A.A., Cherednik I.V., and Yankovsky S.A.** Ignition of Particles of Finely Dispersed Fuel Mixtures Based on Coal and Fine Wood // Energy. — 2020;220:119697. (<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119697>)
12. **Dziok T. and Penkala K.** The Possibility of Reducing Emissions from Households by Using Coal Briquettes // Polityka Energ. — Energy Policy J // Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia Polskiej Akademii Nauk. — 2020 (23), no. 3, 55—70
13. **Madanayake B. N., Gan S., and Eastwick C.** Biomass as an Energy Source in Coal Co-Firing and its Feasibility Enhancement via Pre-Treatment Techniques // Fuel Process. Technol. — 2017 (159), 287—305. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.01.029>
14. **Reis G.S.d., Oliveira H.P.d., Larsson S.H., Thyrel M., and Claudio Lima E.A.** Short Review on the Electrochemical Performance of Hierarchical and Nitrogen-Doped Activated Bio-carbon-Based Electrodes for Supercapacitors // Nanomaterials. — 2021, 11, 424. (<https://doi.org/10.3390/nano11020424>)
15. **Sohi S., Krull E., Lopez-Capel E., and Bol R.** A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil Adv // Agron. — 2010 (105), 47—82. ([https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9))
16. **Zare H., Khodabandehlo Z., Bayat H., and Jovzi M.** The Effect of a Superabsorbent and Biochar on Some Physical and Hydraulic Properties of Two Arable Sandy Loam and Clay Loam Soils // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. — 2022 (22), no. 2, 2557—2569. (<https://doi.org/10.1007/s42729-022-00827-7>)
17. **Ogunsona E.O., Misra M., and Mohanty A.K.** Sustainable Biocomposites from Biobased Polyamide 6,10 and Biocarbon from Pyrolyzed Miscanthus Fibers // J Appl Polym Sci. — 2017 (134), 1—11, 10.1002/app.44221.
18. **Demirbaş A.** Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals // Energy Convers Manag. — 2001 (42), 1357—1378. ([https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0))
19. **Danhui Xin, Nepu Saha, M. Toufiq Reza, Jeffrey Hudson, and Pei C. Chiu.** Pyrolysis Creates Electron Storage Capacity of Black Carbon (Biochar) from Lignocellulosic Biomass // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. — 2021, no. 9 (19), 6821—6831. (<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c01251>)
20. **Лешок А.В., Ильющенко А.Ф., Дьячкова Л.Н., Пинчук Т.И.** Триботехнические свойства порошкового фрикционного материала на основе меди с добавкой порошка железо-хромистого сплава // Трение и износ. — 2021 (42), № 1, 5—12
21. **Иванов В.В., Щербаков И.Н.** Моделирование антифрикционных свойств неоднородных градиентных композиционных покрытий на поверхности стальных деталей узлов трения // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. — 2010, № 5, 72—75
22. **Щербаков И.Н.** Разработка композиционного никель—фосфорного покрытия, модифицированного нитридом бора и политетрафторэтиленом: дис. ... канд. техн. наук. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ). — 2003

References

1. **Il'yushchenko A.F., Leshok A.V., D'yachkova L.N., Alekseyenko N.A.** Osobennosti iznashivaniya poroshkovogo friktsionnogo materiala na osnove medi v usloviyakh granichnogo treniya // Treniye i iznos. — 2019 (40), № 6, 654—660 (in Russian)
2. **Fedorchenko I.M., Pugina L. I.** Kompozitsionnyye spechennyye antifriktsionnyye materialy. — Kiev. — 1980 (in Russian)
3. **Il'yushchenko A.F.** Sovremennyye razrabotki v oblasti poroshkovoy metallurgii dlya mashinostroyeniya // Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. — 2012 (20), № 3, 113—120 (in Russian)
4. **Sharipov V.M., Shcherenkov G.M., Sokolov V.A.** Obzor i analiz svoystv novykh friktsionnykh materialov dlya avtotraktornykh stsepleniy // Nagruzhenost', tyagovyye svoystva, nadezhnost' i dolgovechnost' traktorov. — M.: Mashinostroyeniye. — 1988, 162—170 (in Russian)
5. **Al'gin V.B., Poddubko S.N.** Resursnaya mekhanika transmissiy mobil'nykh mashin. — Minsk: Bel. navuka. — 2019 (in Russian)
6. **Fedorchenko I.M., Kryachek V.M., Panaioti I.I.** Sovremennyye friktsionnyye materialy. — Kiev. — 1975 (in Russian)
7. **Biryukov V.P., Il'yushchenko A.F., Leshok A.V., Pinchuk T.I.** Vliyaniye uglerodsoderzhashchikh dobavok v sostave friktsionnogo materiala na osnove medi na protsessy skhvatyvaniya pri granichnom trenii v mineral'nom i sinteticheskikh maslakh // Treniye i iznos. — 2020 (41), № 5, 519—526 (in Russian)
8. **Rogovoy A.N., Leshok A.V.** Otsenka tribotekhnicheskikh svoystv friktsionnogo materiala na osnove medi soderzhashchego poroshok shungita, a takzhe uglerodnoye, bazal'tovoye i steklovolokno // Poroshkovaya metallurgiya: Resp. mezhved. sb. nauch. tr. / redkol.: A.F. Il'yushchenko [i dr.] — Minsk: Belarus. Navuka. — 2018, № 41, 208 (in Russian)
9. **Manyà J.J.** Pyrolysis for Biochar Purposes: a Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs // Environ Sci Technol. — 2012 (46), 7939—7954 (<https://doi.org/10.1021/es301029g>)
10. **Wang L., Skreiberg O., Wesenbeeck S.V., Gronli M., Antal J.** Experimental Study on Charcoal Production from Woody Biomass // Energy & Fuels. — 2016 (30), no. 10, 7994—8008. (<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b01039>)
11. **Kuznetsov G.V., Zenkov A.V., Tolokolnikov A.A., Cherednik I.V., and Yankovsky S.A.** Ignition of Particles of Finely Dispersed Fuel Mixtures Based on Coal and Fine Wood // Energy. — 2020;220:119697. (<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119697>)
12. **Dziok T. and Penkala K.** The Possibility of Reducing Emissions from Households by Using Coal Briquettes // Polityka Energ. — Energy Policy J // Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energia Polskiej Akademii Nauk. — 2020 (23), no. 3, 55—70
13. **Madanayake B.N., Gan S., and Eastwick C.** Biomass as an Energy Source in Coal Co-Firing and Its Feasibility Enhancement Via Pre-Treatment Techniques // Fuel Process. Technol. — 2017 (159), 287—305. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.01.029>
14. **Reis G.S.d., Oliveira H.P.d., Larsson S.H., Thyrel M., and Claudio Lima E. A.** Short Review on the Electrochemical Performance of Hierarchical and Nitrogen-Doped Activated Biocarbon-Based Electrodes for Supercapacitors // Nanomaterials. — 2021, no. 11, 424. (<https://doi.org/10.3390/nano11020424>)
15. **Sohi S., Krull E., Lopez-Capel E., and Bol R.** A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil Adv // Agron. — 2010 (105), 47—82. ([https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9))
16. **Zare H., Khodabandehlo Z., Bayat H., and Jovzi M.** The Effect of a Superabsorbent and Biochar on Some Physical and Hydraulic Properties of Two Arable Sandy Loam and Clay Loam Soils // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. — 2022 (22), no. 2, 2557—2569. (<https://doi.org/10.1007/s42729-022-00827-7>)
17. **Ogunsona E.O., Misra M., and Mohanty A.K.** Sustainable Biocomposites from Biobased Polyamide 6,10 and Biocarbon from Pyrolyzed Miscanthus fibers // J. Appl. Polym. Sci. — 2017 (134), 1—11, 10.1002/app.44221.
18. **Demirbaş A.** Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals // Energy Convers Manag. — 2001 (42), 1357—1378 ([https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00137-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00137-0))
19. **Danhui Xin, Nepu Saha, M. Toufiq Reza, Jeffrey Hudson, and Pei C. Chiu.** Pyrolysis Creates Electron Storage Capacity of Black Carbon (Biochar) from Lignocellulosic Biomass // ACS Sustainable Chemistry & Engineering. — 2021, no. 9(19), 6821—6831 (<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c01251>)
20. **Leshok A.V., Il'yushchenko A.F., D'yachkova L.N., Pinchuk T.I.** Tribotekhnicheskiye svoystva poroshkovogo friktsionnogo materiala na osnove medi s dobavkoy poroshka zhelezo-khromistogo splava // Treniye i iznos. — 2021 (42), № 1, 5—12 (in Russian)
21. **Ivanov V.V., Shcherbakov I.N.** Modelirovaniye antifriktsionnykh svoystv neodnorodnykh gradiyentnykh kompozitsionnykh pokrytiy na poverkhnosti stal'nykh detaley uzlov treniya // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskkiye nauki. — 2010, № 5, 72—75 (in Russian)
22. **Shcherbakov I.N.** Razrabotka kompozitsionnogo nikel'-fosfornogo pokrytiya, modifitsirovannogo nitridom bora i politetrafluoretilenom: dis. ... kand.

tekhn. nauk. — Novocherkassk: YURGTU (NPI). — 2003 (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