

Научная статья
УДК 661.666.2; 621.893
doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.003

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ОКСИДА ГРАФЕНА В СОСТАВ УГЛЕГРАФИТОВОГО МАТЕРИАЛА НА ЕГО ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Р. Д. Балабанов^{1✉}, Т. П. Дьячкова², Д. А. Строгонов³, А. Г. Федюшкина⁴, Ю. В. Бехелева⁵

^{1,3–5}НИИГрафит, Москва, Россия

^{1,2}Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

¹balabanoff98@gmail.com✉

Аннотация

Исследовалось влияние введения оксида графена на физико-механические свойства антифрикционного материала. В качестве исходных компонентов использовались: графит мелкозернистый, природный графит, каменноугольный пек и оксид графена. Методика получения образцов включала предварительное дробление сырья, приготовление шихты, горячее смешивание, приготовление пресс-порошка, прессование и обжиг. Проведено сравнение физико-механических характеристик экспериментальных образцов: кажущейся плотности, предела прочности при сжатии, объемной усадки и изменения массы после обжига. Показано, что введение оксида графена способствует изменению структуры и свойств углеграфитового материала, в частности, существенно увеличиваются объемные усадки и прочностные характеристики.

Ключевые слова:

оксид графена, антифрикционные материалы, прочность

Для цитирования:

Влияние введения оксида графена в состав углеграфитового материала на его физико-механические свойства / Р. Д. Балабанов [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15, № 1. С. 24–28. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.003.

Original article

THE EFFECT OF THE INTRODUCTION OF GRAPHENE OXIDE INTO THE COMPOSITION OF CARBON GRAPHITE MATERIAL ON ITS PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

R. D. Balabanov^{1✉}, T. P. Dyachkova², D. A. Strogonov³, A. G. Fedyushkina⁴, J. V. Beheleva⁵

^{1,3–5}JSC “NIIgrafit”, Moscow, Russia

^{1,2}Tambov State Technical University, Tambov, Russia

¹balabanoff98@gmail.com✉

Abstract

In this work the influence of graphene oxide introduction on physical and mechanical properties of antifriction material was investigated. Fine-grained graphite, natural graphite, coal pitch and graphene oxide were used as initial components. The technique of obtaining samples included preliminary crushing of raw materials, preparation of charge, hot mixing, preparation of press powder, pressing and firing. The physical and mechanical characteristics of experimental samples were compared: apparent density, compressive strength, volumetric shrinkage and mass change after firing. It is shown that the introduction of graphene oxide contributes to changes in the structure and properties of carbon graphite material, in particular, the volumetric shrinkage and strength characteristics increase significantly.

Keywords:

graphene oxide, antifriction materials, strength

For citation:

The effect of the introduction of graphene oxide into the composition of carbon graphite material on its physical and mechanical properties / R. D. Balabanov [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 24–28. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.003.

Введение

В связи с динамичным развитием атомной энергетики, ракетно-космической и авиационной техники растут требования к работе машин и аппаратов в условиях высоких температур, больших механических нагрузок и скоростей скольжения в различных средах, в том числе в агрессивных

жидкостях, вакууме, окислительных газовых атмосферах. В экстремальных условиях применение традиционных смазок для элементов трения ограничено, поэтому существует потребность в создании новых антифрикционных материалов нового типа. Благодаря термической и химической стабильности, высокой тепло- и электропроводности и превосходным триботехническим характеристикам графит является универсальным компонентом антифрикционных самосмазывающихся материалов.

Основным сырьём для получения углеграфитовых материалов является кокс, каменноугольный пек и естественный графит. При их совмещении используются такие технологические операции, как холодное прессование смеси тонкодиспергированных углеродных порошков заданного состава, термообработка при температуре 1250 °С, пропитка и графитация при температуре 2300–2500 °С [1]. Для достижения определённых характеристик антифрикционного материала могут применяться и иные подходы, подразумевающие кардинальное изменение сырьевых компонентов или внедрение новых технологических переделов. Так, в патенте [2] в качестве исходного сырья в роли одного из наполнителей применяют бой искусственного графита. Предложенный способ базируется на образовании дополнительной коксовой матрицы путём уплотнения заготовок среднетемпературным пеком, что позволяет повысить прочностные свойства материала и создать требуемую поровую структуру. Пропитка импрегнатом такого рода обязует проводить последующую высокотемпературную обработку, что значительно увеличивает как время получения материала, так и его себестоимость. В связи с этим нахождение новых способов повышения физико-механических свойств можно рассматривать как одну из возможностей решения вышеуказанной проблемы.

Другим способом повышения функциональных характеристик антифрикционных материалов является использование наномодификаторов. Так, углеродные наноструктуры (УНС) (нанотрубки, нановолокна, оксид графена и др.) за последние десятилетия нашли широкое применение в качестве наполнителей разнообразных композиционных материалов. Введение углеродных наноматериалов в состав различных композитов позволяет повысить физико-механические, теплофизические свойства, улучшить электропроводность. Так, в работе [3] показано, что введение многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) в пеки (каменноугольный, нефтяной, смоляной) способствует увеличению содержания высокосконденсированной не растворимой в толуоле α -фракции при сохранении неизменным содержания низкомолекулярной γ -фракции, отвечающей за реологические свойства пека. Также введение МУНТ позволяет получить менее пористую, более изотропную и однородную коксовую матрицу. Однако при традиционных способах смешивания МУНТ практически невозможно равномерно распределить в пековой или полимерной матрицах, из-за чего эффективность наномодифицирования оказывается значительно ниже ожидаемой [4].

В работе [5] показано, что введение оксида графена (ОГ), содержащего значительное количество функциональных групп, в высокотемпературный пек вносит ощутимый вклад в свойства коксопексовой композиции — происходит улучшение физико-механических и теплофизических показателей. Функционализированные УНТ также демонстрируют лучшие эффекты при использовании в составе композитов, например, в исследовании [6] достигнуто 25 %-е увеличение прочности на разрыв композита на основе эпоксидной смолы.

В любом случае для достижения положительного влияния на свойства различных матриц, в том числе углеграфитовых, требуется установление оптимальных концентраций и рациональных режимных параметров введения УНС.

Объекты и методы исследования

В данной работе исследовали влияние концентрации и способа совмещения оксида графена с углеграфитовым материалом на физико-механические свойства разрабатываемого антифрикционного композита. Для этого были выбраны следующие исходные материалы: графит мелкозернистый марки МПГ-7 (производства АО «НИИГрафит» по ТУ 1915-051-00200851), природный графит ГАК-1 (ГОСТ 17022), каменноугольный пек высокотемпературный (производства ООО «Мини-Макс» по ГОСТу 1038) и оксид графена в виде суспензии (производства ООО

«Нанотехцентр», г. Тамбов). Методика получения экспериментальных образцов включала следующие этапы: предварительное дробление сырья, приготовление шихты, горячее смешивание, приготовление пресс-порошка, прессование и обжиг. Соотношение компонентов выбрали такое же, как в работе [2] с той лишь разницей, что содержание естественного графита составляло 8 мас. %, а при введении оксида графена уменьшали содержание искусственного графита. В качестве критериев оценки эффективности наномодифицирования выбрали ряд физико-механических параметров (кажущуюся плотность, предел прочности при сжатии, объёмные усадки и массовые изменения после обжига).

В табл. 1 представлены данные о гранулометрическом составе. Пресс-масса, имеющая в составе ОГ, измельчается, иначе при том же режиме наблюдается более узкое распределение размеров частиц относительно распределения пресс-порошка без ОГ.

Таблица 1

Гранулометрический состав пресс-порошка

Номер образца	D10, мм	D50, мм	D90, мм
1	3,80	17,7	59,6
2	4,65	22,9	51,1
3	4,82	20,9	48,8

Примечание. Здесь и в табл. 2: образец 1 — без оксида графена; образец 2 — содержит оксид графена; образец 3 — содержит оксид графена и прошёл повторное горячее смешивание.

Результаты исследований

Согласно данным (табл. 2), введение оксида графена способствует изменению ряда параметров материала. Во-первых, заметно существенное уменьшение плотности зелёных заготовок, содержащих ОГ, что говорит об уменьшении пластичности пресс-порошка. Во-вторых, введение ОГ повышает в 3 раза объёмные усадки и более чем в 2 раза повышает прочность. Дополнительное смешивание способствует некоторому снижению физико-механических показателей антифрикционного материала, что, возможно, связано с изменением реологических свойств пека.

Таблица 2

Физико-механические характеристики исследуемых образцов

Номер образца	Плотность образцов, г/см ³		Пористость, %	Предел прочности при сжатии, МПа	Изменение массы, %	Объёмная усадка, %
	зелёных	обожжённых				
1	1,59	1,57	23,5	35,5	7,11	5,43
2	1,46	1,59	18,5	97,5	9,70	15,56
3	1,49	1,58	19,8	68,8	9,31	13,66

Выводы

Исследование подтверждает положительное влияние введения УНС, таких как оксид графена, на физико-механические свойства антифрикционного материала, однако необходимо продолжить исследования для оптимизации способа введения и количественного содержания УНС в материал для достижения наилучших результатов.

Список источников

1. Белогорский В. Д. Антифрикционный графит и его применение в промышленности. М.: Знание, 1974. 154 с.
2. Способ получения самосмазывающегося материала на основе искусственного мелкозернистого графита: пат. 2748329 Рос. Федерация. № 2020127800; заявл. 20.08.20; опубл. 24.05.21, Бюл. 15. 8 с.
3. Бейлина Н. Ю. Получение и применение каменноугольного пека, модифицированного углеродными наноструктурами // Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. «Графен и родственные структуры: синтез, производство и применение» (Тамбов, 6–8 октября 2021 г.). 2021. С. 270–273.
4. Дьячкова Т. П., Ткачев А. Г. Методы функционализации и модифицирования углеродных нанотрубок. М.: Спектр, 2013. 57 с.
5. Камаева Ю. В., Сидорова Е. В., Парфильева Я. В. Влияние модификации пековой матрицы оксидом графена на свойства углеродных материалов, полученных на ее основе // Тезисы докладов XV Междунар. конф. «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технологии». Москва, 7–9 июня 2023. М., 2023. С. 104–105.
6. Влияние углеродных нанотрубок на прочность полимерного композита «эпоксидная смола — углеродные нанотрубки» / А. Ю. Крюков [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34. № 4. С. 31–33.

References

1. Belogorsky V. D. *Antifrikcionnyj grafit i ego primeneniye v promyshlennosti* [Antifriction graphite and its application in industry]. Moscow, Znanie, 1974, 154 p.
2. *Sposob polucheniya samosmazyvayushchegosya materiala na osnove iskusstvennogo melkozernistogo grafita*, patent 2748329 Rossijskaya Federaciya, No. 2020127800 [A method for obtaining a self-lubricating material based on artificial fine-grained graphite, patent 2748329 Russian Federation, No. 2020127800], zayavl. 20.08.20, opubl. 24.05.21, Bul. 15, 8 p. (In Russ.).
3. Beilina N. Yu. Poluchenie i primeneniye kamennougol'nogo peka, modifitsirovannogo uglerodnymi nanostrukturami [Production and application of coal pitch modified with carbon nanostructure]. *Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Grafen i rodstvennye struktury: sintez, proizvodstvo i primeneniye"* (g. Tambov, 6–8 oktyabrya 2021 g.) [Materials of the IV International Scientific and practical Conference "Graphene and related structures: synthesis, production and application"]. Tambov, 6–8 October 2021, pp. 270–273. (In Russ.).
4. Dyachkova T. P., Tkachev A. G. *Metody funktsionalizatsii i modifitsirovaniya uglerodnykh nanotrubok* [Methods of functionalization and modification of carbon nanotubes]. Moscow, Spektr, 2013, 57 p.
5. Kamaeva Yu. V., Sidorova E. V., Perfilieva Ya. V. Vliyanie modifikatsii pekovoy matricy oksidom grafena na svoystva uglerodnykh materialov, poluchennykh na ee osnove [The effect of modification of the pitch matrix by graphene oxide on the properties of carbon materials obtained on its basis]. *Tezisy dokladov XV Mezhdunarodnoj konferencii "Uglerod: fundamental'nye problemy nauki, materialovedenie, tekhnologii"* (g. Moskva, 7–9 iyunya 2023 g.) [Collection of abstracts of the XV International Conference "Carbon: fundamental problems of science, materials science, technology" (Moscow, 7–9 June 2023)]. Moscow, 2023, pp. 104–105. (In Russ.).
6. Kryukov A. Yu., Shumyantsev A. V., Potapova K. A., Morozov A. N., Desyatov A. V. Vliyanie uglerodnykh nanotrubok na prochnost' polimernogo kompozita "epoksidnaya smola — uglerodnye nanotrubki" [The influence of carbon nanotubes on the strength of the polymer composite "epoxy resin — carbon nanotubes"]. *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2020, Vol. 34, No. 4, pp. 31–33. (In Russ.).

Информация об авторах

Роман Дмитриевич Балабанов — аспирант, младший научный сотрудник;
Татьяна Петровна Дьячкова — доктор химических наук, профессор;
Дмитрий Александрович Строгонов — аспирант, научный сотрудник;
Анна Генриховна Федюшкина — аспирант, начальник группы изостатических графитов;
Юлия Вадимовна Бехелева — аспирант, инженер.

Information about the authors

Roman D. Balabanov — Postgraduate student, Junior Researcher;
Tatyana P. Dyachkova — Dr. Sc. (Chemistry), Professor;
Dmitry A. Strogonov — Postgraduate student, Researcher;
Anna G. Fedyushkina — Postgraduate student, Head of the Isostatic Graphite Group;
Julia V. Beheleva — Postgraduate student, Engineer.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.