

УДК 678:338.35 © В.Г. Михайлов¹, Т.Г. Черкасова¹, А.В. Неvedров¹,
А.В. Папин¹, Т.А. Тюленева^{1,2}, 2024

UDC 678:338.35 © V.G. Mikhailov¹, T.G. Cherkasova¹, A.V. Nevedrov¹,
A.V. Papin¹, T.A. Tyuleneva^{1,2}, 2024

¹ ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия

² Филиал ФГБОУ ВО «КузГТУ» в г. Прокопьевске,
653033, г. Прокопьевск, Россия

✉ e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU),
Kemerovo, 650000, Russian Federation

² KuzSTU Branch in Prokopyevsk,
Prokopyevsk, 653033, Russian Federation

e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Перспективы производства углеродных волокон на основе мезофазных пеков*

Prospects for the production of carbon fibers based on mesophase pitches

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-11S-20-24>

МИХАЙЛОВ В.Г.

Канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой аэрологии,
охраны труда и природы
Горного института ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru

ЧЕРКАСОВА Т.Г.

Доктор хим. наук, профессор,
научный руководитель
Института химических
и нефтегазовых технологий
ФГБОУ ВО «Кузбасский
государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева»,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Углеродные волокнистые материалы (УВМ) и композиционные материалы на их основе (карбоволокниты, углекомпозиаты) представляют собой наиболее прогрессивные конструкционные материалы XXI века. Это уникальные продукты, созданные на базе высоких технологий для обеспечения выпуска авиакосмической и оборонной техники, атомного машиностроения. В статье проведена сегментация рынка и рассмотрены направления использования углеволокна, включая основные тенденции развития мирового рынка. Особое внимание уделено анализу перспектив развития отечественного рынка углеродного волокна, что имеет приоритетное значение в условиях государственной политики протекционизма и импортозамещения.

Ключевые слова: каменноугольная смола, каменноугольный пек, углеродное волокно, мезофазный пек, рынок углеродного волокна, технико-экономические показатели.

Для цитирования: Перспективы производства углеродных волокон на основе мезофазных пеков / В.Г. Михайлов, Т.Г. Черкасова, А.В. Неvedров и др. // Уголь. 2024;(11S):20-24. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-20-24.

Abstract

Carbon fiber materials (CFM) and composite materials based on them (carbon fibers, carbon composites) are the most advanced structural materials of the 21st century. These are unique products created on the basis



Научно-образовательный
центр «Кузбасс-Донбасс»

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (Соглашение № 075-15-2022-1193).

of high technologies to ensure the production of aerospace and defense equipment, nuclear engineering. The article segments the market and areas of use of carbon fiber, including the main trends in the development of the world market. Particular attention is paid to the analysis of the prospects for the development of the domestic carbon fiber market, which is of priority importance in the context of the state policy of protectionism and import substitution.

Keywords

Coal tar, coal tar pitch, carbon fiber, mesophase pitch, carbon fiber market, technical and economic indicators.

Acknowledgements

The research was financially supported by a grant from the Russian Ministry of Education and Science (Agreement No. 075-15-2022-1193).

For citation

Mikhailov V.G., Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V., Tyuleneva T.A. Prospects for the production of carbon fibers based on mesophase pitches. *Ugol'*. 2024;(115):20-24. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-115-20-24.

ВВЕДЕНИЕ

Углеродное волокно (международное название Carbon Fiber) – материал, состоящий из тончайших нитей диаметром 6-8 микрон, образованных преимущественно атомами углерода, содержание углерода в волокнах составляет 92,0-99,9%. В структуре волокна атомы углерода объединены в микроскопические кристаллы, выровненные параллельно друг другу [1, 2, 3].

Углеродное волокно получают путем термической обработки органических волокнистых полимеров, не плавящихся при термообработке. Углеродные волокна (УВ) обладают низкой плотностью (1,7 г/см³ против 2,8 г/см³ у алюминия и 7,8 г/см³ у стали) и высокими упругопрочностными свойствами (модуль упругости у некоторых марок достигает 900 ГПа, а предел прочности – до 4000 МПа и выше).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Углеродные волокна имеют исключительно высокую теплостойкость, в инертной или восстановительной среде они выдерживают температуру 1500-2000°C и даже до 2500-3000°C, что позволяет применять их для создания уникальных теплозащитных и теплоизоляционных материалов. Необходимо отметить, что в зависимости от исходного сырья (прекурсора) свойства полученных углеродных волокон значительно отличаются (см. таблицу) [4, 5, 6].

Из таблицы следует, что максимальными прочностными характеристиками обладают углеродные волокна на основе пекового волокна. В настоящее время в мировой практике наиболее широко в качестве сырья для получения углеродных волокон используются полиакрилонитрильные (ПАН) волокна или жгуты, в значительно меньших объемах производится углеволокно на основе мезофазных пеков и гидратцеллюлозы (вискозы) [7, 8, 9, 10].

НЕВЕДРОВ А.В.

Канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой химической технологии твердого топлива Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

ПАПИН А.В.

Канд. техн. наук, доцент, доцент Института химических и нефтегазовых технологий ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

ТЮЛЕНЕВА Т.А.

Канд. экон. наук, доцент, доцент Института экономики и управления ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», доцент кафедры экономических и естественно-научных дисциплин филиала ФГБОУ ВО «КузГТУ» в г. Прокопьевске, 650000, г. Кемерово, Россия, e-mail: kta.bua@kuzstu.ru

Сравнительные характеристики углеродных волокон на основе различных видов сырья

Comparative characteristics of carbon fibres made from different raw materials

Тип исходного сырья	Модуль упругости, ГПа	Прочность, ГПа	Плотность, г/см ²	Диаметр, мкм
ПАН волокно	210 – 600	2,4 – 7	1,75 – 1,9	4 – 8
Пековое волокно	420 – 960	1 – 3,8	1,9 – 2,2	7 – 11
Вискозная ткань	20 – 60	0,35 – 0,7	1,4 – 1,5	6 – 10

Основными отраслями-потребителями пековых волокон являются: космическая отрасль (для теплообменных систем, абляционных деталей, рефлекторов, ферм солнечных батарей), спортивное машиностроение (тормозные диски, карданные валы), робототехника (при производстве больших захватов/манипуляторов), станкостроение (при производстве валов), радиоэлектроника (теплообменные системы) и изготовление трибологических изделий [11, 12].

На основании вышеизложенного весь рынок углеродного волокна может быть продифференцирован по следующим параметрам:

- по используемому сырью (на основе ПАН, на основе смолы, на основе вискозы);
- по типу продукта (непрерывное, длинное или короткое углеродное волокно);
- по типу волокна (первичное или переработанное углеродное волокно);
- по модулю (стандартный, промежуточный, высокий);
- по заявке (композитный, некомпозитный);
- по отраслям конечного использования (аэрокосмическая промышленность и оборона, автомобили, ветряная энергия, спортивные товары, электрика и электроника, гражданское строительство, трубы и баки, морская отрасль, другие).

На основе аналитических данных предполагается рост мирового рынка углеволокна на уровне 3-5%. Дальнейшее развитие во многом будет определяться геополитической обстановкой.

При этом в мире формируется тенденция дефицита предложения углеродных волокон. В связи с этим ведущие мировые игроки расширяют количество своих производственных площадок и ведут постоянный мониторинг как существующих, так и потенциальных рынков сбыта. Ожидается, что потребление карбонового волокна в мире в ближайшем десятилетии будет активно расти: с 3,5 млрд дол. США в 2018 г. до 8 млрд дол. США в 2026 г. (см. рисунок) [13, 14, 15].

Ключевыми драйверами роста станут цифровые, высокотехнологичные отрасли. Отдельно необходимо выделить природоподобные технологии, в частности бионику (биомеханику) – производство протезов нового поколения, управляемых «силой мысли», за счет считывания

и обработки нервных импульсов. Преимуществом карбона здесь является не только его легкость, но и очень высокая биосовместимость. Таким образом, можно сделать вывод, что производство углеродного волокна – это сложный и высокотехнологичный процесс. Как следствие, основные экспортные объемы этого материала, а также других близких по технологии изделий из графита, поставляются компаниями промышленно развитых стран – США, Германии, Японии.

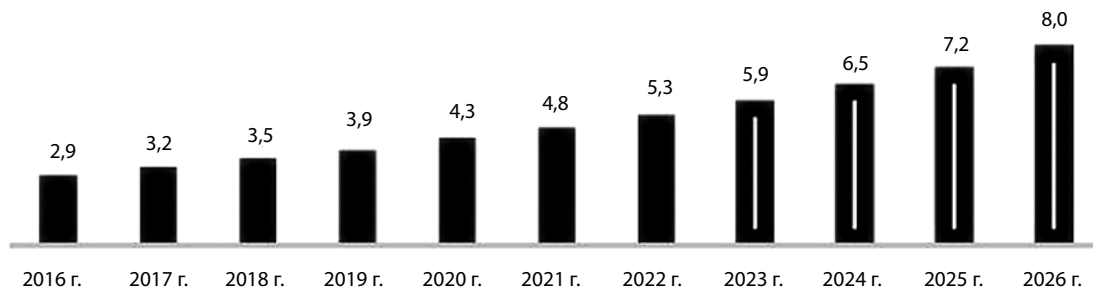
Рынок углеродных волокон (карбона) в России находится на начальном этапе своего развития. Количество отечественных предприятий малочисленно.

В настоящее время основные производители углеродного волокна в РФ, а также материалов на его основе входят в состав Дивизиона «Перспективные материалы и технологии» ГК «Росатом». После запуска в эксплуатацию в 2015 г. завода по производству углеродных волокон ООО «Алабуга-Волокно» выпуск углеродных волокон в РФ характеризуется положительной динамикой.

Суммарное производство углеродных волокон в России 10 лет назад не превышало 140 т/г., после запуска нового предприятия этот показатель увеличился до 560 т/г. в 2019-2020 гг., по итогам 2021 г. выпуск углеродного волокна в РФ составил порядка 720 т. В 2022 г. производство данной продукции сократилось до 596 т, что вызвано в том числе внешней геополитической ситуацией. В 2023 г. наблюдалось увеличение производства углеволокна в РФ почти до 1 тыс. т/г. за счет увеличения объемов выпуска продукции ООО «Алабуга-Волокно».

В перспективе до 2030 г. выпуск углеродного волокна российскими предприятиями будет сохраняться на уровне 1 тыс. т/г., при этом в стоимостном выражении объем производства оценивается в 2,2 млрд руб. в 2023 г. и 2,9 млрд руб. к 2030 г. Выпуск полуфабрикатов на основе углеродного волокна в стоимостном выражении к 2030 г. может достичь 7,6 млрд руб.

В настоящее время крупнейшим производителем углеродного волокна в РФ является ООО «Алабуга-Волокно» – проект по созданию современного производства углеволокна был реализован по заказу ГК «Росатом» в особой экономической зоне (ОЭЗ) «Алабуга» (Республика Татарстан). Завод был введен в эксплуатацию в 2015 г.



Прогноз динамики мирового рынка углеродного волокна, млрд дол. США
Forecast of the dynamics of the global carbon fiber market, bln USD

ООО «Алабуга-Волокно» выпускает стандартное и высокомодульное углеродное волокно на основе ПАН (полиакрилонитрильного) волокна. Предприятие постоянно расширяет линейку выпускаемой продукции. В качестве сырья для производства углеродного волокна предприятие использовало ПАН-прекурсор импортного производства.

В ноябре 2021 г. был введен в эксплуатацию завод по производству ПАН-прекурсора в АО «ОЭЗ ППТ «Алабуга» мощностью 5 тыс. т/г., что позволит обеспечить ООО «Алабуга-Волокно» отечественным сырьем для производства углеродного волокна.

Среди других российских производителей углеродного волокна можно выделить ООО «Аргон» (Саратовская обл., г. Балаково), ООО «ЗУКМ» (Челябинская обл.), АО «Препрег-СКМ», ООО «Препрег-Дубна», ООО «ИТЕКМА».

Конкурентные преимущества выхода России на рынок углеволокна:

- меньшая заработная плата, чем в Китае, в аналогичных отраслях;
- меньшая стоимость электроэнергии, чем в Китае;
- появление в ближайшее время своего сырья (ПАН-прекурсоров).

Это позволит получить полный замкнутый цикл производства. На внутреннем российском рынке потребности в углеродном материале пока скромные – речь идет о нуждах оборонного комплекса. ОПК ежегодно покупает около 200 т углеволокна за рубежом и еще чуть больше 100 т на отечественных предприятиях. Это два завода, которые работают еще с советских времен по старой технологии, и продукт у них выходит слишком дорогим. Со временем, возможно, и оборонно-промышленный комплекс перейдет на углеволокно из «Алабуги». Пока же военные тестируют новый материал. В любом случае, завод способен покрыть не только внутренние российские потребности, но и занять около 7% мирового рынка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов анализа литературных источников можно сделать вывод, что направления использования углеволокна расширяются и существуют различные виды сегментации рынка (по сырью, типу продукта, типу волокна, отраслям конечного использования и т.д.). Экспертным методом определено, что предполагаемый годовой рост мирового рынка углеволокна составляет от 3 до 5%.

Установлено, что основные российские предприятия – производители углеволокна: ООО «Алабуга-Волокно», ООО «Аргон» и ООО «ЗУКМ». При этом прогнозный объем производства углеродного волокна в России в 2024 г. определен на уровне 1050 т.

Выявлены конкурентные преимущества выхода России на рынок углеволокна (меньшая заработная плата, чем в Китае, в аналогичных отраслях; меньшая стоимость электроэнергии, чем в Китае; появление в бли-

жайшее время своего сырья (ПАН-прекурсоров). Все это позволяет сделать вывод о положительных перспективах производства углеродных волокон на основе мезофазных пеков.

Список литературы • References

1. Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В. Каменноугольный пек атмосферно-вакуумной перегонки каменноугольной смолы // Уголь. 2024;(4):27-30. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Coal tar pitch from atmospheric-vacuum distillation of coal tar. *Ugol'*. 2024;(4): 27-30. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-4-27-30.
2. Черкасова Т.Г., Неведров А.В., Папин А.В. Факторы, влияющие на температуру размягчения каменноугольных пеков // Уголь. 2024;(5):38-41. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-38-41. Cherkasova T.G., Nevedrov A.V., Papin A.V. Factors influencing softening temperature of coal ashes. *Ugol'*. 2024;(5): 38-41. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-5-38-41.
3. Черкасова Т.Г., Баранцев Д.А. Распределение химических элементов в гранулометрических фракциях отходов углеобогащения АО ЦОФ «Березовская» // Техника и технология горного дела. 2023. № 4(23). С. 26-40. Cherkasova T.G., Barantsev D.A. Distribution of chemical elements in granulometric fractions of coal preparation waste of Berezhovskaya JSC CPP. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2023;4(23): 26-40. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-26-40.
4. Marsh H, Diez M. Mesophase of graphitizable carbons. In: Shibaev VP, Lam L, editors. *Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers*. New York: Springer-Verlag New York Inc, 1994, pp. 231-257. DOI: 10.1007/978-1-4613-8333-8-7.
5. Mochida I., Korai Y., Ku C. et al. Chemistry of synthesis, structure, preparation and application of aromatic-derived mesophase pitch. *Carbon*. 2000;(2):305-328. DOI: 10.1016/S0008-6223(99)00176-1.
6. Hurt R.H., Chen Z.Y. Liquid crystals and carbon materials. *Physics Today*. 2000;53(3):39-44. DOI: 10.1063/1.883020.
7. Zhi-Hao Ma, Xian-Yong Wei, Guang-Hui Liu, Fang-Jing Liu, Zhi-Min Zong. Value-added utilization of high-temperature coal tar: A review. *Fuel*. 2021;(292):119954.
8. María Antonia Diez, Roberto Garcia. Coal tar: a by-product in coke-making and an essential raw material in carbochemistry. Chapter 15 in «New trends in coal conversion: combustion, gasification, emissions, and coking» by Diez, Maria Antonia, Rubiera, Fernando, Suárez-Ruiz, Isabel. Woodhead Publishing, 2019, 544 p. DOI: https://doi.org/10.1016/C2016-0-04039-1.
9. Liu J., Shen C., Huang L., Fang T., Li Y., Liang D., Xie Q. Preparation of pitch precursor with excellent spinnability for general-purpose carbon fibre using coal tar pitch as raw material. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2022. DOI: 10.1016/j.cjche.2022.01.003.
10. Liu J.C., Shimanoe H., Choi J.E., Ko S., Jeon Y.P., Nakabayashi K., Miyawaki J., Yoon S.H. Effect of the pre-treated pyrolysis fuel oil: Coal tar pitch ratio on the spinnability and oxidation properties of isotropic pitch precursors and the mechanical properties of derived carbon fibers. *Carbon Lett*. 2019;29(2):193-202.
11. Шаклеин С.В., Писаренко М.В., Погова Т.Б. Тенденции развития минерально-сырьевой базы угольной промышленности

- Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2024. № 1(24). С. 4-22.
- Shaklein S.V., Pisarenko M.V., Rogova T.B. Trends in the mineral resource base development of the Kuzbass coal industry. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela*. 2024;1(24):4-22. (In Russ.). DOI: 10.26730/2618-7434-2024-1-4-22.
12. Cehlár M., Rybár P., Mihók J., Engel Ja. Analysis of investments in the mining industry. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020;1(8):4-31. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-4-31.
13. Lukicheva N.S., Mostovoi A.S., Astashkina O.V., Lysenko A.A. On the Thermophysical Properties of Carbon Graphite. *Fibre Chemistry*. 2023;54(6):372-377. DOI: 10.1007/s10692-023-10410-0.
14. Гладунова О.И., Лысенко А.А. Мировой и российский рынок полимерных композиционных материалов. Тенденции и перспективы // Композитный мир. 2021. № 3(96). С. 28-33. Gladunova O.I., Lysenko A.A. World and Russian market of polymer composite materials. Trends and prospects. *Kompozitnyj mir*. 2021;3(96):28-33. (In Russ.).
15. Рынок углеродных волокон к началу 2018 года / А.А. Лысенко, О.В. Асташкина, Н.В. Русова и др. // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2018. № 1-1. С. 37-39. Lysenko A.A., Astashkina O.V., Rusova N.V., Tsybuk I.O. Carbon fiber market by the beginning of 2018. *Physics of fibrous materials: structure, properties, science-intensive technologies and materials (SMARTEX)*. 2018;(1-1):37-39. (In Russ.).

Authors Information

Mikhailov V.G. – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Aerology, Occupational Safety and Nature Protection of the Mining Institute of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru

Cherkasova T.G. – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Scientific Supervisor of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: ctg.htnv@kuzstu.ru

Nevedrov A.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Chemical Technology of Solid Fuels of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: nevedrov@kuzstu.ru

Papin A.V. – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Institute of Chemical and Oil and Gas Technologies of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, e-mail: pav.httt@kuzstu.ru

Tyuleneva T.A. – PhD (Economic), Associate Professor, Associate Professor of the Institute of Economics and Management of the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation, Associate Professor of the Department of Economic and Natural Sciences of the KuzSTU Branch in Prokopyevsk, Prokopyevsk, 653033, Russian Federation, e-mail: kta.bua@kuzstu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2024

Поступила после рецензирования: 21.10.2024

Принята к публикации: 31.10.2024

Paper info

Received September 15, 2024

Reviewed October 21, 2024

Accepted October 31, 2024