

Научная статья
УДК 544.654.2
doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.035

СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «КАРБИД ВОЛЬФРАМА — УГЛЕРОДНОЕ ВОЛОКНО»

Ева Яновна Короткова¹, Артемий Владимирович Дмитриев², Владимир Сергеевич Долматов³

^{1,2}*Апатитский филиал Мурманского арктического государственного университета, кафедра физики, биологии и инженерных технологий, Апатиты, Россия*

³*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

¹*eva-korotova77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6999-1645>*

²*stalker.dog2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-5310-5658>*

³*v.dolmatov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5545-6481>*

Аннотация

Электрохимическим методом бестокового переноса в среде расплавленных солей NaCl-KCl-Na₂WO₄-W были получены покрытия карбидов вольфрама на поверхности углеродных волокон марки Карбопон-В-22 при различных условиях синтеза.

Ключевые слова:

бестоковый перенос, монокарбид вольфрама WC, карбиды тугоплавких металлов, углеродное волокно, расплавленные соли

Для цитирования:

Короткова Е. Я., Дмитриев А. В., Долматов В. С. Синтез композиционного материала «карбид вольфрама — углеродное волокно» // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 4. С. 184–187. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.035.

Original article

SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIAL «TUNGSTEN CARBIDE — CARBON FIBER»

Eva Y. Korotkova¹, Artemiy V. Dmitriev², Vladimir S. Dolmatov³

^{1,2}*Apatity Branch of Murmansk Arctic University, Department of Physics, Biology and Engineering Technologies, Apatity, Russia*

³*Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹*eva-korotova77@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6999-1645>*

²*stalker.dog2016@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-5310-5658>*

³*v.dolmatov@ksc.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5545-6481>*

Abstract

Tungsten carbide coatings on the surface of CarboPON-B-22 carbon fibers were obtained by currentless transfer in a medium of molten NaCl-KCl-Na₂WO₄-W salts under various synthesis conditions.

Keywords:

currentless transfer, tungsten monocarbide WC, refractory metal carbide coatings, carbon fiber, molten salts

For citation:

Korotkova E. Y., Dmitriev A. V., Dolmatov V. S. Synthesis of composite material «tungsten carbide — carbon fiber» // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2025. Vol. 16, No. 4. P. 184–187. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.4.035.

Введение

Значительная часть усилий в современном материаловедении направлена на разработку новых функциональных материалов, среди которых особое место занимают карбиды тугоплавких металлов из-за их уникальных физических и химических свойств, а также широкой области применения [1].

Ранее уже были синтезированы карбид ниобия NbC, карбид тантала TaC, полукарбид молибдена Mo₂C и карбиды хрома Cr₇C₃, Cr₃C₂ и Cr₂₃C₆ на углеродных волокнах методом бестокового переноса в расплавленных солях [1–3]. По сравнению с традиционными методами химического и физического осаждения из газовой фазы, электрохимический синтез позволяет получать практически беспористые покрытия при значительно простом аппаратном оформлении процесса. Карбид вольфрама еще не синтезировали, и его синтез также представляет как теоретический, так и практический интерес. Помимо создания износостойких покрытий, монокарбид вольфрама может быть альтернативной каталитической системой для различных окислительных и восстановительных процессов, включая важные реакции с точки зрения «зеленой» химии. Например, он обладает близкими к платине Pt каталитическими свойствами при значительно меньшей стоимости [4–6].

Цель данной работы — получение композиционного материала «карбид вольфрама — углеродное волокно» электрохимическим методом бестокового переноса в среде расплавленных солей.

Эксперимент

Для синтеза карбида вольфрама использовался метод бестокового переноса электроотрицательного металла на более электроположительную подложку из углеродного волокна через расплавленную эквимольную смесь солей хлоридов натрия и калия NaCl-KCl, содержащую вольфрамат натрия Na₂WO₄ (20 % мас. от массы NaCl-KCl), который контактировал с металлическим вольфрамом (10 % мас. от массы NaCl-KCl), расположенным на дне стеклоуглеродного тигля марки СУ-2000.

Тигель помещался в стальную реторту, которая закрывалась стальной крышкой с технологическими отверстиями для погружения в расплав образца. Для предотвращения обгорания резиновых пробок в технологических отверстиях крышки и вакуумной резины между ретортой и крышкой в верхней части реторты предусмотрена рубашка охлаждения. Герметично закрытая реторта вакуумировалась до остаточного давления менее 1,0 Па сначала при комнатной температуре, а затем при ступенчатом нагревании до 100, 200 и 400 °С. После некоторой выдержки в условиях вакуума реторта заполнялась аргоном, а соли плавилась до заданной температуры в пределах 800–900 °С. После выдержки электролита при температуре эксперимента через технологическое отверстие в реторте погружали углеродное волокно марки Карбопон-В-22 в расплав солей. Время электрохимического синтеза варьировалось от 0,5 до 8 ч.

Результаты исследований

Взаимодействие вольфрама с собственной солью приводит к образованию его промежуточного соединения с пониженной степенью окисления [7]:



Соединения вольфрама в промежуточной степени окисления диффундируют через расплав и диспропорционируют на поверхности углеродного волокна:



Диспропорционирование протекает с образованием монокарбида вольфрама и комплекса металла с высшей степенью окисления 6+, который вновь диффундирует к металлическому вольфраму на дне тигля. В результате реакции замыкаются в цикл, и суммарный процесс можно представить в виде реакции:



Результаты рентгенофазового анализа образцов углеродных волокон, выдержанных в расплаве солей при разных температуре и времени, показали присутствие только одной фазы карбида вольфрама гексагональной модификации WC. Рентгенограмма одного из образцов представлена на рис.

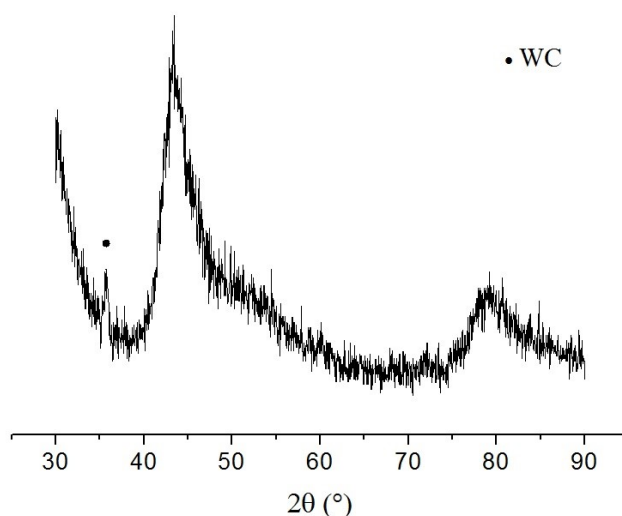


Рис. Диффрактограмма образца углеродного волокна марки Карбопон-В-22 после процесса бестокового переноса в солевом расплаве NaCl-KCl-Na₂WO₄-W при 800 °С в течение 4 ч

Выводы

Таким образом, методом бестокового переноса в среде расплавленных солей были получены композиционные материалы «карбид вольфрама – углеродное волокно». В различных условиях синтеза получался один и тот же продукт — монокристаллический карбид вольфрама, и с увеличением времени выдержки в расплаве его количество возрастает.

Список источников

1. Dolmatov V. S., Kuznetsov S. A. Synthesis of Refractory Metal Carbides on Carbon Fibers in Molten Salts and Their Electrocatalytic Properties // *Journal of The Electrochemical Society*. 2021. Vol. 168, (12). P. 122501.
2. Miklashov D. G., Dolmatov V. S., Kuznetsov S. A. The currentless synthesis of tantalum and niobium carbide coatings on the carbon fibers and their electrocatalytic activity for the hydrogen peroxide decomposition reaction // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1281. P. 012054. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1281/1/012054>.
3. Gryaznov A. N., Slesarev D. S., Dolmatov V. S. Currentless production of chromium carbides on carbon fibers in a NaCl-KCl-CrCl₃-Cr melt // *Proceedings of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2023. Vol. 14, (5). P. 29–32.
4. Yanhong Y., Wen M., Tong C., Zhang C., Chen C., Liu S., Li Y., Wu C., Dionysiou D. D. In-situ deposition of graphite carbon film on tungsten carbide for enhanced hydrogen evolution efficiency and stability // *Electrochimica Acta*. 2021. Vol. 388. P. 138566. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.138566>.
5. Goti A., Cardona F. Hydrogen Peroxide in Green Oxidation Reactions: Recent Catalytic Processes // Tundo P., Esposito V. (eds). *Green Chemical Reactions*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, 2008. P. 191–212.
6. Benson J. E., Boudart M. Chemisorption and Reactions of Hydrogen // *Journal of Catalysis*. 1965. Vol. 4, (6). P. 704–710.
7. Илющенко Н. Г., Анфиногенов А. И., Шуров Н. И. Взаимодействие металлов в ионных расплавах. М.: Наука, 1991. 176 с.

References

1. Dolmatov V. S., Kuznetsov S. A. Synthesis of Refractory Metal Carbides on Carbon Fibers in Molten Salts and Their Electrocatalytic Properties. *J. Electrochem. Soc.*, 2021, vol. 168, no. 12, p. 122501.
2. Miklashov D. G., Dolmatov V. S., Kuznetsov S. A. The currentless synthesis of tantalum and niobium carbide coatings on the carbon fibers and their electrocatalytic activity for the hydrogen peroxide decomposition reaction. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2019, vol. 1281, p. 012054.
3. Gryaznov A. N., Slesarev D. S., Dolmatov V. S. Currentless production of chromium carbides on carbon fibers in a NaCl-KCl-CrCl₃-Cr melt. *Proc. Kola Sci. Cent. Russ. Acad. Sci.*, 2023, vol. 14, no. 5, pp. 29–32.

4. Yanhong Y., Wen M., Tong C., Zhang C., Chen C., Liu S., Li Y., Wu C., Dionysiou D. D. In-situ deposition of graphite carbon film on tungsten carbide for enhanced hydrogen evolution efficiency and stability. *Electrochim. Acta*, 2021, vol. 388, p. 138566.
5. Goti A., Cardona F. Hydrogen Peroxide in Green Oxidation Reactions: Recent Catalytic Processes. In: Tundo P., Esposito V. (eds). *Green Chemical Reactions*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Dordrecht: Springer, 2008, pp. 191–212.
6. Benson J. E., Boudart M. Chemisorption and Reactions of Hydrogen. *J. Catal.*, 1965, vol. 4, no. 6, pp. 704–710.
7. Пыушченко Н. Г., Анфиногенов А. И., Шуров Н. И. *Vzaimodejstvie metallov v ionnyh rasplavah* [Interaction of Metals in Ionic Melts]. Moscow: Nauka, 1991. 176 p.

Информация об авторах

Е. Я. Короткова — студент;

А. В. Дмитриев — студент;

В. С. Долматов — кандидат химических наук, научный сотрудник.

Information about the authors

E. Y. Korotkova — Graduate Student;

A. V. Dmitriev — Graduate Student;

V. S. Dolmatov — PhD (Chemistry), Researcher.

Статья поступила в редакцию 08.10.2025; одобрена после рецензирования 15.10.2025; принята к публикации 27.10.2025.
The article was submitted 08.10.2025; approved after reviewing 15.10.2025; accepted for publication 27.10.2025.