

- investigation into the aerodynamics of non-spherical particles and full scale combustion for pulverised fuel applications,” p. 53, 2012.
4. J. L. Afolabi, “The Performance of a Static Coal Classifier and Its Controlling Parameters,” Jun. 2012, Accessed: Oct. 14, 2022. [Online]. Available: /articles/thesis/The\_Performance\_of\_a\_Static\_Coal\_Classifier\_and\_Its\_Controlling\_Parameters/10107752/1.
  5. M. Mandø, L. Rosendahl, C. Yin, and H. Sørensen, “Pulverized straw combustion in a low-NO<sub>x</sub> multifuel burner: Modeling the transition from coal to straw,” *Fuel*, vol. 89, no. 10, pp. 3051–3062, Oct. 2010, doi: 10.1016/J.FUEL.2010.05.016.
  6. S. A. Yankovskiy and A. D. Misyukova, “INVESTIGATION OF COMPOSITE FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS,” *International Journal of Applied and Fundamental Research (Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований)*, no. №9 2022, pp. 70–74, 2022, doi: 10.17513/MJRFI.13443.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FZES-2021-0008.

Научный руководитель: к.т.н. С.А. Янковский, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ КАК ИСТОЧНИКА УГЛЕРОДА ДЛЯ СИНТЕЗА КАРБИДОВ**

А.А. Гумовская<sup>1</sup>, А.П. Корчагина<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5БМ11<sup>1</sup>, группа 5БМ22<sup>2</sup>

Растущий спрос на материалы с уникальными свойствами для решения задач промышленности побуждает к развитию и изучению новых соединений. Одним из перспективных направлений развития современных материалов является высокотемпературная керамика. Одним из представителей семейства является карбид титана (TiC). Жаропрочность, тугоплавкость, высокая твердость, коррозионная стойкость, каталитическая активность и химическая инертность дают возможность использовать данный материал в передовых технологиях [1]. Карбид титана применяется в изготовлении конденсаторов с высокой плотностью энергии, селективных газовых фильтров для улавливания углекислого газа, датчиков газа, функциональной и конструкционной керамики и в фотокатализе [2–4]. Основными способами получения карбида титана являются карботермическое восстановление, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, электровзрыв проводников, методы лазерной абляции и различные плазменные методы [4–6].

На сегодняшний день производство материалов на основе возобновляемого сырья интересно не только из-за экологических вопросов, но и благодаря новым свойствам таких материалов. Древесный уголь обладает ячеистой структурой, прекрасными механическими свойствами, прочностью и низкой плотностью [7, 8, 9]. Таким образом, использование древесины, как источника углерода для синтеза карбида титана, один из новых путей развития данного материала.

Известным подходом к получению порошков высокотемпературной керамики является электродуговой синтез. Плазма дугового разряда позволяет обеспечить в реакционной зоне высокие температуры, а реализация данного метода в открытой воздушной среде с достижением эффекта экранирования реакционного объема генерирующимся потоком газов диоксида и монооксида углерода позволяет отказаться от вакуумного оборудования и упростить устройство дугового реактора.

В качестве исходного сырья были взяты технически чистый титан и углерод, полученный пиролизом из органических отходов. Для получения биоуглерода использовалась навеска цедры помело. Образец взвешивали на аналитических весах VIBRA HT-224RCE и помещали

в термостойкий стальной контейнер (масса каждой навески составляла 300 гр.  $\pm$ 2 гр.). Термостойкий стальной контейнер с готовой смесью помещался в муфельную печь марки ПМ-1400. К термостойкому стальному контейнеру подводился патрубок для отвода газов, отвод газов осуществлялся через вентиляционную шахту. Нагрев температуры в печи осуществлялся со скоростью 20 °С/мин  $\pm$ 1 °С/мин до достижения заданного значения (600 °С) время выдержки составляло один астрономический час, далее поддержание температуры останавливалось, и терморегулируемая печь охлаждалась естественным путем до комнатной температуры. Полученный углерод из цедры помело извлекался, выполнялось его взвешивание. Образец углерода из цедры помело дополнительно измельчался на лабораторной мельнице LM-1000 (1000 гр.), Stegler, после измельчения углерод из цедры помело просеивался через сито 80 мкм. Полученный порошок углерода расфасовывался для дальнейших исследований.

Порошок биоуглерода смешивали с порошком титана в пропорции 1:4 в шаровой мельнице. После смешивания смесь порошков подвергается электродуговому воздействию. Была проведена серия экспериментов с изменением силы тока электродугового разряда. Каждый эксперимент длился 30 секунд. После синтеза каждый образец анализировался методом рентгеновской дифрактометрии (*Shimadzu XRD 7000s*, CuK $\alpha$ -излучение). Результаты анализа приведены на рисунке 1.

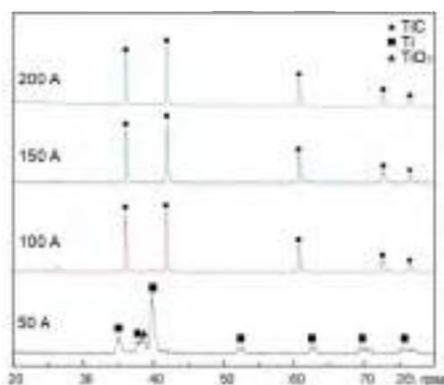


Рис. 1. Результаты рентгеновской дифрактометрии

В ходе анализа было выявлено, что при 30 с воздействия электродуговой плазмой исходный титан полностью переходит в кубическую фазу карбида титана с кристаллической решеткой типа NaCl только при силе тока 100 А и выше. При силе тока 50 А на картине рентгеновской дифрактометрии можно наблюдать дифракционные максимумы исходного титана и оксида титана.

По совокупности представленных данных можно сделать вывод о возможности электродугового синтеза карбида титана с кубической кристаллической решеткой с использованием биоуглерода, полученного пиролизом из цедры помело, в качестве источника углерода.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Phase equilibria, phases and compounds in the TiC system / Gusev A.I. // Russ. Chem. Rev. IOP Publishing, – 2002. – V. 71, No. 6. P. 439–463.
2. Synthesis and properties of 2D-titanium carbide MXene sheets towards electrochemical energy storage applications / Syamsai R. et al. // Ceram. Int. Elsevier, – 2017. – V. 43, No. 16. P. 13119-13126.
3. A long cycle life asymmetric supercapacitor based on advanced nickel-sulfide/titanium carbide (MXene) nanohybrid and MXene electrodes / Luo Y. et al. // J. Power Sources. Elsevier, – 2020. – V. 450. P. 227694.
4. Functionalized titanium carbide as novel catalyst support for Pd catalyzed electrochemical reaction/ Dong Q. et al. // Int. J. Hydrogen Energy. Pergamon, – 2017. – V. 42, No. 5. P. 3206–3214.

5. Conductive two-dimensional titanium carbide ‘clay’ with high volumetric capacitance / Ghidui M. et al. // *Nature*. – 2014. – V. 516.
6. Two-dimensional titanium carbide electrode with large mass loading for supercapacitor / Lin S.Y., Zhang X. // *J. Power Sources*. Elsevier, – 2015. – V. 294. P. 354-359.
7. Wood-derived ultra-high temperature carbides and their composites: A review / Yu M., Zhang G., Saunders T. // *Ceram. Int*. Elsevier. – 2020. – V. 46. No. 5. P. 5536–5547.
8. Mechanical modelling of wood microstructure, an engineering approach / Astley R.J., Harrington J.J., Stol K.A. // *Trans. Inst. Prof. Eng. New Zeal. Electr. Eng. Sect.* – 1997. – V. 24. No. 1. P. 21-29.
9. Mechanical Properties of Wood/ Kretschmann D.E. // *Wood Handbook – Wood as an engineering material* – 2010. P. 49.

Работа выполнена при поддержке программы Государственного задания ВУЗам (проект № FSWW-2022-0018).

Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОФРАКЦИОННОГО СЖИГАНИЯ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА**

А.К. Пронин

Томский политехнический университет  
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа А0-44

Среди всех источников энергии, используемых для выработки электроэнергии, наибольшую долю в настоящее время составляет уголь ( $\approx 37\%$ ). В последние годы наблюдается тренд на снижение доли угля в производстве электроэнергии, однако темп снижения довольно низкий (с 2007 по 2019 года доля угля сократилась на 3 %) [1]. Доминирующей технологией выработки электроэнергии из угля является сжигание пылевидного топлива. Поэтому улучшение экономических и экологических показателей работы пылеугольных котельных агрегатов ещё долгое время будет актуальной задачей.

Горение пылевидного твердого топлива является комплексным физико-химическим процессом. Поэтому зачастую воздействие на отдельные параметры топочного процесса с целью улучшения определенных эксплуатационных характеристик котельного агрегата приводит к ухудшению некоторых других. Например, широко применяемые технологии снижения выбросов  $\text{NO}_x$  путем снижения температурного уровня в топке либо снижения концентрации кислорода в зоне горения (впрыск влаги, ступенчатый ввод воздуха в топку, ступенчатый ввод топлива в топку и др.) создают опасность повышения потерь тепла с химическим и механическим недожогом, что понижает экономичность котельного агрегата [2]. В противоположность перечисленным технологиям, пофракционное сжигание пылеугольного топлива, которое заключается в разделении полифракционной пыли на фракции разного размера с последующим сжиганием их в различных условиях, имеет потенциал для одновременного снижения выбросов  $\text{NO}_x$  и уменьшения потерь тепла с химическим и механическим недожогом [3].

Для оценки эффективности применения пофракционного сжигания пылеугольного топлива было проведено численное моделирование процесса горения пылеугольного топлива с использованием программного пакета ANSYS FLUENT. Моделирование проводилось для березовского угля (таблица 1) в топочной камере парового котла БКЗ-210-140Ф – с угловым расположением щелевых многопоточных горелок (рисунок 1).