

УДК 53.06

**ОБРАБОТКА ВОЛЬФРАМОВОГО КОНЦЕНТРАТА РУДЫ В ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА  
ПОСТОЯННОГО ТОКА**

А.И. Кокорина

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

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [aik48@tpu.ru](mailto:aik48@tpu.ru)

**PROCESSING OF TUNGSTEN ORE CONCENTRATE IN A DC ARC DISCHARGE PLASMA**

A.I. Kokorina

Scientific Supervisor: associate professor, PhD, A. Ya. Pak

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [aik48@tpu.ru](mailto:aik48@tpu.ru)

***Abstract.** In the present study we synthesized powdered tungsten carbide from tungsten ore concentrate in an open-air environment. This is possible due to the self-shielding effect caused by generation of carbon oxide and carbon dioxide gases. The initial material – ore concentrate – were prepared with magnetic separation, drying and milling. Obtained powders were analyzed with X-Ray diffractometry, tungsten carbide was identified in synthesized samples.*

**Введение.** Карбид вольфрама обладает рядом перспективных физических и химических свойств [1]: высокие электро- и теплопроводность, высокая температура плавления (2600-2850 °С), высокие твердость и износостойкость, а также химическое сопротивление коррозии и окислению, химическая инертность к воздействию кислот и щелочей. Карбид вольфрама применяется в сферах обрабатывающей промышленности, бурения горных пород, изготовления режущих инструментов и штампов, а также в качестве катализатора в реакциях получения водорода. Мировое годовое потребление вольфрама - основного ресурса для карбида вольфрама WC- увеличивается с ростом экономики и развитием технологий и составляет около 60 000 т. Соответственно, развитие методов получения карбида вольфрама является актуальной задачей. Существует множество методов получения карбида вольфрама: карботермическое восстановление [2], генерация плазменных пучков [3], перемалывание в шаровых мельницах [4] и др. Однако существующие методы получения переработки вольфрам содержащей руды несовершенны ввиду многостадийности процесса, значительного количества отходов и низкой энергоэффективности [5]. Одним из перспективных методов обработки вольфрамового концентрата руды является электродуговой [6], который активно развивается в последние годы.

**Экспериментальная часть.** Была проведена предварительная обработка исходного вольфрамового концентрата руды, включающая ручную магнитную сепарацию, высушивание в атмосферной печи и перемалывание в шаровой мельнице. Затем из обработанного концентрата руды был получен карбид вольфрама в плазме дугового разряда постоянного тока при токе разрядного контура 220 А и времени синтеза 45 с. Исходные материалы – руда и сибунит – закладывались в полый катод,

выполненный в форме тигля. При соприкосновении анода и катода поджигался разряд (Рис. 1). В процессе синтеза наблюдалось интенсивное выделение угарного и углекислого газов, обеспечивающих экранирование реакционного объема от кислорода воздуха. Электрические сигналы, соответствующие току разрядного контура и напряжению на дуговом разряде, подавались на цифровой осциллограф. Была проведена серия экспериментов с различным соотношением исходных реагентов.

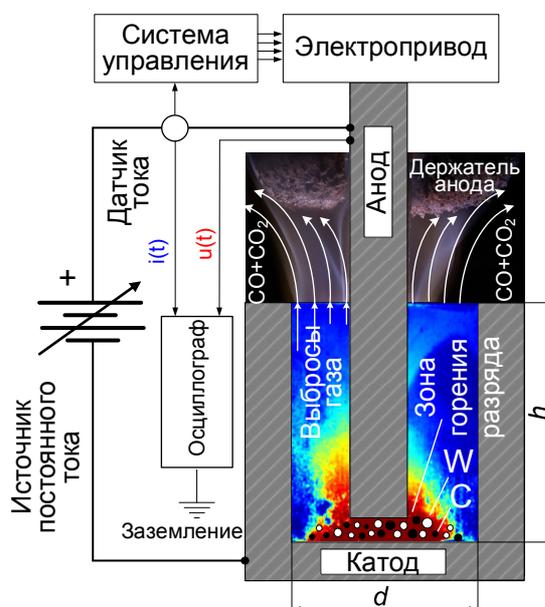


Рис. 1. Схема электродугового реактора

**Результаты.** В результате качественного и количественного рентгенофазового анализа полученных образцов (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD 7000s,  $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$ ) было установлено, что продукт синтеза содержит карбиды вольфрама WC и W<sub>2</sub>C, графит C и вольфрам W. Данные кристаллические фазы являются основными, дифракционные максимумы прочих кристаллических фаз находятся на уровне следов. Данный фазовый состав типичен для электродугового синтеза в системе с вольфрамом и углеродом: высокие температуры процесса и присутствие углерода обеспечивают карбидообразование, при этом избыток углерода в системе и эрозионные процессы обеспечивают примеси в виде графита. В ходе проведения серии экспериментов было установлено, что наилучшим с точки зрения наибольшего выхода фазы карбида вольфрама WC по данным рентгеновской дифрактометрии оценено соотношение масс вольфрамового рудного концентрата и углерода, обеспечивающее доминирование фазы карбида вольфрама в продуктах. (Рис. 2).

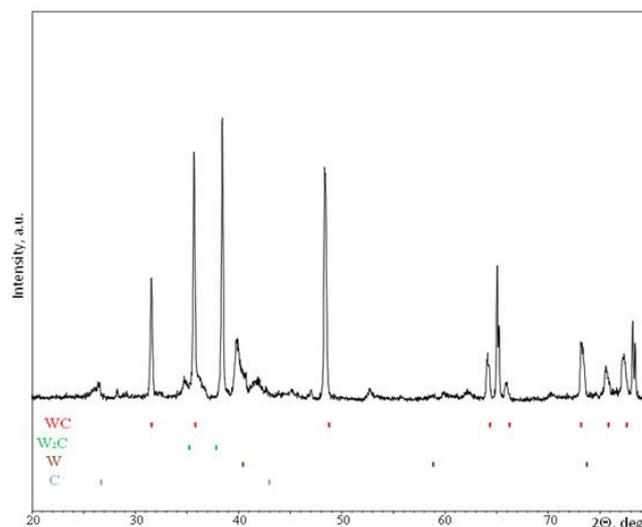


Рис. 2. Типичная картина рентгеновской дифракции полученного образца

**Заключение.** В данной работе была проведена серия экспериментов по получению порошкообразного карбида вольфрама из предварительно обработанного вольфрамового концентрата руды. Основным пунктом новизны работы является получение карбида вольфрама электродуговым методом в открытой воздушной среде, что возможно благодаря эффекту самоэкранирования реакционного объема от кислорода воздуха. Представленная работа показывает возможность переработки вольфрамового рудного концентрата в порошковый материал.

*Работа выполнена с поддержкой Российского научного фонда, проект № 19-79-00086.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Konyashin I. History of cemented carbides in the Soviet Union // Int. Journal of Refractory. – 2015. – V. 49. – P. 9-26.
2. Wang K. F. Fabrication of ultrafine and high-purity carbide powders via a carbothermic reduction-carburization process // Journal of Alloy and Compound. – 2019. – V. 784. – P. 362-369.
3. Dash T. Tungsten carbide-titanium carbide composite preparation by arc plasma melting and its characterization // Ceramics International. – 2019. – V. 45, №4. –P. 4771-780.
4. Fernique R. M. T. A simple route to produce tungsten carbide powders by high-energy ball milling and annealing // Ceramics International. – 2020. – V. 40, №2. – P. 1736-1742.
5. Shen L. Tungsten extractive metallurgy: a review of processes and their challenges for sustainability // Minerals Engineering. – 2019. – V. 142. – P. 105934.
6. Kuzmichev E. N. Obtaining functional materials based on tungsten-containing multicomponent mineral raw materials // Plasma, high-frequency, microwave and laser technologies. – 2015. – V 3. – P. 39-44.