

14. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters / T. Kan, V. Strezov, T.J. Evans // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – V. 57. – P. 1126-1140.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект 075-03-2021-138/3 (FZES-2021-0008)).

Научный руководитель: доцент, к.т.н. В.Е. Губин, доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО СИНТЕЗА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ИЗ ВОЛЬФРАМОВОГО КОНЦЕНТРАТА РУДЫ**

А.И. Кокорина<sup>1</sup>, Ж. Болатова<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет  
<sup>1</sup>ИЯТШ, ОЭФ, 0Б91, <sup>2</sup>ИШИТР, А0-08

Карбид вольфрама WC характеризуется рядом перспективных физических и химических свойств: высокие твердость и износостойкость, высокая температура плавления, высокие электро- и теплопроводность, а также сопротивление коррозии и устойчивость к воздействию кислот и щелочей. Карбид вольфрама является перспективным носителем катализатора в реакциях получения водорода благодаря таким факторам, как повышение каталитической активности платины в контакте с WC, снижение энергии активации реакции и стоимости [1].

На данный момент актуальна проблема развития методов получения карбида вольфрама из руды, характеризующихся малым количеством стадий, в отличие от традиционных методов [2]. Одним из таких методов является электродуговой. В данной работе применяется перспективная модификация данного метода, отличающаяся отсутствием необходимости организации вакуума или защитной газовой среды в процессе синтеза [3].

Исходная руда содержала три основные фазы: шеелит  $\text{CaWO}_4$ , гюбнерит  $\text{MnWO}_4$  и ферберит  $\text{FeWO}_4$ . С целью уменьшения содержания железа была проведена магнитная сепарация, затем руду перемалывали. Данные рентгенофлуоресцентного анализа подтвердили уменьшение содержания железа и увеличение содержания вольфрама в руде в результате обработки.

Синтез карбида вольфрама WC из обработанной руды проводился на электродуговом реакторе с графитовыми электродами. Смесь исходных реагентов – обработанной руды и сибунита (сибирского углеродного носителя) – закладывали в полый катод, выполненный в форме тигля, в полости которого поджигался разряд. В процессе синтеза, согласно диаграмме состояний «вольфрам-углерод», достигаются условия для образования карбида вольфрама WC, так как температура в плазменном факеле составляет несколько тысяч градусов. При этом наблюдается интенсивное выделение угарного и углекислого газов, которые экранируют реакционный объем от кислорода воздуха. Благодаря данному явлению возможно реализовать электродуговой синтез в рассматриваемой системе, иницируя дуговой разряд в открытой воздушной среде.

В ходе данной работы были определены три параметра синтеза: соотношение масс исходных реагентов (обработанная руда и сибунит), ток и время. Соответственно, были проведены три серии экспериментов. Полученные порошки анализировали методом рентгеновской дифракции на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000s. Была построена зависимость фазового состава продукта синтеза от каждого из параметров.

В первой серии экспериментов изменяли соотношение масс сибунита и обработанной руды от 1:18,9 до 1:2,7, при этом были выбраны максимальные параметры тока  $I = 220$  А и времени  $t = 45$  с. В результате рентгенофазового анализа полученных образцов установлено,

что соотношение 1:4,1 обеспечивает наибольший выход карбида вольфрама WC. При меньшем соотношении доминируют фазы, содержащиеся в исходной руде, при большем возникает избыток графита.

Далее с целью уменьшения энергозатрат в процессе синтеза была проведена серия экспериментов с определенным ранее соотношением исходных реагентов и силой тока  $I = 220$  А, в которой изменяли время синтеза от  $t = 15$  с до  $t = 45$  с. Установлено, что время синтеза  $t = 45$  с обеспечивает наибольший выход карбида вольфрама WC и наименьшую долю фаз, содержащихся в исходной руде. При меньшем времени синтеза велика доля фаз, содержащихся в исходной руде.

В третьей серии экспериментов при уже определенном соотношении исходных реагентов и времени синтеза  $t = 45$  с изменяли силу тока от  $I = 50$  А до  $I = 220$  А. В результате рентгенофазового анализа полученных образцов установлено, что при силе тока  $I = 220$  А наблюдается наибольший выход карбида вольфрама WC и наименьшая доля фаз, содержащихся в исходной руде. Аналогично времени, при меньшей силе тока фазы, содержащиеся в исходной руде, имеют значительную долю в продукте синтеза.

Таким образом, было установлено, что соотношение исходных сибунита и руды, равное 1:4,1, время  $t = 45$  с и сила тока  $I = 220$  А обеспечивают наибольшую долю карбида вольфрама WC в результате электродугового синтеза в открытой воздушной среде из смеси обработанного вольфрамового концентрата руды и сибунита (рисунок 1).

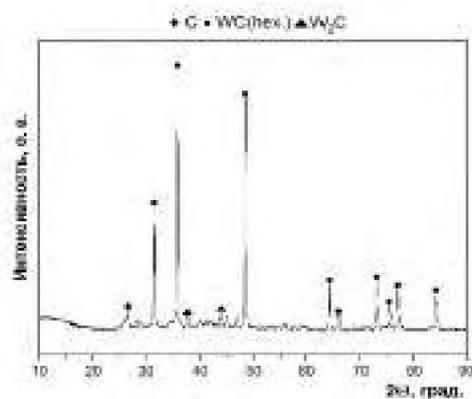


Рис. 1. Картина рентгеновской дифракции образца, полученного при определенных параметрах синтеза

## ЛИТЕРАТУРА

1. Role of tungsten carbide (WC) and its hybrids in electrochemical water splitting application- A comprehensive review / U. Sohail, E. Pervaiz, M. Ali, R. Khosa // FlatChem. – 2022. – V. 35. – P. 100404.
2. Single step synthesis of tungsten carbide (WC) nanoparticles from scheelite ore / H. Singh, O.P. Pandey // Ceramics International. – 2013. – Vol. 39. – № 6. – P. 6703-6706.
3. Vacuumless synthesis of tungsten carbide in a self-shielding atmospheric plasma of DC arc discharge / A.Ya. Pak, I.I. Shanenkov, G.Y. Mamontov, A.I. Kokorina // International Journal of Refractory Metals & Hard Materials. – 2020. – Vol. 93. – P. 105343.

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

Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак, научный сотрудник НИЦ “Экоэнергетика 4.0” ИШЭ ТПУ.