

ЛИТЕРАТУРА:

1. Shoab, M. Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system // Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 216. – P. 346-360.
2. Koskela, J. Using electrical energy storage in residential buildings – Sizing of battery and photovoltaic panels based on electricity cost optimization // Applied Energy. – 2019. – V. 239. – P. 1175-1189.
3. BP Statistical Review of World Energy. London: BP, 2018. 56 p. <http://www.bp.com>.
4. Деягин, Г. Н. Сжигание твердого топлива в виде водоугольных суспензий. – М.: ЦНИЭИ Уголь, 1969. – 49 с.
5. Syrodoy, S. V. The influence of the structure heterogeneity on the characteristics and conditions of the coal–water fuel particles ignition in high temperature environment // Combustion and Flame. – 2017. – V. 180. – P. 196-206.
6. Haykiri-Acma, H. Combinations of synergistic interactions and additive behavior during the co-oxidation of chars from lignite and biomass // Fuel Processing Technology. – 2008. V. 89. – P. 176 – 182.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (2.0047.РНФ.2022 (РНФ 22-79-00223)).

Научный руководитель: к.т.н. Д.Ю. Малышев, ассистент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

СИНТЕЗ БОРИДА МОЛИБДЕНА В АТМОСФЕРНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАЗМЕ

Ю.А. Некля¹, Ю.З. Васильева²

Томский политехнический университет

¹ИШЯТ, группа 0А15, ²ИШЭ, инженер

Борид молибдена (MoB) является уникальным и малоизученным материалом [1]. В последние годы к нему был вызван повышенный интерес как к перспективному материалу для новых жаропрочных, коррозионных и износостойких сплавов и покрытий [2]. Кроме того, борид молибдена обладает собственной решетчатой теплопроводностью [3]. Существует несколько способов получения различных боридов, однако синтез боридов молибдена пока мало изучен [4]. Как правило, бориды молибдена получают по технологиям СВС-металлургии из оксидного сырья со стадией восстановления [5]. Согласно литературе [6], для получения боридов молибдена необходимы высокие температуры, порядка 1400–1800 °С. Это требует больших затрат и усилий, поэтому актуален поиск простого и эффективного способа получения MoB. В настоящее время успешно реализуется синтез карбидов и боридов в атмосферной плазме дугового разряда постоянного тока [7, 8]. Основным преимуществом данного способа является его реализация в открытой воздушной среде, что ведет к уменьшению габаритов установки и повышению энергоэффективности процесса синтеза.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по получению боридов молибдена в атмосферной электродуговой плазме. Эксперимент был проведен в плазмохимическом реакторе с вертикальным расположением электродов [8]. Установка состоит из анода, выполненного из графита в форме стержня, катода, выполненного из графита в форме тигля, источника тока, автоматического привода для перемещения анода, системы управления установкой и осциллографа для измерения показателей силы тока и напряжения в процессе эксперимента. Синтез боридов молибдена реализуется путём инициации дугового разряда постоянного тока, в процессе перемещения анода вдоль оси катода в его полости. В ходе

этого перемещения генерируется плазма постоянного тока, воздействующая на исходное сырьё. В качестве исходного сырья использовались порошки бора и молибдена в соотношении В:Мо = 1:1, которые предварительно смешивали в шаровой мельнице Mixer/Mill 8000M. После синтеза полученный порошок собирался с внутренней полости тигля и анализировался методом рентгеновской дифрактометрии на приборе Shimadzu XRD-7000S ($\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$). На рисунке 1 представлена типичная картина рентгеновской дифракции полученного материала, на которой можно идентифицировать наличие двух кристаллических фаз: MoB и Mo₂B. Фазе MoB соответствуют рефлексы, расположенные на $2\theta \sim 20,9^\circ; 29,2^\circ; 32,9^\circ; 38,7^\circ; 43,6^\circ; 43,6^\circ; 47,5^\circ; 52,4^\circ; 59,6^\circ; 66,3^\circ; 67,7^\circ; 70,0^\circ; 73,4^\circ; 75,7^\circ; 79,1^\circ$ и $88,3^\circ$. Рефлексы фазы Mo₂B выявлены на $2\theta \sim 30,2^\circ; 35,3^\circ; 41,1^\circ$ и $45,0^\circ$. Формирование фаз борида молибдена в рассматриваемой системе возможно при нагревании исходного сырья, а именно, порошков молибдена и бора, током разрядного контура, а также плазмой дугового разряда.

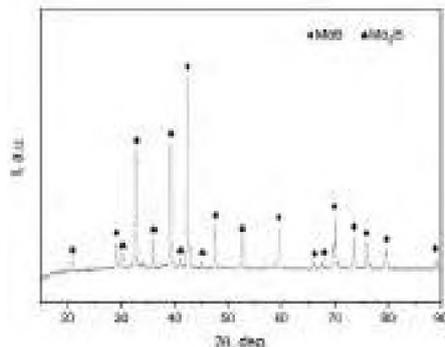


Рис. 1. Картина рентгеновской дифракции продукта синтеза, содержащего фазу борида молибдена

Таким образом, в работе представлены результаты экспериментальных исследований, показывающие возможность получения борида молибдена электродуговым методом в открытой воздушной среде. Для идентификации фазового состава полученного в результате синтеза порошка была проведена рентгеновская дифрактометрия. Подбор оптимального соотношения исходных компонентов бора к молибдену для обеспечения доминирования искомых фаз является предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Zhao Feng, Tao Qiang, You Cun, Ye Meiyang, Li Li, Han Yang, Dong Shushan, Wang Xin, Cui Tian, Zhu Pinwen. Enhanced hardness in tungsten-substituted molybdenum diboride solid solutions by local symmetry reduction // *Materials Chemistry and Physics*. Elsevier, 2020. Vol. 251.
2. Shein I.R., Shein K.I., Ivanovskii A.L. First-principles study on the structural, cohesive and electronic properties of rhombohedral Mo₂B₅ as compared with hexagonal MoB₂ // *Physica B: Condensed Matter*. Elsevier, 2007. Vol. 387, № 1-2. P. 184-189.
3. Chonga XiaoYu, Jianga YeHua, Zhoua Rong, Feng Jing. Stability, chemical bonding behavior, elastic properties and lattice thermal conductivity of molybdenum and tungsten borides under hydrostatic pressure // *Ceramics International*. Elsevier, 2012. Vol. 42, №2. P. 2117-2132.
4. Erdem Hasan Camurlu. Preparation of single phase molybdenum boride // *Journal of Alloys and Compounds*. Elsevier, 2011. Vol 509. P. 5431-5436
5. Kurbatkina V.V. Molybdenum Borides // *Concise Encyclopedia of Self-Propagating High-Temperature Synthesis*. Elsevier, 2017. P. 204-205.
6. Klesnar H., Aselage T.L, Morosin B., Kwei G.H., Lawso A.C. The diboride compounds of molybdenum: MoB_{2-x} and Mo₂B_{s-y} // *Journal of Alloys and Compounds*. Elsevier, 1996. Vol. 241, №1-2. P. 180-186.

7. Vassilyeva Yu.Z., Pak A.Ya., Kononenko P.N., Yakich T.Yu., Mostovshchikov A.V., Shanenkov I.I. Vacuumless Arc Discharge Synthesis of Molybdenum Carbide-Based Powders at Various Discharge Currents // *Inorganic Materials*. Springer, 2022. Vol. 58, P. 265- 270.
8. Pak A.Ya., Rybkovskiy D.V., Vassilyeva Yu.Z., Kolobova E.N., Filimonenko A.V., Kvashnin A.G. Efficient Synthesis of WB_{5-x}-WB Powders with Selectivity for WB_{5-x} // *Inorg. Chem.* 2022, Vol. 61, №18, P. 6773-6784

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

ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛА

А.Д. Титов, А.Д. Кеслер
Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А97

Автоматизация систем управления технологическими процессами (АСУТП) в настоящий момент является одним из активно развивающихся направлений. Объектом исследования является АСУТП камеры сушки. Актуальное направление для развития для сушильных камер – снижение энергопотребления. Вопросы по актуальному направлению энергосбережения рассматривались в работе [1], где приведен анализ повышения эффективности. Большая часть сушильных камер оборудованы твердотопливными котлами, которые не управляются и излишки энергии выбрасываются во внешнюю среду. В отличие от твердотопливных котлов газовые котлы, которые стали доступны, обладают хорошей управляемостью, благодаря чему можно выделять энергии столько, сколько требуется. Такие системы уже существуют, но возможности управления котлом ещё не исчерпаны. В частности, представляют интерес системы рекуперации [2], позволяющие сэкономить до 30–40 % энергии, благодаря реализации идеи, опубликованной в работе [3].

Там же предложено решение проблемы заиневаания путем поддержания температуры в точке росы, которые исследованы в работе [4,5]. Прототип камеры сушки с рекуперацией был сделан в лабораторных условиях и эффективность в этой работе была доказана. Основная проблема реализации связана с консервативностью заказчиков камер. Препятствием использования данной системы является то, что автоматика не предусматривает наличие такой системы. В данной работе предложено включить контур рекуперации в программируемый логический контроллер (ПЛК).

Система рекуперации представляет собой контур теплообмена между входящим и выходящим калорифером [2]. В результате входящий холодный воздух нагревается горячим калорифером и остужается при выходе холодным калорифером благодаря такому теплообмену. Теплообмен обеспечивает двигатель, управляемый частотным преобразователем, где частотным преобразованием происходит регулировка меры теплообмена. Без системы рекуперации теплый воздух будет выбрасываться наружу. С системой рекуперации можно сохранить до 30–40 % тепла в камере.

В работе предлагается изменить классическую схему управления камерой сушки, изображенной на рисунке 1, добавив в неё рекуператор (выделен красным цветом). В схеме: Газовый котел (1), частотный привод циркуляционного насоса (2), воздушный калорифер (3), вентилятор (4), воздушный клапан (5), “мокрый” (6) и “сухой” (7) датчики температуры, пиломатериал (8), конденсационная панель (9), на которой выделяется вода при температуре точки росы, циркуляционный насос, датчик температуры точки росы (11).