

## СИНТЕЗ БОРИДОВ МОЛИБДЕНА БЕЗВАКУУМНЫМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДУГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*Васильева Ю.З.<sup>1</sup>, Некля Ю.А.<sup>2</sup>, Сперанский М.Ю.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>НИ ТПУ, научный сотрудник ЛПМЭО,*

*E-mail: yzv1@tpu.ru;*

*<sup>2</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, студент 0A15,*

*E-mail: yan26@tpu.ru;*

*<sup>3</sup>НИ ТПУ, ИШЭ, аспирант 3-A9-42,*

*E-mail: speranskiy@tpu.ru*

В современной промышленности наблюдается увеличение спроса на новые материалы, обладающие функциональным назначением. Особо ценятся материалы, работающие в сложных эксплуатационных условиях. Покрытия на основе боридов вызывают повышенный интерес благодаря твердости и устойчивости к высоким температурам. Особое внимание уделяется боридам молибдена. Борид молибдена является важным кандидатом на звание сверхтвердого материала. Данный факт открывает большие перспективы для использования его в качестве материала для абразивных и режущих инструментов. Борид молибдена находит применение в производстве жаропрочных и износостойких компонентов, таких как инструменты для обработки металлов, покрытия для защиты от износа и коррозии. Одной из особенностей борида молибдена считается высокая термическая устойчивость при температурах свыше 1800 °С [1].

Методы получения борида молибдена весьма разнообразны: высокотемпературный синтез [2], механохимический синтез [3], а также метод дуговой плавки [4]. В настоящее время ведутся поиски нового способа получения боридов молибдена. Одним из перспективных методов на сегодняшний день рассматривается безвакуумный электродуговой метод, его особенностью является использование в качестве рабочей среды атмосферного воздуха. Ранее нами была предпринята попытка синтеза боридов молибдена безвакуумным электродуговым методом с использованием дуги постоянного тока [5]. В данной работе представлены поисковые экспериментальные исследования по получению боридов молибдена безвакуумным электродуговым методом с использованием дуги переменного тока.

Целью исследования является получение боридов молибдена безвакуумным электродуговым методом и исследование фазового состава полученного порошка методом рентгеновской дифрактометрии.

Экспериментальные исследования по получению борида молибдена проводились на оригинальном дуговом реакторе переменного тока. Одним электродом являлся графитовый стержень длиной 100 мм и диаметром 14 мм. Другой электрод представлял из себя тигель высотой 21 мм и диаметром 40 мм. Для проведения эксперимента была выполнена подготовка исходных порошков молибдена и бора, которые смешивались в шаровой мельнице в течение 30 мин при частоте 30 Гц. После процесса подготовки однородный порошок загружался в тигель. Затем тигель помещался в дуговой реактор, и к нему подводился электрод для инициирования дугового разряда. Для этого источник питания настраивался на силу тока 200 А. Дуговой разряд инициировался в полости тигля и поддерживался в течение 40 с. По окончании горения дугового разряда полученный порошок собирался с внутренних стенок тигля. Фазовый состав порошка анализировался методом рентгеновской дифрактометрии с помощью рентгеновского дифрактометра марки Shimadzu XRD-7000s.

На рис. 1 представлена типичная картина рентгеновской дифракции. Анализ показал, что в составе порошка присутствуют фазы: Mo, MoB, MoB<sub>2</sub> и Mo<sub>2</sub>B<sub>5</sub>. Фазе тетрагонального борида молибдена MoB (№ 00-051-0940, PDF4+) принадлежат дифракционные максимумы на 2θ ~ 29°, 33°, 39°, 42°, 49° и 52°. Фазе MoB<sub>2</sub> (№ 01-073-0704, PDF4+), характеризующейся ромбоэдрической кристаллической решеткой, соответствуют дифракционные максимумы на 2θ ~ 34°, 45° и 71°. Кроме того, на картине рентгеновской дифракции присутствуют дифракционные максимумы, соотносящиеся с эталонными для фа-

зы  $\text{Mo}_2\text{B}_5$  (№ 00-038-1460, PDF4+), которые расположены на  $2\theta \sim 25^\circ, 35^\circ, 46^\circ, 61,5^\circ, 70^\circ, 75,5^\circ$  и  $79^\circ$ . Помимо фаз боридов молибдена можно отметить дифракционные максимумы молибдена (№ 01-077-8340, PDF+) на  $40,5^\circ, 59^\circ, 73,5^\circ$  и  $88^\circ$ , наличие которых связано с неполной переработкой исходного молибдена в бориды.

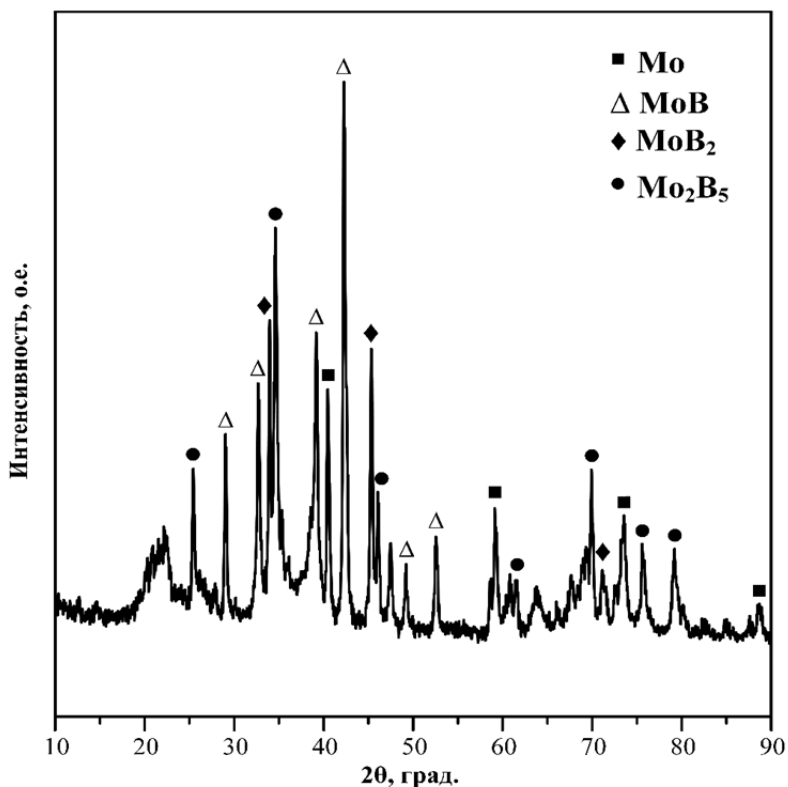


Рис. 1. Результат рентгеновской дифрактометрии продукта синтеза

Таким образом, в работе представлены экспериментальные исследования, доказывающие возможность получения боридов молибдена безвакуумным методом с применением дуги переменного тока. Методом рентгеновской дифрактометрии определен фазовый состав продукта синтеза. Для регулирования фазового состава продукта необходимо подобрать оптимальные параметры процесса синтеза. Данная задача будет реализовываться в дальнейших исследованиях.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-7901145, <https://rscf.ru/project/23-79-01145/>.

### Список литературы

1. Camurlu H.E. Preparation of single phase molybdenum boride // Journal of alloys and compounds. – 2011. – Vol. 509. – № 17. – P. 5431–5436.
2. Yeh C.L., Hsu W.S. Preparation of molybdenum borides by combustion synthesis involving solid-phase displacement reactions // Journal of alloys and compounds. – 2008. – Vol. 457. – № 1–2. – P. 191–197.
3. Kudaka K., Iizumi K., Sasaki T., Okada S. Mechanochemical synthesis of  $\text{MoB}_2$  and  $\text{Mo}_2\text{B}_5$  // Journal of alloys and compounds. – 2001. – Vol. 315. – № 1–2. – P. 104–107.
4. Park H., Encinas A., Scheifers J.P., Zhang Y., Fokwa B.P. Boron-dependency of molybdenum boride electrocatalysts for the hydrogen evolution reaction // Angewandte Chemie International Edition. – 2017. – Vol. 56. – № 20 – P. 5575–5578.
5. Некля Ю.А., Васильева Ю.З. Синтез бориды молибдена в атмосферной электродуговой плазме // Бутаковские чтения: материалы II Всероссийской с международным участием молодежной конференции, 13–15 декабря 2022 г., Томск. – Томский политехнический университет, 2022. – С. 521–523.