

УДК 66.091.3

**Получение диборида тантала электродуговым методом**У.С. Комкина, А.А. Свинухова, А.А. Кузнецова,

Научный руководитель: к.т.н. А.Я. Пак

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: [usm1@tpu.ru](mailto:usm1@tpu.ru)**Production of tantalum diboride by electric arc-discharge method**U.S. Komkina, A.A. Svinukhova, A.A. Kuznetsova

Scientific Supervisor: Ph.D. A.Ya. Pak

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

E-mail: [usm1@tpu.ru](mailto:usm1@tpu.ru)

**Abstract.** *This paper describes the results of synthesis tantalum diboride using an arc electric discharge using a vacuum-free method. Powdered metal Ta and amorphous B were used as initial raw materials. The phase composition of the resulting material was studied and an analysis of energy consumption was carried out.*

**Key words:** *tantalum diboride, electric discharge, powdered, materials, metal.*

**Введение**

В настоящее время все больше внимания уделяется изучению боридов переходных металлов, это связано с их физико-химическими характеристиками. Переходные металлы IV и V группы таблицы Д.И. Менделеева обладают повышенной теплопроводностью и электропроводностью, высокой твердостью и стойкостью к окислению [1]. Дибориды переходных металлов обладают высокой термической стойкостью, высокой твердостью и прочностью, выдерживают длительную работу при высоких температурах. В этой связи они могут быть использованы в качестве материалов для изготовления режущих инструментов, абразивных материалов, а также в качестве материалов для защитных покрытий. Также бориды переходных металлов применяются в качестве катодных материалов, высокотемпературных материалов, а также в электронных устройствах.

Одним из наиболее перспективных материалов сверхвысокотемпературного класса считается TaB<sub>2</sub> из-за чрезвычайно высокой температуры плавления (> 3100 °C) [2]. Получение диборида тантала осуществляется различными методиками, в работе [2] получение материала осуществлялось методом механически индуцированной самоподдерживающейся реакции, а именно магниотермического восстановления оксида тантала. Для синтеза использовалась тройная система Mg/Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/B, в которой магний необходим для восстановления оксидов тантала в режиме горения. В работе [3] представлен синтез диборида тантала восстановлением Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> с B<sub>4</sub>C. В работе [4] представлен процесс химического осаждения из паровой фазы, в котором использовался газ TaCl<sub>5</sub>, который взаимодействовал с источником боросодержащего газа с образованием TaB<sub>2</sub>. Также для получения материала применяются твердофазные реакции, которые проводятся в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [5, 6], где исходными компонентами являются порошок металлического тантала и бор. В работах [7, 8] представлено реактивно-искровое плазменное спекание, которое проводится в вакуумной среде при давлении 50 Па.

В данной работе представлен методика получения диборида тантала электродуговым плазменным методом, без создания вакуумной среды. Преимуществом данного метода является его простота, отсутствие дорогостоящих компонентов, а именно вакуумного оборудования.

Целью данной работы является получение диборида тантала безвакуумным электродуговым методом.

### Экспериментальная часть

В данной работе представлен способ синтеза порошков в графитовом тигле путем воздействия электродугового плазменного разряда на лабораторном стенде [9]. В качестве исходных компонентов использовали аморфный бор с чистотой 99,9 % и порошок металлического Ta с чистотой 99,9 % размером частиц не более 10 мкм. Полученную смесь гомогенизировали в шаровой мельнице «Retsch pm100» в течение 30 минут с частотой вращения 400 об/мин. Получение диборида тантала осуществлялось по следующей методике: в графитовый тигель малого объема помещалась смесь исходных компонентов, далее малый графитовый тигель помещался в тигель большего размера, после система тиглей устанавливалась на лабораторный стенд и подключалась к источнику постоянного тока. Система графитовых тиглей являлась катодом. Анодом являлся графитовый стержень. Подведением анода к катоду поджигался электрический разряд. Синтез осуществляется путем воздействия дугового плазменного разряда на крышку малого тигля в течение 60 секунд при силе тока 200А. Количественный рентгенофазовый анализ был проведен на рентгеновском дифрактометре (Shimadzu XRD 7000s,  $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$ ).

### Результаты

Продуктом синтеза является порошок диборида тантала. На рисунке 1 представлена типичная картина рентгеновской дифракции, где идентифицируется фаза  $\text{TaB}_2$ , согласно базам PDF4+.

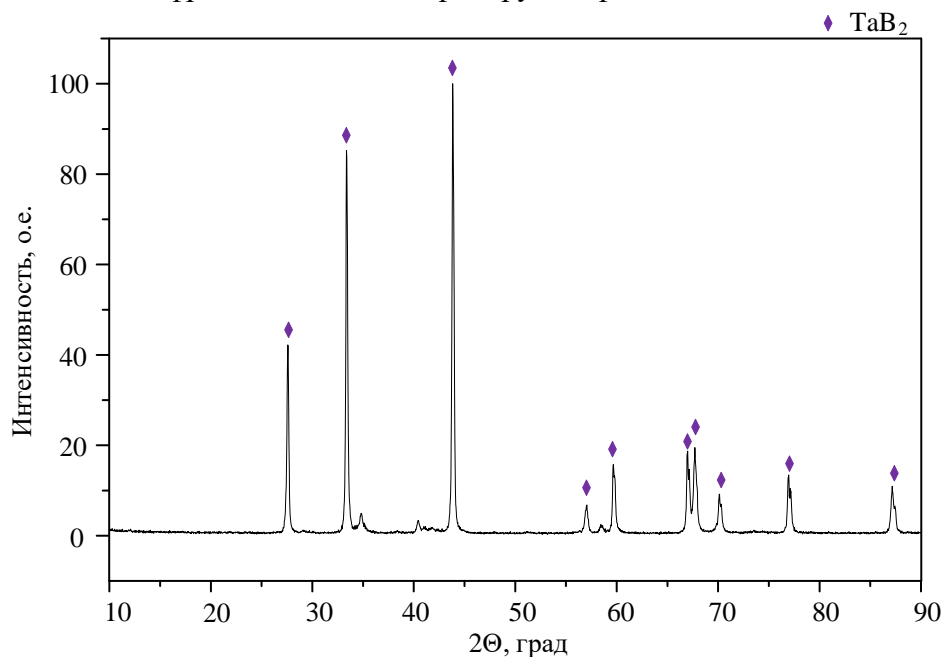


Рис. 1. Дифрактограмма диборида тантала

На рисунке 2А представлены осциллограммы тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$ , на рисунке 2Б – показатели мощности  $p(t)$  и энергии  $w(t)$  синтеза  $\text{TaB}_2$ . Путем перемножения массивов данных тока и напряжения была рассчитана мощность процесса синтеза, при этом ее усредненное значение составляет  $\approx 3,5$  кВт. Количество подведенной энергии к системе составило  $\approx 216$  кДж.

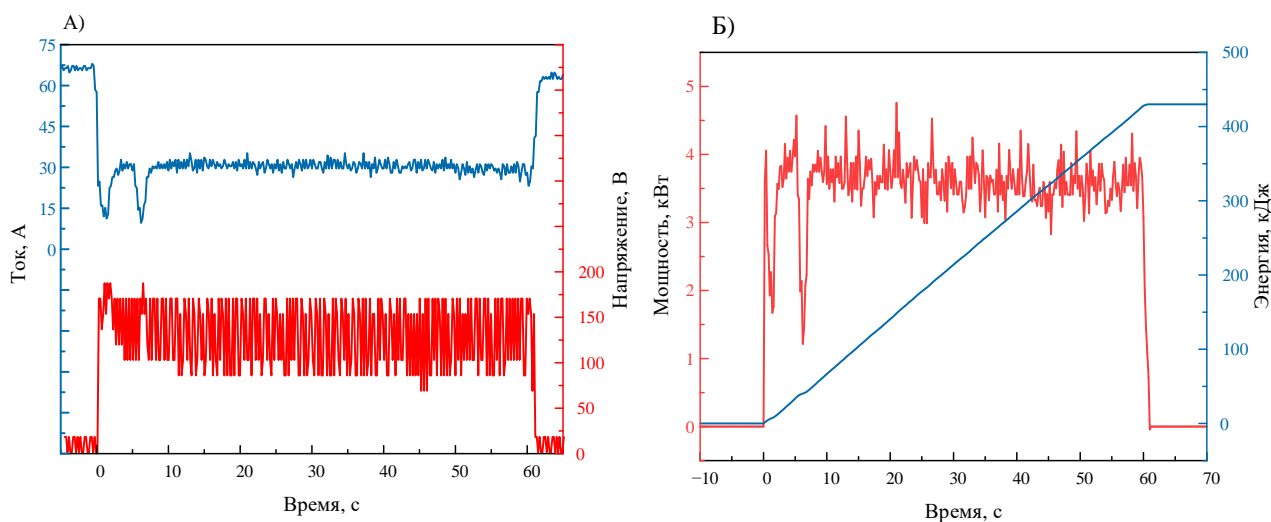


Рис. 2. Электрические параметры горения дугового разряда: А) осциллограммы тока  $i(t)$  и напряжения  $u(t)$ ; Б) графики мощности  $p(t)$  и количества подведенной энергии  $w(t)$  синтеза диборида тантала

### Заключение

В результате проведенных исследований показана возможность синтеза  $TaB_2$  из порошка металлического тантала и аморфного бора. Был проведен рентгенофазовый анализ подтверждающий синтез фазы  $TaB_2$ , а также рассчитано количество подведенной энергии и усредненная мощность электродугового лабораторного стенда.

*Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWW-2023-0011).*

### Список литературы

1. Ren X. et al. Low temperature synthesis of pure phase  $TaB_2$  powders and its oxidation protection modification behaviors for Si-based ceramic coating in dynamic oxidation environments // *Ceramics International*. – 2018. – Vol. 44, № 13. – P. 15517–15525.
2. Jalaly M., Gotor F.J. A new combustion route for synthesis of  $TaB_2$  nanoparticles // *Ceramics International*. – 2018. – Vol. 44, № 1. – P. 1142–1146.
3. You Y. et al.  $TaB_2$  powders synthesis by reduction of  $Ta_2O_5$  with  $B_4C$  // *Ceramics International*. – 2017. – Vol. 43, № 1. – P. 897–900.
4. Motojima S., Sugiyama K. Chemical vapour deposition of tantalum diboride // *Journal of Materials Science*. – 1979. – Vol. 14. – P. 2859–2864.
5. Yeh C.L., Wang H.J. A comparative study on combustion synthesis of Ta-B compounds // *Ceramics International*. – 2011. – Vol. 37, № 5. – P. 1569–1573.
6. Licheri R. et al. Bulk monolithic zirconium and tantalum diborides by reactive and non-reactive spark plasma sintering // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2016. – Vol. 663. – P. 351–359.
7. Laszkiewicz-Łukasik J. et al. The influence of SPS heating rates on the synthesis reaction of tantalum diboride // *boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*. – 2016. – Vol. 55, № 4. – P. 159–168.
8. Musa C. et al. Spark plasma synthesis and densification of  $TaB_2$  by pulsed electric current sintering // *Materials letters*. – 2011. – Vol. 65, № 19–20. – P. 3080–3082.
9. Gumovskaya A., Pak A., Yankovsky S., Nassyrbaev A., Nikitin D., Komkina U. Vacuum-free electric arc synthesis of titanium carbide using plant waste-derived carbon // *New Journal of Chemistry*. – 2023. – Vol. 47, Iss. 38. – P. 17963–17969.