

# СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОРАТОВОЙ РУДЫ РК В РЕЖИМЕ СВС

Р.Г. Абдулкаримова, А.Ж. Сейдуалиева

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

## Аннотация

В статье представлены экспериментальные результаты по получению композитов на основе системы  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-V}_2\text{O}_3\text{-Al}$  и  $\text{ZrSiO}_4\text{-Al-V}_2\text{O}_3\text{-C}$  с использованием боратовой руды Индерского месторождения РК при широком варьировании концентрационных соотношений компонентов в исходных смесях методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), являющегося разновидностью горения. Показано, что продуктами экзотермического взаимодействия в процессе горения являются высокотемпературные соединения боридов хрома, циркония, карбид циркония. Оксид алюминия, имеющий также высокую температуру плавления, в керамическом композите образует дисперсную фазу и керамическую связку. Установлены влияние состава исходной шихты, предварительной механической активации до проведения СВ-синтеза на формирование микроструктуры, состав полученных композиционных материалов. Показана возможность использования боратов Индерского месторождения РК в качестве борсодержащего компонента при получении композиционных материалов методом СВС.

*Ключевые слова:* самораспространяющийся высокотемпературный синтез, боратовая руда, механическая активация, бориды хрома, борид и карбид циркония.

## 1. Введение

Развитие современной науки и техники тесно связано с разработкой и получением новых материалов, улучшением их свойств, снижением стоимости их промышленного производства, возможности их многократной утилизации и регенерации, особенно в условиях истощения невозобновляемых источников сырья. Поэтому с материаловедческими задачами тесно связаны проблемы разработки ресурсосберегающих процессов комплексной переработки минерального сырья, позволяющие получать целевой продукт в одну-две технологические операции [1-4].

Развитие производства и технологии соединений бора связано с открытием, освоением и промышленным использованием месторождений борсодержащего сырья. Создание новых материалов с различным комплексом свойств нового уровня качества на базе широко рас-

пространённого сырья, в том числе и техногенного, в настоящее время определяется задачами научно-технического прогресса [4].

Достаточно крупное месторождение борного сырья было открыто в Казахстане – Индерское месторождение. Руды Индерского месторождения представлены в основном ашаритом, гидроборатом и улукситом. Среднее содержание  $\text{V}_2\text{O}_3$  в Индеровских рудах составляет 2-30,5%. Запасы месторождения «Индер» пригодны для открытой добычи, хотя частично обводнены. Крупные промышленные скопления борных минералов объясняются своеобразием геохимии бора. Бор, образуя летучие соединения с водородом, галогенидами и другими элементами в природных процессах, хорошо обособляется и поэтому, не смотря на небольшое распространение в земной коре, образует большое разнообразие минеральных видов [1].

Бориды переходных металлов представляют особый интерес благодаря уникальным физико-химическим свойствам (высокой твердости, жаростойкости, жаропрочности, высокой электро- и теплопроводности, стойкости к действию расплавленных металлов в сочетании с низким удельным весом, коррозионной, радиационной устойчивости, износостойкости) и находят широкое применение в качестве наиболее перспективных материалов во многих областях техники, машиностроения, электроники, энергетики, металлургии [5-9].

В настоящее время метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза сформировался как крупное технологическое направление, способное решать комплекс задач по получению материалов заданного состава. Наибольшее распространение получила СВС-технология тугоплавких композитов, которая отличается, как и СВС-технологии, простотой и малой энергоемкостью [10-12].

При этом важнейшая задача – сокращение или замена сложных, энергоемких, экологически опасных процессов пиро- и гидрометаллургии при обработке минерального сырья. Этой задаче в полной мере отвечают СВС-технологии как эффективный способ получения высокодисперсных порошков тугоплавких соединений и объемных материалов, обеспечивающий безотходность производства, получение материалов заданной структуры и свойств [13, 14].

В последнее время метод СВС используется наряду с механохимической активацией (МА), в частности, для синтеза наноструктурированных композиционных материалов, так называемый, МА СВС. МА реагентов перед проведением СВС-процесса является очень важной стадией. С помощью МА можно существенно интенсифицировать гетерогенные процессы, МА приводит к увеличению химической активности обрабатываемых частиц за счет повышения их дефектности и/или увеличения удельной реакционной поверхности (за счет уменьшения размеров частиц), что в результате приводит к увеличению реакционной способности компонентов. Таким образом, предварительная МА перед СВС-синтезом подготавливает частицы к активному реагированию. Механическая активация может оказывать влияние как на скорость и условия распространения фронта волны горения (макрокинетический эффект), так и на форму и размеры кристаллитов, и пористость структуры (структурный эффект) [15, 16].

## 2. Экспериментальная часть

В данной работе в качестве основных исходных компонентов были выбраны следующие реагенты:

- обогащенная руда Индерского месторождения РК с содержанием  $B_2O_3$  до 40%.

Для приготовления реакционных смесей также были использованы соединения переходных металлов:

-  $ZrSiO_4$  – природный циркон Обуховского месторождения РК;

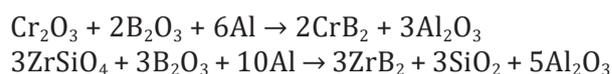
-  $Cr_2O_3$  - оксид хрома, порошок зеленого цвета чистотой не менее 99,8%.

В качестве восстановителя использовали порошки алюминия:

- Al – алюминий, порошок марки ПА-4 (чистота 99%, дисперсность 90 мкм).

Компоненты взвешивали в стехиометрическом соотношении на электронных весах, затем добавляли определенное количество дистиллированной воды, достаточное для приготовления полувлажной смеси с целью изготовления образцов прессованием. Предварительную механическую активацию проводили в высокоэнергетической планетарно-центробежной мельнице «Пульверизетте 5».

В качестве объекта исследования использовали керамический композит, синтезированный на основе боридов хрома и циркония по реакции:



Приготовленные составы помещали в реактор, где при различном давлении аргона проводили СВ-синтез борсодержащих тугоплавких композиционных материалов. Иницирование горения реакционной смеси в реакторе высокого давления осуществляли при помощи вольфрамовой спирали, через которую пропускался электрический ток. На рисунке 1 представлена схема реактора высокого давления, СВ-синтез проводили в среде аргона.

Температура образца после иницирования процесса горения фиксировалась с помощью компьютера и специального программного обеспечения, которое в реальном времени считывает данные с вольфрам-рениевых термомпар ВР5/20 с толщиной спая 200 мкм.

Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов проводили на дифрактометре «ДРОН-4М» с использованием кобальтового Ка-излучения в

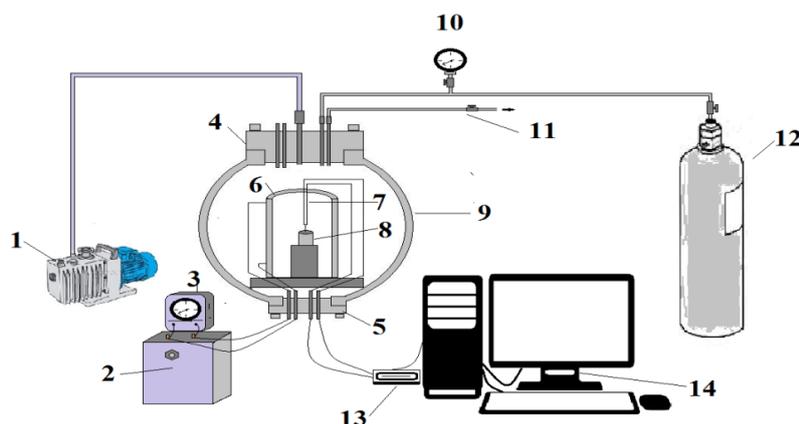


Рис. 1. Реактор высокого давления: 1 – вакуумный насос, 2 – трансформатор, 3 – амперметр, 4 – верхняя крышка реактора, 5 – нижняя крышка реактора, 6 – трубчатая нагревательная печь, 7 – термопара, 8 – образец, 9 – корпус реактора, 10 – манометр, 11 – впускной и выпускной вентили, 12 – баллон с аргоном, 13 – блок системы сбора данных LTR-U-1, 14 – компьютер.

интервале  $2\theta = 20^\circ\text{-}70^\circ$ . Морфологию полученных образцов (SEM) изучали методом сканирующей электронной микроскопии (QUAN-TA 3D 200i, FEI, USA).

### 3. Результаты и обсуждение

Нами исследованы закономерности СВС в системе  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}$ , где  $\text{B}_2\text{O}_3$  в составе боратовой руды Индерского месторождения РК. Вместо чистого оксида была использована обогащенная природная руда.

Скорость распространения реагирующего слоя и температура реакции СВС зависят от целого ряда физико-химических параметров [11, 12, 13]. Важным параметром СВС-систем, влияющим в итоге на качество синтезированного продукта, является максимальная температура горения. Именно при максимальной температуре, развиваемой в СВС-системах, происходит фазо- и структурообразование материала. Установлено, что на температуру СВС влияют прежде всего исходный состав шихты, давление инертного газа в реакторе, время предварительной МА. Ранее было изучено влияние давления аргона на параметры СВС, которое в реакторе меняли от 0,5 до 3 МПа. Эксперименты показали, что оптимальным для СВС является давление 1 МПа [8-10].

На рис. 2 приведена зависимость температуры горения в системе  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al-B}_2\text{O}_3$  от содержания алюминия в шихте и времени предварительной МА (1 МПа). Содержание алюминия в шихте варьировали от 25 до 45 мас. %, оптимальным временем для полного прохождения СВС является 30-35 мин, дальнейшее увеличе-

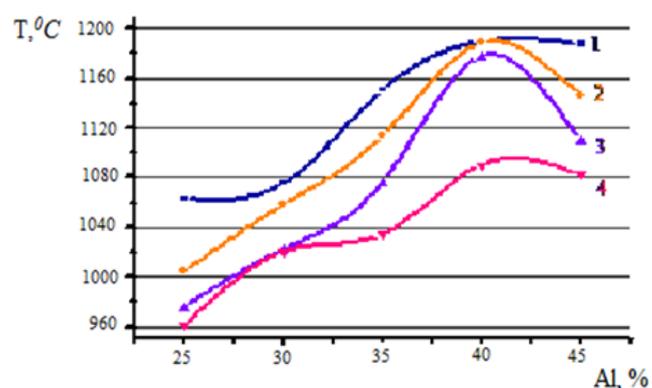


Рис. 2. Зависимость температуры горения в системе  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al-B}_2\text{O}_3$  от содержания алюминия и времени МА.

ние содержания алюминия приводит к изменению формы образца.

Из рис. 2 видно, что время предварительной механоактивации шихты также влияет на температуру горения – чем больше время активации, тем выше температура горения, следовательно, более полно проходят реакции в волне горения. Измельчение компонентов снижает кинетические затруднения протекания химических реакций в гетерогенных средах.

Проведен качественный и полуколичественный рентгенофазовый анализ состава продуктов СВС для системы  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al-B}_2\text{O}_3$ . В конечных продуктах СВ-синтеза методом РФА (таблица 1) показано наличие высокотемпературных оксида алюминия, боридов хрома.

Согласно литературным данным [5], увеличение содержания бора в бориде при переходе от низших (по содержанию бора) к высшим

Таблица 1. Продукты горения системы  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-Al-B}_2\text{O}_3$  (1 МПа)

$\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-nAl}$	Время акт., мин.	Содержание, %							
		CrB	$\text{CrB}_2$	$\text{Cr}_2\text{B}$	$\text{Cr}_5\text{B}_3$	$\text{Cr}_3\text{B}_4$	$\text{Al}_5\text{BO}_9$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	
30%	5	11,5	5,2	3,5	–	5,5	14,5	55,9	
30%	7	13,3	2,4	2,6	6,6	6,6	5,3	63,1	
30%	10	12,9	7,6	2,0	6,5	2,6	3,5	64,8	
35%	5	17,4	1,4	–	–	–	–	81,3	
35%	7	16,5	5,6	5,0	3,5	3,3	–	66,1	
35%	10	20,3	3,7	–	–	–	–	76,0	

приводит к формированию более жестких ковалентных связей В–В, температура плавления фаз в рядах  $\text{Cr}_2\text{B-Cr}_5\text{B}_3\text{-CrB-Cr}_3\text{B}_4\text{-CrB}_2$  возрастает. Из таблицы 1 видно, что наибольшее количество боридов образуется при 7, 10 минутах предварительной МА и содержания алюминия в шихте 35 мас.%. Суммарное количество боридов хрома в продуктах СВС значительно и вкуче с корундом придают огнеупорность и прочность полученным композитам.

Электронно-микроскопические снимки получены для системы  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}$ , на рис. 3 представлен анализ фрагментов продуктов СВС данной системы. Наблюдаются кристаллы правильной кубической и гексагональной структур, элементный анализ, которых соответствует в большей степени бору и хрому, т.е. бориды хрома –  $\text{CrB}$ ,  $\text{CrB}_2$  (рис. 3а). Между правильными геометрическими формами находится фаза корунда (оксид алюминия), что

подтверждается элементным анализом (рис. 3б). По-видимому, матрицей полученного композиционного материала является корунд, тесно связанный с фазами боридов хрома, имеющих субмикронные размеры.

Аналогичные исследования с целью получения композиционных материалов проводили для системы  $\text{ZrSiO}_4\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al-C}$ . Вместо чистого  $\text{ZrO}_2$  исследовали более доступный природный циркон Обуховского месторождения РК –  $\text{ZrSiO}_4$ , в качестве источника углерода – сажу.

На рис. 4 представлена зависимость температуры горения от содержания алюминия и времени МА системы  $\text{ZrSiO}_4\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al-C}$ . Содержание алюминия во всех системах варьировали в пределах от 25 до 45 мас.%. Оптимальным содержанием алюминия определено 30-35 мас.%. Предварительная МА приводит к повышению температуры горения. Ускорение химической реакции при механической активи-

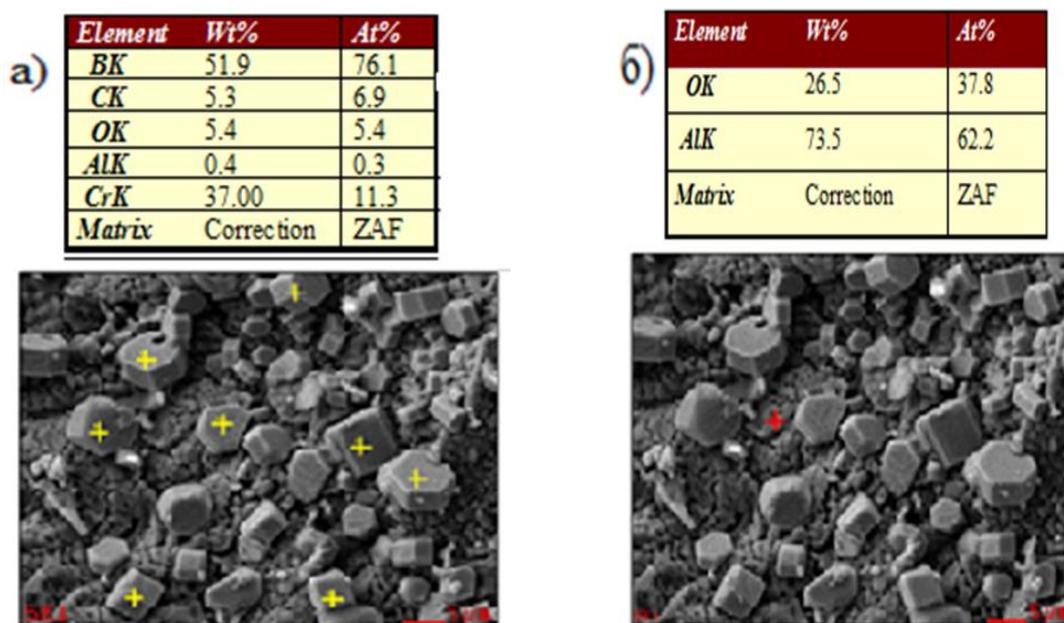


Рис. 3. Микроструктура продуктов СВС и элементный анализ (SEM) системы  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}$ : а – бориды хрома; б – оксид алюминия.

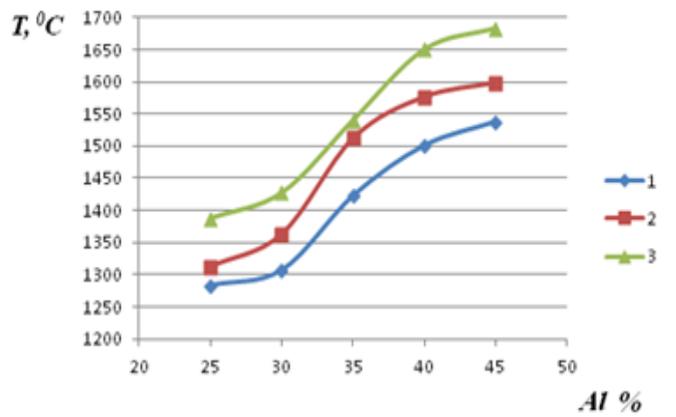


Рис. 4. Зависимость температуры горения в системе  $ZrSiO_4-B_2O_3-Al-C$  от содержания алюминия (1 МПа).

вации обусловлено «накачкой» в реагирующие вещества дополнительной (избыточной) энергии, которая накапливается в образующихся структурных дефектах шихты, что повышает температуру СВС [10, 15].

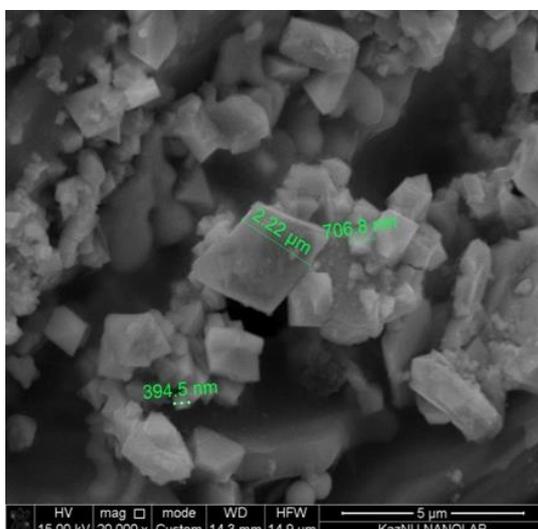
Из таблицы 2 видно, что использование предварительной МА приводит к увеличению в продуктах СВС высокотемпературных соединений как борид, карбид циркония. Незначительное количество оксида кремния, образующееся при разложении циркона, на наш

взгляд, не может повлиять на качество синтезируемого композита.

Электронно-микроскопические снимки получены для системы  $ZrSiO_4+Al+B_2O_3+C$ , на рис. 5 представлен анализ фрагментов продуктов СВС данной системы. Наблюдаются кристаллы правильной кубической и ромбической структур, имеющие субмикронные размеры в матрице корунда (оксид алюминия), что подтверждается элементным анализом.

Таблица 2. Продукты СВС системы  $ZrSiO_4-B_2O_3-Al$  (1 МПа)

ZrSiO <sub>4</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -nAl	Время МА, мин	Продукты СВС, %				
		ZrB <sub>2</sub>	ZrC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
15%	5	15,9	0,8	70,0	1,5	11,8
25%	10	19,4	1,0	72,5	1,1	6,0
30%	5	18,9	2,2	69,9	3,9	4,1
35%	10	21,4	3,6	67,6	6,7	0,7



Element	Wt%	At%
BK	21.72	47.62
CK	2.41	4.75
OK	14.30	21.18
NaK	0.81	0.83
MgK	0.66	0.65
AlK	14.15	12.43
ZrL	44.13	11.47
CaK	1.82	1.08
Matrix	Correction	ZAF

Рис. 5. Микроструктура и элементный анализ (SEM) продуктов СВС системы  $ZrSiO_4 + Al + B_2O_3 + C$ .

#### 4. Заключение

Установлены закономерности и особенности алюмотермического горения борсодержащих соединений в системах  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al}$ ,  $\text{ZrSiO}_4\text{-B}_2\text{O}_3\text{-Al-C}$ . Определена зависимость макрокинетических параметров СВ-синтеза от состава исходных реагентов, среды проведения СВ-синтеза, предварительной механической активации. На основании полученных результатов показана перспективность использования доступной боратовой руды Индерского месторождения РК для синтеза огнеупорных композиционных материалов. Показано влияние предварительной механической активации шихты на фазовый состав и микроструктуру полученных композитов. Установлено образование субмикронных кристаллов боридов хрома, циркония в матрице оксида алюминия.

#### Литература

- [1]. Дияров М.Д., Каличева Д.А., Мещеряков С.В. Природные богатства Индера и их использование. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 102 с.
- [2]. Фридман С.Э., Щербakov О.К., Еремин Н.Я. Основы обогащения руд и углей и окускования концентратов. – М.: Недра, 1991. – С.139-166.
- [3]. Маляров И.П., Сизиков А.В., Биисhev Л.З. Разработка техногенных месторождений: Монография. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2002. – 145 с.
- [4]. Позин М.Е. Технология минеральных солей. – М.: Недра, 1973. – 396 с.
- [5]. Самсонов Г.В., Серебрякова Г.Н., Неронов В.А. Бориды. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.
- [6]. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов: Введение в структурную макрокинетику. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 400 с.
- [7]. Rogachev A S., Mukasyan A.S. Combustion for material synthesis. CRC Press, CISP, 2015. – 398 p.
- [8]. Abdulkarimova R.G., Kamunur K., Baiseitov D.A., Fomenko S.M., Mansurov Z.A. The production of composition materials using boron containing mineral raw material // 18th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2014), 31August-5 September 2014. – Honolulu, Hawaii, USA, 2014. – P.126.
- [9]. Abdulkarimova D.S., Mansurov Z.A., Odawara O., Rogachev A.S. Self-propagating high-temperature synthesis of  $\text{TiB}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{CrB}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ceramic-matrix composites // The 4th KKKU International Engineering Conference

2012. – Thailand, 2012. – P.88.

- [10]. Seidualiyeva A., Kamunur K., Abdulkarimova R., Yücel O., Batkal A. Synthesis of Composite Materials Based on  $\text{TiB}_2\text{-TiC-Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{CrB}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  in the Combustion Conditions // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2021. – Vol.23, №2. – P.111-118.
- [11]. Umut Demircan, Bora Derin, Onuralp Yucel, Effect of HCl concentration on  $\text{TiB}_2$  separation from a self-propagating high-temperature synthesis (SHS) product. // Materials Research Bulletin. – 2007. – Vol.42. – P.312-318.
- [12]. Левашов Е.А., Рогачев А.С., Курбаткина В.В., Максимом Ю.М., Юхвид И.И. Перспективные материалы и технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. – М.: МИССИС, 2011. – 377 с.
- [13]. Сычев А.Е., Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез наноматериалов // Успехи химии. – 2004. – Т.73, №2. – С.157-170.
- [14]. Merzhanov A.G., Borovinskaya I.P. Historical Retrospective of SHS: An Autoreview // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 2008. – Vol.17. – P.242-265.
- [15]. Корчагин М.А., Григорьева Т.Ф., Бохонов Б.Б., Шарафутдинов А.П., Баринова Б.Б., Ляхов Н.З. Твердофазный режим горения в механически активированных СВС-системах. Влияние продолжительности механической активации на характеристики процесса и состав продуктов горения // Физика горения и взрыва. – 2003. – Т.39, №1. – С.51-68.
- [16]. Кочетов А., Сеплярский Б.С. «Сжигание смесей Ti-Al: влияние предварительного нагрева, механической активации и режима горения» // Международный журнал самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. – 2020. – Т.29, №1. – С.26-30.

#### References

- [1]. Diyarov MD, Kalicheva DA, Meshcheryakov SV (1981) Natural resources of Inder and their use [Prirodnye bogatstva Indera i ih ispol'zovanie] Science, Alma-Ata, Kazakhstan. (in Russian)
- [2]. Fridman SE, Shcherbakov OK, Eremin NYa (1991) Fundamentals of enrichment of ores and coals and agglomeration of concentrates [Osnovy obogashcheniya rud i uglej i okuskovaniya koncentratov]. Nedra, Moscow, Russia. (in Russian)
- [3]. Malyarov IP, Sizikov AV, Biishev LZ (2002) Development of technogenic deposits: Monograph [Razrabotka tekhnogennykh

- mestorozhdenij: Monografiya]. MSTU G.I. Nosova, Magnitogorsk, Russia. (in Russian)
- [4]. Pozin ME (1973) Technology of mineral salts [Tekhnologiya mineral'nyh solej]. Nedra, Moscow, Russia. (in Russian)
- [5]. Samsonov GV, Serebryakova GN, Neronov VA (1975) Borides [Boridy]. Atomizdat, Moscow, Russia. (in Russian)
- [6]. Rogachev AS, Mukasyan AS (2012) Combustion for Material Synthesis: An Introduction to Structural Macrokinetics [Gorenie dlya sinteza materialov: Vvedenie v strukturnuyu makrokinetiku]. FIZMATLIT, Moscow, Russia. (in Russian)
- [7]. Rogachev AS, Mukasyan AS (2015) Combustion for material synthesis. CRC Press, CISP.
- [8]. Abdulkarimova RG, Kamunur K, Baiseitov DA, Fomenko SM, Mansurov ZA (2014) The production of composition materials using boron containing mineral raw material. 18th International Symposium on Boron, Borides and Related Materials (ISBB2014). Honolulu, Hawaii, USA.
- [9]. Abdulkarimova DS, Mansurov ZA, Odawara O, Rogachev AS (2012) Self-propagating high-temperature synthesis of  $TiB_2/Al_2O_3$  and  $CrB_2/Al_2O_3$  ceramic-matrix composites. The 4th KKU International Engineering Conference. Thailand.
- [10]. Seidualiyeva A, Kamunur K, Abdulkarimova R, Yücel O, Batkal A (2021) Eurasian Chemico-Technological Journal 23(2):111-118.
- [11]. Demircan U, Derin B, Yucel O (2007) Materials Research Bulletin. 42:312-318.
- [12]. Levashov EA, Rogachev AS, Kurbatkina VV, Maksim YuM, Yukhvid II (2011) Promising materials and technologies for self-propagating high-temperature synthesis. MISSIS, Moscow, Russia. (in Russian)
- [13]. Sychev AE, Merzhanov AG (2014) Advances in Chemistry. 73(2):157-170.
- [14]. Merzhanov AG, Borovinskaya IP (2008) International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 17:242-265.
- [15]. Korchagin MA, Grigoryeva TF, Bokhonov BB, Sharafutdinov AP, Barinova BB, Lyakhov NZ (2003) Physics of Combustion and Explosion. 39(1):51-68.
- [16]. Kochetov A, Seplyarsky BS (2020) International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. 29(1):26-30.

## Synthesis of composite materials using borate ore RK in the SHS mode

R.G. Abdulkarimova, A.Zh. Seidualiyeva

Al-Farabi Kazakh National University, 71, Al-Farabi ave., Almaty, Kazakhstan

### Abstract

The article presents experimental results on the production of composites based on the  $Cr_2O_3-B_2O_3-Al$  and  $ZrSiO_4-Al-B_2O_3-C$  systems using borate ore from the Inder deposit of the Republic of Kazakhstan with a wide variation in the concentration ratios of components in the initial mixtures by self-propagating high-temperature synthesis (SHS), which is a type of combustion. It is shown that the products of exothermic interaction in the combustion process are high-temperature compounds of chromium borides, zirconium, zirconium carbide. Aluminum oxide, which also has a high melting point, forms a dispersed phase and a ceramic bond in a ceramic composite. The influence of the composition of the initial charge, preliminary mechanical activation before the SHS-synthesis on the formation of the microstructure, and the composition of the obtained composite materials are established. The possibility of using borates from the Inder deposit of the Republic of Kazakhstan as a boron-containing component in the preparation of composite materials by the SHS method is shown.

*Keywords:* self-propagating high-temperature synthesis, borate ore, mechanical activation, chromium borides, zirconium boride and carbide.

### ӨЖС режимінде ҚР Борат кенін пайдалана отырып композициялық материалдардың синтезі

Р.Г. Абдулкаримова, А.Ж. Сейдуалиева

Қазақ ұлттық университеті. Әл-Фараби, Әл-Фараби даңғылы, 71, Алматы, Қазақстан

### Аңдатпа

Мақалада Қазақстан Республикасының Индер кен орнының бораттары пайдалана отырып,  $Cr_2O_3-B_2O_3-Al$  және  $ZrSiO_4-Al-B_2O_3-C$  жүйелер негізінде жанудың бір түрі болып табылатын өздігінен таралатын жоғары температуралық синтез әдісімен композиттерді алу бойынша тәжірибелік нәтижелер берілген.

Экзотермиялық әрекеттесу нәтижесінде жану өнімдері ретінде композиттерде хром боридтері, цирконий боридтері және цирконий карбиді жоғары температуралық қосылыстары түзілетіні көрсетілген. Сонымен қатар балқу температурасы жоғары алюминий оксиді композитте дисперсті фаза мен керамикалық байланыстырғыш ретінде түзіледі. Бастапқы шихта құрамының, ӨЖС алдында механикалық белсендірудің микроқұрылымның қалыпта-

суына, алынған композициялық материалдардың құрамына әсері анықталды. ӨЖС әдісімен композициялық материалдарды алу үшін ҚР Индер кен орнының бораттарын құрамында боры бар компонент ретінде пайдалану мүмкіндігі көрсетілген.

*Кілт сөздер:* өздігінен таралатын жоғары температуралы синтез, борат кені, механикалық белсендіру, хром боридтері, борид және цирконий карбиді.