

УДК 536.46

**ГАЙДАР СЕРГЕЙ МИХАЙЛОВИЧ**, доктор техн. наук<sup>1</sup>

E-mail: avtokon56@yandex.ru

**ВОЛКОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**, аспирант<sup>1</sup>

E-mail: rf-33@yandex.ru

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

В работе применили метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), основная задача которого – создание интенсивного автоматизированного производства тугоплавких соединений с непрерывным технологическим циклом в энерготехнологическом комплексе с утилизацией большого количества тепла, выделяемого при СВС. Приведены результаты экспериментальных исследований по регулированию фракционного состава тугоплавких соединений путем прокатки в валках прокатного стана с регулированием величины зазора между валками и рассогласования окружных скоростей валков. Обеспечено получение мелкой, средней и крупной фракций в пределах 50...80 процентов. При этом время измельчения продуктов синтеза сократилось на порядок по сравнению с шаровой мельницей. Установлено, что наиболее эффективно метод измельчения СВС-продуктов прокаткой может быть использован совместно с теплогенерирующим реактором для создания интенсивного технологического процесса синтеза тугоплавких соединений.

**Ключевые слова:** самораспространяющийся высокотемпературный синтез, фракционный состав тугоплавких соединений, теплогенерирующий реактор, шаровая мельница.

**Введение.** В связи с тем, что тугоплавкие соединения, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), наиболее широко применяются в виде порошковых материалов, вопросам измельчения продуктов синтеза (ПС) уделяют особое внимание.

При проведении исследований по оценке влияния на структуру измельчаемого порошка, проводившегося путем сравнения результатов измельчения в шаровой мельнице без прокатки и после предварительной прокатки, была показана принципиальная возможность введения операции прокатки ПС в технологический процесс изготовления порошковых тугоплавких соединений. Тем не менее остался нерешенным вопрос получения требуемого фракционного состава тугоплавких ПС. Поэтому были проведены исследования, направленные на оптимизацию режимов измельчения порошков за счет варьирования следующих параметров:

- величины зазора между валками (без рассогласования окружных скоростей валков);
- степени рассогласования окружной скорости валков (при одинаковом зазоре между валками) [1].

Особенное значение этот вопрос приобрел после разработки теплогенерирующих реакторов (ТГР),

где процесс охлаждения ПС сократился до  $10^3$  раз и составляет 5-10 сек., в то время как длительность процесса измельчения ПС в шаровой мельнице не изменилась и может составлять десятки минут. Это делает недостижимым решение основной проблемы СВС (создание автоматизированного производства с непрерывным технологическим циклом) [2].

**Цель исследований** – сравнение результатов предварительной прокатки продуктов синтеза, оценки эффективности данной технологической операции и выявление оптимального режима измельчения порошков.

**Материалы и методы.** Оценку влияния величины зазора осуществляли прокаткой продуктов синтеза в валках диаметром 150 мм, вращающихся со скоростью 12 об/мин., с использованием сложного карбида титана  $TiC+Cr_3C_2$ . Оценку влияния степени пробуксовывания валков определяли с использованием диборида титана.

**Результаты исследований.** Оценка влияния величины зазора приведена в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, при изменении величины зазора между валками (в пределах опытов 2...5 может быть обеспечено регулирование фракционного состава сложного карбида титана, в том

Таблица 1

**Фракционный состав TiC+Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> при изменении величины зазора между валками**

№ опыта	Зазор между валками, мм	Исходный размер частиц, мм	Выход фракций, %			Примечание
			> 100 мкм	40...100 мкм	< 40 мкм	
1	0,4	0,4...0,6	-	-	-	Спрессовывание в пластины
2	0,6	0,4...0,6	20	30	50	
3	0,8	1...1,15	15	60	25	
4	1,2	1...1,15	35	50	15	
5	2,0	1...1,15	80	15	5	
6	2,5	1...1,15	95	5	0	Просыпание частиц между валками
7	1,2	1...1,15	10	55	35	Двукратное измельчение в валках

числе для наиболее широко используемых фракций: средней (40...100 мкм) – в пределах 15...60%; мелкой (менее 40 мкм) – в пределах 5...50%. При необходимости получения крупной фракции (более 100 мкм) осуществлено регулирование ее состава в пределах 10...80%. Следует отметить также, что при двукратном пропускании измельчаемого продукта через валки прокатного стана количество средней и мелкой фракций увеличилось в 1,2 и 2 раза (опыты 7, 4). Оценка влияния степени пробуксовывания валков приведена в таблице 2.

Для оценки влияния пробуксовывания валков на фракционный состав диборида титана измельчали 2 кг состава. При этом был выбран зазор между валками, равный 2 мм (предельный перед просыпани-

ем частиц между валками (пример 5) (табл. 2) при исходном размере частиц 2...3 мм.

Как следует из таблицы 2, время измельчения 2 кг диборида титана до размера 44 мкм путем прокатки составило 0,2 ч, а в шаровой мельнице – 2,8 ч. Учитывая, что измельчение прокаткой является непрерывным процессом (засыпка в бункер – в процессе измельчения), за это время можно измельчить 28 кг диборида титана, т.е., в 14 раз больше. Результаты испытаний показали также, что рассогласование окружных скоростей валков в пределах 5...20% обеспечивает уменьшение среднего размера частиц до 2-х раз.

Особенно следует отметить, что разработанный метод является непрерывной технологической

Таблица 2

**Фракционный состав диборида титана при пробуксовывании валков**

№ опыта	Зазор между валками, мм	Исходный размер частиц, мм	Степень пробуксовывания валков	Время измельчения, ч	Средний размер частиц порошка, мкм
1	0	2...3	Шаровая мельница	2,8	44,0
2	2,0	2...3	1,000	0,2	44,0
3	2,0	2...3	1,050	0,2	27,0
4	2,0	2...3	1,100	0,2	24,0
5	2,0	2...3	1,150	0,2	22,0
6	2,0	2...3	1,200	0,2	21,8
7	2,0	2...3	1,008	0,2	41,0
8	2,0	2...3	1,013	0,2	35,0

операцией, так как измельчение ПС осуществляется по мере загрузки бункера. Поэтому наиболее эффективно он может быть использован совместно с теплогенерирующим реактором для решения основной задачи СВС, являющейся проблемной в течение десятков лет (создание интенсивного автоматизированного производства тугоплавких соединений с непрерывным технологическим циклом в энерготехнологическом комплексе с утилизацией большого количества тепла, выделяемого при СВС) [3–6].

### Выводы

1. Результаты исследований показали возможность регулирования фракционного состава СВС-продуктов путем прокатки в валках прокатного стана с варьированием величины зазора между валками и рассогласования окружных скоростей валков (без применения операции доизмельчения в шаровой мельнице).
2. Применение прокатного стана для измельчения ПС сокращает время измельчения на порядок по сравнению с шаровой мельницей.
3. Наиболее эффективно метод измельчения СВС-продуктов прокаткой может быть использован совместно с теплогенерирующим реактором для создания интенсивного технологического процесса синтеза тугоплавких соединений.

### Библиографический список

1. Способ получения порошковых продуктов: Патент RU № 2163180 / В.Д. Жигарев, А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская, В.В. Загоржевский, Е.Б. Ложечников. Оpubл. 20.02.2001.
2. Zhigarev V.D., Ovchinnikov V.A. SHS as Source of Heat. P-1-201. VI International Symposium on Self – Propagating High-Temperature Synthesis (SHS-2001). BOOK OF ABSTRAKTS. Technion, Haifa, Izrael. February, 17-21, 2002.
3. Мержанов А.Г. Проблемы технологического горения // В сб.: Процессы горения в химической технологии и металлургии / Под ред. А.Г. Мержанова, Черноголовка, 1975.
4. Мержанов А.Г. Передовая СВС-керамика: сегодня и завтра // В кн.: Процессы горения и синтез / Под ред. В.Т. Телепы, А.В. Хачояна. Черноголовка: Издательство ИСМАН, 1998. С. 3–41.
5. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких материалов: теория и приложения // В кн.: Процессы горения и синтез / Под ред. В.Т. Телепы, А.В. Хачояна. Черноголовка: Издательство ИСМАН, 1998. С. 408–451.
6. Мержанов А.Г. Десять направлений в будущем СВС // В кн.: Процессы горения и синтез материалов / Под ред. В.Т. Телепы, А.В. Хачояна. Черноголовка: Издательство ИСМАН, 1998. С. 338–374.

Статья поступила 3.06.2016

## OPTIMIZATION OF GRINDING MODES OF REFRACTORY MATERIALS OBTAINED BY SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

**SERGEY M. GAIDAR, DSc (Eng)<sup>1</sup>**

E-mail: avtokon56@yandex.ru

**ALEKSEY A. VOLKOV, postgraduate student<sup>1</sup>**

E-mail: rf-33@yandex.ru

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The paper outlines the method of self-propagating high-temperature synthesis (SHS) aimed primarily at ensuring intensive automated production of refractory compounds with a continuous production cycle in energy technology facilities with utilization of a large amount of SHS-generated heat. The paper describes the results of experimental researches in the field of regulating the fractional content of refractory compounds by using rolling in the fabrication mill bowls and regulating the fit between the bowls and the derivation of circumferential speeds of the bowls. It has been made possible to acquire small, medium and coarse fractions within the scope of 50...80 percent, while the grinding time of synthesis products decreased by ten times in comparison with a ball mill. The most efficient way of reducing self-propagating high-temperature synthesis (SPHTS) products by means of rolling can be used together with a heat-generating reactor for solving the main task of self-propagating high-temperature synthesis which has been a problem for decades. It has been found that the most efficient application of the method of grinding SPHTS-products with rolling can be used in conjunction with a heat generating reactor to start an intense synthesis process of refractory compounds.

**Key words:** self-propagating high-temperature synthesis (SHS), fractional content of refractory powder synthesis products, heat-generating reactor, steam mill

### References

1. Patent RU № 2163180. Sposob polucheniya poroshkovykh produktov [A method (SVSA process) for obtaining powdered products], V.D. Zhigarev, A.G. Merzhanov, I.P. Borovinskaya, V.V. Zakorzhevsky, E.B. Lozhechnik. Published on 20.02.2001.

2. Zhigarev V.D., Ovchinnikov V.A. SHS as Source of Heat. P-1-201. VI International symposium on self-propagating high-temperature synthesis (SHS-2001). BOOK OF ABSTRACTS. Technion, Haifa, Izrael. February, 17-21, 2002.

3. Merzhanov A.G. Problemy tekhnologicheskogo goreniya [Problems of technological burning process] // In: Combustion Processes in Chemical Technology and Metallurgy. Ed. by A.G. Merzhanov. Chernogolovka, 1975.

4. Merzhanov A.G. Peredovaya SVS-keramika: segodnya i zavtra [SHS Advanced Ceramics: today and tomorrow] // In: Combustion and Synthesis. Ed. by V.T. Telepa, A.V. Khachoyaa. Chernogolovka: Publishing house ISMAN, 1998. Pp. 3–41.

5. Merzhanov A.G. Samorasprostranyayushchiysya vysokotemperaturnyy sintez tugoplavkikh materialov: teoriya i prilozheniya [SHS refractory materials: Theory and Applications] // In: Combustion and Synthesis. Ed. by V.T. Telepa, A.V. Khachoyan. Chernogolovka: Publishing house ISMAN, 1998. Pp. 408–451.

6. Merzhanov A.G. Desyat' napravleniy v budushchem [Ten trends in the future of SHS] // In: Combustion and Synthesis of Materials. Ed. by V.T. Telepa, A.V. Khachoyan. Chernogolovka: Publishing house ISMAN, 1998. Pp. 338–374.

Received on June 3, 2016

## ТРЕБОВАНИЯ К ПУБЛИКАЦИЯМ

Статья, направляемая в журнал для публикации, должна соответствовать основной тематике журнала. Необходимо приложить рецензию на статью. Объем статьи не должен превышать 10 стр.

### Структура статьи

**Название статьи** без сокращений, но максимально точно отражать проблему.

**Сведения об авторах.** Полностью указываются: фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание, название организации – место работы (учебы) в именительном падеже, юридический адрес организации (индекс, страна, город, улица, дом), телефон, e-mail.

**Реферат** (200-250 слов) – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы. Нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

**Ключевые слова** (7–10 слов или словосочетаний)

**Статья** должна быть структурирована, обязательно содержать следующие разделы: Введение, (актуальность); Цель исследований; Материалы и методы; Результаты и обсуждение; Выводы.

**Библиографический список** должен быть составлен в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Количество источников не менее 10.

**На английский язык следует перевести:** название статьи; полное название научного учреждения; реферат и ключевые слова; названия литературных источников. **Машинный перевод недопустим!**

### Требования к оформлению статьи

1. Word 97/2003. Шрифт Times New Roman, размер – 14 пт, интервал – 1,5. Страницы должны иметь нумерацию.
2. Рисунки к статье представляются отдельными файлами в формате tiff, jpg, bmp, dwg. На рисунках должны быть только те обозначения, которые упоминаются в статье.
3. Простые внутрискрипные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул Microsoft Word, без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул.

*Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.*

*Отрицательная рецензия, а также несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.*

Статьи присылать по адресу: vestnik@rgau-msha.ru