

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ТЕРМИТА MoO_3/Al С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТИЦ ОКСИДА МОЛИБДЕНА, ДЕЗИНТЕГРИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

В.В. Гордеев, Н.В. Козырев, М.В. Казутин

Представлены результаты исследования влияния времени ультразвуковой обработки частиц MoO_3 на скорость горения термита MoO_3/Al . Показано, что форма и размер частиц MoO_3 значительно меняются за первые 4 часа ультразвуковой обработки. Дальнейшее увеличение времени не приводит к изменению этих характеристик. Скорость горения термита после 8-ми часовой обработки увеличивается и приближается к уровню нанотермита MoO_3/Al .

Ключевые слова: нанотермиты, ультразвуковое воздействие, скорость горения, оксид молибдена (VI).

ВВЕДЕНИЕ

Ряд термитных смесей на основе наноразмерных компонентов (нанотермитов), обладающих низкими критическими значениями энергии инициирования и способностью к взрывчатому превращению в микроколичествах и узких каналах [1–3], рассматривается в качестве перспективной малотоксичной основы воспламеняемых, зажигательных, ударных и т.п. составов для средств инициирования (капсюлей и детонаторов). Такие смеси могут заменить используемые в настоящее время составы на основе солей свинца (азида, тринитрорезорцината и роданида) [3–7]. Вместе с тем, уникальные энергомассовые возможности нанотермитных составов нивелируются их чрезвычайно высокой чувствительностью к трению и статическому разряду [1–2], а также высокой, по сравнению с микроразмерными порошками, стоимостью компонентов. Цена является едва ли не определяющим фактором, сдерживающим широкое использование нанотермитных систем: на настоящий момент показано, что другие недостатки могут быть устранены как рецептурно, так и технологически [3–7].

Одной, и наиболее широко используемой, технологией усреднения нанопорошков при изготовлении нанотермитов, является ультразвуковое смешение в среде отгоняемой жидкости [1–2]. С другой стороны, известно, что ультразвуковым воздействием можно измельчать и диспергировать микроразмерные порошки, в том числе и до субмикронных размеров [8]. Таким образом, можно ожидать повышения эффективности термитных смесей на основе микроразмерных порошков при использовании продолжительного ультразвукового воздействия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Возможность измельчения микроразмерного порошка триоксида молибдена MoO_3 (квалификации «ХЧ», ТУ 6-09-4471-77) в водной среде оценена при использовании ультразвукового прибора «УЗТА-0,4/22-ОМ» [9]. Излучатель прибора помещался в стальной стакан с охлаждающей рубашкой, содержащий 90 мл суспензии MoO_3 с содержанием твердой фазы 3 г. Суспензию подвергали ультразвуковому воздействию в течение 2, 4 и 8 часов. После этого взвесь отстаивали и декантировали верхний слой воды; полученный осадок высушивали при температуре $\sim 100^\circ\text{C}$ под вакуумом.

Электронно-микроскопические фотографии полученных порошков MoO_3 в сравнении с наноразмерным порошком MoO_3 («Плазмотерм» [10], удельная поверхность $10,9\text{ м}^2/\text{г}$, средний размер частиц 65–130 нм), представлены на рисунке 1 (снимки получены на сканирующем электронном микроскопе JSM-840).

Как видно на рисунке 1а, микроразмерный порошок оксида молибдена представляет собой полидисперсную систему, в которой присутствуют отдельные частицы размерами от 1 до 50 мкм и их агломераты размерами до 200 мкм. Ультразвуковое воздействие в течение 2-х часов (рисунок 1б) практически полностью разрушает агломераты – порошок представлен отдельными частицами размерами не более 40 мкм. Отметим, что в системе присутствует незначительно количество нанообразований на поверхности микронных частиц, представляющих собой, вероятно, остатки «мостиков», сшивавших агломераты. 4-х часовое воздействие (рисунок 1в) приво-

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ТЕРМИТА MoO_3/Al С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТИЦ ОКСИДА МОЛИБДЕНА, ДЕЗИНТЕГРИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

дит к выравниванию дисперсного состава: крупные фракции измельчаются, тогда как мелкие не претерпевают изменений, средний

размер частиц не превышает 20 мкм. 8-ми часовое воздействие (рисунок 1г) практически не увеличивает степень измельчения.

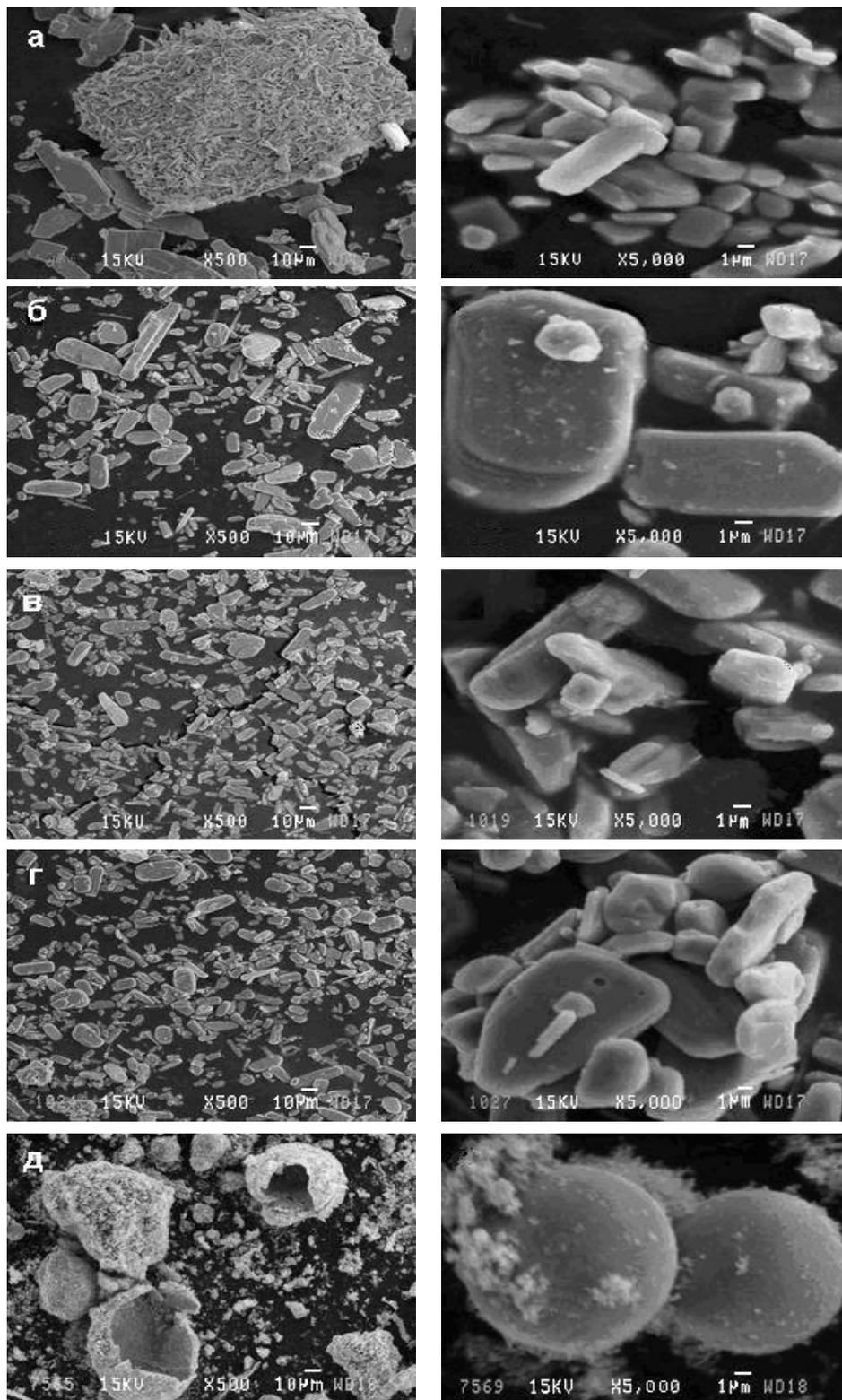


Рисунок 1 – Фотографии частиц оксида молибдена: а – исходный микроразмерный MoO_3 (ТУ 6-09-4471-77); б – после 2-х часов воздействия ультразвуком; в – после 4-х часов воздействия ультразвуком; г – после 8 часов воздействия ультразвуком; д – наноразмерный MoO_3

В процессе ультразвукового воздействия на суспензию изменяется морфология частиц: они приобретают окатанную форму, в наибольшей степени заметную после 8-ми часов воздействия, поверхность полируется и становится гладкой. «Полировка», вероятно, связана с частичной растворимостью оксида молибдена в воде, составляющей 0,4–2 г/л [11].

Наноразмерный порошок MoO_3 (рисунок 1д) представлен отдельными наночастицами и их агломератами, которые зачастую имеют вид раскрытых пустотелых сфер размерами до 50 мкм. Присутствует и значительное число округлых моночастиц размерами до 10 мкм.

С использованием полученных порошков MoO_3 и наноразмерного алюминия марки «Аlex» производства компании «Передовые порошковые технологии» [12] изготовлены термитные смеси в соотношении MoO_3/Al 65/35 % масс. Скорость горения смесей исследована в зарядах диаметром 2,4 и длиной 50 мм, снаряженных в тонкостенную полипропиленовую трубку (толщина стенки ~0,3 мм). Плотность зарядов составляла 1,07–1,08 г/см³, что соответствует 32 % теоретической плотности смеси. Заряды инициировались тепловым способом от малогазового пиротехнического состава. Измерения скорости горения проводились ионизационным способом на двух базах длиной по 15 мм, расстояние от плоскости инициирования до первого датчика – 5 мм.

Таблица 1 – Скорость горения термита MoO_3/Al (65/35 %)

Тип использованного порошка MoO_3	Скорость горения термита, м/с
Исходный «ХЧ» по ТУ 6-09-4471-77	180–300
То же, после 2-х часов ультразвукового воздействия	100–400
То же, после 4-х часов ультразвукового воздействия	200–500
То же, после 8-и часов ультразвукового воздействия	300–800
Наноразмерный MoO_3 («Плазмотерм»)	300–500

Как видно из приведенных данных (таблица 1), результаты измерения скорости горения характеризуются значительным разбросом. Полученные экспериментальные данные показывают, что в условиях эксперимента (тонкостенная трубка малого диаметра

при низкой плотности заряда) для термитных смесей характерна нестабильность скорости линейного распространения фронта горения.

В целом скорости горения термитов с использованием измельченных ультразвуком порошков оксида молибдена возрастают при увеличении времени ультразвуковой обработки. Термитная смесь на оксиде 8-ми часового измельчения имеет схожий диапазон скоростей с термитной смесью на основе наноразмерного оксида, хотя в некоторых экспериментах у 8-ми часового термита скорость горения была значительно выше.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована возможность ультразвукового измельчения порошка триоксида молибдена MoO_3 в водной среде. Показано, что при 2-х часовом ультразвуковом воздействии на суспензию, включающую отдельные частицы размерами 1–50 мкм и их агломераты размерами до 200 мкм, достигается полная дезагломерация и частичное измельчение до отдельных моночастиц размерами 1–40 мкм. Увеличение времени воздействия до 4-х часов снижает верхний максимальный размер до 20 мкм, однако мелкие частицы не измельчаются. 8-ми часовое воздействие не приводит к дальнейшему снижению размеров частиц. В процессе происходит изменение морфологии частиц – «окатка и полировка», наиболее выраженные после 8-ми часового воздействия.

С использованием полученных порошков MoO_3 и наноразмерного алюминия изготовлены термитные смеси и определена скорость их горения в малоуплотненных зарядах. Скорость горения термитной смеси, полученной после 8-ми часовой ультразвуковой обработки, приближается, а в отдельных экспериментах превышает скорость горения термита, изготовленного с использованием нанопорошка MoO_3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sanders, V. E. Reaction Propagation of Four Nanoscale Energetic Composites (Al/MoO_3 , Al/WO_3 , Al/CuO , and Bi_2O_3) / V. E. Sanders, B. W. Asay, T. J. Foley et al. // Journal of Propulsion and Power. – 2007. – Vol. 23, № 4. – P. 707–714.
2. Piercey, D. G. Nanoscale Aluminum – Metal Oxide (Thermite) Reactions for Application in Energetic Materials / D. G. Piercey, T. M. Klapotke // Central European Journal of Energetic Materials. – 2010. – Vol. 7, № 2. – P. 115–129.
3. Patent US 8257523 Sep. 4, 2012. Aluminum Based Nanothermites and Processes of Making the Same / Puszyński J. A., Swiatkiewicz, J. J.

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ ТЕРМИТА MoO_3/Al С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТИЦ ОКСИДА МОЛИБДЕНА, ДЕЗИНТЕГРИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

4. Environmentally Acceptable Medium Caliber. Technical Report ARMET-TR-08001 / Author Michael E. Ellis. – New Jersey: Munitions Engineering Technology Center Picatinny Arsenal, 2008 – 53 p.

5. Patent US 8092623 Jan. 10, 2012. Igniter composition, and related methods and devices / Cramer R. J., Bichay M.

6. Patent US 7670446 Mar. 2, 2010. Wet processing and loading of percussion primers based on metastable nanoenergetic composites / Puszynski J. A., Bichay M. M., Swiatkiewicz J. J.

7. Patent US 8460486 Jun. 11, 2013 Percussion primer composition and system incorporating same / Johnston H. E., Warner K. F., Blau R. J., Lusk S. K.

8. Хмелев, В. Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В. Н. Хмелев, Г. В. Леонов, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов. – Бийск : изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 400 с.

9. Страницы каталога на сайте компании «U-sonic» [Электронный ресурс]. URL: http://u-sonic.ru/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protsestov_v_zhidkikh_sredakh/volna_v1/ (Дата обращения 01.09.2016).

10. Сайт компании «Плазмотерм» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plasmotherm.ru> (Дата обращения 01.09.2016).

11. Химическая энциклопедия: В 5 т.: Меди – Полимерные / редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.) и др. – М. : Большая Российская энцикл., 1992. – Т. 3. – 639 с.

12. Сайт компании «Передовые порошковые технологии» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nanosized-powders.com> (Дата обращения 01.09.2016).

Гордеев Владимир Вячеславович, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории № 4, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), тел.: (3854) 30-18-66. e-mail: gordeev.vladimir92@yandex.ru.

Козырев Николай Владимирович, доктор технических наук, заведующий лабораторией № 4, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: kozyrev@ipcet.ru, тел.: (3854) 30-58-05.

Казутин Максим Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории № 4, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), e-mail: iphet@rambler.ru, тел.: (3854) 30-14-33.