

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ВВ И АЛЮМИНИЗИРОВАННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

*Толоконникова Надежда Сергеевна (postmaster@ifv.vniief.ru), Батьянов Сергей Михайлович, Бурнашов Виталий Александрович, Карлина Евгения Вячеславовна, Луковкин Олег Михайлович, Мильченко Дмитрий Владимирович, Понькин Николай Александрович, Руднев Алексей Вадимович, Шейков Юрий Валентинович.*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

В работе предложен новый способ приготовления композитов высокодисперсных ВВ с порошками наноалюминия. Подобные композиты имеют достаточно высокую чувствительность к лазерному излучению и в основном используются для разработки безопасных средств инициирования.

Авторами решалась задача дальнейшего улучшения равномерности распределения частиц Al в композите, за счет их включения непосредственно в структуру частиц взрывчатого материала.

**Ключевые слова:** высокодисперсное ВВ, алюминизированный композит, ультразвук.

## PRODUCTION OF HIGHLY DISPERSED EXPLOSIVES AND ALUMINIZED COMPOSITES BASED ON THEM USING ULTRASOUND

*Tolokonnikova Nadezhda Sergeevna (postmaster@ifv.vniief.ru), Batianov Sergey Michailovich, Burnashov Vitaliy Aleksandrovich, Karlina Evgenia Vyacheslavovna, Lukovkin Oleg Michailovich, Milchenko Dmitriy Vladimirovich, Ponkin Nikolay Aleksandrovich, Rudnev Aleksey Vadimovich, Sheikov Uriy Valentinovich*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The paper proposes a new method for preparing composites of highly dispersed explosives with nanoaluminum powders. It is known that such composites have a sufficiently high sensitivity to laser exposure and are mainly used to develop safe means of initiation.

The authors solved the problem of improving uniformity of distribution of Al particles in the composition, due to their inclusion into structure of the particles of explosive material.

**Keywords:** highly dispersed explosive, aluminized composite, ultrasound.

### Введение

Высокоэнергетические материалы с добавками ультрадисперсного алюминия (далее по тексту – алюминизированные композиты) представляют научный и практический интерес ввиду возможности регулирования энергосвободы при различных стадиях развития взрывного превращения за счет варьирования дисперсности металлического горючего. В частности, такие материалы с успехом используются при создании средств инициирования с задействованием от лазерного импульса [1, 2]. Также имеется информация и о возможности регулирования метательной способности ВВ [3, 4].

В простейшем случае алюминизированные композиты могут быть получены простым механическим смешением компонентов; однако при этом, как правило, не удается достичь хорошей равномерности смешения. Авторами ранее было показано [1], что более равномерное смешение достигается, если смешение компонентов в виде суспензии проводить одновременно при воздействии ультразвука.

Для предотвращения агломерации частиц ультрадисперсного алюминия, использовали покрытие его частиц оболочкой из фторсодержащего соединения. После этого частицы были сорбированы на пористом высокоэнергетическом материале [5].

Известны работы, в которых алюминизированный композит получали непосредственно из раствора взрывчатого вещества, содержащего суспендированный ультрадисперсный алюминий, путем контролируемой сушки. Использовали либо метод распылительной сушки [3], либо высушивали непосредственно под действием ультразвука [6].

В том случае, если высокоэнергетический материал получают методом конденсации из раствора (золь-гель методика [7]), частицы алюминия могут быть введены непосредственно в золь в ходе его приготовления. Поскольку осаждаемый материал имеет полимерную структуру, есть вероятность, что алюминий полностью или частично будет включен непосредственно в структуру материала, а не просто адсорбирован на поверхности основного компонента.

В настоящей работе нами исследован ещё один, ранее не реализованный способ получения алюминизированного композита на основе бризантного ВВ, который должен был обеспечить включение (инкапсулирование) частиц ультрадисперсного алюминия в кристаллическую структуру ВВ.

Как известно, одним из методов получения высокодисперсных ВВ является обратная заместительная кристаллизация (высадка), при которой раствор вещества в подходящем растворителе добавляют к антирастворителю (осадителю).

Мы предположили, что при высадке ВВ в суспензию ультрадисперсного Al в осадителе частицы Al могут играть роль центров кристаллизации и, таким образом, они будут включены в формирующуюся структуру композита. Для поддержания равномерности суспензии и одновременного перемешивания, использовали ультразвуковое воздействие при помощи диспергатора.

В проведенных экспериментах раствор ВВ в полярном органическом растворителе дозировали в суспензию ультрадисперсного алюминия (характерный размер частиц 50–100 нм) в неполярном углеводородном растворителе. Варьируемыми параметрами процесса являлись:

- скорость дозирования раствора ВВ;
- модуль разбавления (соотношение объемов растворителя и осадителя).

Наблюдалась следующие основные закономерности:

- увеличение скорости дозирования приводит к увеличению размеров кристаллов;
- уменьшение скорости дозирования и увеличение модуля разбавления приводит к уменьшению размеров кристаллов.

Это иллюстрируется данными, представленными на рис. 1, на которых приведены гистограммы объемного распределения частиц композитов по размерам, полученные при помощи лазерного анализатора размеров частиц.

Таким образом, характерный размер частиц в полученных композитах варьирует от 200–500 мкм до  $\approx 10$  мкм.

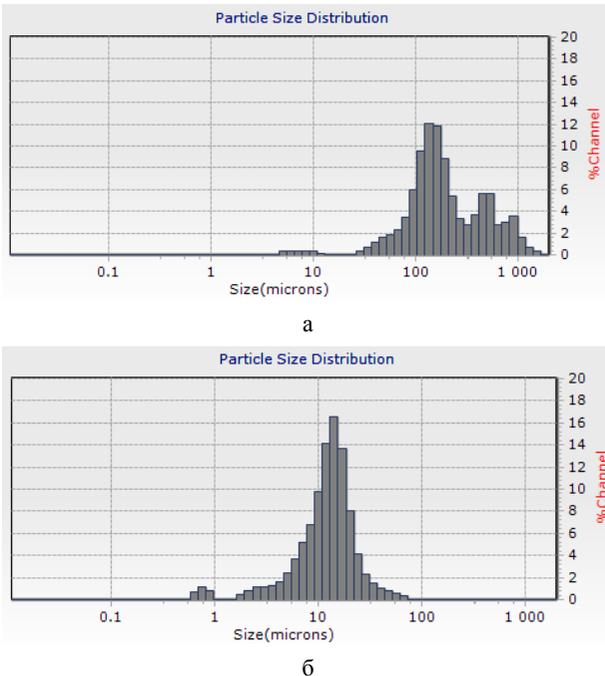


Рис. 1. Гистограммы объемного распределения частиц по размерам в алюминизированном композите ВВ: а – максимальная скорость дозирования, минимальный модуль разбавления, б – минимальная скорость дозирования, максимальный модуль разбавления

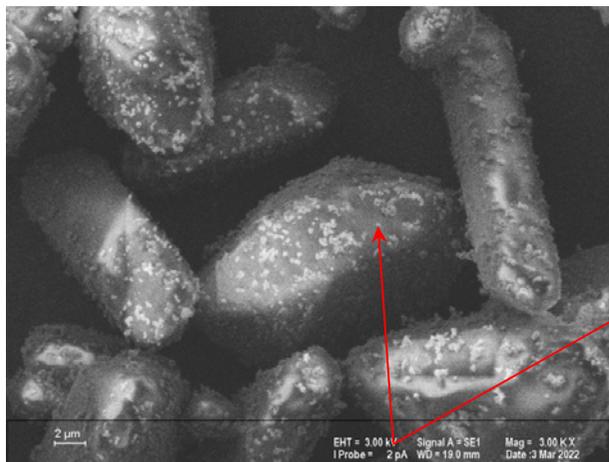
Проведено исследование микроструктуры алюминизированных композитов ВВ с использованием сканирующего электронного микроскопа.

Некоторые электронные изображения полученных алюминизированных композитов ВВ на основе гексогена представлены на рис. 2.

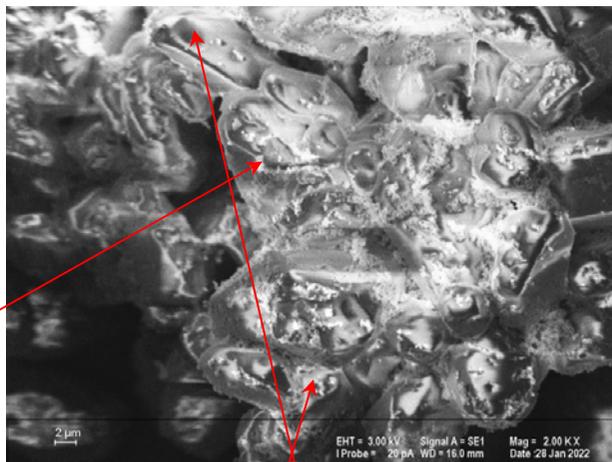
Сравнение полученных снимков позволяет заметить, что если в первом случае все визуально наблюдаемые частицы Al расположены на поверхности кристалла ВВ, то во втором фиксируются многочисленные «просвечивания» частиц Al из-под поверхностного слоя.

Поскольку визуальное наблюдение все же не позволяет сделать совершенно точного вывода о наличии Al внутри кристаллов ВВ, были проведены также качественные химические пробы. Образцы композита были обработаны разбавленной  $H_2SO_4$  при слабом нагревании. Кислота концентрации 2–5 % не действует на применявшееся ВВ, но растворяет находящийся на поверхности алюминий. После завершения выделения водорода, оставшаяся часть композита сохраняла интенсивно серую окраску, присущую как порошку алюминия, так и исходному композиту до отмывки кислотой. На следующей стадии остаток был обработан органическим растворителем, ВВ перешло в раствор, а находившийся внутри кристаллов наноалюминий образовал устойчивую суспензию.

Таким образом, нами предложен новый способ изготовления алюминизированных композитов, позволяющий получать композит с ультрадисперсным алюминием, включенным в структуру ВВ.



а



б

Рис. 2. Электронные изображения алюминизированных композитов ВВ на основе гексогена: а – частицы Al на поверхности кристаллов гексогена, б – частицы Al, включенные в структуру кристалла гексогена

### Список литературы

1. Пат. 2637016, РФ, МПК C06B 27/00, C06C 7/02, F42C 13/02 Способ изготовления термостойких светочувствительных взрывчатых составов и светодетонатор на их основе / Луковкин О. М., Шейков Ю. В., Батьянов С. М., Вахмистров С. А., Калашникова О. Н., Мильченко Д. В. // Бюллетень изобретений. 2017, № 34.

2. Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р., Пузырин А. В. Применение наночастиц алюминия для регулирования чувствительности энергетических материалов к лазерному излучению. Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. № 1/2.

3. Жигач А. Н., Лейпунский И. О., Берёзкина Н. Г., Пшеченков П. А., Зотова Е. С., Кудров Б. В., Гогуля М. Ф., Бражников М. А., Кусков М. Л. Алюминизированные нанокompозиты на основе нитраминол: методика получения и исследование структуры // Физика горения и взрыва. 2009. Т.4 5, № 9.

4. Makhov M. N. Effect of Aluminum and Boron Additives on the Heat of Explosion and Acceleration Ability of High Explosives // Russian Journal of Physical Chemistry. 2015. P. 50–55.

5. Jouet Jason R, Warren A. D., Rosenberg D. M. Surface passivation of bare aluminum nanoparticles using perfluoroalkyl carboxylic acids // Materials Research Society. 2004. AA2.4.1-2.4.13.

6. Miller P. J., Bedford C. D., Davis J. J. Effect of metal particle size on the detonation properties of various metallized explosives // Proc. Eleventh (Intern.) Detonation Symposium. 1998. P. 214–220.

7. Pat. 6893518, US, D03D 23/00 Sol-gel manufactured energetic materials / Simpson R. L., Lee R. S., Tiltotson T. M., Hrubesh L. W., Swansiger R. W., Fox G. A. // Division of application. 2003. № 10/697. P. 477.