

УДК 539.219

DOI: 10.17223/00213411/62/10/58

*Г.В. ТЕПЛОВ<sup>2</sup>, А.Б. ВОРОЖЦОВ<sup>1</sup>, С.В. ВАСИЛЬЕВ<sup>3</sup>*

## **ВЛИЯНИЕ ВКЛЮЧЕНИЙ МИКРО- И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ И ИХ ОКИСЛОВ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ КРИСТАЛЛЫ ЦИКЛИЧЕСКИХ НИТРАМИНОВ \***

Исследовано влияние включений микро- и наноразмерных частиц металлов и их оксидов на физико-химические свойства высокоэнергетических материалов, содержащих кристаллы циклических нитрамин. На примере циклических нитрамин 2,4,6,8,10,12-гексантиро-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитана (CL-20) и 2,4,6,8-тетранитро-2,4,6,8-тетраазааизовюрцитана (октоген, НМХ) изложен разработанный способ капсуляции микро- и наноразмерных частиц металлов и их оксидов. Исследованы и проанализированы физико-химические свойства полученных новых высокоэнергетических материалов, содержащих кристаллы циклических нитрамин. Установлено, что среди основных параметров, влияющих на гранулометрический состав кристаллов и массовую долю содержащихся в них включений, определяющее значение имеет скорость перемешивания реакционной массы в процессе отгона растворителя. Низкая скорость перемешивания приводит к образованию поликристаллических структур с разветвленной поверхностью и многочисленными дефектами. Несмотря на одинаковые условия (соотношение растворителя и осадителя, температура, тип перемешивающего устройства, скорость отгона растворителя и др.) проведения кристаллизации CL-20 с разными марками алюминия (АСД-6 и Alex), форма и размер полученных кристаллов сильно отличаются друг от друга. Для комплекса CL-20<sub>Alex</sub> характерно: меньший размер кристаллов ~ 100–150 мкм, более скошенные грани и большее количество дефектов на поверхности. По-видимому, это связано с влиянием металлических частиц, выступающих в роли затравки при формировании кристаллов.

*Ключевые слова:* частицы металлов, кристаллы CL-20, кристаллы НМХ, синтез кристаллов, свойства кристаллов, гранулометрический состав.

### **Введение**

Физико-химические свойства наноразмерных порошков металлов существенным образом отличаются от более крупных порошковых материалов. Повышенная реакционная способность таких частиц привлекает внимание для разработки новых высокоэнергетических материалов (ВЭМ) [1]. Введение в составы ВЭМ нанопорошков металлов приводит к повышению скорости энерговыделения и снижению задержки воспламенения, при этом может наблюдаться улучшение иных технологических качеств [2, 3].

Одной из негативных сторон применения наноразмерных порошков металлов является их низкая химическая совместимость с некоторыми компонентами ВЭМ, а также низкая термостойкость конечных композиций [4]. Эти и другие проблемы возникают из-за большой удельной поверхности частиц металлов и, как следствие, высокой адсорбирующей способности по отношению к жидким связующим компонентам ВЭМ.

Цель настоящей работы – установить влияние включений микро- и наноразмерных частиц металлов и их оксидов на физико-химические свойства высокоэнергетических материалов, содержащих кристаллы циклических нитрамин. На примере циклических нитрамин 2,4,6,8,10,12-гексантиро-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитана (CL-20) и 2,4,6,8-тетранитро-2,4,6,8-тетраазааизовюрцитана (октоген, НМХ) изложен разработанный способ капсуляции микро- и наноразмерных частиц металлов и их оксидов, способствующий равномерному распределению металлического горючего по всему объему топлива и уменьшению контакта частиц включений с активными функциональными группами компонентов высокоэнергетических материалов. Исследованы и проанализированы некоторые физико-химические свойства полученных новых высокоэнергетических материалов, содержащих кристаллы циклических нитрамин.

### **Получение и особенности кристаллов CL-20 с включениями частиц металлов**

Способ получения кристаллов циклического нитрамина CL-20 с включениями частиц металлов разработан на основе классического метода осадительной кристаллизации [5, 6], который за-

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-29-01060).

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>