

КОНВЕКТИВНОЕ ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ В СМЕСЯХ НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ*

Б. С. Ермолаев¹, В. Г. Худавердиев², А. А. Беляев³, В. Е. Храповский⁴, А. А. Сулимов⁵

Аннотация: Исследованы конвективное горение и переход горения в низкоскоростную детонацию (НСД) в смесях нитрата аммония с древесным углем и алюминием насыпной плотности. Опыты проводились в манометрической бомбе и в цилиндрических оболочках с образцами длиной до 600 мм. Максимальный градиент давления, который определялся по записи давления в полости манометрической бомбы, был выбран в качестве меры для сравнения образцов по активности горения. Показано, что величина этого параметра изменяется в широком диапазоне в зависимости от содержания горючего, дисперсности компонентов, длины образца и давления, создаваемого воспламенителем. При измельчении частиц нитрата аммония активность горения смесей в целом возрастает, хотя зависимость не монотонна. Все смеси с древесным углем и большая часть исследованных смесей с алюминием марки АСД-4 сгорали в манометрической бомбе без взрыва. Исключение составила смесь тонко измельченного нитрата аммония (20–40 мкм) с 18% АСД-4, для которой горение завершалось взрывом с резкими колебаниями давления амплитудой несколько килобар. Аналогичные взрывы получены на этой же смеси, если использовались алюминиевая пудра ПАП-2 или наноразмерный порошок Alex. Опыты в цилиндрических оболочках с одновременной фото- и пьезорегистрацией проводились на смесях с тонко измельченным нитратом аммония. Длина образцов (до 600 мм на смесях с древесным углем и до 300 мм на смесях с алюминием АСД-4) оказалась недостаточной, чтобы надежно зарегистрировать переход к НСД. Однако записи давления обнаруживают переход к очень быстрому росту давления, который возникает с некоторой задержкой после прохождения фронта конвективного горения и сопровождается формированием яркосветящейся зоны на фоторазвертках. Этот процесс можно классифицировать как взрыв. Четкое фото перехода горения в НСД с длиной переходного участка 100 мм получено на смесях с наноразмерным алюминием. Здесь отчетливо видно образование вторичной волны яркого свечения в зоне позади фронта конвективного горения и возникновение НСД после того, как вторичная волна догоняет фронт конвективного горения. Развитие взрыва при горении смесей с алюминием анализировалось с помощью математического моделирования. В расчетах переход горения в НСД получен на смеси нитрата аммония (100 мкм) с 8% алюминия (4 мкм). Механизм перехода связан с энергичным разогревом смеси в волне уплотнения, которая генерируется перед фронтом конвективного горения. Ключевым фактором является горение алюминия. Однако зависимость скорости горения алюминия от содержания окисляющих газов приводит к тому, что такие факторы, как измельчение частиц нитрата аммония или изменение содержания алюминия в смеси, также оказывают заметное влияние на динамику взрыва.

Ключевые слова: конвективное горение; низкоскоростная детонация; переход горения в детонацию; взрыв; пьезокварцевый датчик давления; нитрат аммония; алюминий; древесный уголь

DOI: 10.30826/CE20130209

Литература

1. Соколов А. В., Мильчаков И. В., Дубнов Л. В. О переходе горения в детонацию промышленных ВВ // Взрывное дело, 1967. Вып. 63/20. С. 120.
2. Андреев К. К., Рогожников В. М. О горении при возрастающем давлении порошкообразного перхлората аммония и его смесей с алюминием // Теория взрывчатых веществ / Под ред. К. К. Андреева. — М.: Высшая школа, 1967. С. 176.

*Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ИХФ РАН на выполнение государственного задания по темам 0082-2016-0011 (номер государственной регистрации АААА-А17-117040610346-5), № 47.16 (АААА-А20-120020590084-9) и 0082-2018-0004 (АААА-А18-118031590088-8).

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, boris.ermolaev44@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, vugarikkk@mail.ru

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, belyaevIHF@yandex.ru

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, khrapovsky@mail.ru

⁵Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, aasul@chph.ras.ru

3. *Беликов Е. П., Храповский В. Е., Ермолаев Б. С., Сулимов А. А.* Особенности развития взрыва в порошкообразной модельной смеси перхлорат аммония – полистирол // *Физика горения и взрыва*, 1990. Т. 26. № 4. С. 101.
4. *Ермолаев Б. С., Сулимов А. А., Храповский В. Е., Фотенков В. А.* Начальная фаза развития взрыва в нитрате аммония и порошкообразных смесях на его основе // *Хим. физика*, 2011. Т. 30. № 8. С. 34.
5. *Храповский В. Е., Худавердиев В. Г., Сулимов А. А.* Конвективное горение смесей нитрата аммония с древесным углем // *Горение и взрыв*, 2011. Вып. 4. С. 172–175.
6. *Храповский В. Е., Худавердиев В. Г., Сулимов А. А.* Конвективное горение и переход во взрыв в смесях аммиачной селитры с алюминием // *Горение и взрыв*, 2013. Вып. 6. С. 211–213.
7. *Худавердиев В. Г., Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Храповский В. Е.* Переход горения в детонацию в смесях мелкодисперсного перхлората аммония с субмикронными частицами алюминия // *Хим. физика*, 2015. Т. 34. № 11. С. 33–39.
8. *Ермолаев Б. С., Худавердиев В. Г., Беляев А. А.* Численное моделирование развития взрыва в мелкодисперсных смесях нитрата аммония с алюминием в манометрической бомбе // *Горение и взрыв*, 2015. Вып. 8. С. 67–74.
9. *Беляев А. Ф., Боболев В. К., Коротков А. И., Сулимов А. А., Чуйко С. В.* Переход горения конденсированных систем во взрыв. — М.: Наука, 1973. 273 с.
10. *Ермолаев Б. С., Беляев А. А., Сулимов А. А.* Численное моделирование конвективного горения пористых смесевых систем на основе мелкодисперсных перхлората аммония и алюминия // *Хим. физика*, 2005. Т. 24. № 1. С. 79.
11. *Ермолаев Б. С., Беляев А. А., Сулимов А. А.* Численное моделирование перехода горения в детонацию в пироксилиновых порохах // *Хим. физика*, 2004. Т. 23. № 1. С. 67.
12. *Нигматулин Р. И.* Динамика многофазных течений. — М.: Наука, 1987. Ч. 1. 464 с.
13. *Ермолаев Б. С., Худавердиев В. Г., Беляев А. А., Сулимов А. А., Храповский В. Е.* Конвективное горение мелкодисперсных смесей нитрата аммония с алюминием в манометрической бомбе // *Хим. физика*, 2016. Т. 35. № 2. С. 41–53.

Поступила в редакцию 14.05.2020