

КОНВЕКТИВНОЕ ГОРЕНИЕ И ПЕРЕХОД ВО ВЗРЫВ В МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СМЕСЯХ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ С АЛЮМИНИЕМ

В. Е. Храповский, В. Г. Худавердиев, А. А. Сулимов

ИХФ РАН
г. Москва, Россия

Работа посвящена определению условий возникновения конвективного горения (КГ) и его развития до взрывного процесса в порошкообразных смесях нитрата аммония с алюминием.

Значительная часть опытов выполнена в манометрической бомбе объемом 100 см^3 при давлениях до 200 МПа с записью диаграммы давление–время пьезокварцевым датчиком Т-6000. Размер частиц аммиачной селитры составлял: 20–40 (мелкая селитра) и 250–630 мкм. В качестве горючего использовался алюминий следующих марок: сферический — АСД-4 с размером частиц ~ 6 мкм; чешуйчатый — ПАП-2 с толщиной свода 0,25–0,50 мкм; субмикронный — ALEX-L с размером частиц около 0,2 мкм. Смесь диаметром 10 и 16 мм, высотой 13–80 мм, пористостью 40%–60% помещалась в стальной или текстолитовый стакан. Поджигание осуществлялось с открытого торца. Варьируя массу и состав воспламенителя, изменяли начальное давление в бомбе.

Исследования проводились также по методике критической высоты слоя [1] в металлической оболочке и в установке с одновременной регистрацией свечения и записью давления несколькими датчиками по длине оболочки. Диаметр образцов составлял 10 мм, высота изменялась от 13 до 290 мм. Воспламенение осуществлялось с глухого дна при открытом верхнем торце. В отдельных экспериментах поджигание проводилось с верхнего торца смеси.

Исследования в манометрической бомбе показали, что в зависимости от условий можно выделить три группы результатов. Если давление, создаваемое воспламенителем, ниже некоторой пороговой величины (P_c), смесь сгорает в медленном послыном режиме или горение прекращается, пройдя часть заряда. Если это давление выше порога P_c , то наблюдается горение в одном из двух режимов. Режим КГ дает кривую давления в бомбе, монотонно возрастающую во времени до точки максимума. Другой — режим взрывного горения — отличается тем, что после возникновения КГ на диаграмме давления возникает серия резких пиков большой амплитуды (до

~ 200 МПа), а текстолитовый стакан, в котором находилась смесь, разрушался.

Подробно изучены характеристики, оказывающие влияние на пороговое давление P_c . К ним относятся: содержание алюминия в смеси, размер частиц селитры и алюминия, длина заряда. Так, увеличение содержания алюминия АСД-4 с 8% до 47% в смеси с мелкой селитрой (20–40 мкм) уменьшает P_c с 26 до 1,5 МПа. Использование более крупной селитры (250–630 мкм) понижает величину порогового давления незначительно. В стехиометрической (18% алюминия) смеси с мелкой селитрой замена АСД-4 на тонкосводный ПАП-2 или ALEX-L снижает P_c с 12 до 1 МПа, а высоту слоя, при которой возникает КГ, — с 40 до 13–25 мм.

На смесях с АСД-4 подробно изучены характеристики, оказывающие влияние на интенсивность КГ, мерой которого служила максимальная величина темпа роста давления в бомбе (далее — темп роста давления). Увеличение давления воспламенителя, длины заряда, уменьшение размера частиц селитры и алюминия приводит к повышению темпа роста давления. Получены зависимости темпа роста давления от содержания алюминия в смеси. Максимальный темп роста давления (270 МПа/мс) регистрировался при сгорании смеси с 31% АСД-4 и крупной фракции селитры.

На смесях с 18% АСД-4 и аммиачной селитрой (20–40 мкм) при высоте смеси 65–80 мм и давлении воспламенителя 18–35 МПа происходил взрыв. Отклонения от стехиометрии и использование более крупной селитры приводят к отсутствию взрывного процесса при максимально возможной (80 мм) длине образцов.

Замена сферического алюминия АСД-4 с размером частиц ~ 6 мкм на тонкосводный (0,25–0,5 мкм) алюминий ПАП-2 и субмикронный порошок ALEX-L (с размером частиц $\sim 0,2$ мкм) значительно повысило опасность взрыва смеси. При 18% алюминия ПАП-2 и ALEX-L с мелкодисперсной аммиачной селитрой взрыв возникал при высоте смеси 30 мм и начальном давлении 1–3 МПа.

Важную роль на возникновение взрывного процесса оказывает тип горючего. В [2] было показано, что для смесей аммиачной селитры с древесным углем, размер частиц которого составлял 1–2 мкм, во всем диапазоне исследованных параметров взрывные режимы отсутствовали и наблюдались только режимы КГ.

Эксперименты с оптической регистрацией в замкнутом объеме при поджигании смеси с 8% АСД-4 с мелкой и крупной селитрой с открытого торца показали, что на начальной стадии под действием продуктов сгорания воспламенителя происходит уплотнение смеси и ее послойное горение. Если давление воспламенителя выше P_c , то в уплотненной смеси при давлении 26–36 МПа развивается КГ с возрастающей по длине до 200–300 м/с скоростью. При отражении от дна возникает волна со скоростью ~ 1000 м/с и амплитудой до 280 МПа.

Исследования по методике критической высоты слоя показали, что при воспламенении 160 мм стехиометрической смеси мелкой селитры с алюминием АСД-4 с донного торца с помощью 1 г дымного ружейного пороха (ДРП) происходил выброс смеси без возникновения КГ. Максимальное давление у дна не превышало 15 МПа. Увеличение высоты смеси до 290 мм привело к возникновению КГ, распространяющегося со скоростью ~ 200 м/с, и последующим его переходом во взрывной процесс. Давление в области взрыва достигает 700 МПа. Взрыв сопровождается распространением к воспламенителю с расстояния 200 мм обратной волны давления.

Использование мелкодисперсного алюминия ALEX-L в стехиометрической смеси с мелкой селитрой приводило к значительному снижению критической высоты смеси, при которой развивался взрывной процесс, — до 30 мм. При этом взрывной процесс возникал при использовании меньшей навески воспламенителя — 0,1 г ДРП. Обратная волна распространялась с расстояния 125 мм от воспламенителя. Это расстояние превышает начальную высоту смеси, что свидетельствует о возникновении взрыва в выброшенной дисперсной взвеси.

Таким образом, в результате проведенных исследований показана высокая взрывоопасность мелкодисперсных смесей аммиачной селитры с алюминием. Конвективное горение в них может возникать при низких давлениях ~ 1 МПа. Критическая высота слоя, при которой возникает взрыв, является небольшой и составляет ~ 30 мм. Особую опасность представляют смеси с субмикронным алюминием. Показана возможность в таких смесях перехода КГ в низкоскоростную детонацию со сравнительно небольшим (100 мм) преддетонационным участком с образованием прямой и обратной волн давления. По взрывоопасности они приближаются к смесям на основе перхлората аммония с алюминием [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 09-03-00229.

Литература

1. Ермолаев Б. С., Фотеенков В. А., Хасаинов Б. А., Сулимов А. А., Малинин С. Е. Критические условия перехода горения во взрыв в зерненных взрывчатых материалах // ФГВ, 1990. № 5. С. 102–110.
2. Храповский В. Е., Худавердиев В. Г., Сулимов А. А. Конвективное горение смесей аммиачной селитры с древесным углем // Горение и взрыв. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. Вып. 4. С. 172–175.
3. Храповский В. Е., Худавердиев В. Г. Возникновение и развитие конвективного горения в высокопористых зарядах перхлората аммония и его смесях с алюминием // Хим. физика, 2010. Т. 29. № 1. С. 39–48.