

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

Храповский В. Е., Худавердиев В. Г., Сулимов А. А. *Институт
Химической физики им. Н. Н. Семенова РАН*

Цель работы - определение условий возникновения конвективного горения и его развития до взрывного процесса в смесях нитрата аммония (НА) с алюминием.

Значительная часть опытов выполнена в манометрической бомбе объемом 100 см³ 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 около 4 мкм; чешуйчатый - ПАП - 2 с толщиной свода 0.25 - 0.50 мкм; субмикронный - ALEX - L с размером частиц около 0.2 мкм. Смесь различной высоты помещалась в стальной или текстолитовый стакан. Параметры изучаемых образцов составляли: диаметр - 10, 16 мм, пористость 40 - 60%, высота изменялась от 13 до 80 мм. Поджигание смеси осуществлялось с открытого торца. Варьируя массу 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 высоте. 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 послойном режиме, или горение прекращается, пройдя часть заряда. Если это давление выше порога P_c , то наблюдается горение в одном из двух режимов. Режим конвективного горения (КГ) дает кривую давления в бомбе, монотонно возрастающую во времени до точки максимума. Другой - режим взрывного горения, отличается тем, что на диаграмме давления возникает серия резких пиков большой амплитуды до ~ 600 МПа, а текстолитовый стакан, в котором находилась смесь, разрушался.

Подробно изучены характеристики, оказывающие влияние на пороговое давление P_c и интенсивность горения в режиме КГ, мерой которого служила максимальная величина темпа роста давления в бомбе (далее, просто темп роста давления). К этим характеристикам 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. Однако в стехиометрических смесях мелкой селитры с высокодисперсным алюминием марок ПАП - 2 или ALEX - L наблюдается существенное снижение P_c с 12- 15 МПа до 0.9- 1.3 МПа.

На смесях с АСД - 4 подробно изучены характеристики, оказывающие влияние на интенсивность горения в режиме КГ. С увеличением давления воспламенителя максимальный темп роста давления при сгорании смеси с 31% АСД - 4 возрастает до 130 - 300 МПа/мс, что свидетельствует о высокой взрывоопасности горения. На смесях с 18% АСД - 4 и аммиачной селитрой (20 - 40 мкм) происходит взрыв.

Увеличение длины заряда, уменьшение размера частиц селитры интенсифицируют конвективное горение и могут привести к взрыву. Для стехиометрической смеси с АСД - 4 и мелкой селитрой развитие взрывного процесса регистрируется при высоте смеси 65 и 80 мм и давлении воспламенителя 18 - 40 МПа. Отклонения от стехиометрии и использование более крупной селитры приводят к отсутствию взрывного процесса при максимально возможной длине образцов - 80 мм.

Замена сферического алюминия АСД - 4 с размером частиц около 4 мкм на тонкосводный (0.25 - 0.5 мкм) алюминий ПАП - 2 и субмикронный порошок ALEX - L (с размером частиц ~ 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 - 40 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 конвективного горения.

Эксперименты с оптической регистрацией в замкнутом объеме при поджигании смеси с 8% АСД - 4 и мелкой 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 развивается конвективное горение с возрастающей по длине до 300 м/с скоростью.

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 ДРП происходил выброс смеси без возникновения конвективного горения. Максимальное давление у дна не превышало 15 МПа. Увеличение высоты смеси до 290 мм привело к возникновению конвективного горения, распространяющегося со скоростью ~ 200 м/с, и последующим его переходом во взрывной процесс. Взрыв сопровождался распространением к воспламенителю с расстояния 200 мм волны давления с амплитудой ~ 700 МПа. Использование мелкодисперсного алюминия ALEX -LV стехиометрической смеси с мелкой селитрой привело к снижению критической высоты смеси, при которой развивался взрывной процесс, до 30 - 40 мм. При этом взрывной процесс возникает при использовании меньшей навески воспламенителя - 0.1 г ДРП. Обратная волна, примерно с такой же амплитудой давления ~ 700 МПа, начинает распространяться 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 возникает при низких давлениях 1 -3 МПа и переходит во взрывной режим на коротких 30 - 40 мм образцах. Особую опасность представляют смеси с субмикронным алюминием. 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. Б.С.Ермолаев, В.А.Фотеенков, Б.А.Хасаинов, А.А.Сулимов, СЕ. Малинин. «Критические условия перехода горения во взрыв в зерненных взрывчатых материалах»// Физика горения и взрыва.1990. №5. с. 102 - 110
2. В.Е.Храповский, В.Г. Худавердиев, А.А. Сулимов. Конвективное горение смесей аммиачной селитры с древесным углем.// Сб. «Горение и взрыв». 2011 г. выпуск 4. М., ТОРУС ПРЕСС, с. 172 - 175.
3. В.Е.Храповский, В.Г.Худавердиев «Возникновение и развитие конвективного горения в высокопористых зарядах перхлората аммония и его смесях с алюминием» // Химическая физика. 2010. Т.29. №1. с. 39 - 48.