

С. П. Бажанов, И. А. Лапина, Е. Х. Гидаспова,  
В. Г. Капцилович, А. П. Амосов, С. М. Мурагов

## ИНИЦИИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ ВСПЫШКОЙ ОТ УДАРА

На основании исследования механизма инициирования экзотермических смесей вспышкой от удара приводятся результаты разработки метода оценки чувствительности этих смесей, учитывающего возможность образования пылевоздушной смеси в процессе удара, облегчающего условия горения смеси и повышающие опасность удара.

При оценке чувствительности экзотермических смесей (ЭС) к удару необходимо учитывать не только вероятность инициирования очага воспламенения, но и вероятность его распространения в форме детонации или горения [1—4].

Известно, что наибольшую пожароопасность в производстве экзотермических материалов представляют пылевоздушные смеси [5, 6]. Однако существующий стандарт [7] и методы определения чувствительности по минимальной энергии [1, 3, 4] не учитывают возможности образования пылевоздушных смесей в процессе удара и не позволяют изучать их влияние на распространение горения в ЭС, окружающем зону воздействия. При определении наиболее опасных условий или ударе большое значение имеет исследование зависимости условий при изменении диаметра бойка  $d$  и толщины слоя  $h$  [8].

В данной работе исследовались закономерности возникновения вспышки в процессе деформации некоторых смесей в условиях удара на копре К-44-1 по схеме рис. 1. Одновременно фиксировалась возможность распространения горения при наличии образующейся в процессе удара пылевоздушной смеси в зазоре ( $\Delta = 0,5$  мм) — околороликовом пространстве прибора между нижним роликом 1 и направляющей крышкой 2, имеющей отверстия 3 для подвода воздуха в зону реакции. Для изменения условий распространения горения слой 4, 5, окружающий боек 6, использовался в насыпном, подпрессованном и комбинированном виде. Свечение от вспышки передавалось через щель 7 в корпусе приборчика 8, центрующего все детали приборчика, и фиксировалось фотодиодом ФД-3.

Характер деформационного процесса исследовался тензометрически в зависимости от  $d$  и  $h$  по известной методике [8]. В испытаниях применялись бойки диаметром  $d = 0,5; 1,0; 1,6; 2,5$  и  $4,0$  мм. Высота подпрессованного слоя изменялась от  $0,13$  до  $1,56$  мм. Снаряженный приборчик устанавливался в сборку тензодатчика, расположенную в основании копра и представляющую собой проволочный датчик 9 сопротивлением  $100$  Ом, наклеенный на цилиндрический элемент 10 размером  $d \times h = 5 \times 20$  мм. Для устойчивости чувствительный элемент имел грибовидную форму, способствующую его закреплению в матрице 11 направляющей втулкой 12. Чувствительность различных бойков находилась в пределах  $109$  МПа/дел для  $d = 4$  мм до  $1430$  МПа/дел для  $d =$

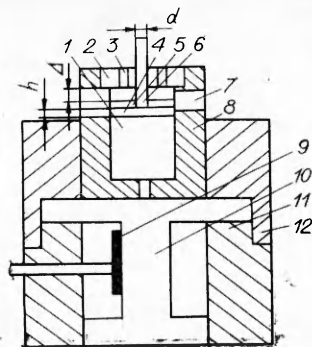


Рис. 1. Схема установки для исследования механизма инициирования и чувствительности экзотермических смесей при воздействии ударом.

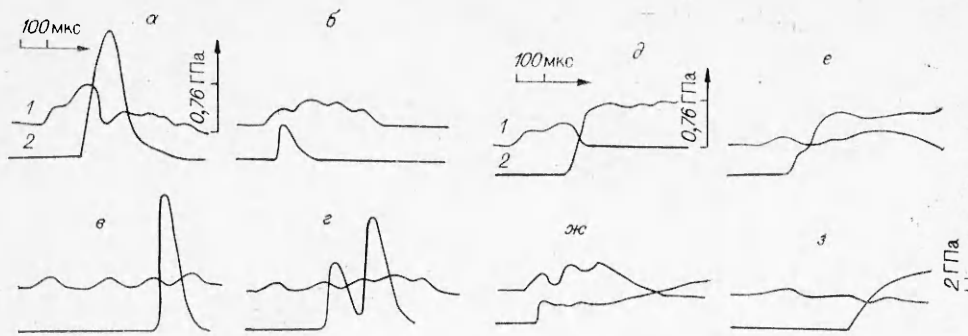


Рис. 2. Осциллограммы процесса деформации и вспышки смесей  $\text{Mg} + (\text{BaNO}_3)_2$  ( $a - z$ ) и  $\text{Zr} + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  ( $\partial - z$ ).  
 $d$ , мм: 4 ( $a, \partial$ ), 2,5 ( $\text{б} - z, e, ж$ ), 1,6 ( $з$ );  $h$ , мм: 0,38 ( $a, \text{б}$ ), 0,82 ( $\text{в}, z$ ), 0,6 ( $\partial, e, з$ ), 0,24 ( $ж$ ).

$= 1,6$  мм. Динамика холостого удара типична. Для  $d = 4$  мм,  $E = 3$  Дж при массе груза 1 кг время удара составляет 500 мкс при  $p_{\text{max}} = 763$  МПа.

Процесс регистрировался двухлучевым осциллографом С8-17 при чувствительности лучей 5–10 мВ/дел. Наряду с регистрацией давления во времени фиксировалось количество вспышек, их длительность, интенсивность, под которой понималась скорость нарастания освещенности, время выхода на режим горения. Изучались смеси  $\text{Zr} + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  с температурой вспышки  $T_{\text{в}} = 473$  К и  $\text{Mg} + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  с  $T_{\text{в}} = 873$  К, имеющие энергии иницирования соответственно 0,04 и 0,95 Дж [3]. Параметры и характер деформации смесей регулировались изменением  $d$  и  $h$ .

Осциллограммы деформации смесей и характер их воспламенения приведены на рис. 2. Луч 1 фиксирует процесс  $p = f(\tau)$ , 2 — свечение при вспышке. Осциллографическое исследование процесса деформации смеси  $\text{Mg} + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  показывает, что при уменьшении  $d/h$  меняется характер давления при деформации, приводящей к вспышкам. Происходит переход от деформации с однократным максимумом давления (рис. 2,  $a$ ) к деформации с 3- и 4-кратным, свидетельствующем о порционном выдавливании смеси из-под бойка. Вспышка может происходить как на первом максимуме давления (см. рис. 2,  $a, \text{б}$ ), так и на последующих (рис. 2,  $\text{в}, z$ ). Наблюдалось возникновение двух вспышек (рис. 2,  $з$ ). Во всех этих случаях вспышки не вызывают горения навески ЭС, локализуясь в очаге разогрева.

Исследования смеси  $\text{Zr} + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  показали, что ее иницирование происходит в виде вспышки, выходящей на режим горения всей навески. Характер вспышки и выход на режим горения могут быть различными: от резкого (рис. 2,  $\partial, e$ ) до плавного (рис. 2,  $ж, з$ ).

Для создания необходимых условий для горения испытывались комбинированные заряды. На подпрессованный слой сверху подсыпалось 20 мг смеси, которая окружала боек. Величина зазора между крышкой и подсыпанным слоем смеси составляла 0,5 мм, поскольку при этом зазоре легче происходит горение. В процессе разрушения слоя и возникновения вспышки подсыпка должна способствовать образованию пылевоздушной смеси в зазоре с выдавливаемой из-под бойка смесью и этим увеличивать опасность удара.

Полученные значения минимальных энергий иницирования  $E$  в зависимости от толщины слоя и диаметра бойка в насыпном, подпрессованном и комбинированном состояниях приведены на рис. 3, 4. При уменьшении диаметра бойка область иницирования расширяется с минимальной энергией удара, что в случае смеси  $\text{Zr} + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  свидетельствует об увеличении степени опасности удара.

Для смеси на основе Mg в насыпном состоянии при  $d = 0,5$  мм наблюдаются наиболее высокие значения  $E$  (см. рис. 3). Промежуточное по величине энергии иницирования положение соответствует подпрес-

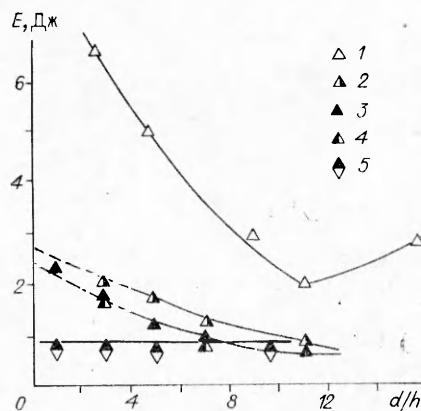


Рис. 3. Зависимость энергии иницирования смеси  $Mg + Ba(NO_3)_2$  от  $d/h$  для различных диаметров бойков.

1 — подпрессованная навеска ( $d = 4$  мм); 2 — комбинированная навеска по горению ( $d = 2,5$  мм); 3 — подпрессованная навеска ( $d = 2,5$  мм); 4 — комбинированная навеска ( $d = 2,5$  мм); 5 — насыпная навеска ( $d = 2,5$  мм).

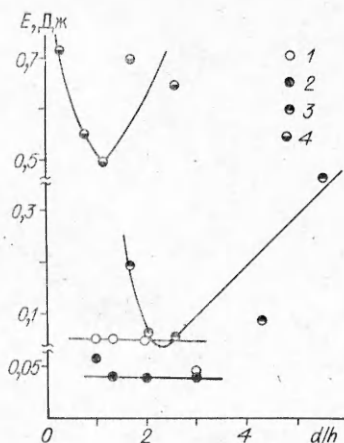


Рис. 4. Зависимость энергии иницирования смеси  $Zr + Ba(NO_3)_2$  от  $d/h$  для различных диаметров бойков.

1 — подпрессованная навеска ( $d = 0,5$  мм); 2 — комбинированная навеска ( $d = 0,5$  мм); 3 — подпрессованная навеска ( $d = 1$  мм); 4 — насыпная навеска ( $d = 0,5$  мм).

сованному слою, наименьшая энергия — комбинированному. Такое различие в величинах  $E$  объясняется тем, что смесь в насыпном состоянии при малом диаметре бойка легко выдавливается, не иницируясь, поскольку не достигается оптимальное соотношение  $d/h$ . Поэтому нужны более высокие энергии удара для иницирования смеси в таком состоянии.

Для смеси на основе  $Mg$  с  $d = 2,5$  (см. рис. 3) разница энергий иницирования между насыщенным, подпрессованным и комбинированным слоями незначительна. В насыпном состоянии при данном диаметре бойка легко достигается оптимальное соотношение  $d/h$ , поэтому величина  $E$  близка к минимальной и практически не меняется в зависимости от толщины заряда. Но процесс горения при этом не распространяется даже при  $E = 5$  Дж. Использование комбинированного слоя позволяет выявить более опасные условия. В этом случае наличие подпрессованного слоя создает хорошо воспроизводимые условия возникновения очага иницирования определенного размера, а подсыпка, создавая пылевоздушную смесь, способствует развитию процесса горения.

Использование комбинированного слоя снижает энергию иницирования смеси  $Mg + Ba(NO_3)_2$  от 0,95 до 0,8 Дж, делает возможным полное сгорание смеси уже при  $E = 1,2$  Дж. В случае смеси  $Zr + Ba(NO_3)_2$  подсыпка резко увеличивает частоту иницирования с учетом распространения горения от 0 до 90 % при  $E = 0,04$  Дж.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет более объективно с учетом горения оценивать степень опасности металлизированных экзотермических смесей. Минимальные энергии воспламенения при ударе, определенные в условиях данного метода, учитывающие распространение горения, могут быть использованы не только в качестве критерия чувствительности для классификации ЭС по степени опасности, но при наличии коэффициента безопасности [8, 9] могут характеризовать в производстве параметры безопасного воздействия на смеси, необходимые для обоснования безопасных способов и режимов переработки смесей, выбора оборудования и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Г. Т. Чувствительность твердых ВВ. Минимальная энергия опасного удара // IV симп. по горению и взрыву.— Черногловка, 1980.— С. 35—38.
2. Ключков И. С., Ильинская М. С. Чувствительность к удару с учетом передачи взрыва // ФГВ.— 1960.— 5, № 4.— С. 480—485.

3. Бажанов С. П., Гидаспова Е. Х., Муратов С. М. и др. Чувствительность к удару смесей металл — окислитель // ФГВ.— 1988.— 24, № 5.— С. 106—110.
4. Муратов С. М., Цыганков В. С., Постнов С. И. и др. Первый Всесоюз. симп. по макрокинетике и химической газодинамике.— Черногоровка, 1984.— Т. 2— С. 128—129.
5. ГОСТ 12.1.004-85 ССБТ. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей. Общие требования.— М.: Госстандарт, 1985.
6. Корольченко А. Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли.— М.: Химия, 1986.— 213 с.
7. ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые. Методы определения чувствительности к удару.— М.: Госстандарт, 1988.
8. Афанасьев Г. Т., Боболев В. К. Иницирование твердых взрывчатых веществ ударом.— М.: Наука, 1968.— 176 с.
9. ГОСТ 12.1.010-80 ССБТ. Взрывобезопасность.— М.: Госстандарт, 1980.

г. Куйбышев

Поступила в редакцию 3/IV 1991,  
после доработки — 26/XI 1991

УДК 536.46

Б. Ф. Бояришинов, Э. П. Волчков, В. И. Терехов

### СТРУКТУРА ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ СО ВДУВОМ И ГОРЕНИЕМ ЭТАНОЛА

С целью опытной проверки допущений, используемых в расчетных моделях, экспериментально исследована структура пограничного слоя с испарением и горением этанола. При скоростях обтекания до 70 м/с получены данные о полях скоростей, концентраций химических веществ, а также о распределении температур. Показано, что характер химического реагирования остается стадийным во всем рассматриваемом диапазоне режимов горения. Основные положения модели фронта пламени выполняются в ламинарном пограничном слое, когда существует тонкая неподвижная светящаяся поверхность. С увеличением скорости обтекания уровень средних температур и концентраций продуктов сгорания существенно снижается, однако подобие полей безразмерных параметров — скоростей, полных энтальпий и концентраций химических элементов — сохраняется.

Горение различных видов топлив и конденсированных систем связано, как правило, со вдувом горючего вещества в пограничный слой, содержащий окислитель. Газообразные продукты испарения или разложения материала стенки смешиваются с окислителем и реагируют в газовой фазе (рис. 1). Образующийся фронт пламени является источником тепла, продукты сгорания переносятся в двух противоположных направлениях: к стенке и к внешней границе. Согласно модели Шваба — Зельдовича [1, 2], при диффузионном горении течение разбивается на две зоны. Между стенкой и фронтом пламени ( $0 < y < y^*$ ) — в зоне горючего — отсутствует кислород. Во внешней области — в зоне окислителя ( $y^* < y < \delta$ ) — нет горючего, а кислород из ядра течения диффундирует к фронту горения. В предельном случае, когда химическое реагирование происходит на поверхности, имеет место режим, подобный гетерогенному горению.

Диффузионная модель Шваба — Зельдовича разработана для горения неперемешанных газов в факелах с ламинарным фронтом пламени. Отличительная особенность рассматриваемого здесь случая состоит в наличии стенки, а также во влиянии турбулентности на процессы го-

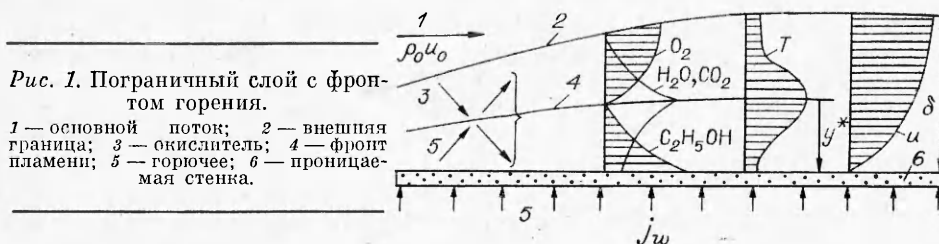


Рис. 1. Пограничный слой с фронтом горения.

1 — основной поток; 2 — внешняя граница; 3 — окислитель; 4 — фронт пламени; 5 — горючее; 6 — проникаемая стенка.