

С. П. Бажанов, И. А. Лапина, А. П. Амосов

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ПОЖАРООПАСНОСТЬ СМЕСЕЙ ДЛЯ СВС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРОМ

Исследуется чувствительность смесей для СВС к удару при различных диаметрах бойка и толщинах слоя с учетом процесса горения. Показано, что образующиеся очаги могут быть опасными лишь в определенных условиях, способствующих распространению горения.

Чувствительность смесей исследовали аналогично [1, 2] на копоре К-44-1 по минимальной энергии инициирования горения E_{\min} . Величина E_{\min} определялась в широком диапазоне отношений диаметра бойка d к толщине слоя h . В отличие от [1—4] учитывалось также развитие горения из зоны воздействия удара.

На первом этапе исследовались условия образования очагов воспламенения, на втором — условия распространения горения, которые, по существу, и определяют пожароопасность смесей. Изучались смеси на основе циркония, титана, магния, алюминия в стехиометрическом соотношении с различными окислителями (В, NiO, B_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 и др.). Испытывались подпрессованные до 300 МПа заряды, насыпные и комбинированные образцы, когда на подпрессованный слой делалась подсыпка 20 мг порошкообразного состава. О чувствительности судили по нижнему пределу частоты вспышек из 10 опытов и по зависимостям $E = f(d/h)$ и $E = f(h)$, полученным на различных диаметрах бойков.

По величине E и характеру зависимостей $E = f(d/h)$, отражающих различные деформационные процессы, приводящие к воспламенению, классифицировали смеси по степени опасности. Отмечено наличие трех типов зависимостей $E = f(d/h)$ (рис. 1), которые получены на диаметрах бойков d_{\min} , обеспечивающих наименьшие значения E . Первый тип без выраженного минимума характерен для ряда смесей на основе магния ($Mg + B_2O_3$, $Mg + KClO_3$) и алюминия ($Al + KClO_3$), инициирование которых происходит при $d = 2,5$ мм. Здесь наиболее опасны тонкие слои. Увеличение E при росте толщины слоя (уменьшение d/h) свидетельствует о дополнительных энергетических затратах на выдавливание слоя смеси прежде, чем будет достигнута оптимальная величина h [1—3].

Второй тип зависимости $E = f(d/h)$ с острым минимумом наблюдается для большинства смесей, например, для шихт на основе титана с различными добавками (С, Ni, Сг, В, Ti + С, ZrH₂ и др.) и характерен для большинства исследованных смесей [1—3]. Сопоставление экспериментально найденной области минимума энергии инициирования с областью максимального разогрева, найденной теоретически в [5, 6] с позиций контактного трения для пластических материалов, показывает их хорошее совпадение, что дает возможность предварительно рассчитывать E_{\min} с дальнейшим экспериментальным уточнением.

Третий тип с размытым минимумом характеризует широкую область отношений d/h с минимальной энергией удара. Он наблюдается для высокочувствительных смесей при $d = 1,6$ мм и характерен для шихт на основе хромового ангидрида. В работе [1] такой тип зависимости наблю-

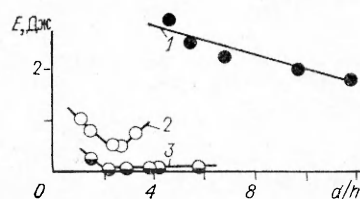


Рис. 1. Три типа зависимостей $E = f(d/h)$ для смесей $Mg + B_2O_3$ (1), $Ti + C$ (2) и $Cr_2O_3 + FeO + TiO + C + Al$ (3).

Масса груза M , кг: 1 — 1, 2, 3 — 0,4; d , мм: 1 — 2,5, 2, 3 — 1,6.

дался для смеси металл — окислитель ($Zr + Ba(NO_3)_2$) при $d = 0,5$ мм.

Первый и третий этапы зависимостей позволяют быстро определить величину E_{min} . Для смесей второго типа в случае равенства значений E_{min} заключение о степени опасности следует вести по ширине области d/h , которой соответствует E_{min} . Опаснее смесь с более широким диапазоном отношений d/h , минимальной энергией удара. Использование в качестве критерия оценки чувствительности экзотермических смесей (совместно с E_{min}) указанного выше параметра имеет важное методологическое значение, поскольку позволяет во многих случаях точнее оценить пожароопасность в зависимости от соотношения компонентов, их степени дисперсности и влияния технологических и флегматизирующих добавок. При этом определяющим критерием остается E_{min} [1], а $E(d/h)$ дает дополнительную информацию о ширине области инициирования и деформационной модели разогрева экзотермической системы при воздействии ударом.

Данная точка зрения наглядно иллюстрируется результатами оценки чувствительности смесей на основе V_2O_5 с добавками сажи или графита. На рис. 2 видно, что такие составы имеют практически одинаковое значение E_{min} . Но для смеси с графитом наблюдается более широкая область отношений d/h с E_{min} . Если оценку чувствительности вести по E_{min} , то оба состава оказываются близкими по чувствительности. Если же руководствоваться и шириной области максимальной чувствительности, то смесь на основе V_2O_5 с графитом оказывается более опасной.

Такой подход к оценке чувствительности использован для некоторых шихт на основе титана. Строились зависимости $E = f(d/h)$, полученные для трех диаметров бойков (рис. 3). Аналогичные зависимости, полученные при $d = d_{min}$, приведены на рис. 4. На рис. 3 минимум энергии выявляется в диапазоне $d/h = 1,5 \div 6$. На рис. 4 минимум находится в узком диапазоне d/h . Наиболее чувствительной ($E_{min} = 0,2$ Дж) оказалась шихта, содержащая кроме титана хром, никель и сажу (см. рис. 3, а).

Наблюдаемая картина инициирования СВС ударом имеет свои особенности. Как показано в [1—3], инициирование смесей металл — окислитель происходит в виде вспышки с частичным или полным сгоранием навески, что легко фиксируется визуально или с помощью фотодиода. Для некоторых смесей вспышка наблюдается только при достаточной энергии удара (см. таблицу). При минимальных E_{min} в большинстве случаев не наблюдается вспышки или горения. Здесь видны только ожоги на роликах, свидетельствующие о возникновении очагов воспламенения при ударе. Значения минимальных энергий, достаточные для образования таких ожогов по нижнему пределу кривой частоты взрывов, могут составлять менее 0,1 Дж, например для $V_2O_5 + Al + C_{гp}$.

Возникает вопрос, опасны ли косвенно наблюдаемые очаги воспламенения и могли ли они привести к возникновению горения всей смеси? Для определения условий распространения горения из очагов воспламенения и ответа на поставленный вопрос проведены две серии экспериментов.

В первой исследовалось влияние уплотнения образца на чувствительность шихт, которые испытывались в насыпном, подпрессованном и комбинированном видах. В последнем случае на подпрессованный слой шихты вне бойка делалась подсыпка (20 мг) из этой же смеси. Величина зазора между крышкой прибора и подсыпкой составляла 0,5 мм. В процессе разрушения слоя подсыпка образует пылевоздушную смесь в зазоре с выдавливаемой из-под бойка смесью, увеличивая опасность удара (рис. 5). Для шихт в насыпном состоянии наблюдаются наиболее высокие энергии инициирования, поскольку они легко выдавливаются из-под бойка и труднее обеспечивается в тонком слое необходимом отношении d/h для достижения критических условий деформации и разогревов [1, 2]. Промежуточное по величине энергии инициирования положение соответствует подпрессованному слою: $E_{min} = 0,2$ и 0,12 Дж для составов $Ti + Cr + C$ и $Cr_2O_3 + FeO + TiO + C + Al$ соответственно.

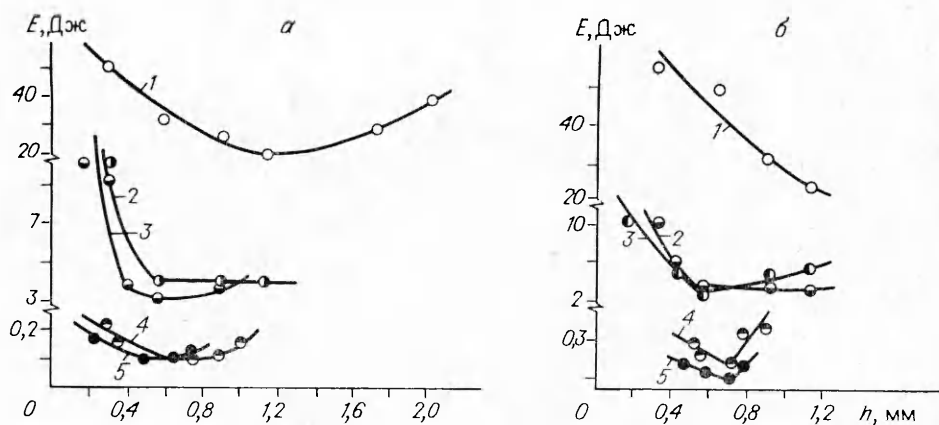


Рис. 2. Влияние добавок графита (а) и сажи (б) на чувствительность состава $V_2O_5 + Al + C$ в зависимости от диаметра и высоты бойка.
 d , мм: 1—10, 2, 3—4, 4—2,5, 5—1,6; M , кг: 1, 2—10, 3—5—2.

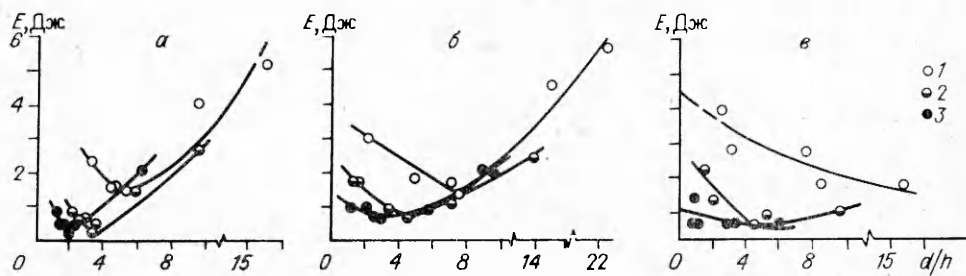


Рис. 3. Зависимость энергии инициирующего удара от d/h и d ; $M = 1$ кг.
 а — $Ti + Cr + C + Ni$; б — $Ti + C + Ni$; в — $Ti + V$. d , мм: 1—3, 2—2,5, 3—1,6.

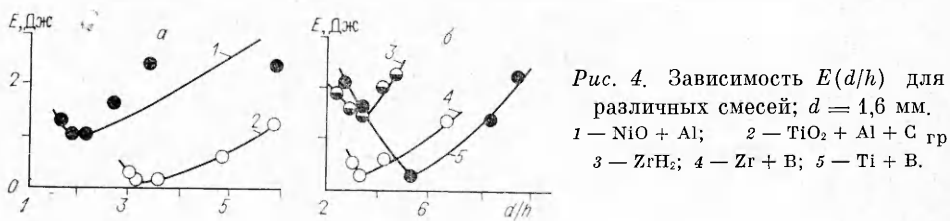


Рис. 4. Зависимость $E(d/h)$ для различных смесей; $d = 1,6$ мм.
 1 — $NiO + Al$; 2 — $TiO_2 + Al + C$ гр
 3 — ZrH_2 ; 4 — $Zr + B$; 5 — $Ti + V$.

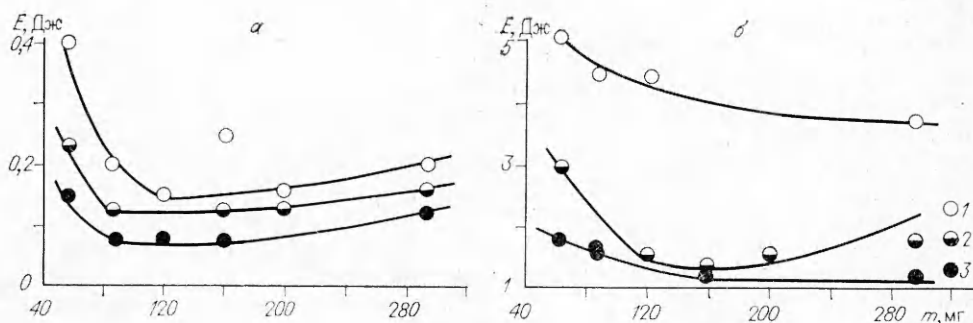


Рис. 5. Зависимость $E(m)$ в насыщенном (1), подпрессованном (2) и комбинированном (3) состояниях смесей при $d_{min} = 1,6$ мм, $M = 1$ кг.
 а — $Cr_2O_3 + FeO + TiO + C + Al$; б — $Ti + Cr + C + Ni$.

Наименьшая величина энергий инициирующего удара наблюдается в комбинированном слое. Здесь подпрессованный слой обеспечивает достижение оптимального соотношения d/h , а подсыпка облегчает частичное распространение горения, за счет чего несколько снижается E_{min} . Однако полного выгорания не происходит, по-видимому, из-за высокой концентрации вылезвоздушной смеси (200 кг/м^3) в ограниченном объеме прибора,

Смесь (стехиометрия)	h, мм	d _{min} , мм	d/h	E _{min} , Дж			Тип зависимости E=f(d/h) по рис. 1
				На копре К-44-1		На копре К-44-11 по ГОСТ 4545-88	
				по ожогам	по горению		
B ₂ O ₃ + TiO ₂ + Mg	0,33	1,6	4,9	0,9—0,6 *	4,3	29,4	2
Cr ₂ O ₃ + FeO + TiO + C + Al (АСД-4)	0,38	1,6	4,2	0,12	4,5	—	3
CrO ₃ + B ₂ O ₃ + Al	0,35	1,6	4,6	1,8—1,6 *	5	49	3
V ₂ O ₅ + Al + C _{гр}	0,50	1,6	3,2	0,08	5	29,4	2
V ₂ O ₅ + Al + C _{сажа}	0,72	1,6	2,2	0,1	5	49	2
TiO ₂ + Al + C _{гр}	0,50	1,6	3,2	0,12	5	49	2
Ti + Cr + C + Ni	0,72	1,6	2,2	0,2	5	49	2
NiO + Al	0,50	1,6	3,2	0,3	5	49	2
Zr + B	0,72	1,6	2,7	0,3	5	49	2
Ti + C	1,10	1,6	1,5	0,3	5	49	2
					0,7 **		
Ti + C + Ni	0,51	1,6	3,1	0,5	5	49	2
					0,9 **		
Ti + B	0,26	1,6	6,2	0,6	5	49	2
ZrH ₂	0,46	1,6	3,4	1,4	5	49	2
					1,9		
Mg + B ₂ O ₃	0,24	2,5	2,0	1,8—1,4 *	5	—	1
Mg + Ba(NO ₃) ₂	0,38	2,5	6,6	0,95—0,8 *	1,3	47	1
Zr + Ba(NO ₃) ₂	0,40	0,5	1,3	0,04	0,04 ***	62	3

* Данные, полученные при использовании комбинированных зарядов с подсыпкой основного состава.

** Значения получены при использовании комбинированных зарядов с подсыпкой из кислородсодержащего состава.

*** 90%-я частотность вспышек при использовании комбинированного заряда с подсыпкой основного состава.

что значительно выше верхнего концентрационного предела горения [7].

Во второй серии экспериментов на подпрессованный слой вне бойка делалась подсыпка 20 мг из пиротехнической смеси на основе циркония с кислородсодержащим окислителем Ba(NO₃)₂ в стехиометрическом соотношении. В этом случае условия распространения горения должны выполняться в объеме прибора и свидетельствовать о пожароопасности косвенно наблюдаемых очагов воспламенения в составах при ударе. Как оказалось, эти очаги способны инициировать горение не только более активной подсыпки, но и основного подпрессованного состава. Энергии, необходимые для инициирования горения исследованных шихт (с подсыпкой) несколько выше, чем для возникновения ожогов (см. таблицу). Без подсыпки требуются значительно большие энергии. Как видно из таблицы, для большинства смесей увеличение энергии удара до 5 Дж не приводит к возникновению горения.

Итак, если ориентироваться на возникновение очагов воспламенения, то анализ приведенных в таблице результатов показывает высокую чувствительность шихт к удару, поскольку очаги возникают при $E = 0,08 \div 1,8$ Дж и $d = 1,6$ мм (значения того же порядка, как и смеси металл — окислитель [1, 2]). Если же ориентироваться на результаты стандартных испытаний по ГОСТ 4545-88 [4], то большинство смесей не инициируются даже при энергиях, на два порядка превышающих найденные значения E_{min} .

Таким образом, стандартные испытания не всегда позволяют дать достоверную оценку чувствительности рассмотренных составов и могут

приводить к принципиальным ошибкам в оценке их пожароопасности. Однако из полученных в данной работе результатов видно, что большое значение имеют также условия распространения горения. Если же они не выполняются, например из-за концентрационных пределов или кратковременности удара, то очаги воспламенения не вызывают горения, т. е. в этих условиях воздействия ударом не опасны. Если же условия распространения выполняются, то удары могут вызывать горение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажанов С. П., Гидаспова Е. Х. и др. Чувствительность к удару смесей металл — окислитель // ФГВ.— 1988.— 24, № 5.— С. 106—110.
2. Муратов С. М., Бажанов С. П., Гидаспова Е. Х. и др. Деформация и возбуждение взрыва смесей металл — окислитель при воздействии ударом и трением // Там же.— 1985.— 21, № 4.— С. 123—127.
3. Муратов С. М., Цыганков В. С., Постнов С. И. и др. Чувствительность составов для СВС к удару и трению // I Всесоюз. симп. по макроскопической кинетике и химической газодинамике: Тез. докл.— Черноголовка, 1984.— Т. 2, Ч. 2.— С. 128.
4. ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые. Методы определения чувствительности к удару.— М.: Госстандарт. 1988.
5. Амосов А. П., Муратов С. М. Воздействие на тонкий пластический слой ударом // Докл. АН СССР.— 1977.— 234, № 5.— С. 1051—1054.
6. Амосов А. П., Мишина В. А. К теории воздействия на тонкий пластический слой ударом // ФГВ.— 1980.— 16, № 2.— С. 145—147.
7. Корольченко А. Я. Пожаровзрывобезопасность промышленной пыли.— М.: Химия, 1986.— 213 с.

г. Куйбышев

*Поступила в редакцию 22/IV 1991,
после доработки — 13/II 1992*

УДК 534.222.2

С. Д. Любарский, А. С. Иванов, В. А. Скляр

ВЛИЯНИЕ ОТДАЧИ НА ПАРАМЕТРЫ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИСТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ ИЗ КАНАЛА

Рассмотрено влияние отдачи на параметры истечения двухфазной среды насыпной плотности из канала. Расчеты и экспериментальные исследования показывают, что отдача канала отражается на длительности истечения только после того, как взаимодействие волн разрежения, распространяющихся от среза и дна канала, приведет к изменению параметров двухфазной среды в канале. Поэтому на длительность истечения 25 % среды отдача канала в рассматриваемом диапазоне соотношений масс сыпучего заполнителя и канала практически не влияет, в то время как длительность истечения 75 % среды при наличии отдачи существенно возрастает.

Задача повышения эффективности систем пожаротушения, основанных на импульсной подаче огнетушащего порошка за счет энергии сжатого воздуха [1], требует всестороннего исследования факторов, влияющих на дальность доставки порошка, параметры его истечения, на концентрацию порошка в локализуемой зоне. Движение сжатой двухфазной среды (твердые частицы — газ) насыпной плотности при внезапном расширении рассматривалось в [2, 3]. В [3] представлена система уравнений, описывающая движение двухфазной среды внутри канала в рамках модели равновесного течения [4]. При этом канал, из которого происходило истечение, рассматривался как неподвижный. Для практики представляет интерес задача о метании огнетушащего порошка из незакрепленного канала и влиянии отдачи на параметры движения двухфазной среды.

Задача о влиянии отдачи схематизировалась следующим образом. Герметичный горизонтально расположенный канал, заполненный песком с избыточным давлением газа в норовом пространстве, имеет возможность