

7. Э. Э. Шпильрайн и др. Теплофизические свойства щелочных металлов. М.: Изд-во стандартов, 1970.
8. Таблицы физических величин. Справочник/Под ред. И. К. Кикоина. М.: Атомиздат, 1978.

УДК 536.463 : 662.612

СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ В АЭРОВЗВЕСЯХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

А. Г. Алексеев, И. В. Судакова

(Киев)

Скорость распространения пламени — одна из важных характеристик горения газовзвесей порошков. Этот параметр используется как в теории горения, так и при решении прикладных задач, в частности, в технике безопасности — в ряде расчетных методов определения характеристик воспламеняемости и взрываемости порошков, а также на практике, при решении вопросов локализации взрыва и взрывоподавления.

Большинство опубликованных работ теоретически обосновывают определяющее влияние либо одного из механизмов теплопередачи (кондуктивный [1—4] или радиационный [5—7]), либо совместное их действие [8—10]. Более надежные данные для конкретных условий могут быть получены экспериментальным путем. Однако ввиду различия в методиках экспериментов полученные значения скорости изменяются в пределах от нескольких сантиметров до 1000 м/с и более. Накопление и обобщение экспериментальных данных позволит, помимо получения результатов для конкретных условий, обосновать физические модели процесса распространения пламени. В этом плане интересен комплекс работ [11—14]. Опыты и расчеты выполнены преимущественно с порошками магния при концентрациях до 300 г/м³.

Следует учитывать и влияние газодинамических факторов (турбулентности, ударных волн), особенно при распространении аэровзвесей в трубах большой протяженности и шероховатости. В этих условиях быстро достигаются высокие скорости распространения пламени (до 1600 м/с), о чем свидетельствуют эксперименты в лабораторных и промышленных условиях [15—17].

Для исследования скорости распространения пламени по аэровзвеси порошков в настоящей работе принята методика, суть которой заключается в фотографировании пламени при помощи кинокамеры и вычислении скорости по перемещению фронта горения в нестесненных условиях. Распыление и воспламенение осуществлялось во взрывной камере постоянного давления емкостью 1 м³, исключающей внешнее возмущение среды. Навески порошков распыляли с помощью распылителя ИПМ диаметром 100 мм. Объем камеры на два порядка превышал объем образующегося пылевого облака, что практически исключало влияние ограждающих стенок. Избыточное давление сбрасывалось через откидную шторку. Схема установки представлена на рис. 1.

Давление в ресивере при распылении составляло 4 кгс/см², длительность распыления — 0,4 с. В качестве источника зажигания применяли электроспираль или пиротехнический воспламенитель. Регистрацию процесса распространения пламени осуществляли кинокамерой «Киев-16У». Контроль концентрации создаваемого пылевого облака осуществляли двумя методами: расчетом объема пылевого облака по кинограмме процесса распыления с последующим делением распыленной навески на этот объем и отбором проб аэровзвеси в различных местах пробоотборником мгновенного действия.

По данной методике исследовали скорость распространения пламени в аэровзвесах порошков алюминия, алюминиево-магниевого сплава (ПАМ), магния (МПФ), порошка титана кальциетермического и цирко-

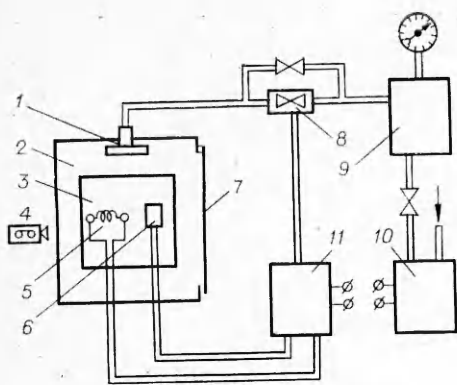


Рис. 1. Схема установки для определения скорости распространения пламени в аэрозвесах.

1 — распылитель; 2 — взрывная камера; 3 — смотровое окно; 4 — кинокамера; 5 — источник зажигания; 6 — пробоотборник; 7 — шторка; 8 — пневмоэлектрклапан; 9 — ресивер; 10 — компрессор; 11 — электронный блок управления.

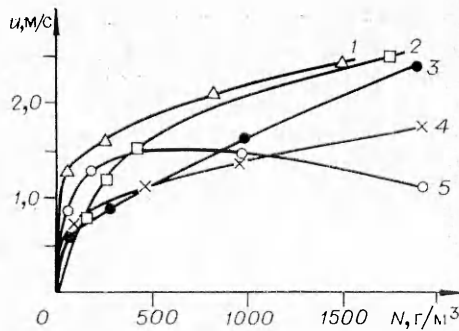


Рис. 2. Зависимость скорости распространения пламени от концентрации аэрозвеси порошков.

1 — цирконий; 2 — алюминий; 3 — титан; 4 — магний; 5 — ПАМ.

ния. Дисперсный состав порошков характеризуется данными, приведенными в таблице.

Опыты по определению скорости распространения пламени проведены в широком диапазоне концентрации аэрозвеси (до 2000 г/м³). Обработка полученных кинограмм показала, что пламя устойчиво распространяется в аэрозвесах всех исследованных порошков. Форма распространения фронта пламени близка к сферической.

В результате исследований установлено, что наименьший период достижения максимальной скорости пламени при концентрации $N \sim 0,5$ г/м³ наблюдается у аэрозвеси порошков МПФ и составлял 0,031 с. Несколько более продолжительны эти периоды у порошков алюминия (0,093 с) и ПАМ (0,124 с). Продолжительность горения всех аэрозвесей в условиях опыта находится в диапазоне 0,5—1,4 с.

На рис. 2 приведена графическая зависимость скорости распространения пламени порошков u от N . Видно, что u существенно возрастает с увеличением N , причем особенно интенсивно при $N \leq 200$ г/м³. Сильной зависимостью $u(N)$ вблизи нижнего концентрационного предела воспламенения можно объяснить расхождение в экспериментальных данных, полученных различными авторами в этом диапазоне концентраций. При дальнейшем увеличении концентрации рост скорости распространения пламени замедляется (аналогично давлению взрыва) вследствие обеднения смеси свободным кислородом, что подтверждается нашими опытами по полноте сгорания порошков при различной концентрации. Так, для порошков алюминия при $N = 100$ и 1000 г/м³ полнота сгорания составляет соответственно 90 и 25%. Зависимость $u(N)$ имеет параболический вид.

Расчет для случая кондуктивной теплоотдачи при горении аэрозвеси магниевого порошка со средним диаметром частиц 40 мкм при концентрации 200 г/м³ выполнен по формуле

$$u = \frac{r_0 \left(\frac{4\rho_s}{3B} \right)^{1/3}}{t_r}$$

Порошок	Массовая доля фракций (мкм), %					
	50—40	40—25	25—16	16—10	10—6,3	мельче 6,3
Алюминий	1	2,3	8,4	29,9	37,0	21,4
Магний	25	55,0	10,0	5,0	3,0	2,0
Титан	78	13,7	4,3	2,7	0,7	0,6
Цирконий	8	53,1	15,8	8,9	7,9	6,3
ПАМ	26,5	44,9	22,4	3,2	0,8	2,2

где r_0 — радиус частиц; ρ_s — плотность частиц; B — массовая концентрация горючего; t_r — время горения частиц. Константа горения частиц принята равной 105 с/см^2 [12].

Полученная в оценочном расчете величина скорости 40 см/с даже без учета полноты сгорания частиц (65%) значительно ниже установленной экспериментально — 90 см/с (см. рис. 2), что свидетельствует о существенном вкладе в процесс горения аэровзвесей радиационного теплообмена.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Лейпунский. ЖХВ, 1960, 34, 1.
2. Р. А. Барлас. — В кн.: Предупреждение внезапных взрывов газодисперсных систем. Киев: Наукова думка, 1971.
3. Э. П. Руманов, Б. И. Хайкин. Докл. АН СССР, 1971, 201, 1.
4. Э. П. Руманов, Б. И. Хайкин. — В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1972.
5. К. Н. Essenhigh, I. Csaba. 9-th Symp. (Intern.) on Comb. N. Y., Academic, 1963.
6. О. М. Тодес, А. Д. Гольцикер и др. — В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1972.
7. D. Bhaduri, S. Bandyopadhyay. Comb. Flame, 1971, 17, 1.
8. Г. Е. Озерова, А. М. Степанов. ФГВ, 1973, 9, 5.
9. Г. Е. Озерова, А. М. Степанов. ФГВ, 1979, 15, 5.
10. К. К. Ионуша и др. ФГВ, 1979, 15, 5.
11. С. В. Горошин и др. — В кн.: Физика аэродисперсных систем. Вып. 18. Киев — Одесса: Вища школа, 1978.
12. Е. И. Кондратьев и др. — В кн.: Физика аэродисперсных систем. Вып. 19. Киев — Одесса: Вища школа, 1979.
13. С. В. Горошин и др. — В кн.: Физика аэродисперсных систем. Вып. 20. Киев — Одесса: Вища школа, 1980.
14. В. Г. Шевчук и др. ФГВ, 1982, 18, 5.
15. W. A. Strauss. AIAA J., 1968, 6, 9.
16. В. С. Сергеев и др. ФГВ, 1977, 13, 6.
17. А. М. Быков, А. Н. Прозоров. ФГВ, 1980, 16, 1.

УДК 546.36

ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ЧАСТИЦ ЗОЛЬНОГО УГЛЯ

*С. А. Киро, Я. И. Вовчук, А. Н. Золотко, Л. А. Клячко
(Одесса)*

Рациональное использование зольных углей — одна из важнейших народнохозяйственных задач. Необходимым условием для ее решения является знание процессов воспламенения и горения таких горючих. Вопросам горения зольных углей в литературе уделено достаточно внимания, тогда как особенности их воспламенения практически не рассматривались. Очевидно, что организация эффективного преобразования зольных углей в энергетических установках невозможна без анализа закономерностей их воспламенения, так как время преобразования горючего есть сумма времен задержки воспламенения и горения.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование и теоретический анализ воспламенения зольных углей в кислородсодержащих средах.

Изучались порошки углей разных марок с зольностью $A^z = 4,5 \div 72\%$. Для выявления качественных особенностей предпламенного процесса проводилась микрокиносъемка одиночных частиц угля ($d_n = 0,2 \div 2 \text{ мм}$), помещенных внутрь кварцевой трубки микроречи ($d = 2,5 \text{ мм}$, $l = 100 \text{ мм}$, $T_\infty^{\text{max}} = 1400 \text{ К}$), куда слабым током подавался кислород. Результаты микрокиносъемки позволили обнаружить два варианта предвоспламенительного процесса. В первом случае, характерном для низзолельных углей ($A^z < 15\%$) и для всех исследованных марок углей с тугоплавкой золой ($T_{\text{пл}}^z > T_B$), воспламенению частиц предшествовало образование пористого слоя золы (рис. 1, а), а полнота сгорания углерода составляла