

Проведенные эксперименты показали, что метод диффузии инертного газа можно применять для измерения инертности турбулентности в зоне горения.

В результате измерений обнаружена дополнительная турбулизация потока пламени при составах смеси, близких к стехиометрическому.

Поступила в редакцию
24/IX 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. B. Karlovitz, D. Lennistion, F. Wells. J. Chem. Phys., 1951, 19, 5, 541.
2. A. Scurlock, I. Grover. 4-th Symposium (International) on Combustion, 1953.
3. И. Л. Кузнецов, А. М. Трохан и др. Докл. АН СССР, 1966, 171, 2.
4. А. Вестенберг. ВРТ, 1955, 2.
5. А. Г. Прудников. В сб. «Горение в турбулентном потоке». Изд-во АН СССР, 1959, стр. 88.
6. A. A. Westenberg and J. L. Rice. Combustion and Flame, 1959, VIII, 4.

УДК 662.216.5

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК АЛЮМИНИЯ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ СМЕСЕВЫХ СИСТЕМ С РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ГОРЕНИЯ

А. Н. Шашков, Н. Н. Бахман, Ю. А. Кондрашков
(Москва)

Известно, что добавки алюминия неодинаково влияют на скорость горения различных смесевых систем. Отчасти это может быть связано с различием в температуре горения этих систем.

В работе [1] приведена формула, согласно которой добавка алюминия может увеличивать скорость горения тем сильнее, чем ниже температура горения исходной системы. Другими словами, повысить скорость горения «холодной» системы легче, чем «горячей».

Были проведены опыты, в которых температура горения смесевой системы существенно изменялась за счет введения инертной добавки — окиси алюминия, которая сама является продуктом горения алюминия.

В опытах применялась стехиометрическая (порошкообразная и желатинизированная) смесь¹ мелкодисперсного ($\sim 13 \text{ мк}$)² перхлората аммония (ПХА) и мелкодисперсного ($\sim 3 \text{ мк}$) полиметилметакрилата (ПММА). Методика проведения опытов описана в работе [1].

При разбавлении исходной смеси окисью алюминия скорость горения ее снижается. Поскольку в пределах зоны, влияющей на скорость горения, окись алюминия заведомо не газифицируется (и, вероятно, не плавится), а теплоемкость Al_2O_3 невысока (близка к $0,3 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$ и слабо зависит от температуры [2, 3]), снижение скорости горения является значительным лишь при достаточно большом ($\sim 30\text{--}50\%$) проценте добавки окиси алюминия. Результаты измерений для желатинизированной смеси ПХА+ПММА ($\alpha=1$) приведены в табл. 1.

Из таблицы видно, что добавка 25% окиси алюминия при низких давлениях лишь незначительно снижает скорость горения, а при высоких давлениях — практически

¹ При желатинизации к смеси порошкообразных компонентов добавлялось небольшое количество растворителя (дихлорэтана) и смесь выдерживалась при помешивании в течение суток, после чего растворитель удалялся. В ходе желатинизации горючее распределялось в виде тонких пленок по поверхности частиц окислителя и других компонент состава не растворяющихся в дихлорэтано (т. е. обеспечивалось более тщательное смешивание).

² Средний размер частиц вычислен по величине удельной поверхности, измеренной на приборе ПСХ-2.

не влияет на нее¹. При 50% добавки окиси алюминия значительное снижение скорости горения достигается лишь при низких давлениях. Это связано с тем, что по мере увеличения давления уменьшается ширина зоны влияния и частицы Al_2O_3 не успевают отнять значительное количество тепла от реагирующей смеси.

Перейдем теперь к результатам опытов, в которых к исходной смеси и к смеси, разбавленной окисью алюминия, добавлялся мелкодисперсный алюминий (частицы

Таблица 1

Добавка, %	u, мм/сек			
	5 атм	10 атм	40 атм	100 атм
0	4,3	6,7	11,9	15,2
25	3,8	6,3	12,1	15,3
50	1,9	3,6	6,9	12,6

алюминия сферической формы со средним размером ~5 мк). Из данных табл. 2 видно, что добавка алюминия увеличивает скорость горения разбавленной смеси гораздо сильнее, чем скорость горения исходной смеси (ср. величину z для смесей 3 и 4 или для смесей 3' и 4'). Другими словами, добавка алюминия действует тем сильнее, чем ниже температура горения [1, 5].

Разница между величинами z для смесей 3 и 4 (или 3' и 4') максимальна при низких давлениях, когда зона влияния широка, и снижение температуры горения при разбавлении смеси окисью алюминия особенно велико.

Таблица 2

Номер смеси	Смесь	u, мм/сек				z				Примечание
		5 атм	10 атм	40 атм	100 атм	5 атм	10 атм	40 атм	100 атм	
1	ПХА+ПММА ($\alpha=1$)	4,0	5,5	10,3	13,5	—	—	—	—	
2	50% ПХА+ПММА ($\alpha=1$) + 50% Al_2O_3	1,9	2,8	5,3	9,4	—	—	—	—	
3	85% ПХА+ПММА ($\alpha=1$) + 15% Al	4,4	6,5	13,0	18,7	1,10	1,18	1,26	1,38	$z = u_3/u_1$
4	85% (50% ПХА+ПММА ($\alpha=1$) + 50% Al_2O_3) + 15% Al	6,1	8,4	12,4	16,8	3,21	3,00	2,34	1,79	$z = u_4/u_2$
1'	ПХА+ПММА ($\alpha=1$)	4,3	6,7	11,9	15,2	—	—	—	—	
2'	50% ПХА+ПММА ($\alpha=1$) + 50% Al_2O_3	1,9	3,6	6,9	12,6	—	—	—	—	
3'	85% (ПХА+ПММА ($\alpha=1$)) + 15% Al	4,1	6,0	13,4	21,2	0,95	0,90	1,13	1,39	$z = u'_3/u'_1$
4'	85% (50% ПХА+ПММА ($\alpha=1$) + 50% Al_2O_3) + 15% Al	5,3	6,9	12,3	17,9	2,79	1,92	1,78	1,42	$z = u'_4/u'_2$

Примечание. Смесей 1, 2, 3, 4 — порошкообразные, 1', 2', 3', 4' — желатинизированные.

В заключение сделаем два замечания.

1. Можно поставить вопрос о том, правильно ли сравнивать величину z для разбавленной смеси 4 или 4' с величиной для исходной смеси 3 или 3'. Дело в том, что в смеси 4 процент алюминия по отношению к активной смеси ПХА+ПММА выше, чем в смеси 3 (отношение процента Al к проценту ПХА+ПММА для смеси 4 составляет 0,353, а для смеси 3 оно вдвое ниже 0,1765).

В связи с этим была измерена скорость горения неразбавленной смеси 3'' (73,9% ПХА+ПММА ($\alpha=1$) + 26,1% Al, для которой отношение процента Al к проценту ПХА+ПММА также равно 0,353). Результаты этих опытов представлены в табл. 3.

Как видно из этих данных, увеличение процента алюминия в исходной смеси в данном случае лишь незначительно изменяет скорость горения и величину z и никак

¹ В работе [4] показано, что инертные добавки с малой теплоемкостью могут даже несколько увеличивать линейную скорость горения, и, в случае, если удельный вес частиц добавки достаточно велик, существенно увеличивать массовую скорость горения.

Таблица 3

Номер смеси	u, мм/сек				z				Примечание
	5 атм	10 атм	40 атм	100 атм	5 атм	10 атм	40 атм	100 атм	
3	4,4	6,5	13,0	18,7	1,10	1,18	1,26	1,38	$z = u_3/u_1$
3'	4,2	6,4	13,4	20,5	1,05	1,16	1,30	1,52	$z = u_3''/u_1$
4	6,1	8,4	12,4	16,8	3,21	3,00	2,34	1,79	$z = u_1/u_2$

не влияет на основной вывод работы о том, что добавка алюминия действует на разбавленную смесь гораздо сильнее, чем на исходную.

2. Увеличение z по мере уменьшения температуры (T_r) горения пороха, конечно, будет наблюдаться только до той температуры, при которой частицы алюминия еще достаточно быстро воспламеняются вблизи поверхности пороха. При дальнейшем уменьшении T_r алюминий перестанет воспламеняться в зоне влияния и превратится в инертную добавку.

Поступила в редакцию
14/III 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Бахман, А. Ф. Беляев, Ю. А. Кондрашков. ФГВ, 1970, 6, 1.
2. А. Е. Ван. Строение и свойства двойных металлических систем, т. I. Физматгиз, 1959.
3. П. Б. Контор, В. В. Кандиба, Е. М. Фомичев. Укр. физ. ж., 1962, 2, 205.
4. Н. Н. Бахман. Докл. АН СССР, 1962, 145, 6, 1328.
5. Н. Н. Бахман, Ю. А. Кондрашков. Докл. АН СССР, 1966, 168, 4, 844.

УДК 662.217.7

ДИФфуЗИОННОЕ ГОРЕНИЕ КАПЛИ ЖИДКОГО ГОРЮЧЕГО В СМЕСИ ДВУХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ

М. А. Гуревич, А. М. Степанов
(Ленинград)

Диффузионная теория горения капли жидкого горючего, предложенная Г. А. Варшавским [1] в упрощенном варианте (т. е. в допущении сферической симметрии и независимости коэффициентов переноса от температуры и локального состава смеси), приводит, как известно, к следующему соотношению для вычисления скорости испарения горящей капли g :

$$\frac{g}{4\pi\rho D} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_3} \right) = \ln |B|, \quad (1)$$

где

$$B = 1 - \frac{c_p}{l} (T_0 - T_3) + \frac{q_{пкз}}{l}. \quad (2)$$

Это соотношение получено для случая, когда окружающий каплю газ содержит только один окислитель (например, кислород). В действительности газовая среда может содержать несколько таких окислителей. Легче всего распространить расчет на случай, когда каждый из окислителей не реагирует ни с какими продуктами (конечными или промежуточными) реакций горючего с другими окислителями. В этом случае верна формула (1), а (2) должна быть заменена формулой

$$B = 1 - \frac{c_p}{l} (T_0 - T_3) + \frac{1}{l} \sum_{(i)} q_i n_i. \quad (3)$$