

неодинаково влияет на скорость горения при низких и при высоких давлениях.

При низких давлениях, когда удельный объем газа велик, разбрызгивание слоя обеспечивает эффективный перенос жидкого окислителя к частицам горючего (имеется определенное давление, где степень разбрызгивания оптимальна). Напротив, при высоких давлениях, когда удельный объем газа мал, наличие на поверхности почти сплошного, малоподвижного жидкого слоя может препятствовать горению.

Поэтому при низких давлениях увеличение толщины δ жидкого слоя за счет увеличения начальной температуры¹ является выгодным ($z_{150^\circ\text{C}} > z_{20^\circ\text{C}}$), а при высоких давлениях — невыгодным ($z_{150^\circ\text{C}} < z_{20^\circ\text{C}}$).

Соответственно при низких давлениях $\frac{dz}{dT_0} > 0$, а при высоких давлениях $\frac{dz}{dT_0} < 0$. В согласии с формулой (1) это приводит к тому, что при низких давлениях добавки LiF, KCl и т. п. увеличивают температурный коэффициент, а при высоких давлениях — снижают его.

Поступила в редакцию
12/V 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Бахман, С. А. Цыганов, В. Б. Захаров. ФГВ, 1970, 6, 1.
2. Ю. С. Кичин, Г. В. Лукашеня и др. ФГВ, 1970, 6, 2.
3. А. П. Глазкова. ЖФХ, 37, 1963, 5, 1119.
4. E. A. Arden, J. Powling, W. A. W. Smith. Combustion and Flame, 1962, 6, 1, 21.
5. А. Ф. Беляев, Г. В. Лукашеня. Докл. АН СССР, 1963, 148, 1327; ПМТФ, 1963, 6, 114.
6. Г. В. Лукашеня, Г. М. Малиненко и др. ФГВ, 1966, 2, 3, 59.
7. Н. Н. Бахман, Ю. А. Кондрашков. Докл. АН СССР, 1966, 168, 4, 844.
8. В. С. Никифоров, Н. Н. Бахман. ФГВ, 1969, 5, 2.
9. В. В. Жалнин, Н. Н. Бахман и др. ФГВ, 1970, 6, 4.
10. Н. Н. Бахман. ЖФХ, 1965, 39, 8, 1860.
11. М. М. Markowitz, R. F. Harris. Phys. Chem., 1959.

УДК 536.46+662.216.5

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК АЛЮМИНИЯ И ОКСИ ЖЕЛЕЗА НА ВЕЛИЧИНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ

В. В. Жалнин, Н. Н. Бахман, Г. В. Лукашеня, Ю. С. Кичин
(Москва)

В работе [1] было показано, что при введении окиси железа (каталитическая добавка, увеличивающая скорость горения) зависимость скорости горения u от начальной температуры T_0 ослабляется. Соответственно снижается температурный коэффициент скорости горения

$$\beta = \frac{d \ln u}{dT_0} \text{ 1/град.}$$

¹ Увеличение δ за счет увеличения процента добавки является значительно менее выгодным, так как добавка LiF сама по себе только снижает теплоту горения.

В данной работе исследовано действие добавок алюминия, окиси железа и совместное действие алюминия и окиси железа на температурный коэффициент скорости горения смесей перхлората аммония с полистиролом и полиметилметакрилатом. Методика эксперимента была подробно описана в работе [2]. Размер частиц составлял для ПХА ~ 10 мк, для ПС ~ 5 мк, для ПММА 3 мк, для Al (ПАК-4) ~ 16 мк, для $Fe_2O_3 \sim 2$ мк.

В табл. 1 представлены значения температурных коэффициентов смесей перхлората аммония с полистиролом при различном процентном соотношении компонентов (α) и разных

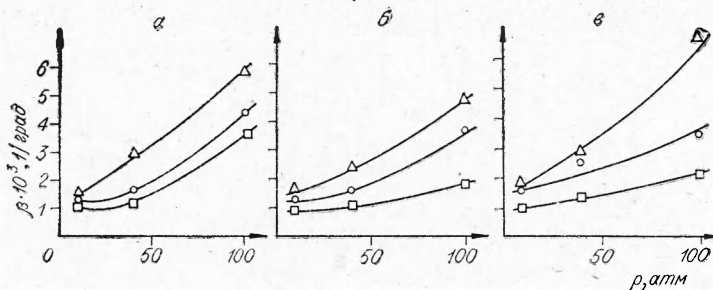
Таблица 1
Влияние алюминия на величину β для смесей ПХА+ПС

α	Процент добавки Al	$\beta \cdot 10^3$ 1/град при давлении (атм)		
		10	40	100
0,15	0	6,1	5,5	5,0
	13	1,6	2,7	3,9
0,50	0	1,6	1,5	1,5
	13	1,2	1,5	1,5
2,10	0	3,0	3,1	3,3
	13	2,8	2,2	2,1

давлениях (p), откуда видно, что во всем изученном интервале давлений добавка 13% Al снижает температурный коэффициент. При этом для состава $\alpha=0,15$ добавка сильнее снижает β при низких давлениях, а для состава $\alpha=2,1$ — при высоких давлениях. Проведена серия опытов для смесей ПХА с полиметилметакрилатом при $\alpha=0,6; 1,0$ и $2,0$. Кроме того, менялось количество алюминия в смесях (13 и 23%). Результаты опытов приведены на рисунке, откуда следует, что и здесь добавка алюминия приводит к снижению температурного коэффициента (при этом чем больше алюминия в смеси, тем ниже ее температурный коэффициент). Для всех составов с ПММА добавка сильнее снижает β при высоких давлениях. При этом чем больше окислителя в смеси, тем снижение β выражено сильнее.

Добавка 1% Fe_2O_3 снижает температурные коэффициенты как для смесей без алюминия, так и для смесей, содержащих алюминий (табл. 2, 3). Причем для составов с ПММА добавка 1% Fe_2O_3 сильнее снижает β для составов без алюминия. Для составов с полистиролом такой отчетливой закономерности не наблюдается ввиду того, что этот эффект скрадывается ошибкой эксперимента.

Была проведена серия опытов по выяснению влияния количества окиси железа на величину температурного коэффициента (табл. 4). Как



Зависимость температурного коэффициента от давления для смесей ПХА (~ 10 мк)+ПММА (~ 3 мк) с различным количеством алюминия.

а) $\alpha=0,6$; б) $\alpha=1,0$; в) $\alpha=2,0$. 1 — без добавки, 2 — 13% Al; 3 — 23% Al.

Таблица 2
Зависимость β от добавки 1% Fe_2O_3 для смесей с ПС

α	Добавка	$\beta \cdot 10^3$ 1/град при давлении (атм)		
		10	40	100
0,15	Без добавки	6,1	5,5	5,0
	1% Fe_2O_3	5,6	4,8	4,4
	13% Al	1,6	2,7	3,9
	13% Al+1% Fe_2O_3	1,1	1,7	2,0
	Без добавки	1,6	1,5	1,5
	1% Fe_2O_3	1,3	1,5	1,5
	13% Al	1,2	1,5	1,5
	13% Al+1% Fe_2O_3	1,0	1,1	1,1
2,1	Без добавки	3,0	3,1	3,3
	1% Fe_2O_3	2,4	2,5	2,3
	13% Al	2,8	2,2	2,1
	13% Al+1% Fe_2O_3	2,7	1,7	1,5

следует из этих данных, при увеличении количества окиси железа в смеси температурные коэффициенты продолжают снижаться.

В работе [1] была рассмотрена задача о скорости горения при одновременном протекании в одной узкой зоне гомогенной реакции в объеме и гетерогенной реакции на поверхности частиц. Если частицы достаточно мелки и реакция на них идет в диффузионном режиме, то можно получить простую связь между температурным коэффициентом смеси с добавкой (β) и температурным коэффициентом базовой смеси (β_0):

$$\beta = \frac{\beta_0}{z^2}, \quad (1)$$

где $z = \frac{u}{u_0}$ — отношение скорости горения (u) смеси с добавкой к скорости горения (u_0) смеси без добавки.

Таким образом, увеличивая скорость горения за счет введения алюминия или окиси железа ($z > 1$), получим, согласно (1), более низкий температурный коэффициент. Этот вывод находится в хорошем согласии с результатами наших опытов.

Таблица 4
Зависимость β от процентного содержания Fe_2O_3 для желатинизированной смеси ПХА+ПС+13% Al ($\alpha=0,75$)

Fe_2O_3 , %	$\beta \cdot 10^3$ 1/град при давлении (атм)	
	10	40
0	1,5	1,4
1	1,2	1,3
4	1,1	1,2
8	0,8	1,0

Схема, предложенная в работе [1], позволяет объяснить и более детальные закономерности. Из табл. 1 следует, что для смеси ПХА+ПС с большим избытком горючего ($\alpha=0,15$) добавка Al сильно снижает температурный коэффициент при низких давлениях и слабо — при высоких. Напротив, при избытке окислителя ($\alpha=2,1$) добавка Al слабо снижает β при низких давлениях и сильно — при высоких. Это обстоятельство можно объяснить следующим образом.

Согласно [1], величина z тем больше, чем

Таблица 3
Зависимость β от добавки 1% Fe_2O_3 для смесей с ПММА

α	Добавка	$\beta \cdot 10^3$ 1/град при давлении (атм)		
		10	40	100
0,6	Без добавки	1,5	3,0	5,9
	1% Fe_2O_3	1,3	2,3	4,6
	13% Al	1,3	1,7	4,5
	13% Al+1% Fe_2O_3	1,2	1,7	3,5
	23% Al	1,2	1,2	3,4
	23% Al+1% Fe_2O_3	1,2	1,2	3,1
1,0	Без добавки	1,5	2,4	4,7
	1% Fe_2O_3	1,2	2,1	3,8
	13% Al	1,4	1,6	3,7
	13% Al+1% Fe_2O_3	1,4	1,4	3,0
	23% Al	0,9	1,1	1,8
	23% Al+1% Fe_2O_3	0,8	1,0	1,6
2,0	Без добавки	1,7	2,9	6,6
	1% Fe_2O_3	1,6	1,8	2,6
	13% Al	1,6	2,5	3,4
	13% Al+1% Fe_2O_3	1,5	2,3	3,3
	23% Al	1,0	1,4	2,1
	23% Al+1% Fe_2O_3	1,0	1,3	1,9

ниже температура горения $T_{г_0}$ исходной смеси и чем выше температура горения $T_{г}$ для смеси с добавкой частиц.

В работе [2] показано, что для смесей ПХА+ПС с большим избытком горючего значение $T_{г_0}$ растет с ростом давления. Следовательно, при введении добавки алюминия максимальное значение z и соответственно наибольшее снижение температурного коэффициента должны наблюдаться при низких давлениях.

Действительно, в наших опытах значение z при $p=10$ атм составляло 2,0, а при $p=40$ атм — только 1,4. Соответственно при $p=10$ атм добавка алюминия снижает температурный коэффициент в 3,8 раза (с $6,1 \cdot 10^{-3}$ до $1,6 \cdot 10^{-3}$ 1/град), а при $p=40$ атм — только в 2 раза (с $5,5 \cdot 10^{-3}$ до $2,7 \cdot 10^{-3}$ 1/град).

Напротив, для составов, не перегруженных горючим, температура горения $T_{г_0}$ падает с ростом давления [2]. Отсюда понятно, что максимальное значение z и наибольшее снижение температурного коэффициента должны наблюдаться при высоких давлениях (см. табл. 1). Добавка окиси железа, увеличивая температуру горения, также приводит к снижению температурного коэффициента (см. табл. 2, 3), причем для смесей, содержащих алюминий (имеющих более высокую $T_{г}$), снижение z выражено слабее.

Поступила в редакцию
30/1 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Никифоров, Н. Н. Бахман. ФГВ, 1969, 5, 2.
2. Ю. С. Кичин, Г. В. Лукашеня и др. ФГВ, 1970, 6, 2.

УДК 536.45

ОБ ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ СМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ БЫСТРОГОРЯЩЕЕ ВЗРЫВЧАТОЕ ВЕЩЕСТВО

В. Д. Алешин, Б. С. Светлов, А. Е. Фогельзанг
(Москва)

Известно, что соли взрывчатых кислот, являющиеся быстрогорящими взрывчатыми веществами, имеют, как правило, отрицательный кислородный баланс и относительно низкую теплоту взрывчатого превращения. Поэтому можно было ожидать, что введение окислителей в такие ВВ, богатые горючим, приведет к увеличению скорости горения. На примере ряда моонитрофенолятов свинца — динитрофенолятов свинца — тринитрофенолятов свинца видно, как повышение энергетики введением дополнительных нитрогрупп приводит к увеличению скорости горения более чем на порядок [1]. Кроме того, в работе [2] отмечалось, что смесь пикрата калия с перхлоратом калия (близкая к стехиометрической) горит при высоких давлениях значительно быстрее чистого пикрата.