

гать 40%, что связано с заметным отличием коэффициента эффективно-го сечения $k_a(\rho, m)$ малых ($\rho < 20$) частиц от постоянного значения, равного 2. Эту погрешность можно уменьшить, умножив полученный спектр размеров на корректирующий множитель $S(\rho, m)$, учитывающий изменение коэффициента k_a .

$$S(\rho, m) \approx 2/k_a(\rho, m).$$

При анализе распределения и концентрации мелких частиц принималось $m = \infty$ (абсолютно отражающие частицы).

Исследования погрешностей восстановления функции распределения предлагаемой методикой, проделанные аналогично [6, 18, 19], показали, что в указанном интервале размеров частиц они не превышали 25%.

Всесоюзный
научно-исследовательский институт
физико-технических
и радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
21/1 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Ф. Похил, В. М. Мальцев и др. ФГВ, 1971, 7, 1.
2. Г. Д. Петров. Изв. АН СССР, сер. геофиз., 1959, 5, 796.
3. К. С. Шифрин, В. И. Голиков. Труды ГГО, вып. 170.
4. Г. Д. Петров, Р. Н. Соколов, В. А. Васильев. ИФЖ, 1970, XVIII, 1.
5. Р. Н. Соколов, Г. Д. Петров, Ф. А. Кудрявицкий. ТВТ, 1970, 1.
6. Р. Н. Соколов, Г. Д. Петров и др. Измерительная техника, 1973, 10.
7. А. М. Сальман. ЖТФ, 1970, 4.
8. А. Я. Хайруллина, С. Ф. Шумилина. ЖПС, 1973, XIX, 3.
9. J. Cornillaud. Appl. Optics, 1972, 11, 2, 265.
10. К. С. Шифрин, И. Б. Колмаков. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1967, 3, 12.
11. Г. Бейтман, А. Эрдейи. Высшие трансцендентные функции. М., «Наука», 1966.
12. J. N. Chin, C. M. Slierchevich, M. Tribus. J. Phys. Chem., 1955, 59, 9, 845.
13. Г. Ван де Хюлст. Рассеяние света малыми частицами. М., ИЛ, 1961.
14. М. Борн. Оптика, Харьков — Киев, ОНТИ, 1937.
15. V. E. Zuev, M. V. Kabanov, B. A. Savelev. Appl. Optics, 1969, 8, 1.
16. J. R. Hodgkinson. Appl. Optics, 1966, 5, 5.
17. E. J. Meeschaan, A. E. Lyberg. Appl. Optics, 1973, 12, 3, 551.
18. В. Н. Фунтаков, Р. Н. Соколов и др. Измерительная техника, 1974, 2.
19. В. Н. Фунтаков, Р. Н. Соколов и др. Измерительная техника, 1971, 7.

УДК 662.220

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ СОЛЕЙ-ОКИСЛИТЕЛЕЙ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ДВОЙНЫХ СМЕСЕЙ ИХ С МАГНИЕМ

В. В. Горбунов, А. А. Шидловский, В. А. Лобанов

В ряде работ [1—6] изучались процессы термического разложения и горения двойных смесей магния с различными окислителями (нитратами, перхлоратами и др.). Но полученные экспериментальные данные для смесей с разными окислителями резко сопоставлялись между собой и не анализировались факторы, влияющие на скорость горения. В данной работе сопоставлены скорости горения для смесей магния с пятнад-

Окислители по данным [7—10]			Свойства						
формула	$T_{пл}, ^\circ\text{C}$	$T_p, ^\circ\text{C}$	содержание магния, %	$E, \text{ккал/г}$	$T_r \cdot 10^3, \text{K}$	u_{60} при 60 ати, г/см ² с	$p, \text{атм}$	b	v
NaClO_4	470	530	44	2,6	4,1	2,0	10—100	0,63	0,31
NaNO_3	330	520	42	2,1	3,7	5,6	1—100	3,0	0,15
		(750)							
NaNO_2	270	~700	35	1,7	3,6	6,5	5—100	1,58	0,35
Na_2SO_4	890	1200	41	1,4	2,9	5,0	1—100	5,0	0
Na_2CO_3	850	—	32	0,75	1,8	0,75	1—100	0,75	0
KClO_4	590	620	41	2,5	4,1	2,1	20—100	0,12	0,72
KNO_3	310	630							
		(800)	38	1,8	3,7	2,4	1—100	1,25	0,15
KNO_2	390	~700	30	1,4	3,1	3,5	10—40	1,18	0,41
							40—100	3,5	0,11
K_2SO_4	1080	1550	36	1,2	2,9	1,6	1—100	1,59	0
K_2CO_3	890	1350	26	0,54	1,3	0,30	25—100	0,13	0,20
$\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	470	500	37	2,2	4,2	4,2	10—100	0,76	0,42
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	590	660	32	1,6	4,1	3,8	1—100	1,0	0,34
$\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$	270	400	24	1,3	4,0	3,5	5—100	0,55	0,47
BaSO_4	1580	—	29	0,9	2,7	9,9	1—60	2,0	0,39
	(с разл.)						60—100	4,1	0,22
BaCO_3	970	1350	20	0,53	1,5	2,3	10—40	2,8	0
							40—100	18,6	—0,50

Примечание. 1) Состав стехиометрических смесей рассчитывался исходя из предположения, что нитраты, нитриты и карбонаты восстанавливаются до оксидов, перхлораты — до хлоридов, а сульфаты — до сульфидов соответствующих металлов. 2) Для NaNO_3 и KNO_3 первая цифра отвечает выделению кислорода и цифра в скобках — интенсивному выделению нитрозных газов. 3) T_r , $T_{пл}$, T_p — температуры горения, плавления и интенсивного разложения соответственно; $u_{60} = v\rho$ — массовая скорость горения; E — теплота горения.

цатью различными окислителями: перхлоратами, нитратами, нитритами, сульфатами и карбонатами натрия, калия и бария.

Применялся полидисперсный порошок магния со средним размером частиц 35 мкм и содержанием активного металла 99,2%. Окислители марки х. ч. или ч. д. а. имели размер частиц 100—160 мкм. Смеси запрессовывались в плексигласовые трубки внутренним диаметром 7 или 10 мм под давлением 2500—3000 кг/см², что обеспечивало относительную плотность зарядов 0,85—0,95. Опыты проводились в бомбе постоянного давления в атмосфере азота. Зависимость скорости горения смесей от давления определялась в интервале 0—100 ати. Заряд воспламенялся электроспиралью с промежуточным воспламенителем (~0,2 г) — слабоуплотненной смесью того же состава. Перемещение фронта горения фотографировалось на движущуюся пленку барабанного фоторегистратора.

Свойства применявшихся солей-окислителей, состав и некоторые характеристики их смесей с магнием приведены в таблице.

На рис. 1 показана зависимость скорости горения от давления для смесей магния с солями натрия и калия. Как видно, смеси с солями натрия горят (за исключением перхлоратов) быстрее, чем смеси с солями калия. Быстрее других горят смеси на основе нитритов; как и у перхлоратных смесей, скорость их горения сильно повышается с увеличением давления. Наиболее медленно горят карбонатные смеси, скорость их горения остается постоянной в интервале 20—100 ати.

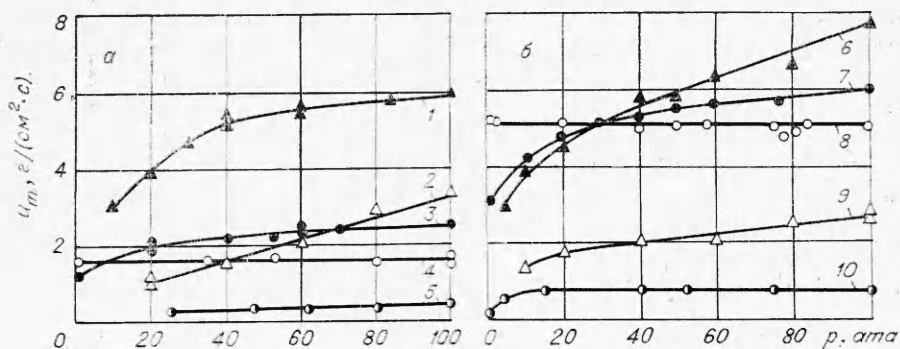


Рис. 1. Влияние давления (ати) на скорость горения смесей магния с солями натрия (а) и калия (б).

1 — NaNO_3 ; 2 — NaClO_4 ; 3 — NaNO_2 ; 4 — Na_2SO_4 ; 5 — Na_2CO_3 ; 6 — KNO_3 ; 7 — KClO_4 ; 8 — KNO_2 ; 9 — K_2SO_4 ; 10 — K_2CO_3 .

Также не зависит от давления в интервале 0—100 ати и скорость горения сульфатных смесей.

Среди бариевых солей (рис. 2) наибольшая скорость горения у смеси магния с сульфатом. Для нее же наблюдается наиболее сильная зависимость скорости горения от давления. Смеси магния с нитратом, перхлоратом и нитритом бария имеют почти одинаковые скорости горения при всех давлениях от 10 до 100 ати. Зависимость скорости горения от давления для них много меньше. Скорость горения карбонатной смеси уменьшается примерно в 1,5 раза при повышении давления от 40 до 80 ати.

Для смесей магния с солями натрия и калия обращает на себя внимание более высокая скорость горения нитритных смесей по сравнению с нитратными и относительно медленное горение перхлоратных смесей. В то же время, среди исследованных смесей перхлоратные и нитратные обладают максимальными теплотами и температурами горения (см. таблицу). Из бариевых смесей быстрее других горит смесь магния с сульфатом, значительно уступающая перхлоратной, нитратной и нитритной смесям по теплоте и температуре горения.

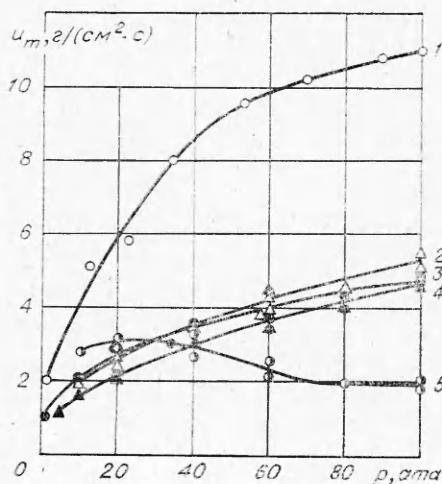


Рис. 2. Влияние давления (ати) на скорость горения смесей с солями бария.

1 — BaSO_4 ; 2 — $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$; 3 — $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; 4 — $\text{Ba}(\text{NO}_2)_2$; 5 — BaCO_3 .

На основании этих результатов можно сделать вывод, что теплота и температура горения во многих случаях не оказывают решающего влияния на скорость горения смесей магния с исследованными солями-окислителями.

Сравнение температур «интенсивного» разложения изученных солей показывает, что соли, образующие быстрогорящие смеси, в большинстве случаев разлагаются при температурах значительно выше температуры плавления магния (660°C). Напротив, перхлораты натрия, калия и бария, а также нитрат и нитрит бария разлагаются при температурах ниже точки плавления магния.

В смесях магния с перхлоратом калия или нитратом натрия быстрое окисление магния начинается

не в момент плавления солей, а только при температуре, соответствующей «интенсивному» разложению окислителя [2, 5]. Здесь происходит поверхностное окисление твердых частиц магния газообразными продуктами разложения соли [1]. Существенное ограничение на скорость горения таких смесей накладывает скорость диффузии газообразных продуктов разложения окислителя к поверхности частиц магния и величина этой поверхности. Полное разложение нитратов и нитритов калия и натрия происходит при температуре свыше 700°C , т. е. после плавления магния. В этом случае условия окисления магния более благоприятны как в смысле повышения температуры реакции, так и контакта окислителя и горючего.

Влияние давления на скорость горения изученных смесей, по-видимому, обусловлено также повышением растворимости газообразных окислителей, образующихся при разложении соли, в расплаве при увеличении внешнего давления. Скорость горения смесей магния с сульфатами натрия и калия, имеющими очень высокую температуру разложения $\sim 1200^{\circ}\text{C}$, не зависит от давления. Это происходит потому, что реакция окисления жидкого магния в расплаве соли при столь высокой температуре протекает очень быстро и целиком заканчивается в ж-фазе. Малая скорость горения смесей магния с карбонатами натрия и калия обусловлена их низкой температурой горения.

Московский институт
химического машиностроения

Поступила в редакцию
14/X 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. B. D. Bond, P. W. Jacobs. Comb. and Flame, 1966, 4, 349.
2. E. S. Freeman, V. D. Hogan, D. A. Anderson. Comb. and Flame, 1965, 1, 19.
3. А. В. Васильев, В. В. Горбунов, и др. ФГВ, 1971, 7, 1, 150.
4. А. В. Васильев, В. В. Горбунов и др. Изв. вузов, сер. «химия и хим. технология», 1971, 2, 183.
5. А. А. Шидловский. Основы пиротехники. М., «Машиностроение», 1974.
6. Engineering Design Handbook. Military Pyrotechnics Series. Part One. AMC Pamphlet, 706—185, 1967, Chapter 6, p. 41—42.
7. S. Gordon, C. Campbell. Analyt. Chem., 1955, 27, 1102.
8. С. Сарнер. Химия ракетных топлив. М., «Мир», 1969.
9. E. S. Freeman. J. Phys. Chem., 1956, 60, 1487.
10. Te Tsuo Kosugi. Bull. Chem. Soc. Japan, 1972, 45, 15.

УДК 547.56+536.46

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЛИЗА ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПЛАМЕНИ

Л. Г. Сосновская, Е. Н. Сосновский

Исследование структуры диффузионных пламен различных соединений показывает, что при одном и том же содержании кислорода в окислительной среде форма и структура пламен различны [1—4]. Анализ этих работ позволяет предположить, что при образовании диффузионного факела в неподвижной окислительной среде лимитирующей стадией горения является диффузия горючего в зону окисления. Ранее было показано, что в зону горения диффундируют не исходные вещества, а продукты их термического превращения [5—7].