

зическими причинами. На это указывает, в частности, сильное влияние некоторых изученных характеристик заряда (плотность, наличие цементирующей добавки) на скорость горения. Хорошо известно, что горение многих пиротехнических составов, содержащих значительное количество порошка металла, сопровождается диспергированием [1]. При горении описанных смесей интенсивное разложение органических компонентов начинается при 150—250°С, когда скорость реакции окисления магния еще мала. Частицы металла и, возможно, частицы неразложившегося органического вещества увлекаются потоком газов и реагируют во взвеси. Таким образом, диспергирование при горении смесей является вынужденным и протекает под влиянием теплоприхода от реагирующей взвеси к поверхности горения. Начальное быстрое увеличение скорости горения с давлением, по-видимому, вызвано интенсивным диспергированием и ростом скорости окисления частиц металла во взвеси. При повышении давления диспергирование затрудняется. Косвенно об этом можно судить по уменьшению выноса твердых продуктов горения из оболочки заряда. Диспергирование затрудняется также при увеличении сцепления частиц в смеси, достигаемого увеличением плотности заряда или введением идитола. Во всех этих случаях начальный рост скорости горения уменьшается и на кривой $u_m = f(p)$ исчезает максимум.

При высоких давлениях (80—120 атм) диспергирование в значительной степени подавляется (вынос твердого остатка минимален) и скорость горения смеси не зависит от давления и наличия в ней добавки 5% идитола.

Поступила в редакцию
18/III 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Шидловский. Основы пиротехники. М., Машиностроение, 1964, 128.
2. А. Ф. Беляев, Л. Д. Комкова. ЖФХ, 1950, 24, 1302.
3. Н. Н. Бахман, В. С. Никифоров. ЖФХ, 1964, 38, 412.
4. В. В. Горбунов, В. Г. Хромов, А. А. Шидловский. ФГВ, 1968, 4, 2.
5. Б. Н. Кондриков, Б. С. Светлов, А. Е. Фогельзанг. Сб. «Теория взрывчатых веществ». М., Изд-во «Высшая школа», 1967.
6. Н. Н. Бахман. ПМТФ, 1963, 6, 120.
7. К. К. Андреев, С. В. Чуйко. ЖФХ, 1963, 37, 1304.

УДК 536.462

О ГОРЕНИИ СОСТАВА $Fe_2O_3 + Al + Al_2O_3$

Л. Д. Ромоданова, П. Ф. Похил
(Москва)

Известно, что при горении термитов газообразные продукты реакции не образуются. Однако, как видно из работы [1], многие термиты обнаруживают зависимость скорости горения от давления. Это связано с испарением исходных компонентов при температуре, которая достигается во фронте горения.

В работе [2] изучен безгазовый состав $Fe_2O_3 + Al + Al_2O_3$, т. е. стехиометрическая смесь 75% $Fe_2O_3 + 25\%$ Al была разбавлена конечным продуктом горения Al_2O_3 в соотношении 70:30. Для этого состава максимальная температура горения $T = 2147^\circ C$ была меньше температуры кипения наиболее летучего компонента — алюминия — при атмосферном давлении ($T_k = 2327^\circ C$).

В настоящей работе было проведено изучение аналогичного состава в вакууме ($p \sim 10^{-2}$ мм рт. ст.), так как известно [3], что в вакууме можно оценить тепловой эффект реакций, протекающих в реакционном слое конденсированной фазы, и таким образом получить нужные данные о механизме горения состава. Плотность образцов

была 2 г/см^3 , диаметр 55 мм, размер частиц $\text{Al} \leq 1 \mu$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 100 \mu$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 100 \mu$. Указанный состав после поджигания горит устойчиво в вакууме при комнатной температуре образца.

Измеренная в опыте температура самовоспламенения состава в вакууме ($p \sim 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$), оказалась равной $\sim 880^\circ \text{C}$. Температура на поверхности при горении этого состава, измеренная с помощью термопары вольфрам-рений $d=7 \mu$, оказалась равной $T_{\text{п}} \sim 1200^\circ \text{C}$.

Зная среднее значение теплоемкости состава $\sum \bar{c} \sim 0,175$, начальную температуру $T_0 \sim 20^\circ \text{C}$ и $T_{\text{п}} \sim 1200^\circ \text{C}$, можно рассчитать тепловой эффект суммарно-экзотермического процесса, протекающего в реакционном слое конденсированной фазы состава $Q = 0,175(1200 - 20) = 0,175 \cdot 1180 = 206,5 \text{ кал/г}$.

При горении состава в вакууме происходит энергичный разброс конденсированного вещества — шлака, причем частички шлака оседают на стенке колокола и охлаждаются. При горении состава под давлением разброс конденсированного вещества не наблюдается и образец после сжигания сохраняет цилиндрическую форму и вес.

Известно, что по мере уменьшения давления температура кипения алюминия понижается и в вакууме (при $p \sim 10^{-2} \text{ мм рт. ст.}$) она равна $\sim 1148^\circ \text{C}$. Очевидно, что при $T_{\text{п}} \sim 1200^\circ \text{C}$ под действием пара алюминия разбрасывается конденсированное вещество реакционного слоя исследуемого образца.

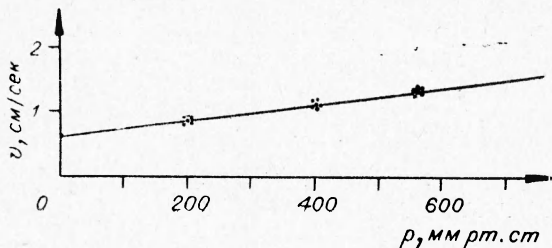


Рис. 1.

По мере увеличения давления $T_{\text{к}}$ алюминия увеличивается и при $p \geq 1 \text{ кг/см}^2$ температура горения состава становится меньше температуры кипения наиболее легко кипящего алюминия и поэтому состав горит под давлением без разброса конденсированных продуктов.

На рис. 1 приведены результаты измерения скорости горения состава 70% ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}$) + 30% Al_2O_3 в вакууме, а на

рис. 2 — под давлением. Скорость горения состава вычислялась по формуле $v = s/t$, где s — расстояние между двумя термопарами в заряде, t — время, за которое сгорел заряд между термопарами. Запись необходимых величин производилась с помощью осциллографа.

Как видно из рис. 1, скорость горения состава в вакууме зависит от давления. Горение состава в вакууме происходит при наличии газовой фазы — пара алюминия, так как температура горения состава больше температуры кипения алюминия.

Горение состава под давлением не сопровождается образованием газообразных продуктов, температура горения состава меньше температуры кипения алюминия и, как видно из рис. 2, скорость горения состава не зависит от давления.

В таблице приведены экспериментальные значения температуры поверхности образца при горении состава в зависимости от компонентов смеси.

Состав, %		Температура поверхности, $^\circ \text{C}$
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}$	Al_2O_3	
80	20	~ 1340
70	30	~ 1200
60	40	~ 1060
50	50	~ 940

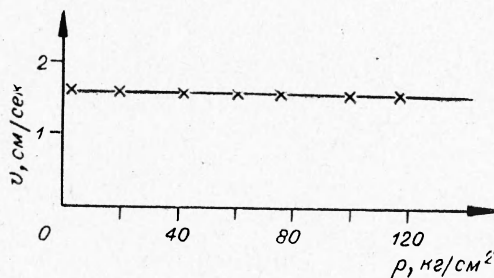


Рис. 2.

Горение состава 50% ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}$) + 50% Al_2O_3 в вакууме происходит полностью в реакционном слое конденсированной фазы и скорость горения состава не зависит от давления (рис. 3). После сгорания образец сохраняет цилиндрическую форму и вес.

На рис. 4 представлена зависимость температуры поверхности состава $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}$ от количества введенной окиси алюминия. Как видно из графика, увеличение содер-

жания Al_2O_3 с 20 до 50% снижает температуру на поверхности при горении с 1340 до 940°С. На рис. 5 приведены экспериментальные результаты зависимости скорости горения этого же состава от количества введенной окиси алюминия. Увеличение содержания Al_2O_3 с 20 до 50% снижает скорость горения состава в 7,5 раза.

На рис. 6 приведена зависимость скорости горения составов от температуры на поверхности при горении в вакууме ($p \sim 10^{-2}$ мм рт. ст.). Из полученных результатов следует, что чем выше температура на поверхности при горении составов, тем выше скорость горения.

Был проведен анализ конденсированного вещества — шлака, который образуется при горении этих составов в вакууме, на активный алюминий. В результате проведен-

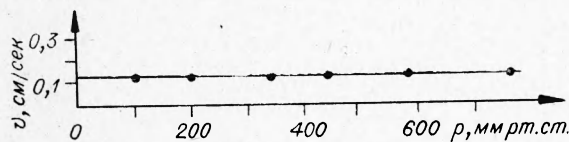


Рис. 3.

Рис. 3

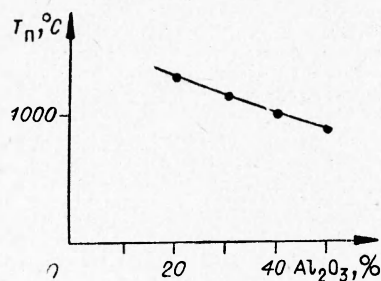


Рис. 4.

ного анализа показано, что при горении 70% ($Fe_2O_3 + Al$) + 30% Al_2O_3 окисляется только 93% алюминия, горение идет с разбросом шлака.

При горении 50% ($Fe_2O_3 + Al$) + 50% Al_2O_3 в реакцию с кислородом окислителя вступают 100% алюминия и при этом шлак не разбрасывается. В этом случае достигается полнота сгорания уже в вакууме. Скорость горения этого состава под давлением $p \geq 1 \text{ кг/см}^2$ такая же, как и в вакууме и равна $\sim 0,11$ см/сек.

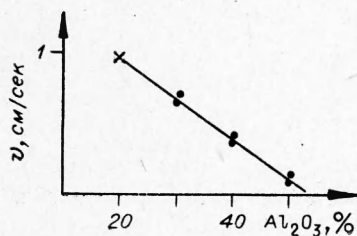


Рис. 5.

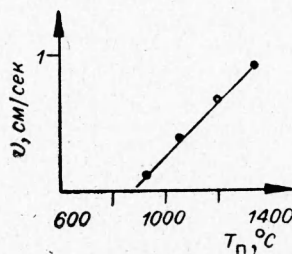


Рис. 6.

Поступила в редакцию
5/II 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Беляев, Л. Д. Комкова. ЖФТ, 1950, XXIV, 11, 1302.
2. Ю. И. Максимов, А. Г. Мержанов, В. М. Шкиро, ФГВ, 1965, 4, 24.
3. П. Ф. Похил, Л. Д. Ромоданова, О. П. Рысакова-Ромашкан, ЖФХ, 1962, XXXVI, 6.