

чением I . Рост начинается с некоторого порогового значения I , что находится в согласии с результатами работ [2, 7].

При увеличении температуры обдувающего потока уменьшается пороговое значение I и увеличивается коэффициент эрозии. Рост тем сильнее, чем выше T_g и I .

Наблюдаемые экспериментальные зависимости не противоречат физической картине эрозионного горения. Известно [5, 8], что увеличение скорости горения в потоке вызывается интенсификацией теплопередачи в зоне газофазных реакций и ростом потока тепла из газовой фазы в конденсированную. Величина этого потока пропорциональна температурному градиенту у поверхности горения, который в свою очередь связан с разностью температур подготовительной зоны и поверхности. Увеличение температуры потока ведет к росту температуры подготовительной зоны, а следовательно, и теплового потока, подводимого к поверхности горения пороха.

Авторы выражают благодарность проф. В. Н. Вилюнову за ценные советы и внимание к работе.

*Научно-исследовательский институт
прикладной математики и механики
при Томском государственном университете*

*Поступила в редакцию
22/IV 1976*

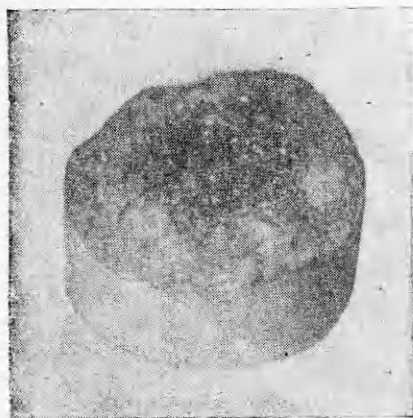
ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Герон. Вопросы ракетной техники, 1963, 7.
2. В. Н. Вилюнов. Докл. АН СССР, 1961, 136, 2.
3. Я. Б. Зельдович. ФГВ, 1971, 7, 4.
4. А. М. Климов. ФГВ, 1975, 11, 5.
5. Б. В. Орлов, Г. Ю. Мазинг. Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе. М., «Машиностроение», 1968.
6. Drasković Dusan. Nauc — teh. pregl. VTI, 1974, 24, 4.
7. В. Н. Вилюнов, А. А. Дворяшин. ФГВ, 1971, 7, 1.
8. А. Д. Марголин.— В сб: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ГОРЕНИЯ СМЕСЕЙ ПЕРХЛОРАТА КАЛИЯ С ПОРОШКАМИ МЕДИ И КОБАЛЬТА

*А. Л. Верещагин, А. Н. Лесникович, Г. П. Мицунь,
В. В. Свиридов*

Идея самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), реализованная для систем безгазового горения [1], может быть распространена и на более сложные случаи, когда в результате продвижения фронта горения в смеси окислитель — простое вещество образуются сложноокисные соединения типа солей [2]. Технологическая перспективность СВС при использовании таких смесей определяется во многом степенью чистоты целевого продукта. При исследовании горения прессованных смесей порошков металлов и твердых окислителей было замечено, что таблетки некоторых из них не разрушаются в процессе горения, благодаря чему легко обнаруживается неоднородность химического состава продуктов реакции по сечению таблеток. Очевидно такая неоднородность может оказать существенное влияние на выход и чистоту синтезируемого соединения и в тех случаях, когда спрессованный образец при горении разрушается или когда сжигается смесь порошков.



В настоящем сообщении приводятся экспериментальные данные, проливающие свет на характер отмеченной выше неоднородности на примере смесей на основе перхлората калия (ПХК) и меди или кобальта.

Для приготовления образцов использовались порошки меди марки «ПМ», кобальта марки «электролитический» и ПХК х. ч. с размерами частиц меньше 90 мкм. Из этих порошков готовились смеси с $\alpha=1$ (в расчете на образование CuO и CoO), которые прессовались в виде цилиндрических таблеток до относительной плотности 0,8—0,9. Воспламенение с торца осуществля-

лось с помощью зажигательного состава (20% ZrSi_2 и 80% PbO_2).

После воспламенения светящийся фронт превращения со скоростью порядка 1 мм/с (при внешнем давлении 1 атм) продвигается по таблетке перпендикулярно оси цилиндра. При этом в отличие от составов, содержащих другие переходные металлы (хром, никель, медь, цинк, цирконий, молибден или вольфрам), таблетки на основе указанных выше металлов не разрушаются и сохраняют свою первоначальную форму, диаметр их практически не меняется, а высота увеличивается (примерно на 25% для образцов диаметром 8,5–16 мм и высотой до 12 мм). Горение сопровождается выделением хлористого калия в виде белого дыма (в случае таблеток с кобальтом) или в виде жидкости (при горении таблеток, содержащих медь).

Характерная особенность сгоревших таблеток: при достаточно больших размерах они состоят из двух отчетливо различающихся по окраске и пористости концентрических зон (см. рисунок), причем диаметр внутренней зоны изменяется пропорционально диаметру образца, а ширина внешней зоны приблизительно постоянна и составляет¹ 3—4 мм. Минимальная начальная высота, начиная с которой наблюдается образование зон в содержащих кобальт образцах диаметром 16 мм, равна 4,5 мм; при диаметре таблетки 10,5 мм она составляет 6,0 мм, а таблетки диаметром 8,5 мм даже при высоте 12 мм на зоны не разделяются.

Таким образом, внутренняя зона не образуется при диаметре образца, приблизительно равном удвоенной толщине внешней зоны.

Фазовый и химический состав рассматриваемых зон различается (см. таблицу), и это позволяет сделать вывод о том, что зональность таблеток связана не только с изменением пористости, но и с неравномерным распределением продуктов сгорания. Из данных рентгенографического и химического анализов следует, что количество металла, а также окиси меди, существенно больше в периферийной зоне (металлическая медь в центральной зоне вообще не обнаружена); для окиси кобальта и закиси меди наблю-

Распределение продуктов реакции в зонах цилиндрического образца по весу, %

Соединение	Зона	
	центральная	периферийная
CoO	76,2	37,4
Co	13,7	44,9
KCl	10,1	17,8
Cu_2O	85,0	54,2
CuO	7,0	25,7
Cu	0	17,9
KCl	8,0	2,2

¹ Для смесей, содержащих медь или кобальт и перхлораты других щелочных металлов (за исключением перхлората лития), наблюдается качественно аналогичный эффект.

дается обратное по сравнению с предыдущим распределение по зонам. Хлористый калий частично (меньше половины расчетного количества) остается в образце, неравномерно распределяясь по зонам.

Неравномерность распределения сгорания продуктов в объеме цилиндра обусловлена различиями в интенсивности теплообмена с окружающей средой внутренней и внешней части образца. При медленном распределении фронта горения некоторый градиент температуры (в направлении, перпендикулярном распределению) возможен в самой волне синтеза. Однако наиболее существенно температурные условия внутри образца отличаются в ходе установления теплового равновесия с окружающей средой. Вследствие сравнительно продолжительного существования области высокой температуры внутри образца могут с большей полнотой протекать начавшиеся в волне горения процесса, в частности окисление металла, в то время как во внешней части преобладают низкотемпературные реакции (в одном из конкретных изучавшихся случаев — окисление закиси меди). Расчетная величина адиабатической температуры горения для смеси ПХК с медью имеет значение около 1515 К. При этой температуре окись меди неустойчива, и ее наличие в образцах можно объяснить окислением Cu_2O в процессе охлаждения.

Образование больших пор в центральной зоне таблеток, вероятно, обусловлено выделением газа из расплавов во внутренней зоне и после прохождения фронта горения. Для таблеток с кобальтом таким процессом будет кипение хлористого калия (1700 К) в расплавленной окиси кобальта (2083 К), для таблеток же с медью — выделение избыточного кислорода в расплаве хлористого калия с закисью меди.

Приведенные результаты свидетельствуют о существенном влиянии макрокинетических особенностей СВС на характер физико-химических процессов, протекающих при его осуществлении.

*Белорусский государственный университет
им. В. И. Ленина,
Минск*

*Поступила в редакцию
10/XI 1975*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Мержанов, И. П. Боровинская. Докл. АН СССР, 1972, 204, 366.
2. А. Л. Верещагин, А. И. Лесникович, В. В. Свиридов. — В сб.: Кинетика и механизм химических реакций в твердом теле. Минск, изд. БГУ, 1975.

О ПРЕДЕЛАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЛАМЕНИ ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ

В. А. Бунев, В. С. Бабкин

При оценке пределов распространения пламени в смесях, содержащих один окислитель и несколько различных горючих компонентов, нашло широкое применение известное правило Ле-Шателье [1—3]. В общем виде оно утверждает, что сложная смесь, составленная из нескольких бинарных смесей предельного состава, взятых в произвольных соотношениях, также является предельной.

Настоящее сообщение имеет своей целью обратить внимание на то, что применение правила Ле-Шателье, как это следует из его общей формулировки, не ограничивается только смесями с одним окислителем. Совершенно очевидна его применимость (при выполнении условия ад-