

ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО ЭФФЕКТА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ ГОРЕНИЯ ПОРОХОВ И ВВ

В. М. Мальцев, П. Ф. Похил

(Москва)

Из работы [1] известно, что нагрев пороха в процессе горения происходит за счет тепла Q_1 суммарно-экзотермических реакций, протекающих в реакционном слое конденсированной фазы, т. е. за счет теплового эффекта начальной стадии горения и за счет притока тепла Q_2 из зоны горения дымо-газовой смеси путем теплопроводности и излучения.

Введем следующие обозначения:

- Q — тепло, выделяющееся при горении пороха;
- Q_1 — тепло, выделяющееся за счет суммарно-экзотермических реакций в реакционном слое конденсированной фазы пороха;
- Q_2 — приток тепла из дымо-газовой зоны путем теплопроводности;
- Q_3 — количество тепла, поступающего на нагрев пороха в процессе горения;
- Q_4 — тепло, выделяющееся в газовой фазе;
- Q_5 — тепло, выделяющееся в дымо-газовой фазе пороха;
- T_s — температура на поверхности горящего образца;
- T_{\max} — максимальная температура горения;
- T_1 — температура на границе газовой и дымо-газовой фазах пламени;
- T_0 — начальная температура пороха;
- p — давление в бомбе.

Общее количество тепла, поступающего на нагрев пороха в процессе горения, можно рассчитать следующим образом:

$$Q_3 \approx c(T_s - T_0) \quad [\text{кал/г}] \quad (1)$$

Очевидно, что если известна величина Q_2 , то по разности $Q_3 - Q_2$ можно оценить, какое количество тепла выделяется в реакционном слое конденсированной фазы заряда Q_1 .

При беспламенном горении пороха [1], осуществляющемся в области низких давлений в вакууме, тепловой эффект суммарно-экзотермического процесса, протекающего в реакционном слое конденсированной фазы оказывается равным $Q_1 = 80 \text{ кал/г}$.

Вопрос о том, какая зависимость Q_1 от давления до последнего времени оставался не выясненным.

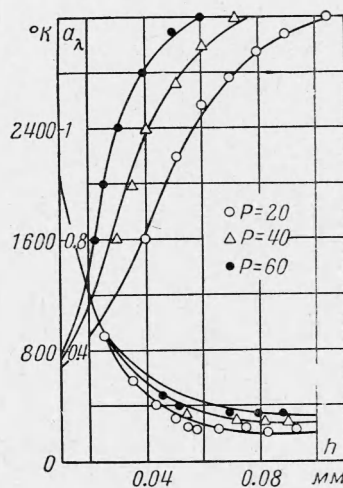
В работе [2] приведены результаты измерения температурного профиля по высоте факела пламени нитроглицеринового пороха, полученные при помощи оптического метода [3].

Зная температурный профиль пламени и температуру на поверхности горящего порохового образца (температура на поверхности нитроглицеринового пороха в зависимости от давления взята из работы [1]), можно оценить количество тепла Q_2 , поступающего из зоны дымо-газовой смеси на нагрев пороха. Результаты расчета $Q_1 = Q_3 - Q_2$ при различных давлениях приведены в табл. 1, где Q_4 — тепло, выделяющееся в газовой фазе пламени, можно рассчитать по формуле $Q_4 \approx c_p(T_{\max} - T_1)$.

Из приведенных результатов табл. 1 с полной очевидностью следует, что с ростом давления Q_1 увеличивается, т. е. с ростом давления тепловой эффект реакций, протекающих в реакционном слое конденсированной фазы пороха увеличивается, и, по-видимому, количество дыма, образующегося путем диспергирования конденсированного вещества реакционного слоя, с ростом давления уменьшается.

Таким образом, установлено, что в балансе тепла, поступающего на нагрев пороха в процессе горения, удельный вес тепла, выделяющегося в реакционном слое конденсированной фазы пороха, с ростом давления увеличивается.

Аналогичным образом, как описано в работе [2], измерялась температура и поглощательная способность на высоте факела пламени вторичного взрывчатого вещества — гексогена при различных давлениях. Опыты проводились с образцами гексогена, бронированными с поверхности диаметром 7 мм в бомбе в атмосфере азота [1].



Результаты измерений температуры и поглотительной способности на высоте факела пламени гексогена показаны на фигуре.

Из графиков по поглотительной способности по высоте факела видно, что пламя можно разделить на две резко отличные зоны. В первой зоне, которая расположена вблизи поверхности заряда, происходит быстрое уменьшение поглотительной способности пламени.

Таблица 1

№	P атм	Q_4 кал/г	Q_5 кал/г	Q_1 кал/г	Q_3 кал/г	Q_2 кал/г	T_s С°	Q кал/г
1	22	248	272	91	120	29	320	640
2	33.5	312	278	100	124	24	330	710
3	44.5	328	284	106	127	21	340	730
4	55.5	388	292	110	128	18	345	800
5	66	376	300	116	132	16	350	800

во второй зоне поглотительная способность пламени принимает минимальное значение, причем с ростом давления поглотительная способность во второй зоне пламени постепенно возрастает. Существует первая четко выраженной зоны в пламени гексогена, обусловлено тем, то наряду с интенсивным испарением с поверхности заряда частично происходит диспергирование конденсированной фазы. Аэрозольные частички — капельки конденсированного вещества, — концентрация которых у поверхности наибольшая, по мере удаления испаряются, что приводит к резкому уменьшению поглотительной способности пламени. Установленный факт наличия диспергирования прогретого до температуры кипения поверхностного слоя при повышенных давлениях подтверждает ранее высказанное предположение [1].

Из фигуры видно, что с увеличением давления температурный профиль пламени становится более крутым и максимальная температура приближается к поверхности заряда. Зная профиль температуры, можно оценить Q_1 . Температура на поверхности заряда (температура кипения) оценена приближенно путем экстраполяции и приведена в табл. 2. Известно [1], что температура кипения гексогена при $p=1$ атм равна 340°C .

Общее количество тепла, поступающего на нагрев гексогена при устойчивом горении, можно рассчитать по формуле (1). Из полученных данных по оценке Q_1 и Q_2 в области повышенных давлений $p = 20, 40$ и 60 атм. Видно, что некоторая часть тепла, в среднем около 15 кал/г, что составляет $\sim 10\%$ тепла, поступающего на нагрев конденсированной фазы гексогена, выделяется в реакционном слое конденсированной фазы гексогена.

Согласно данным А. Ф. Беляева (Докторская диссертация. Институт химической физики АН СССР. Москва, 1946 г.) при горении вторичных взрывчатых веществ в вакууме в области низких давлений, вероятность разложения вещества в конденсированной фазе во много раз меньше вероятности испарения. Наши результаты исследования позволяют сделать вывод, что при горении гексогена в области повышенных давлений (и, очевидно, при высоких давлениях) становится существенной роль реакций, протекающих в реакционном слое конденсированной фазы гексогена, т. е. в области повышенных и высоких давлений начальная стадия горения вторичных взрывчатых веществ осуществляется в реакционном слое конденсированной фазы и нагрев гексогена в процессе горения происходит за счет потока тепла из газовой фазы и за счет теплового эффекта начальной стадии горения.

Количество выделяющегося тепла в начальной стадии горения пороха и его роль в балансе тепла, поступающего на нагрев порога в процессе горения, значительно превосходит в исследуемой области давлений количество и роль тепла, выделяющегося в реакционном слое конденсированной фазы при горении гексогена.

Поступила 11 XII 1961

ЛИТЕРАТУРА

1. По х и л П. Ф. Механизм горения бездымных порохов I. Сб. Физика взрыва, 1953, № 2.
2. По х и л П. Ф., М а л ь ц е в В. М., Л у к а ш е н я Г. В. О горении баллистических порохов, ДАН СССР, 1960, т. 135, № 4.
3. По х и л П. Ф., М а л ь ц е в В. М., Л у к а ш е н я Г. В. Установка для измерения температуры по высоте факела пламени. ЖФХ, 1961, т. 135, № 6.

Таблица 2

№	$P_{атм}$	Q_4 кал/г	Q_1 кал/г	ρ г/см ³	Q_2 кал/г	Q_3 кал/г	T_s С°
1	20	1137	15	1.67	129	144	380
2	40	1138	14	1.67	146	160	420
3	60	1140	12	1.67	156	168	440