

О ВЕДУЩЕЙ СТАДИИ ГОРЕНИЯ ПОРОХОВ

П. Ф. Похил

(Москва)

Горение летучих вторичных ВВ (например, нитрогликоля) протекает в газовой фазе [1]. Роль конденсированной фазы, нагретой на поверхности до температуры кипения, заключается в том, чтобы поставлять газообразное горючее, прогревающееся затем пламенем до температуры, при которой возможны экзотермические реакции. Максимальная температура реализуется в газовой фазе. Нормальная скорость горения таких систем зависит от давления и начальной температуры.

Горение термитных составов полностью протекает в конденсированной фазе (к-фазе) [2—4] при условии, что температура кипения отдельных компонентов состава выше температуры горения. При этом газообразные продукты не образуются и скорость горения зависит только от начальной температуры. Максимальная температура достигается в к-фазе.

Механизм горения широкого класса веществ (баллиститные пороха, смесевые твердые топлива, инициирующие ВВ и т. д.) не таков, как в первых двух случаях. Показано [5], что горение этих веществ — процесс многостадийный. Начальная стадия горения осуществляется в поверхностном реакционном слое к-фазы, где происходит химическое разложение небольшой части вещества до газообразных продуктов; остальное вещество диспергируется с образованием дымогазовой горючей смеси. Процесс, протекающий в такой смеси, является суммарно-экзотермическим, и интенсивность гетерогенно-гомогенных реакций с повышением давления усиливается. Полнота сгорания дымогазовой смеси достигается в области повышенных давлений.

В реакционном слое к-фазы пороха выделяется 7—10% тепла, так как основная масса пороха диспергируется по той причине, что разложение до газообразных продуктов протекает во всем объеме реакционного слоя неодновременно.

Физическая и химическая неоднородности пороха обуславливают нестабильность отдельных мест, являющихся центрами начала реакции разложения. Под действием газа, образующегося в них, порох диспергируется.

Расплавленный или размягченный реакционный слой пороха содержит мелкие пузырьки газа (газообразные продукты разложения), распределенные в объеме реакционного слоя.

Когда же реакционный слой не размягчен (например, в гремучей ртути), диспергирование протекает непосредственно без образования пены.

Механизм горения ряда нелетучих или труднолетучих веществ, по-видимому, аналогичен механизму горения порохов. Вероятно, что и в случае горения испаряющихся веществ, например, вторичных ВВ, к-фаза частично диспергируется пузырьками пара, образующимися в слое у поверхности жидкого или расплавленного вещества, нагретого до температуры кипения [5]. Такая возможность подтверждается опытами А. Ф. Беляева, установившего, что при горении вторичных ВВ с добавкой алюминиевой пудры пламя окрашено в характерный цвет, отличный от окраски пламени при горении их без алюминиевой пудры. Переход частичек алюминия в газовую фазу осуществляется путем разрушения пузырьков пара, образующихся в поверхностном жидком расплавленном слое вещества, нагретом до температуры кипения.

При поджигании пороха от внешнего теплового источника решающим фактором является создание в его поверхностном слое запаса тепла (когда температура поверхности достигает определенного значения), достаточного, чтобы вызвать бурное разложение в реакционном слое к-фазы, а воспламенение вследствие суммарно-экзотермических реакций, протекающих в дымогазовой смеси, происходит автоматически.

Устойчивое беспламенное горение пироксилинового пороха в вакууме возможно тогда, когда он предварительно подогрет до минимального значения температуры 80—85°С; нитроглицериновый порох Н горит, если подогрет до температуры 110—115°С.

Устойчивое горение при комнатной температуре определяется двумя источниками, генерирующими тепло: а) суммарно-экзотермическим процессом, протекающим в реакционном слое к-фазы, и б) суммарно-экзотермическим процессом, протекающим в зоне дымогазовой смеси.

Развитие реакций в дымогазовой смеси в сильной степени зависит от давления окружающей среды. Медленное развитие реакций при низких давлениях приводит к неполному сгоранию дымогазовой смеси. Поэтому, когда теплоприход за счет реакций, протекающих в реакционном слое и в зоне дымогазовой смеси, является недостаточным, т. е. когда температура на поверхности пороха не достигает определенного значения, всегда наблюдается хорошо известное явление неустойчивого горения, т. е. затухание пороха после подожжения. По этой причине порох при комнатной температуре (в инертной среде) вблизи атмосферного давления устойчиво не горит (зату-

хает). Чем меньше диаметр пороха, тем больше тепловые потери, что обуславливает явление предельных диаметров. Вопрос о неустойчивости горения и затухания пороха при низких давлениях поднят в работе Крауфорда [6], но не получил объяснения.

Очень важным следствием, вытекающим из результатов оценки баланса тепла [5, 7—9], является то, что большая часть тепла, идущего на нагрев пороха в процессе горения, приходится на долю теплового эффекта суммарно-экзотермических реакций, протекающих в реакционном слое к-фазы. Например, на нагрев ее при горении нитроглицеринового пороха «Н» поступает 70—80% тепла за счет реакций, протекающих в реакционном слое к-фазы и только 30—20% из зоны горения дымогазовой смеси. Для смесевых составов около 80—90% тепла поступает за счет реакций в реакционном слое к-фазы и остальная часть — из зоны горения дымогазовой смеси. С ростом давления роль реакций в реакционном слое к-фазы в этом отношении еще более увеличивается.

Газообразные продукты разложения и горения, образующиеся в к-фазе пороха, могут там растворяться и с ростом давления их растворимость повышается. Поэтому для образования пузырьков и диспергирования необходимо более полное разложение, что приводит к повышению температуры на поверхности пороха и увеличению скорости горения [10].

Кроме этого, в пузырьках размером 1 мк протекают гетерогенно-гомогенные реакции, тепло которых практически полностью поступает на нагрев к-фазы. С ростом давления эти реакции усиливаются, что, в свою очередь, приводит к повышению температуры поверхности пороха и увеличению скорости горения, которая определяется температурой реакционного слоя, градиентом температуры на поверхности заряда и кинетикой реакций. Таким образом, скорость горения пороха может зависеть от давления и в том случае, когда процессы в реакционном слое к-фазы являются ведущими, определяющими скорость горения пороха.

Некоторые утверждают, что если скорость горения конденсированной системы зависит от давления, тогда ведущей является газовая или дымогазовая стадия. В действительности скорость горения зависит не от одной какой-либо стадии, а от двух стадий в случае горения баллиститных порохов (начальной стадии горения, осуществляющейся в реакционном слое конденсированной фазы, и дымогазовой зоны вблизи поверхности пороха) или даже всех стадий в случае горения смесевых конденсированных составов (начальная стадия, дымогазовая зона и газовая зона).

Различие в горении баллиститных и смесевых порохов обусловлено тем, что дымогазовая зона смесевых составов на порядок уже зоны сгорания дымогазовой смеси баллиститного пороха.

На основе изложенного можно утверждать, что влияние начальной стадии горения (осуществляющейся в реакционном слое к-фазы) на скорость горения баллиститного пороха и смесевых составов в несколько раз больше влияния остальных стадий горения (осуществляющихся в дымогазовой зоне над поверхностью пороха).

В зоне над поверхностью пороха при сгорании дымогазовой смеси до конечных продуктов горения выделяется 90—93% тепла и только 3—4% от этого тепла поступает на нагрев пороха.

*Поступила в редакцию
1/VIII 1968*

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Беляев. Докт. дисс. ИХФ АН СССР, 1946.
2. А. Ф. Беляев, Л. Д. Комкова. ЖФХ, 1950, XXIV, 11.
3. Ю. И. Максимов, А. Г. Мержанов, В. М. Шкиро. ФГВ, 1965, 1, 4.
4. Л. Д. Ромоданова, П. Ф. Похил. ФГВ, 1969, 5, 2.
5. П. Ф. Похил. Докт. дисс., ИХФ АН СССР, 1954; П. Ф. Похил. Сб. «Физика горения и взрыва», № 2, Изд-во АН СССР, 1953.
6. Pagg and Crawford. J. Phys. Coll. Chem., 1950, 54, 6.
7. В. М. Мальцев, П. Ф. Похил. ПМТФ, 1963, 2.
8. А. А. Зенин. ФГВ, 1966, 2, 3.
9. В. К. Боболев, А. П. Глазкова и др. ПМТФ, 1964, 3.
10. А. Д. Марголин, П. Ф. Похил. Докл. АН СССР, 1963, 150, 6.