

## К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗМЕРОВ ГОРЯЩЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ

А. С. Борейшо, А. В. Иващенко, Г. Г. Шелухин  
(Ленинград)

Известно, что в большинстве случаев горение частицы легкокипящего металла происходит на некотором расстоянии от поверхности [1], что говорит в пользу диффузного характера этого процесса. Однако доказательства, выдвигаемые для подтверждения справедливости той или иной модели горения, основаны в большинстве случаев на косвенных данных (измерениях времени горения металлической частицы). При этом размер горячей капли часто [1] измеряется по фотографиям, сделанным при скоростной киносъемке зон горения.

Если исходить из положений модели парофазного горения капли металлического горючего, то было бы более правильным считать видимый размер изображения горячей капли размером зоны горения и соответствующим образом корректировать экспериментально получаемые результаты. Расчетное соотношение между размером зоны горения и истинным размером горячей капли зависит от выбранной модели горения [2, 3]. Поэтому большой интерес представляет получение надежных экспериментальных данных об истинных значениях этого соотношения, что позволит судить о справедливости выбираемой модели горения. Совершенно естественно, что наличие вокруг горячей частицы облака конденсированного окисла, имеющего температуру большую, чем сам металл, сильно затрудняет при обычной киносъемке исследование процесса горения.

На установке для исследования горения металлических частиц в сложных газовых смесях были проведены эксперименты по определению размеров горячих частиц алюминия и структуры окружающей ее зоны методами теневой киносъемки. Регистрирующим устройством служил созданный специально для этих целей скоростной фоторегистратор, обеспечивающий качественную съемку с 10-кратным увеличением на пленку 35 мм при временах экспозиции до  $5 \cdot 10^{-6}$  с частотой до 1000 кадр/с. Источником света служила ртутная лампа сверхвысокого давления НВО-500. Исследовалась зона горения образцов модельных композиций размером  $4 \times 10 \times 25$  мм на основе полиуретана, перхлората аммония и порошка алюминия, сжигаемых в инертной среде (азот) при различных давлениях. В соответствии с термодинамическим расчетом в зоне горения содержится около 30% (весовых)  $H_2O$  и 5%  $CO_2$ . Температура пламени около 2300 К. Съемка производилась на аэрофотопленку «Изопанхром» тип 15-800 чувствительностью 1200 ед. ГОСТа.

На рис. 1 приведены исследованные фотографии (с интервалом 1/600 с) горячей частицы в непосредственной близости к поверхности образца. На теневых фотографиях отчетливо наблюдается существование на некотором удалении от поверхности горячей капли зоны с повышенным содержанием мелкодисперсных конденсированных частиц, представляющих собой, по-видимому, образующуюся в результате горения окись алюминия. Распределение конденсата вокруг горячей капли неравномерно. Максимальной концентрации частиц окисла соответствует сферическая поверхность с радиусом, приблизительно вдвое превышающим радиус горячей капли алюминия. Отсюда можно сделать вывод, что наблюдаемый при фотографировании в собственном излучении видимый размер частицы металла существенно отличается от ее истинного размера. Это различие увеличивается с уменьшением размера частиц и уменьшается с повышением давления. На рис. 2 показана зависимость отношения радиуса окружающей частицу алюминия зоны максимальной концентрации конденсированных продуктов сгорания к радиусу частицы от ее размера.

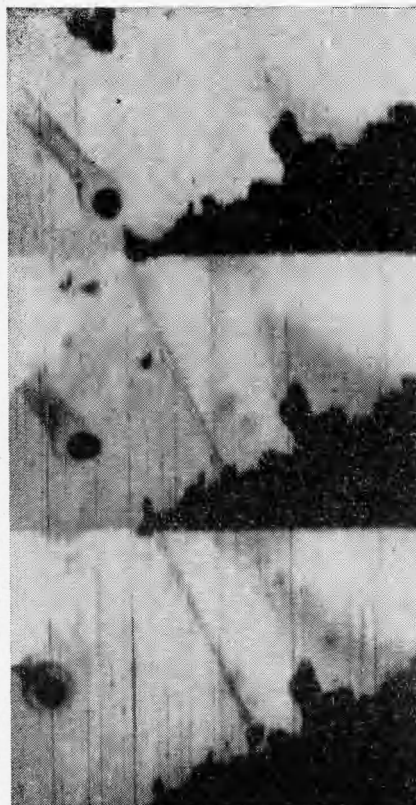


Рис. 1.

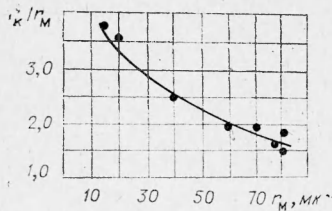


Рис. 2.

По мере удаления от поверхности образца т. е. по мере уменьшения относительной скорости газового потока, картина горения сферической капли металла становится все более симметричной, и можно с достаточной точностью пользоваться при составлении модели горения капли металла условием неподвижности ее относительно газового потока.

Полученные результаты находятся в соответствии с известным фактом существования у горящих в присутствии паров воды металлических частиц резко очерченных границ зоны образования конденсированного окисла и служат хорошим подтверждением диффузной модели горения.

Поступила в редакцию  
1/VII 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. Ф. Похил, А. Ф. Беляев и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах. М., «Наука», 1972.
2. Т. Бржустовский, И. Глассман. В сб. Гетерогенное горение. М., «Мир», 1967.
3. П. Я. Клячко. ФГВ, 1969, 5, 3.

УДК 536.46

#### НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ ГОРЕНИЯ ПОРОХОВ В ВАКУУМЕ

В. С. Илюхин  
(Москва)

В работах [1—5] проведено экспериментальное изучение пульсирующего горения нитроглицериновых и смесевых порохов в бомбе постоянного давления. Данная работа содержит некоторые результаты аналогичных исследований, выполненных в области низких давлений (от 1 атм до  $10^{-2}$  мм рт. ст.).

Сжигались образцы пороха Н, Н+5,8% Al со средним размером порошка Al 15 мкм и стехиометрических смесей перхлората аммония (ПХА) с полиметилметакрилатом (ПММА) с размером зерна ПХА 3 и 75 мкм, ПММА в обоих случаях брался размером меньше 3 мкм. Пороха Н и Н+Al предварительно нагревались до  $T_0=100^\circ\text{C}$ . Перхлоратные пороха горели без подогрева.

Пульсации горения регистрировались медь-константовой термопарой  $\varnothing 0,05$  мм, закрепленной на расстоянии 4 мм от начального положения горячей поверхности и фотодиодами ФД-1, в случаях, когда горение сопровождалось свечением продуктов сгорания. Сигналы от термопар и фотодиодов подавались непосредственно на шлейфный осциллограф Н-117.

Температура предварительного нагревания контролировалась термопарой, введенной в образец сбоку на глубину 4 мм. Термопара жестко не закреплялась, так что в момент выхода на поверхность она отбрасывалась продуктами сгорания. Температура, соответствующая моменту сброса, принималась за температуру поверхности ( $T_n$ ). Скорость горения определялась по времени сгорания образца данной длины.

Результаты измерения скорости горения при разных давлениях приведены на рис. 1. Зависимости имеют линейный характер вида

$$u = a + bp,$$

где  $a=0,4; 0,24; -0,1$  и  $b=2,67; 2,06; 1,9$  соответственно для пороха Н+Al, Н и ПХА+ПММА,  $p$  — в атм,  $u$  — в мм/с. Скорость горения пороха Н при  $p < 0,03$  атм не зависит от давления [6] и равна 0,3 мм/с.

Перхлоратные составы описываются одной прямой. Однако образцы с мелким ПХА начинают гореть с 0,1 атм, а с более крупным ПХА только с 0,25 атм. Следовательно, дисперсность этих порохов достаточно велика при рассмотренных давлениях и они горят как гомогенные системы.

Частоты пульсации температуры продуктов разложения приведены на рис. 2. С ростом давления и скорости горения частота увеличивается от 0,1 до 10 Гц. Иногда одновременно с указанными частотами наблюдаются и более высокие — до 30 Гц. В таких случаях учитывались только минимальные значения. Особенно четкие пульсации наблюдаются на образцах порохов Н и Н+Al при беспламенном горении.