

О ВЛИЯНИИ ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОРОШКОВ

Г. В. Калабухов, Ю. А. Юрманов,
А. Б. Рыжик, Б. С. Лимонов

(Ленинград)

Успешное исследование механизма гетерогенного горения во многом зависит от понимания роли давления в этом процессе. Опубликованные данные относятся к случаю, когда воспламенение и горение дисперсного алюминия происходят в продуктах горения конденсированных топливных систем [1]. В подобной ситуации полнота сгорания, а следовательно, и максимальная температура горения заряда сильно зависят от давления, и горение металла протекает при более высоких температурах окисляющей среды, чем при нормальном давлении. Отмеченное в работе [2] уменьшение времени горения частиц алюминия по мере увеличения давления не согласуется с диффузионной теорией и требует для своего объяснения дополнительных соображений. Возможно, что при возрастании давления имело место не только повышение температуры горения смеси NH_4ClO_4 — параформальдегид, в продуктах горения которой проводились опыты, но и увеличение концентрации алюминия в единице объема потока, что привело к соответствующему снижению радиационных теплотерь.

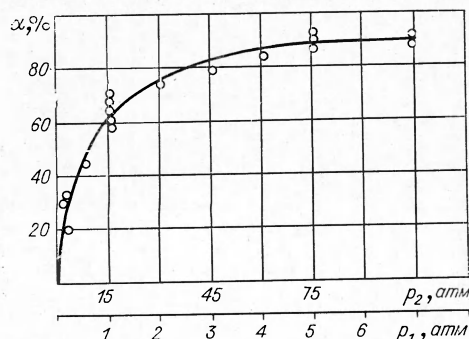
В настоящем исследовании изучалось горение алюминиевого порошка типа ПА в продуктах детонации водородо-воздушной и ацетилено-кислородной смесей стехиометрического состава. Эксперименты проводились на ударной трубе длиной 7,5 м с внутренним диаметром 100 мм. Навеска образца (2 г) размещалась у закрытого торца трубы; толщина слоя составляла 1 мм. Частицы имели форму, близкую к сферической, с размером $d \leq 50$ мкм. При прохождении детонационной волны над поверхностью слоя порошка в результате развития гидродинамической неустойчивости [3] происходил подъем слоя. Скорость и давление детонации определялись с помощью пьезодатчиков. При измерении температуры использовался двухцветовой метод с регистрацией излучения фотоумножителями. Начальные давления в смесях широко варьировались, при этом температура в пределах погрешности измерений не зависела от давления и была близка к рассчитанной по идеальной теории (2950 и 5500° К при водородо-воздушной и ацетилено-кислородной детонациях соответственно).

Количественно процесс гетерогенного горения характеризовали степенью сгорания α определяемой по содержанию окиси алюминия в пробе, отобранной сразу же после эксперимента.

Оказалось, что при увеличении начального давления p_1 в водородо-воздушной смеси степени сгорания дисперсного алюминия возрастают (см. рисунок), причем такая зависимость наиболее ярко выражена в области низких давлений (давление детонации $p_2 \leq 40$ атм).

В связи с тем, что температура детонации при этом практически не меняется, изменение давления в исследуемом процессе приводит только к соответствующему изменению плотности, а следовательно, и содержанию окислителя в единице объема потока. Последнее обстоятельство является очень важным, так как окисляющая среда разбавлена инертной добавкой (азот). Именно по этой причине при низких плотностях, когда дефицит окислителя оказывается особенно острым, влияние давления более существенно.

По-видимому, изменение давления газовой смеси в конечном счете не должно вызывать детальных изменений в механизме гетерогенного горения. Об этом также свидетельствуют опыты по сгоранию алюминиевого порошка в продуктах детонации стехиометрической смеси ацетилена с кислородом. В этом случае содержание окислителя не имеет большого значения из-за отсутствия инертного разбавителя, и по мере снижения начального давления степени сгорания несколько увеличиваются ($\alpha = 82,4\%$ при $p_1 = 570$ мм рт. ст. и $\alpha = 69,1\%$ при $p_1 = 760$ мм рт. ст.). Последнее связано с возрастанием длительности контакта порошка с воспламеняющим потоком за счет увеличения «толщины» детонационной волны, которая меняется обратно пропорционально давлению [4].



Зависимость степени сгорания порошка ПА от давления.

Таким образом, можно считать, что при гетерогенном горении роль давления ограничена влиянием его на параметры воспламеняющего газового потока (плотность, «толщина» детонационной волны), а чувствительность процесса горения к изменению давления определяется изменением этих параметров.

Поступила в редакцию
29/VI 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Ф. Похил, В. С. Логачев, В. М. Мальцев. ФГВ, 1970, 6, 1, 80.
2. A. Davis. Combust. Flame, 1963, 7, 4, 359.
3. А. А. Борисов, А. Н. Любимов и др. ФГВ, 1967, 3, 1, 149.
4. Е. С. Щетинков. Физика горения газов. М., «Наука», 1965.

УДК 662.311

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОРОХОВ МЕТОДОМ ЗОНДА }

*В. Е. Зарко, Н. С. Буфетов
Н. И. Златомержева, С. С. Хлевной
(Новосибирск)*

Математическая основа зондового метода определения теплопроводности теплоизоляционных материалов изложена в работе [1]. В ней показано, что в случае нагрева постоянным тепловыделением бесконечного цилиндрического идеального проводника тепла, погруженного при начальной температуре T_n в исследуемую неограниченную среду, зависимость температуры поверхности контакта T от времени имеет логарифмическую асимптоту

$$T - T_n = \frac{Qr}{2\lambda} \left[\ln t + \left(\ln \frac{4\kappa}{r^2} - \gamma + \frac{2\lambda}{r\alpha} \right) + O\left(\frac{r^2}{\kappa t}\right) \right]. \quad (1)$$

Здесь Q — мощность тепловыделения на единицу площади поверхности контакта; r — радиус проводника; λ и κ — коэффициенты тепло- и температуропроводности; α — коэффициент теплопередачи (между проволокой и веществом); $\gamma = 0,5772$ — постоянная Эйлера.

Из (1) следует, что угловой коэффициент наклона прямой в координатах $(T - T_n)$; $\ln t$ равен величине $\frac{Qr}{2\lambda}$, откуда вытекает простой способ определения λ по известным из опыта величинам Q и r . Важно отметить, что несовершенство теплового контакта ($\alpha \neq \infty$) не влияет на точность нахождения λ .

Для соблюдения граничных условий задачи необходимо, чтобы тепловая волна за время измерения не доходила до периферии образца. Верхнюю оценку для радиуса порохового зерна можно сделать, воспользовавшись решением для распространения тепла при постоянной температуре проволоки: для $Fo = \frac{\kappa t}{r^2} = 1000$ радиус образца должен быть не менее $(70 \div 100) \cdot r$.

В экспериментальной практике [2, 3] обычно применяются относительно сложные и громоздкие конструкции, состоящие из нагревателя и датчика температуры. Используя проводники с зависящим от температуры сопротивлением, удается значительно упростить методику. При этом требуется обеспечить постоянную мощность тепловыделения в проводнике. Последнее осуществляется либо с помощью специальных схем с обратной связью [4], либо в ограниченных пределах подбором параметров электрической цепи [5]. Достоинством методики с применением термометров сопротивления в качестве нагревателей является простота и надежность конструкции, миниатюрные размеры датчика и малая продолжительность измерения, возможность определения теплофизических характеристик в узком температурном интервале и при различных начальных температурах.