

ПРОТЯЖЕННОСТЬ ХИМПИКА В МНОГОФРОНТОВОЙ ДЕТОНАЦИИ

А. А. Васильев

(Новосибирск)

Область давления в детонационной волне, повышенного по сравнению с давлением продуктов детонации, называют зоной тепловыделения или химпиком [1]. Существование химпика экспериментально подтверждено в работах [2—5], пик давления (максимальное давление в химпике) в детонационной волне с пульсирующим передним фронтом зарегистрирован в работе [6]. Размер химпика в принципе может быть определен из совместного решения уравнений газодинамики и химической кинетики с граничными условиями на ударном фронте. Точность подобных расчетов невелика (в основном из-за неопределенности кинетических параметров), поэтому основной источник информации о размере химпика — эксперимент.

Идеальным датчиком для измерений размера химпика в падающей детонационной волне мог бы быть тонкий прямолинейный датчик давления, способный одновременно обеспечить хорошее осреднение в плоскостях, параллельных фронту детонации, и обладающий необходимым временным разрешением ($\sim 0,1$ мкс). К сожалению, в датчике такой конструкции очень трудно избавиться от «паразитных» колебаний пьезоэлемента.

В данной работе рассматривается вопрос о возможности определения размера химпика в детонационной волне по размеру зоны повышенных давлений, возникающей при отражении детонационной волны от жесткой стенки. Теоретическая задача о соотношении размеров химпика в падающей волне и зоны повышенных давлений в отраженной детонационной волне, распространяющейся в химически активной газовой смеси, в настоящее время не решена. Для определения этого соотношения следует обратиться к эксперименту.

Давление, возникающее при отражении детонационной волны, измерялось с помощью пьезодатчиков, расположенных в торце детонационной трубы. Диаметр трубы составлял 80 мм, длина — 5,5 метра. Размеры пьезокерамики: диаметр 10 мм (для надежного осреднения вдоль фронта), толщина 0,25 мм, материал ЦТС, емкость датчика ≈ 700 пф, чувствительность $\sim 0,25$ В/атм. Сигналы от датчиков подавались на вход осциллографа TR-4602 (входное сопротивление 1 МОм, полоса пропускания 25 МГц, чувствительность 0,05 ÷ 20 В/дел). RC входной цепи составляла ~ 700 мкс, используемая развертка осциллографа 0,5 мкс/дел. Время разрешения такого датчика определяется временем прохождения звуковой волны по керамике (при толщине пьезокерамики 0,25 мм время разрешения ≈ 50 нс). Более подробное описание такого датчика можно найти в работе [6]. Типичная осциллограмма давления при отражении детонационной волны от торца трубы приведена на рис. 1.

По аналогии с размером химпика в падающей волне z_1 определим размер зоны повышенных давлений z_0 при отражении детонационной волны в виде

$$z_0 = \bar{D} \cdot t_0,$$



Рис. 1. Осциллограмма давления в отраженной детонационной волне.

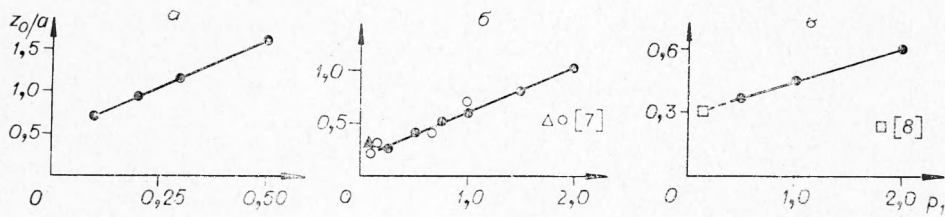


Рис. 2. Зависимость z_0/a от начального давления.
 а) $C_2H_2+2.5O_2$; б) $2H_2+O_2$; в) $2H_2+O_2+3Ar$.

где \bar{D} — средняя скорость распространения детонации; t_0 — отрезок времени от момента прихода детонационной волны на датчик до момента, когда (в пределах 10%) перестает изменяться давление продуктов. Отношение определенного таким образом z_0 к размеру ячейки a в зависимости от начального давления смеси p_1 приведено на рис. 2.

При низких начальных давлениях для смеси $2H_2+O_2+3Ar$ размер z_0 зоны повышенных давлений в отраженной волне совпадает с размером z_1 зоны основного тепловыделения в падающей волне, определяемого в [8] как расстояние от линии, проведенной по вершинам выпуклостей переднего фронта до места за фронтом детонации, где догорают все островки несгоревшей за передним фронтом и поперечными волнами смеси.

Подобное совпадение размеров зоны повышенных давлений в отраженной и падающей детонационных волнах наблюдается и для смеси $2H_2+O_2$ (размеры химпика в проходящей волне взяты из работы [7]). Данные о размере химпика в смеси $C_2H_2+2.5O_2$ отсутствуют.

Общее для всех исследованных смесей состоит в линейном росте z_0/a с увеличением начального давления. Увеличение относительного размера зоны основного тепловыделения z_1/a с ростом начального давления экспериментально подтверждено в [9], где за зону основного тепловыделения принималось расстояние от ударной волны до плоскости, в которой массовая скорость газа u (в системе координат, связанной со стенками трубы) равнялось местной скорости звука c .

Информацию о размере химпика в детонационной волне можно также извлечь из экспериментов по распространению детонации в разлетающихся трубках [10]. Траектория разлета трубки использовалась для определения среднего по сечению давления за фронтом детонации. Остальные параметры (плотность, температура, число Маха потока и т. д.) определялись из совместного решения системы уравнений газодинамики и траектории разлета при условии, что за фронтом ударной волны в каждом сечении состав определялся таким образом, чтобы выделившееся в ходе реакции тепло и молекулярный вес удовлетворяли профилю давления. Результаты подобного, весьма приближенного, расчета для смеси $2H_2+O_2$, приведенные на рис. 3, тем не менее дают размер химпика $\sim 0,4a$ ($p=0,7$ атм), что совпадает с приведенными выше результатами, полученными другими методами.

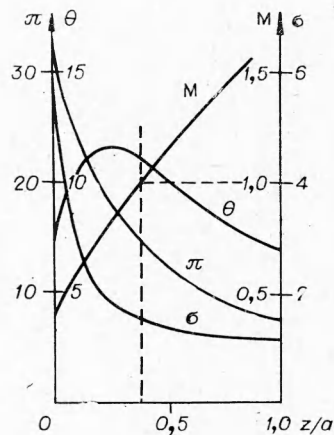


Рис. 3. Расчетные профили параметров в детонационной волне: π , σ , θ — безразмерные давление, плотность и температура, M — число Маха потока относительно фронта, z — координата от фронта.

Таким образом, в данной работе выяснен размер зоны повышенных давлений в отраженной детонационной волне в зависимости от состава смеси и начального давления. Показано, что размер зоны повышенных давлений в отраженной волне z_0 практически совпадает с размером хемпики z_1 в падающей волне. Для исследованных смесей величина z_0/a линейно увеличивается с ростом начального давления, что указывает на более сильную зависимость a (по сравнению с z_0) от p_1 .

Поступила в редакцию
14/1 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Б. Зельдович, А. С. Компанеец. Теория детонации. М., Гостехиздат, 1955.
2. С. М. Когарко. ЖТФ, 1957, 27, 4.
3. D. H. Edwards a. o. J. Phys. D: Appl. Phys., 1970, 3, 3.
4. Р. И. Солоухин. Ударные волны и детонация в газах. М., Физматгиз, 1964.
5. В. В. Митрофанов, В. А. Субботин.— В сб.: Динамика сплошной среды. Вып. 9. Новосибирск, ИГ СО АН СССР, 1971.
6. А. А. Васильев, Т. П. Гавриленко, М. Е. Топчиян. ФГВ, 1973, 9, 5.
7. J. A. Fay. 8th Symposium (Intern.) on Combustion, 1962.
8. В. А. Субботин. ФГВ, 1975, 11, 1.
9. A. A. Vasiliev, T. P. Gavrilenko, M. E. Topchian. Astr. Acta, 1972, 17.
10. А. А. Васильев, Т. П. Гавриленко, М. Е. Топчиян.— В сб.: Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.

ОБРАЗОВАНИЕ НЕПОДВИЖНЫХ ВОЛН НА ПОВЕРХНОСТИ ПОРОХА, ГОРЯЩЕГО В ПОТОКЕ ГАЗА

Г. Г. Шелухин, О. Я. Романов, А. М. Глухов

(Ленинград)

Неоднократно отмечалось, что на поверхности погашенного пороха и некоторых пластмасс, подвергавшихся в процессе горения или абляции интенсивному обдуву газовым потоком, образуется характерная волновая структура [1—3]. Однако механизм этого явления не имеет однозначного объяснения, хотя в последнее время и появились теоретические работы [4, 5], предсказывающие существование перемещающихся волн давления и температуры в газе над поверхностью пороха, которые могут вызвать возникновение бегущей волны на самой поверхности. К сожалению, несовершенство обычно применяющейся экспериментальной методики — прерывание горения — не позволяет наблюдать динамику развития волновой картины на поверхности горения. В то же время необходимость исследования образования волн не вызывает сомнений, поскольку «рябь» изменяет площадь поверхности горения, оказывает влияние на интенсивность тепломассообмена вблизи поверхности горения, а следовательно, и на величину скорости горения.

Для исследования поверхности горения порохов в газовом потоке использована экспериментальная установка, позволяющая производить скоростную киносъемку поверхности образца пороха, обращенной к газовому потоку.