

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Тирский. Космические исследования. Вып. 4, 1964.
2. V. P. Motulevich, Int. J. heat and mass transfer June, 1962, 5.
3. H. Tong, B. Suzuki. AJAA, 1964, 2, 11.
4. В. П. Мотулевич. ИФЖ, 1968, 14, 1.
5. В. П. Мотулевич. Конвективный и лучистый теплообмен. Изд. АН СССР, 1960.
6. В. П. Мотулевич. ИФЖ, 1963, 6, 4.
7. Д. Хартнетт, Гейзли. Сб. «Тепло- и массоперенос». Т. 3, 1963.
8. В. П. Мотулевич, А. В. Морар, В. М. Ерошенко. Тр. III. Всесоюзн. конф. по тепло- и массообмену. Минск, 1968.
9. Ю. Н. Воронцов, В. М. Ерошенко, А. В. Морар. Физическая газодинамика ионизированных и химически реагирующих газов. М., «Наука», 1968.
10. K. Foelscn. JAS, 1949, 16, 3.
11. Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. Молекулярная теория газов и жидкостей. М., ГИИЛ, 1961.
12. В. А. Попов. Изв. АН СССР, ОТН, 1956, 1.
13. Планкетт, В. Кинджерри. Графит как высокотемпературный материал. «Мир», 1964.
14. Л. Н. Хитрин. Физика горения и взрыва. Изд. МГУ, 1957.
15. А. С. Предводителев и др. Горение углерода. Изд. АН СССР, 1949.
16. С. Скала, Л. Джилберт. Ракетная техника и космонавтика. 1965, 9.
17. Л. А. Вулис, ЖТФ, 1946, XVI, 1.
18. S. Sugawara, S. Kikkawa. Proceedings of the 9-th Japan. National Congress for Appl. Mech., 1959.
19. Д. Н. Вырубов. ЖТФ, 1939, 9, 21.

УДК 536.46+662.218

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ОТТОКА ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ НИТРОГЛИЦЕРИНОВОГО ПОРОХА

В. С. Илюхин, П. Ф. Похил
(Москва)

В данной работе скорость оттока газа от горячей поверхности измерялась по скорости движения горящих частиц алюминия. Для этой цели был использован нитроглицериновый порох Н с 5% алюминия среднего размера частиц 15 мк.

Регистрация осуществлялась с помощью скоростной киносъемки 3000—4000 кадр/сек кинокамерой СКС-1М. Образцы пороха имели прямоугольное сечение размером 2×5 мм, обращенные широкой стороной к входному объективу кинокамеры.

Для сопоставления скорости частиц со скоростью газа было использовано следующее обстоятельство.

При давлениях 5—10 атм в темной области, между горячей поверхностью и зоной светящегося пламени, изредка возникают локальные повышения температуры, которые движутся безынерционно, со скоростью окружающих продуктов сгорания. Киносъемка показала, что скорость частиц диаметром не больше 30 мк, движущихся вместе с постепенно расширяющимся очагом более интенсивной химической реакции, на 10—15% меньше скорости очага, а следовательно, и скорости газа.

Более крупные частицы, образующиеся на горячей поверхности по-

роха в результате слияния, ускоряются газовым потоком до меньших скоростей. Измерения проводились при давлениях 5, 10, 20, 30, 50 и 90 атм.

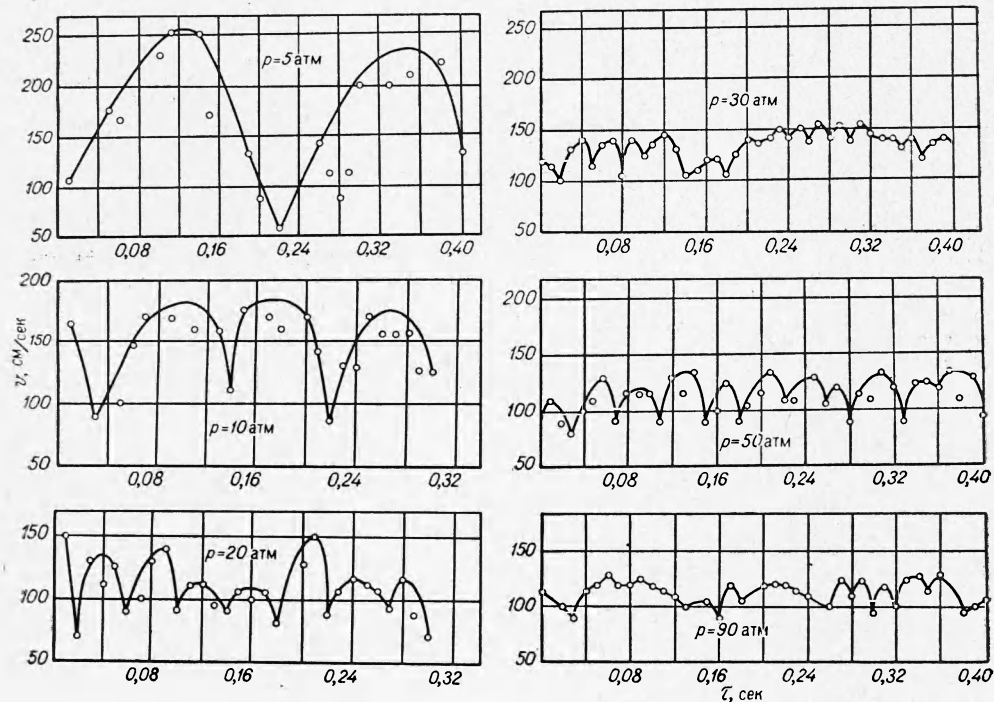
Скорости частиц (принимались во внимание только частицы диаметром 30 мк и меньше) измерялись по кинокадрам. Кинопленка длиной около 30 м обсчитывалась последовательно через интервалы времени, равные 0,01 сек. Скорости частиц оказались как бы развернутыми во времени (см. рисунок). Рассмотрение рисунка позволяет выделить ряд особенностей движения частиц алюминия, а следовательно, и продуктов сгорания.

Наблюдается ясно выраженная периодичность скорости оттока газа. Частота колебаний возрастает с увеличением давления, принимая значения, равные 5, 10, 25, 33 гц соответственно при давлениях 5, 10, 20 и 30 атм. При 50 атм частота равна 25 гц, при 90 атм закономерность в колебаниях выделить трудно. По форме колебания — несинусоидальные с острым минимумом и пологим максимумом.

Интересно отметить, что минимальные значения скорости при всех давлениях практически одинаковы ($90 \div 100$ см/сек), тогда как максимальные сильно зависят от давления, особенно при малых давлениях, уменьшаясь от 250 см/сек при 5 атм до 130 см/сек при 90 атм.

Наблюдавшиеся колебания скорости продуктов сгорания естественно связать с колебаниями скорости горения пороха. В последние годы появились работы, в которых исследовалось вибрационное горение твердых топлив в условиях камеры постоянного давления. Исследования проводились различными методами как на нитроглицериновых [1, 2], так и на смесевых порохах [3, 4]. В частности, в работе [2] частоты колебаний, полученные на порохе Н с алюминием и без алюминия, оказались близкими к значениям, полученным в данной работе.

Аналитическое выражение для скорости продуктов сгорания можно получить следующим образом. Воспользовавшись уравнением сохра-



нения потока массы $\rho_2 v_2 = \rho_0 u$, уравнением состояния идеального газа и зависимостью скорости горения от давления вида $u = a + bp$ (для пороха Н с 5% алюминия $a = 0,15$ и $b = 0,01$, p (атм), u (см/сек)), получим:

$$v_2 = \frac{A}{p} + B. \quad (1)$$

Скорость газа обратно пропорциональна давлению.

Таким образом, процесс оттока продуктов сгорания определяется двумя факторами, один из которых — B , характеризует постоянную составляющую скорости, не зависящую от давления, а другой — переменную, описываемую членом $\frac{A}{p}$.

Из сопоставления экспериментальных данных (см. рисунок) с выражением (1) видно, что амплитуда колебаний скорости газа описывается переменной составляющей $\frac{A}{p}$, тогда как минимальное значение скорости v_{\min} , не зависящее от давления, соответствует константе B .

Вычислим v_{\min} , соответствующее давлению p_{\max} , создаваемому порохом при сжигании его в объеме, равном собственному объему образца пороха. В этом случае $\rho_2 = \rho_0$ и $u = v_{\min} \cdot p_{\max}$, найденное из уравнения состояния идеального газа при $T = 3000^\circ \text{K}$, равно:

$$p_{\max} = 13\,000 \text{ атм.}$$

Используя зависимость линейной скорости горения от давления [5], полученную до давления 1000 атм ($u = 0,35 + 0,0058 p$), найдем скорость горения и скорость продуктов сгорания при $p_{\max} = 13\,000 \text{ атм}$

$$u = v_{\min} = 75 \text{ см/сек.}$$

Приведенные вычисления носят оценочный характер. Тем не менее полученная величина (75 см/сек) близка к экспериментально измеренному значению постоянной составляющей скорости ($90\text{—}100 \text{ см/сек}$).

Поступила в редакцию
24/III 1971

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Максимов. ЖФХ, 1963, 37, вып. 5.
2. И. Б. Светличный, В. С. Илюхин и др. Тез. докл. X Всесоюзной конференции по вопросам испарения, горения и газодинамики дисперсных систем. Одесса, 1970.
3. Г. Г. Шелухин, В. Ф. Булдаков, В. П. Белов. ФГВ, 1969, 5, 1.
4. Inpamy, Shanfield. AIAA, J., 1964, 7.
5. А. П. Глазкова, И. А. Терешкин. ЖФХ, 1961, 35, 1622.
6. П. Ф. Похил. Сб. «Физика взрыва», 1963, № 2, 181.