

27. А. П. Глазкова. ФГВ, 1968, 4, 3, 314.
28. К. К. Андреев. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. М., «Наука», 1966.
29. Э. И. Максимов, Ю. М. Максимов, В. Ф. Чуков. ФГВ, 1971, 7, 2, 197.
30. В. В. Александров, А. В. Болдырева и др. ФГВ, 1973, 9, 1, 140.
31. В. К. Боболев, А. П. Глазкова и др. ПМТФ, 1964, 3, 153.
32. Л. И. Абашина. Дипломная работа. М., МИФИ, 1958.
33. М. С. Плясунов. Канд. дисс. М., МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1963.
34. А. Д. Марголин, А. Е. Фогельзанг. ФГВ, 1966, 2, 1, 10.
35. А. П. Глазкова. Канд. дисс. М., МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1952.
36. D. J. Hewkin, J. A. Hicks a. o. Comb. Sci. and Techn., 1972, 2, 307.
37. Б. С. Светлов, Б. А. Лурье. ЖФХ, 1963, 37, 1969.
38. А. Н. Несмеянов, Л. Г. Макарова. ЖОХ, 1931, 9.
39. C. Jaeger. Bericte. 1875, 8, 894.

УДК 536.46

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ НЕАКУСТИЧЕСКИХ ПУЛЬСАЦИЙ ПРИ ГОРЕНИИ НИТРОГЛИЦЕРИНОВОГО ПОРОХА

*В. С. Илюхин, В. Г. Мысов, С. С. Новиков*  
(Москва)

Исследованию колебательных низкочастотных режимов распространения фронта горения в конденсированных системах при стационарных внешних условиях посвящены работы [1—8]. Представляет интерес изучить связь колебательных режимов со структурой зоны горения и, в частности, с неодновременным выгоранием компонентов топлива, обладающих различной летучестью, и возможным накоплением труднолетучего компонента на горячей поверхности, а также с неоднородностью волны горения.

В данной работе изучались низкочастотные пульсации давления и свечения зоны горения нитроглицеринового пороха Н и пороха Н с добавкой 5,8% порошкового алюминия со средним размером частиц 15 мк в бомбе постоянного давления в интервале давлений  $p=3\div 150$  атм при комнатной начальной температуре. Опыты проводились с цилиндрическими образцами пороха диаметром 15; 10; 5 мм, с коническими образцами высотой 25 мм и диаметрами оснований 3 и 15 мм, а также с образцами прямоугольного сечения  $3\times 5$  мм. В ряде опытов одновременно с регистрацией пульсаций давления и свечения производилась скоростная киносъемка зоны горения на кинокамере СКС-1М со скоростью 2000 кадр/с. Сигналы датчиков давления и свечения записывались на осциллографе Н-107.

Для измерения пульсаций давления использовался дифференциальный датчик типа ДМИ-0,1-11 [9], помещенный в бомбу. Измерительная полость датчика непосредственно сообщалась с полостью бомбы, компенсационная — через экспериментально подобранный капилляр длиной 1 см и диаметром 50 мк. Капилляр позволял выравнять статическое давление в обеих полостях датчика при наполнении бомбы азотом и в то же время задерживать колебания давления, не пропуская их в компенсационную полость. Чувствительность датчика в комплекте с прибором ИД-2И и осциллографом Н-107 составляла  $4,5\times 10^{-5}$  атм/мм.

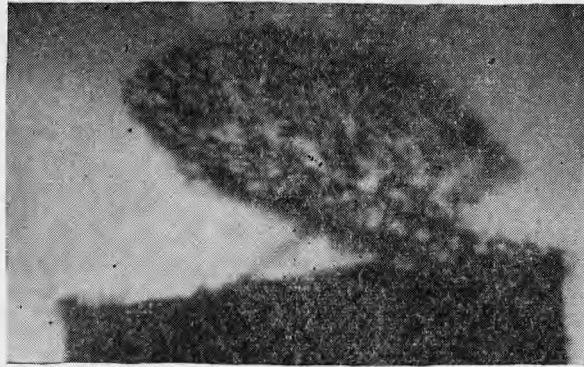


Рис. 1.

Собственная частота датчика 4,2 кГц. Суммарные пульсации свечения зоны горения регистрировались фотодиодом ФД-1, непосредственно подключенным к шлейфу осциллографа.

При записи пульсаций давления и свечения на образцах пороха Н диаметром 15 мм в интервале давлений  $p=5\div 20$  атм четкой зависимости частоты пульсаций от давления не наблюдалось. Колебания с частотой 1 Гц, иногда переходящие в колебания с частотой 2 Гц, происходили при  $p=3,5$  атм. Скоростная киносъемка и визуальное наблюдение показали, что частота 1 Гц соответствует частоте образования и сброса углеродного каркаса, покрывающего всю горящую поверхность. Иногда каркас делится на две части, покрывающие примерно половину горячей поверхности каждая и сбрасывающиеся поочередно. Частота пульсаций при этом равна 2 Гц. При уменьшении диаметра образца от 15 до 10 мм сплошной каркас, покрывающий всю торцевую горящую поверхность, появляется при  $p=5$  атм (рис. 1). При более высоких давлениях сплошного углеродного каркаса на поверхности горения не наблюдается, а на различных участках образуются его части. Формирование и сбрасывание

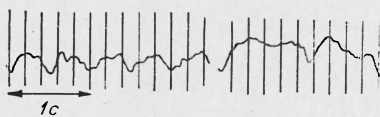


Рис. 2.

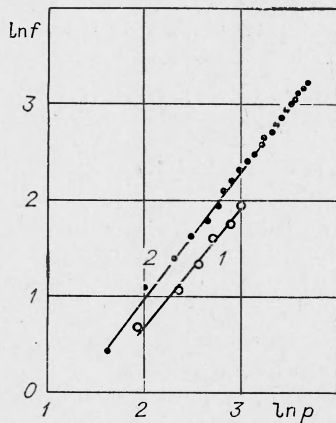


Рис. 4.

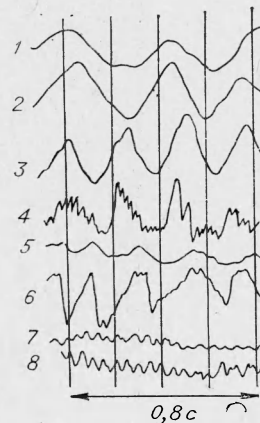


Рис. 3.

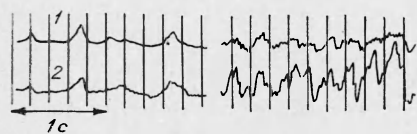


Рис. 5.

углеродного каркаса на каждом участке происходит периодически и независимо от других участков. Это приводит к беспорядочным пульсациям суммарного свечения.

Уменьшение диаметра образцов пороха Н до 5 мм позволило устранить беспорядочность пульсаций, связанную с независимым одновременным выгоранием различных участков поверхности до давления 20 атм. При  $p=3,5$  атм уменьшение диаметра образца от 15 до 5 мм не влияет на характер пульсаций свечения зоны горения. Частоты составляют 1 и 2 Гц. На рис. 2 приведена осциллограмма пульсаций свечения зоны горения для пороха Н диаметром 5 мм при  $p=3,5$  атм, из которой видно, что частота 1 Гц переходит в частоту 2 Гц. На рис. 3 приведены осциллограммы пульсаций свечения (кривые 1, 3, 5, 7 при  $p=5, 10, 15$  и 65 атм) и осциллограммы пульсаций давления (кривые 2, 4, 6, 8 для тех же давлений). Приведенные осциллограммы иллюстрируют четкую корреляцию пульсаций свечения и давления.

Зависимость частоты пульсаций свечения и давления при горении пороха Н диаметром 5 мм от среднего давления в бомбе в логарифмических координатах описывается прямой линией 1 рис. 4 и аппроксимируется формулой

$$f = 0,18 \cdot p^{1,24}$$

при  $\nu=0,62$  в законе горения  $u = B \cdot p^\nu$ .

В интервале давлений 20÷40 атм однозначная зависимость частоты от давления не наблюдается, так как уменьшением размеров горячей поверхности одновременность выгорания не устраняется, ввиду малого размера очагов.

При давлениях от 40 до 150 атм частота пульсаций свечения и давления для пороха Н диаметром 5 мм изменяется слабо. Зависимость частоты от диаметра образца в этом диапазоне давлений не наблюдалась. Частоты пульсаций давления и свечения в пределах экспериментального разброса совпадает с частотами колебаний скорости оттока продуктов сгорания, полученными в работе [10] для тех же давлений.

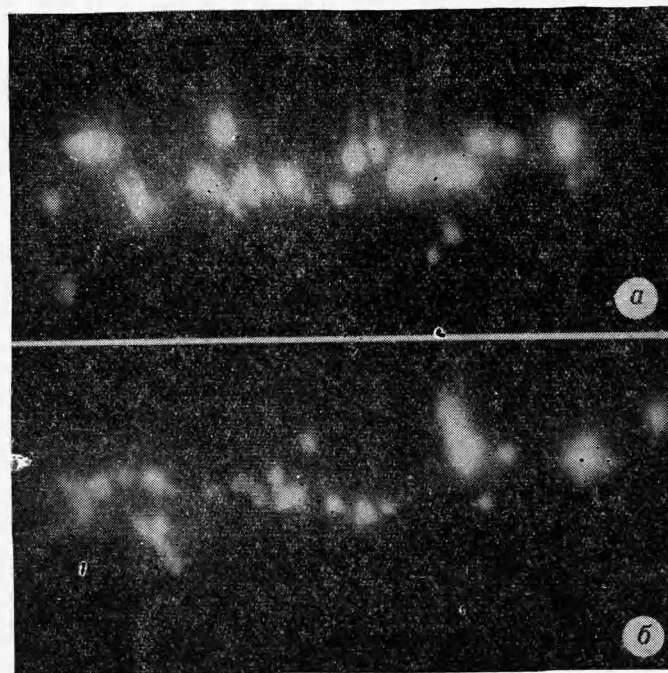


Рис. 6.

Для пороха Н с добавкой алюминия на образцах диаметром 15 и 10 мм в интервале давлений 3÷40 атм наблюдается неодновременное выгорание различных участков поверхности. Опыты, проведенные с коническими образцами при переменной площади поверхности горения, показали, что характер пульсаций свечения и давления существенно зависит от величины площади поверхности горения. На рис. 5 представлены начальный и конечный участки записи пульсаций свечения (1) и давления (2) при горении конического образца пороха Н с добавкой алюминия. Регистрация свечения и давления производилась синхронно. При малой площади горячей поверхности (левая часть осциллограммы) пульсации различных участков не накладываются одна на другую. При большой площади поверхности горения (правая часть рис. 5) наблюдается наложение пульсаций от различных участков поверхности.

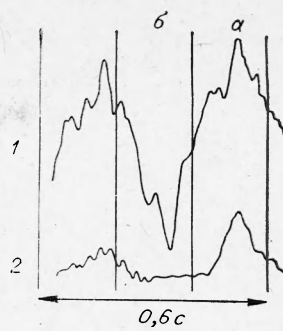


Рис. 7.

Запись пульсаций свечения и давления, синхронизированная со скоростью киносъемкой, показала, что максимумам свечения и давления соответствует более яркое свечение частиц алюминия на горячей поверхности. На рис. 6 показаны кинокадры, относящиеся к максимумам (а) и минимумам (б) давления и свечения, представленным на рис. 7 (1 — давление, 2 — свечение).

Опыты, проведенные с образцами прямоугольного сечения пороха Н с добавкой алюминия, дали возможность получить одновременность выгорания поверхности в интервале давлений 35÷40 атм. Осциллограммы пульсаций давления и свечения при горении аналогичны приведенным на рис. 3 для пороха Н без добавки частиц алюминия.

Зависимость частоты пульсаций от давления в логарифмических координатах для пороха Н с добавкой алюминия, полученная на образцах прямоугольного сечения, хорошо аппроксимируется прямой 2 рис. 4 и может быть записана в виде

$$f = 0,17 \cdot p^{1,34}.$$

Показатель степени  $\nu$  в законе горения  $u = B \cdot p^\nu$  для пороха Н с добавкой алюминия равен 0,67.

При  $p = 40 \div 150$  атм частота пульсаций свечения и давления для пороха Н с добавкой алюминия изменяется слабо, совпадая в пределах ошибки эксперимента с частотами колебаний скорости оттока продуктов сгорания, полученными в работе [10] для тех же давлений.

Поступила в редакцию  
23/X 1973

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J. D. Huffington. Trans. Far. Soc., 1954, 50, 942.
2. D. M. Clemmon, J. D. Huffington. Trans. Far. Soc., 1956, 52, 385.
3. Э. И. Максимов. ЖФХ, 1963, 37, 5, 1129.
4. А. А. Зенин, О. И. Лейпунский и др. Докл. АН СССР, 1966, 169, 3, 619.
5. Г. Г. Шелухин, В. Ф. Булдаков, В. П. Белов. ФГВ, 1969, 5, 1, 42.
6. И. Б. Светличный, А. Д. Марголин, П. Ф. Похил. ФГВ, 1971, 7, 2 188.
7. J. D. Eisel, M. D. Norton a. o. AIAA J., 1964, 7, 1319.
8. D. J. Newkin, J. A. Hicks a. o. Comb. Sci. Tech., 1971, 2, 5—6, 307.
9. А. Н. Петуниин. Методы измерения параметров газового потока. М., «Машиностроение», 1972.
10. В. С. Илюхин, П. Ф. Похил. ФГВ, 1971, 7, 3, 352.