

ка. Характер этой зависимости для газофазно и гетерогенно горящих материалов различный, причем для последнего типа материалов он зависит также от направления распространения по образцу пламени по отношению к направлению потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Б. Серков, И. М. Абдурагимов, В. М. Савин и др.— В кн.: Процессы горения и проблемы тушения пожаров/Под ред. И. В. Рябова. Ч. 1. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1973.
2. А. С. Мелихов, И. А. Болодьин, В. В. Синельщикова и др.— В кн.: Пожарная профилактика. Вып. 9. М.: Стройиздат, 1974.
3. L. Krishnamurthy. Comb. Sci. Techn., 1975, 10, 1.
4. А. Д. Марголин, В. Г. Крупкин. Докл. АН СССР, 1981, 257, 6, 1369.
5. С. С. Рыбанин. Докл. АН СССР, 1982, 266, 4, 915.

УДК 614.841.413

ГОРЕНИЕ И ДЕТОНАЦИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ В СВОБОДНЫХ ОБЪЕМАХ

В. И. Макеев, Ю. А. Гостинцев, В. В. Строгонов,
Ю. А. Бохон, Ю. Н. Чернушкин, В. Н. Куликов

(Бакалавра)

Исследование процессов горения и детонации газовых смесей в свободных объемах посвящен ряд работ. Отмечается, что при инициировании воздушных смесей слабым источником (искра, пережигаемая проволочка) переход медленного горения в детонацию невозможен, при жестком источнике (заряд ВВ) такой переход наблюдается [1—3]. Вывод о невозможности перехода медленного горения в сферическую детонацию делается на основании экспериментов с небольшими объемами и противоречит теоретическим представлениям [4], согласно которым неустойчивость и ускорение сферического фронта пламени могут приводить к возникновению детонации. Сведения по критическим энергиям инициирования сферической детонации, параметрам взрывных волн и возможности моделирования газового взрыва тротиловым зарядом также противоречивы [2, 3].

Цель работы — экспериментальное исследование режимов горения и перехода в детонацию водородно-воздушных смесей в свободных объемах ($V_0 \leq 86 \text{ м}^3$) при слабом и жестком инициировании горения.

Исходная газовая смесь готовилась непосредственно в тонких резиновых оболочках. Объемная концентрация H_2 в смеси варьировалась в пределах 13—66% при относительной точности $\pm 2,5\%$. Горение инициировалось в центре объема искрой с энергией $\sim 1 \text{ Дж}$ для смесей объемом 35 и 86 м^3 и зарядом тринитротолуола (ТНТ) массой 0,3—190 г для смесей объемом до 6 м^3 . Максимальное давление по взрывной волне Δp измерялось импульсными пьезодатчиками, видимая скорость горения w — с помощью скоростной съемки и прямой развертки пламени. Калибровка проводилась зарядами ТНТ.

На рис. 1 показаны типичные зависимости радиуса пламени r и w от времени для объемов 32 и 82 м^3 при концентрации водорода $c = 34—35\%$. Опыты показали, что при $V_0 = 32 \div 35 \text{ м}^3$ ускорение фронта пламени, приобретенное на начальном участке, прекращалось, затем фронт горения распространялся с постоянной скоростью $\sim 38 \text{ м/с}$. При $V_0 = 82 \div 86 \text{ м}^3$ скорость фронта пламени непрерывно возрастала и к концу горения составила 105 м/с (при концентрации 35%).

Зависимость максимальной величины видимой скорости горения w_{\max} от состава смеси представлена на рис. 2. Видно, что наибольшее значение w_{\max} достигается при концентрации $\sim 35\%$. С увеличением объема максимальное значение видимой скорости горения возрастает.

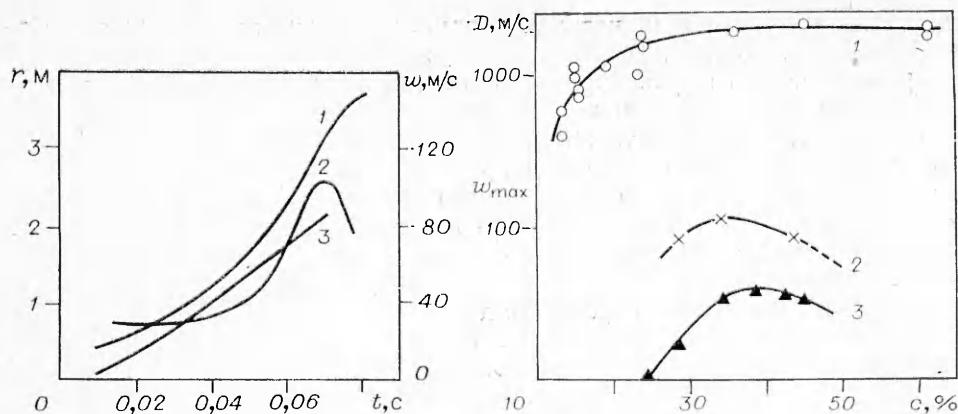


Рис. 1. Зависимость радиуса пламени (1, 3) и видимой скорости горения (2) от времени t .
1, 2 — $V_0 = 82 \text{ м}^3$, $c = 34\%$; 3 — $V_0 = 32 \text{ м}^3$, $c = 35\%$.

Рис. 2. Зависимость w_{\max} и D от состава водородно-воздушной смеси.
1 — D , $V_0 = 5 - 6 \text{ м}^3$; 2 — w_{\max} , $V_0 = 82 - 86 \text{ м}^3$;
3 — w_{\max} , $V_0 = 32 - 35 \text{ м}^3$.

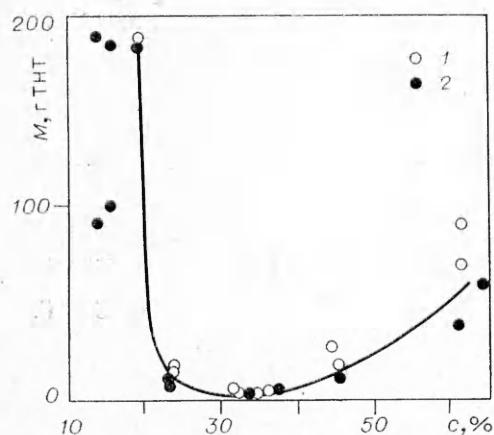


Рис. 3. Зависимость массы заряда ТНТ (M) для инициирования детонации в водородно-воздушной смеси от концентрации водорода.
1 — детопиция; 2 — детопиции нет.

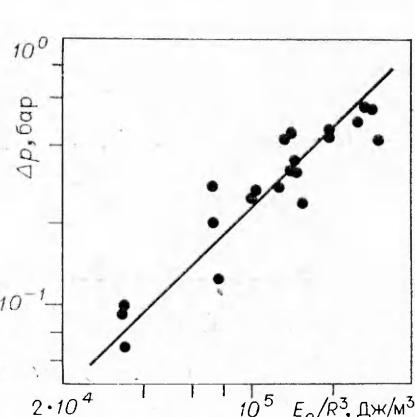


Рис. 4. Зависимость избыточного давления в ударной волне (Δp) от E_0/R^3 .

При этом заметное увеличение w_{\max} начинается при $c > 24\%$ (что соответствует нижнему пределу взрываемости водородно-воздушных смесей [5]).

При инициировании процесса зарядом ТНТ наблюдался переход горения в стационарную детонацию. Зависимости скорости детонации и критической массы заряда M от состава смеси показаны на рис. 2 и рис. 3 соответственно. Минимальное значение M для инициирования детонации водородно-воздушной смеси в открытом пространстве составила 1,86 г ТНТ при концентрации 35%, что несколько больше, чем в работе [3]. Бедные или богатые смеси детонируют при больших M . Так, при $c = 20\%$ $M = 190$ г, а при $c = 62$ $M = 71$ г. Для концентрации $c = 13 - 15\%$ и $\sim 66\%$ стационарную детонацию получить не удалось, хотя видимая скорость горения и достигала 920—980 м/с. Полученный верхний концентрационный предел ($\approx 62\%$) больше соответствующего значения для детонации в трубах [5].

На рис. 4 представлены экспериментальные результаты по измерению давления во фронте ударной волны на расстояниях $R = 4, 5$ и 8 м от E_0/R^3 , где E_0 — полная энергия смеси в объеме, которая хорошо описывается зависимостью $\Delta p = 2,4 \cdot 10^{-6} E/R^3$ [6]. Видно, что при детона-

ций в исследованных диапазонах параметров водородно-воздушных объемов имеет место энергетическое подобие.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. При воспламенении водородно-воздушной смеси в свободных объемах до 86 м³ слабым источником перехода медленного горения в детонацию не наблюдается. Вместе с тем обнаружено, что для $V_0 = 82 \div 86$ м³ видимая скорость пламени прогрессивно увеличивается во времени и достигает максимальной величины 105 м/с при концентрации водорода 35%. Экстраполяция показывает, что в объемах > 500 м³ видимая скорость пламени может достигнуть скорости звука в исходной смеси, создавая предпосылки для перехода в детонацию.

2. При инициировании смеси с помощью ТНТ массой до 190 г горение в свободном объеме переходит в детонацию при концентрации водорода 20—62%. Минимальное значение $M = 1,86$ г ТНТ при $c = 35\%$.

3. При детонации свободных водородно-воздушных объемов имеет место энергетическое подобие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жидкий водород/Под редакцией М. П. Малкова. М.: Мир, 1964.
2. В. В. Адушкин, С. М. Когарко, А. Г. Лямин.— В кн.: Взрывное дело, № 75/32. М.: Недра, 1975.
3. D. C. Bull. Trans. Inst. chem. Eng., 1979, 57, 4, 219.
4. Я. Б. Зельдович, Г. И. Баренблatt, В. Б. Либрович и др. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
5. А. С. Соколик. Самовоспламенение, пламя и детонация в газах. М.: Наука, 1960.
6. Л. И. Седов. Методы подобия и размерность в механике. М.: Наука, 1977.

УДК 536.622.33—661 : 539.211

РОЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДИСПЕРГИРОВАННОГО УГЛЯ В ПРОЦЕССАХ ЕГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

B. B. Курятников

(Одесса)

Известно [1], что реагирование углерода с кислородом воздуха при температурах 1000 К начинается на атомах с наименее прочными связями. Данные исследований [2, 3] указывают на взаимосвязь между реакционной способностью углерода и содержанием тех или иных систем парамагнитных центров, зависимость концентрации которых от времени определена уравнением для скорости изменения концентрации активных центров по разветвленной реакции. Интегрирование этого уравнения при переходе от времени к пространственной системе координат в установившемся режиме окисления дает экспоненциальное распределение активных центров.

Рассмотрена внутридиффузационная задача для выгорания пористой углеродной частицы с экспоненциальным распределением внутренних источников. Решение ее аналогично известному решению Л. И. Хитрина [4] с отличием по параметру λ , который в рассматриваемом случае включает коэффициенты α_0 и β_0 , характеризующие химическую активность и шероховатость поверхности частицы:

$$\lambda^2 = \alpha_0 \beta_0 k s_i / D_i, \quad \alpha_0 = N/N_0, \quad \beta_0 = s_i|_s / s_i.$$

Здесь k — константа скорости реакции; D_i — коэффициент диффузии окислителя внутрь частицы; s_i — внутренняя поверхность на единицу объема; $s_i|_s$ — значение s_i вблизи внешней поверхности частицы; N — концентрация активных атомов; N_0 — общее число атомов на единицу поверхности. С учетом решения внутрiddиффузационной задачи рассмотрено воспламенение дисперсной угольной частицы. В квазистационарной