

ВЛИЯНИЕ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ НИТРОГЛИЦЕРИНОВОГО ПОРОХА

Э. В. Конев, С. С. Хлевной

(Новосибирск)

Процессы горения взрывчатых веществ (ВВ) почти всегда сопровождаются световым излучением пламени. Эти явления изучены недостаточно; имеются лишь результаты косвенных наблюдений [1-3]. Ниже приводятся некоторые данные опытов, поставленных для изучения механизма непосредственного воздействия светового потока различной интенсивности на процесс горения одного из представителей нелетучих ВВ.

Получена зависимость скорости горения нитроглицеринового пороха от плотности светового потока при атмосферном давлении. Установлено, что эта зависимость особенно сильна при малых плотностях светового потока.

Сравнение с описанными в литературе экспериментальными данными по влиянию начальной температуры на скорость горения нитроглицеринового пороха показало, что световой поток оказывает не только тепловое влияние на процесс его горения, но и, по-видимому, непосредственно увеличивает скорость химических процессов в ведущей зоне.

Для получения потока лучистой энергии был использован понижающий трансформатор напряжения с включенной во вторичную обмотку графитовой пластиной. Ток до 4000 А давал возможность получить при этом световой поток плотностью до 12—14 кал / см²·сек, в то время как большая поверхность пластины (130 × 90 мм²) делала этот поток достаточно однородным.

Исследуемый образец пороха, калориметр для измерения плотности светового потока и установка для измерения скорости горения помещались на отдельной тележке с открывающимся окошком. Световой поток от излучателя можно было регулировать как изменением температуры излучателя, так и перемещением тележки относительно него.

Количественные измерения светового потока производились при помощи калориметра, установленного рядом с образцом, но защищенного от его теплового влияния. Калориметр представлял собой медный цилиндр с зачерненной поверхностью, обращенной к излучателю. Изменяющаяся в процессе опыта температура цилиндра записывалась на электронном потенциометре ЭПП-09 при помощи термопары «медь-константан».

Зная прирост температуры калориметра за единицу времени $\Delta T / \Delta t$, его массу m , удельную теплоемкость c_k и величину поглощающей поверхности S , нетрудно рассчитать плотность падающего на калориметр светового потока

$$q = \frac{m}{S} c_k \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (1)$$

Заранее полученная путем сравнения показаний двух калориметров поправка позволяла определить по полученному таким образом показанию калориметра среднюю по высоте сгорающего образца плотность светового потока, отдаваемого излучателем.

Скорость горения измерялась киноаппаратом Киев — 16С — 2, снабженного для проведения макросъемок специальным переходником и объективом Юпитер — 3.

В данной работе исследовалось горение нитроглицеринового пороха Н. При проведении опытов были использованы образцы диаметром 20 мм и высотой 8—10 мм. Для получения плоского пламени их боковая поверхность бронировалась органическим стеклом или обдувалась слабым продольным потоком азота. Поджигание образцов осуществлялось тем же излучателем света, но для уменьшения времени воспламенения образца применялся световой поток большей плотности.

Полученная в результате зависимость скорости горения нитроглицеринового пороха Н от плотности светового потока представлена в виде кривой 1 на фигуре. Следует подчеркнуть, что по оси абсцисс на этом графике отложена плотность светового потока, излученного световой установкой на образец, а не плотность светового потока, поглощенного порохом. В связи с большими трудностями измерений поглощение света в продуктах сгорания пороха и отражение его от поверхности горящего образца нами не учитывались. В то же время калориметр был расположен так, что продукты сгорания, если и уменьшали показания калориметра, то значительно меньше, чем на пути к образцу.

Кружочками на графике показаны значения скорости горения при бронировке его боковой поверхности органическим стеклом. Эти значения лежат выше значений скорости горения при бронировке его слабой струей азота, видимо, не только потому, что отсутствует некоторое охлаждающее действие азотной струи, но и потому, что в этом случае в результате реакции с кислородом воздуха появляется ярко излучаю-

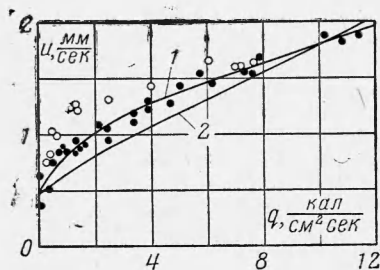
щее пламя, а образующиеся газообразные продукты горения, заполняющие пространство между источником света и образцом, значительно меньше поглощают лучистый поток, чем образующаяся в атмосфере азота дымо-газовая смесь. Такое объяснение подтверждается также тем, что при уменьшении расстояния между образцом и излучателем (т. е. с увеличением плотности лучистого потока) различие в скорости горения при обоих типах бронировок, как это следует из графика, уменьшается.

Обычно принимается, что при горении ВВ влияние света на стационарный процесс горения является чисто тепловым и равнозначно повышению начальной температуры на величину

$$\Delta T_0 = \frac{q}{c\rho u}$$

где c — удельная теплоемкость, ρ — плотность k -фазы, u — скорость горения.

Принимается также, что в случае достаточно прозрачных ВВ, когда эффективная ширина поглощения светового потока много больше ширины ведущей зоны горения, распределение температуры в этой зоне при наличии светового потока должно мало отличаться от распределения



повышению начальной температуры [4], и, следовательно, скорость горения должна увеличиваться в обоих случаях примерно одинаково. Кроме того, можно показать, что по мере уменьшения прозрачности ВВ тепловое влияние должно несколько уменьшаться. Поэтому зависимости скорости горения от величины светового потока и от начальной температуры, переведенные в одинаковую систему координат, должны совпадать или, по крайней мере, мало отличаться одна от другой, причем влияние начальной температуры должно быть несколько сильнее. Учитывая это, произведем сравнение полученных данных с зависимостью скорости горения приблизительно такого же нитроглицеринового пороха (с калорийностью 870 ккал/г) от начальной температуры, полученной А. И. Коротковым и О. И. Лейпунским [5]. При этом можно ожидать, что влияние начальной температуры на скорость горения пороха будет значительно более сильным, чем влияние светового потока, так как в описываемых здесь опытах измерялась не величина светового потока, падающего на поверхность k -фазы, а примерно в два раза большая по сравнению с ним величина потока, излученного графитом.

Приводим результаты перевода значений скорости горения u [см/сек] в зависимости от начальной температуры, взятой из работы [5], в координаты «скорость горения u — световой поток q »:

$T = 0$	20	40	60	80	100°C
$u = 0.048$	0.060	0.074	0.098	0.132	0.181 см/сек
$q = 0$	0.67	1.67	3.28	5.90	10.0 ккал/см²·сек

При этом $c = 0.35$ ккал/г·град, $\rho = 1,6$ г/см³.

Из этих данных и соответствующей кривой 2 на фигуре видно, что несмотря на значительные потери света в проведенных опытах, экспериментально получен результат (кривая 1), обратный предсказанному на основе тепловой гипотезы влияния света. Расхождение особенно велико при малых q , где зависимость скорости горения пороха H является весьма сильной. Так при $q = 0.5$ ккал/см²·сек скорость горения пороха, обдуваемого слабым потоком азота, возрастает примерно на 50%, а бронированного органическим стеклом — на 80% по сравнению со скоростью горения $u = 0.5$ мм/сек при отсутствии светового потока. Если учесть, что часть светового потока была поглощена продуктами сгорания пороха, а часть отразилась от поверхности горения, то отмеченное расхождение будет еще более убедительным. Визуально при этом было замечено, что горение пороха при отсутствии облучения в условиях обдува его поверхности азотом происходит неполностью (остается остов образца), в то время как при наличии даже незначительной плотности светового потока горение идет гораздо полнее (остов не остается).

Из изложенного выше следует, что влияние светового потока на процесс горения пороха H при атмосферном давлении, по-видимому, не является чисто тепловым. Весьма вероятно, что световой поток вызывает в данном случае не только тепловой разогрев пороха, но и оказывает значительное непосредственное влияние на кинетику химических процессов в ведущей зоне горения, увеличивая в ней скорость протекания реакции.

Полученные результаты интересно сопоставить с данными (к сожалению, весьма косвенными) по влиянию предварительного облучения светом различных веществ в твердом состоянии на скорость их термического распада [6–8 и др.], так как при

горении ВВ также имеет место предварительное облучение k -фазы светом. Авторами указанных выше работ установлено, что после облучения химическая активность твердой фазы, как правило, возрастает, причем это возрастание более велико при малых количествах поглощенной веществом энергии, чем при больших.

Авторы признательны А. А. Ковальскому за внимание к работе и замечания.

Поступила 7 I 1963

ЛИТЕРАТУРА

1. Похил П. Ф., Белов М. М. Поджигаемость порохов лучистой энергией. АН СССР, Физика взрыва. 1956, Сб. № 5.
2. Avery, W. H. Radiation effects in propellant burning. J. Phys. a Coll. Chem. 1950, vol. 54, No 6. (Русск. пер.: Радиационные эффекты, сопровождающие горение метателных взрывчатых веществ. ИЛ., «Вопросы ракетной техники», 1951, № 5.
3. Penner S. S. Effect of Radiation on the Rate of Burning of Solid Fuel Rocket Propellants. Mass Emissivity of Powder Gases in Solid Fuel Rockets, J. Appl. Phys., 1948, vol. 19, No 3.
4. Плюхин Б. И. On the Stationary Theory for Heat Balance of Powder and Explosive Condensed Phases. Fighth Symposium (International) on combustion, Baltimore, 1960, p. 734—745.
5. Коротков А. И. и Лейпунский О. И. Зависимость температурного коэффициента скорости горения пороха при атмосферном давлении от температуры пороха. «Физика взрыва», Изд. АН СССР, 1953, сборник № 2.
6. W. E. Garner, J. Maggs. The action of ultra-violet radiation on barium and strontium azides. Proc. Roy. Soc., 1939, A 172.
7. Thomas J. N. and Tompkins F. C. The photodecomposition of barium azide. Proc. Roy. Soc., 1951, A 209.
8. Грасси Н. Химия процессов деструкции полимеров. М., ИЛ, 1959.

О СТРУКТУРЕ ФРОНТА ПЛАМЕНИ

А. С. Плешанов

(Москва)

Найдены в первых двух приближениях (по квадрату числа Маха M^2) решения уравнений гидродинамики с учетом химических реакций. Обнаружено, что в стационарном случае давление перед фронтом пламени, изменяясь пропорционально M^2 , возрастает при $P > 1$ или убывает при $P < 1$ (P — число Прандтля). Для нестационарного случая приводятся качественные распределения температуры, давления, плотности и скорости по потоку.

При наличии диффузионных процессов и химических реакций к известным гидродинамическим уравнениям

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \sigma'_{ik}}{\partial x_k} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \varepsilon + \frac{\rho v^2}{2} \right) = - \operatorname{div} \left[\rho \mathbf{v} \left(w + \frac{v^2}{2} \right) - (\sigma' \mathbf{v}) + \mathbf{q} \right] \quad (3)$$

(обозначения согласно [1]) следует добавить K уравнений непрерывности для каждой химической компоненты K_i ($i = 1, \dots, K$), принимающей участие в R реакциях R_s ($s = 1, \dots, R$). Ниже используется следующая форма этих уравнений:

$$\rho \frac{dc_i}{dt} = - \operatorname{div} \mathbf{i}_i - \sum_s m_i v_{is} \varphi_s \quad (4)$$

где c_i — доля массы, \mathbf{i}_i — диффузионный поток, m_i — молекулярный вес [г/моль] компоненты K_i , затем φ_s — скорость R_s [моль/см³сек] и v_{is} — стехиометрический коэффициент K_i в R_s .