

Рис. 2. Зависимость t_{33}/t_{3p} от $\lg 1/t_{3p}$ для пироксилина (а) и поливинилнитрата (б). 1 — опыты на первой установке, концентрация частиц 70 вес. %; 2 — опыты на первой установке, концентрация частиц 90 вес. %; 3 — опыты в условиях модельной камеры.

на задержку зажигания невелико. По мере увеличения интенсивности потока этот импульс не успевает рассасываться и влияние частиц усиливается. При достаточно же больших собственных интенсивностях потока $\bar{q} \approx 20$ кал/см²·сек тепловой импульс, создаваемый частицами, может стать несущественным и не оказывать влияния на время задержки зажигания.

Поступила в редакцию
8/III 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Барзыкин, У. И. Гольдшлегер, А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1970, 191, 1.
2. В. И. Розенбанд, В. В. Барзыкин, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1968, 4, 2.
3. Ю. М. Григорьев, В. И. Лисицкий, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1967, 3, 4.
4. В. И. Лисицкий. ФГВ, 1970, 6, 2.

УДК 536.46 + 662.42

ЗАЖИГАНИЕ ПОРОХА ГОРЯЧИМ ГАЗОМ

В. Е. Зарко, В. Ф. Михеев,
А. И. Сухинин, С. С. Хлевой
(Новосибирск)

В настоящей работе излагаются результаты изучения зажигания горячим газом пироксилина № 1 и нитроглицеринового пороха Н с добавкой 1% сажи. Газ нагревался с помощью вольфрамовой фольги (толщина 50 мк и размеры 10×45 мм), плоскость которой параллельна поверхности образца (рис. 1). Во избежание провисания фольга натягивалась мощными пружинами. Конструкция позволяла осуществлять удаление нагревателя от образца за время ~ 15 мсек. Зазор h составлял

0,5—0,7 мм и регулировался с точностью до 25 мк. При данной схеме расположения нагревателя и относительно малой величине зазора нагрев осуществлялся в основном теплопроводностью через газовую прослойку, движение газа (вытекание из зазора) было минимальным. За счет быстрого разогрева фольги разрядом конденсаторов и соответствующего подбора тока от аккумуляторов поверхность образца нагревалась потоком тепла, отличающимся от постоянного не более чем на 10—20%. Вычисление тепловых потоков осуществлялось по записи температуры поверхности, получаемой с помощью вклеенной на ацетоне ленточной манганин-константановой термопары толщиной ~6 мк.

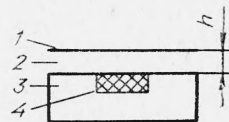


Рис. 1. Схема установки.

1 — вольфрамовая пластина; 2 — газовый зазор; 3 — подложка из асбестового пороха; 4 — образец пороха.

Поджигающий импульс рассчитывался как произведение величины теплового потока на время зажигания, определяемого по резкому взмыву температуры на поверхности. При обработке методики по изменениям температуры в различных точках образца было установлено, что вся поверхность нагревается равномерно, а погашенные образцы не имеют заметных прогаров. В работе применялись образцы прямоугольной формы со сглаженными острыми кромками. Размеры образцов 10×15 мм, толщина 3—10 мм.

На рис. 2 приведены поджигающие импульсы для нитроглицеринового пороха Н+1% сажи. Значения импульсов для воздуха и азота при 1 атм практически совпадают. При повышении давления азота до 30 атм величины экспериментально определенных импульсов растут (при заданном постоянном внешнем тепловом потоке), приближаясь к значениям, полученным в опытах со светом [1].

На рис. 3 нанесены экспериментальные значения поджигающих импульсов для пироксилина № 1. Видно, что повышение давления азота до 30 атм приводит практически к полному совпадению результатов, определенных по настоящей методике и на световой установке [2].

Для выяснения физической картины процесса зажигания горячим газом производилось одновременное измерение температуры на поверх-

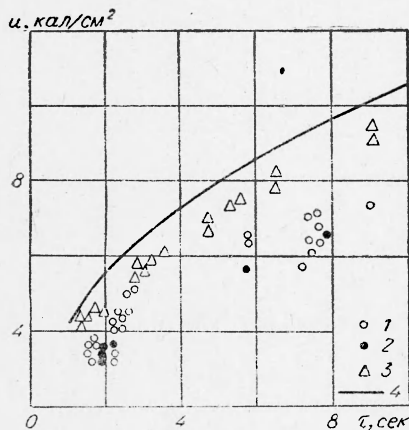


Рис. 2. Зависимость поджигающего импульса от времени для пороха Н+1% сажи.

1 — на воздухе; 2 — азот; давление 1 атм; 3 — азот, давление 30 атм; 4 — зажигание светом, азот, 1 атм [1].

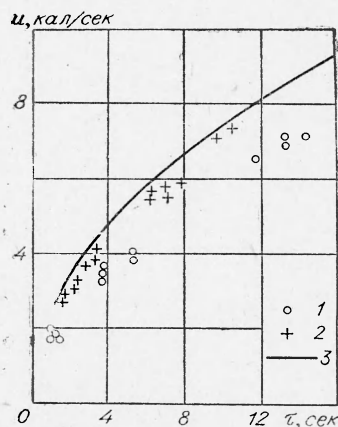


Рис. 3. Зависимость поджигающего импульса от времени для пироксилина № 1.

1 — азот, давление 1 атм; 2 — азот, давление 30 атм; 3 — зажигание светом, азот, 1 атм [2].

ности образца и в газовой прослойке, а также варьировался состав окружающей среды. В первых опытах было обнаружено, что температура на поверхности образца в момент зажигания значительно ниже той, которая реализуется при зажигании светом, когда окружающая газовая среда находится при комнатной температуре. Натянутая с помощью пружины термопара фиксирует начало повышения температуры в газовой прослойке, опережающее рост температуры на поверхности. Особенно четко это заметно при поджигании в среде гелия. На рис. 4 приведена характерная осциллограмма с записью температуры поверхности образца пороха Н+1% сажи (кривая 1) и в зазоре (гелий, кривая 2) при давлении 1 атм. В момент, когда температура на поверхности образца достигает $\sim 190^\circ\text{C}$, на кривой 1 имеет место излом. Наблюдающееся падение теплового потока связано с уменьшением эффективного коэффициента

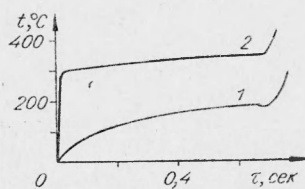


Рис. 4. Запись температуры на поверхности образца (1) и в газовом зазоре (2). Поток $q_0 = 2,9 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек}$.

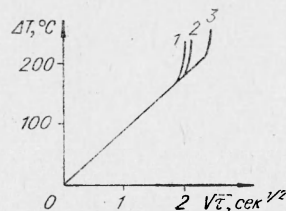


Рис. 5. Зависимость избыточной температуры поверхности пороха от времени в разных средах (давление 18 атм).

теплопроводности газовой смеси из-за разбавления гелия выходящими с поверхности газами — испаряющимися летучими и полупродуктами разложения пороха. Температура на поверхности понижается на $5-10^\circ$, однако одновременно с этим начинается развитие реакции в газе, что приводит к последующему разогреву образца. При повышении давления гелия картина процесса вырождается, излом наблюдается при более высоких температурах, а понижение температуры становится незаметным. Аналогичные закономерности наблюдаются и при зажигании пироксилина, но в менее выраженной форме: температура на изломе в опытах в атмосфере гелия равняется $205-210^\circ\text{C}$, «завал» меньше по величине.

Варьирование составом газовой среды позволило проследить влияние объемной теплоемкости инертного газа на развитие вспышки. На рис. 5 приведены записи избыточной температуры на поверхности образца пороха Н+1% сажи, нагреваемого потоком $q_0 = 2,9 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек}$ в атмосфере аргона (1), гелия (2) и азота (3). Зажигание в аргоне происходит значительно раньше, чем в азоте. Это можно объяснить в первую очередь тем, что объемная теплоемкость азота примерно в 1,5 раза выше, чем у аргона (другие теплофизические характеристики этих газов различаются мало). Несколько затянута задержка зажигания в гелии по сравнению с аргоном связывается с тем, что при данном тепловом потоке градиент температуры в гелии в несколько раз ниже, чем в аргоне. Дополнительными опытами было показано, что зажигание в аргоне при 50 атм эквивалентно зажиганию в азоте при 30 атм.

Во всех опытах (см. рис. 2, 3) зажигание фиксировалось по взмыву температуры на поверхности, однако, если нагревающая пластинка убиралась сразу после вспышки (давление азота 1—3 атм), происходило погасание пороха. Предварительные эксперименты показали, что переход к стационарному горению осуществляется в том случае, когда нагрева-

тель выдерживается над образцом после вспышки некоторое время Δt ; это время сокращается при увеличении содержания кислорода в окружающем газе, повышении давления и уменьшении плотности внешнего потока тепла. При давлениях выше 5 атм на данной установке (время зажигания $\geq 0,2$ сек) переход зажигания в горение осуществляется всегда.

Изложенные выше результаты позволяют следующим образом объяснить зажигание горячим газом. При нагреве пороха с поверхности последнего по достижении некоторой температуры начинается заметное выделение летучих (нитроглицерина и др.) и газообразных продуктов, способных к дальнейшим экзотермическим превращениям [3]. Реагирование их в зазоре дает вспышку и дополнительный поток тепла, который по оценкам превосходит поток от пластины в 2—4 раза. Изменение исходных условий теплообмена приводит к дальнейшему росту температуры поверхности, что формально походит на развитие теплового взрыва в конденсированной фазе. Однако вспышка летучих полупродуктов разложения происходит тогда, когда распределение температуры в порохе еще не обеспечивает интенсивности тепловыделения в к-фазе, достаточной для самораспространения волны горения; это обуславливает неустойчивость процесса.

При увеличении давления инертной среды вспышка в газовой фазе затрудняется (уменьшение интенсивности газовыделения с поверхности, балластирование реагирующей среды), зажигание происходит при более высокой температуре поверхности. Повышение устойчивости при этом достигается в результате лучшего приближения к условиям реагирования чисто в конденсированной фазе, а также за счет увеличения интенсивности и полноты самого процесса стационарного горения (при данном давлении) и уменьшения времени релаксации теплового слоя в к-фазе.

Полученные результаты не противоречат ранее установленным фактам, что за зажигание нитроглицеринового пороха и пироксилина, приводящее к горению, ответственны прежде всего реакции в к-фазе пороха. В связи с возникновением вспышки в газовой фазе, прежде чем в достаточной степени разовьются химические процессы в самом порохе, появляется дополнительный источник теплового потока к его поверхности, усложняющий картину зажигания.

В связи с этим необходим более критический анализ экспериментальных данных по зажиганию при использовании их для определения кинетических констант. В частности, отождествление времени вспышки, регистрируемой оптическими методами, со временем зажигания в таких условиях и использование его для вычисления этих констант является в принципе неверным.

*Поступила в редакцию
7/VII 1970*

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Михеев, А. А. Ковальский, С. С. Хлевной. ФГВ, 1968, 4, 1.
2. В. Ф. Михеев, С. С. Хлевной. Второй всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Автореф. докл. Изд. ФИХФ АН СССР, 1969.
3. В. В. Александров, С. С. Хлевной. ФГВ, 1970, 4, 4.