

**ПЕРЕХОД НОРМАЛЬНОГО ГОРЕНИЯ ПОРИСТЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ
ВЕЩЕСТВ ВО ВЗРЫВ В УСЛОВИЯХ СЛАБО ВОЗРАСТАЮЩЕГО ДАВЛЕНИЯ**

В. К. Боболев, Л. Ф. Чекирда, С. В. Чуйко
(Москва)

При рассмотрении срыва нормального горения пористых взрывчатых веществ (ВВ) совершенно не учитывался факт существования между горячей поверхностью и зоной сформировавшегося пламени так называемой темной зоны, где имеются активные полупродукты горения и пары ВВ, что установлено¹ работами [1]. При нормальном горении вторичных ВВ оттекающие от поверхности ВВ полупродукты в результате самовоспламенения образуют на некотором расстоянии от поверхности высокотемпературное пламя. Если же пористое ВВ будет гореть при слабо возрастающем давлении, то в поры ВВ начнут проникать газы из объема снаружи образца, причем в первую очередь пойдут относительно горячие полупродукты горения. Для этого необходимо, чтобы скорость потока в поры была отличной от нуля. В этом случае можно было бы ожидать, что в порах по истечении периода индукции произойдет дореагирование полупродуктов с выделением полной теплоты, т. е. образуется высокотемпературное пламя. Однако ряд обстоятельств (например, охлаждающее действие стенок пор) настолько усложняет явление, что окончательный ответ мог дать только эксперимент. Некоторые авторы [2,3] полагают, что при горении плавящихся ВВ режим нормального горения осуществляется лишь до тех пор, пока слой расплава полностью закрывает поры. В противном случае горение становится конвективным, что в условиях возрастающего давления приводит к взрыву.

В данной работе установлено, что при горении плавящихся пористых ВВ под возрастающим давлением слой расплава полностью закрывает поры лишь при низких давлениях. При повышении давления целостность расплава нарушается, поры открываются и возникает фильтрация газов. Причем критическое давление нарушения целостности слоя расплава P_* мало. Экспериментальные результаты были получены в основном на гексогене с размерами частиц $160 \div 250 \text{ мк}$, при относительной плотности $\delta = 0.7$ и воспламенении от спирали при атмосферном начальном давлении.

Схема постановки опытов показана на фиг. 1. Сжигание образцов 4 производилось в манометрической бомбе 1 с рабочим объемом 200 см^3 . Через светопровод 3 и окна 2 процесс одновременно фиксировался двумя фоторегистраторами: низкоскоростным 5 и скоростным 6. Пьезодатчик давления 7 давал информацию о давлении в объеме бомбы, датчик 8 измерял давление в порах образца. Сигналы с датчиков поступали на двулучевой катодный осциллограф и считывались с экрана фоторегистратором.

Указанное выше заключение было сделано на основе следующих опытных данных.

1. Была записана разность давлений в объеме бомбы и в порах горящего образца ВВ. Оказалось, что эта разность не превышает $\sim 3 \text{ атм}$ вне зависимости от давления в объеме бомбы.

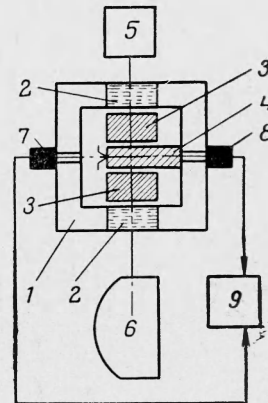
2. Нижний конец пористого образца через прочную негорючую сетку имел выход на атмосферу. При избыточном давлении в бомбе всего в $1.5 \div 2 \text{ атм}$ происходило продувание продуктов горения из объема бомбы с последующим затуханием горения.

3. Расчет P_* показывает, что если закон горения ВВ имеет вид $u = aP^n$, то из условия заполнения поры расплавом получаем

$$P_*^n \leq \frac{12\delta\chi(\rho - \rho_*)}{(1 - \delta)D\rho} \quad (1)$$

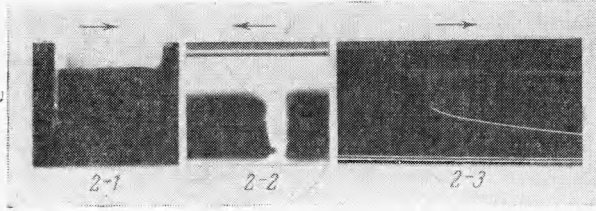
где ρ_* — плотность расплава ВВ, ρ — плотность твердого ВВ, χ — толщина слоя расплава при 1 атм , D — размер частиц ВВ (диаметр в случае шариков и сторона для кубиков). Для гексогена с указанными выше параметрами из (1) имеем $P_* \approx 3 \text{ атм}$. Учет давления в бомбе в случае горения под возрастающим давлением еще больше снижает значение предельного P_* . Таким образом, при горении пористого ВВ под возрастающим давлением слой расплава уже при довольно низких давлениях перестает играть роль абсолютного барьера, защищающего поры. Однако фотозаписи процесса горения в этих условиях показывают, что горение идет еще довольно долго на нормальном режиме. Следовательно, проникновение газов извне в поры ВВ в данном случае не означает проникновение горения.

¹ А. Ф. Белыев. Механизм горения взрывчатых веществ. Докт. дисс., Институт химической физики АН СССР, М., 1946.



Фиг. 1

Производя воспламенение пористых образцов гексогена при атмосферном давлении, мы обнаружили, что спустя ~ 2 сек в условиях, когда на поверхности идет нормальное горение, а скорость роста давления в объеме бомбы лежит в пределах $2.5 \div 10$ атм/сек, внезапно, без обычного участка ускорения горения [8], возникает взрыв, сопровождающийся сильным механическим эффектом. На фиг. 2 приведены фотозаписи этого процесса, сделанные по схеме фиг. 1. На записи фиг. 2—1 со скоростью развертки 0.38 м/сек виден участок нормального горения, внезапно переходящий в вертикальный след. Развертка взрывного процесса со скоростью 50 м/сек показана на фиг. 2—2. В сигнал осциллограммы давления фиг. 2—3 введены метки времени в виде затемнений с частотой 2 кГц. Направление развертки показано стрелками у фигур.

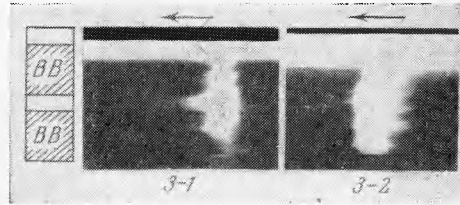


Фиг. 2

Из фотозаписи видно, что на глубине $3 \div 5$ мм от поверхности нормального горения внутри образца возникает очаг, от которого вверх и вниз распространяется взрывное горение (скорости соответственно в пределах $300 \div 800$ и $200 \div 600$ м/сек). Давление в месте образования очага имеет порядок $1 \div 5$ тыс. атм. Отметим, что взрыв не доходит до дна образца.

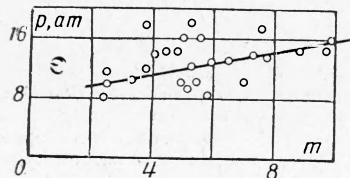
На фиг. 3—1 приведена фотозапись со скоростью развертки 200 м/сек процесса передачи горения через полость, разделяющую две половины пористого образца чистого гексогена. Верхняя половина образца опиралась на тонкую газопроницаемую сетку. Видно, что в полости свечение возникло раньше момента начала взрывного процесса. Произошло воспламенение нижнего торца верхней половины заряда, а в нижней половине образца наблюдается типичный случай возникновения очага на глубине, с последующим взрывом.

Увеличивая градиент давления у поверхности горения или затрудняя прогрев стенок пор, можно получить несколько очагов, успевших развиться внутри пор ВВ. Так, на фиг. 3—2 приведена запись, полученная на гексогене с 2% парафина. Условия опыта и регистрации те же, что в случае чистого гексогена.

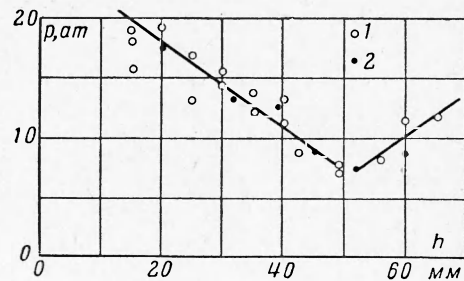


Фиг. 3

Описанное явление можно объяснить в свете современной теории горения ВВ [4] следующим образом. После нарушения сплошности слоя расплава начинается фильтрация в поры полупродуктов из темной зоны над поверхностью горения. При фильтрации относительно горячие полупродукты вызывают экзотермическое разложение зерен ВВ, т. е. происходит обогащение смеси за счет газовой выделений со стенок пор. Через некоторый период индукции происходит самовоспламенение этой смеси с образованием пламени в порах ВВ. Из-за первоначально охлаждающего действия стенок развитие этого процесса в порах сильно заторможено по сравнению с его развитием в пространстве над поверхностью горения. После вспышки смеси выделившихся газов с полупродуктами происходит поджигание уже частично подготовленного (подогретого) ВВ, что и дает собственно взрыв. Отметим, что в случае



Фиг. 4



Фиг. 5

выхода полупродуктов в пору с инертными стенками пламя не образуется, т. е. обогащение полупродуктов парами ВВ со стенок пор имеет важное значение. Кроме того, газовыделение со стенок снижает способность давлений в порах и в объеме бомбы, что способствует стабилизации горения.

Зависимость давления возникновения взрыва p от скорости нарастания давления m (атм/сек) для гексогена приведена на фиг. 4. Образцы имели диаметр 8 и высоту 40 мм. Наклон кривой дает характерное время ~ 0.7 сек, которое нужно понимать как время развития процесса самовоспламенения.

Кроме того, была изучена зависимость величины давления срыва нормального горения p от высоты образца h . При этом оказалось, что она влияет на давление срыва через суммарный объем пор, приходящийся на единицу площади поперечного сечения образца. В изученном интервале параметров увеличение высоты при неизменной δ (фиг. 5, точки 1) давало тот же эффект, как добавление искусственной полости объема, равного приращению объема пор образца при увеличении высоты. На фиг. 5 точками 2 показаны данные для последнего случая. При этом для сравнения высоты образцов приведены к диаметру 8 мм и $\delta = 0.7$, что соответствует условиям точек 1.

Известно [4], что при горении пористых ВВ наблюдается следующая схема изменений режимов горения: нормальное — конвективное — взрывное горение — детонация. Эта схема соответствует следующим соотношениям:

1. Скорость потока в поры образца из объема $\omega = 0$. В этом случае нормальное горение идет устойчиво.

2. $0 < \omega \leq w$, где w — скорость оттекающих продуктов горения. Этот случай рассмотрен в данной работе: по истечении времени индукции возникает взрыв в порах.

3. $\omega > w$. Соответствует конвективному горению [3-5].

4. $\omega \gg w$. Взрыв наступает почти сразу после воспламенения в результате прорыва высокотемпературных конечных продуктов горения в поры ВВ. Этот случай имел место в работе [4].

Авторы благодарят И. А. Карпухина и Г. А. Афанасьева за обсуждение затронутых вопросов.

Поступила 18 III 1963

ЛИТЕРАТУРА

1. По х и л П. Ф. О механизме горения бездымных порохов. Сб. Физика взрыва, Изд. АН СССР, 1953, вып. 2.
2. T a y l o r W. A Melting stage in the burning of solid secondary Explosives. Comb. and Flame, 1962, vol. 6, p. 103.
3. T a y l o r W. The burning of secondary Explosives powderes by a convective mechanism. Trans. Faraday Soc., 1962, vol. 58, 561.
4. А н д р е в К. К. Термическое разложение и горение ВВ. Госэнергоиздат, 1957.
5. G r i f f i t h s et al. The burping to detonation of solid explosives. Griffiths J. Chem. Soc., 1960, vol. 11, p. 4154-4162.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАДКОСТИ ФРОНТА ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ

С. Н. Буравова, А. Н. Дремин, О. К. Розанов,
В. С. Трофимов
(Москва)

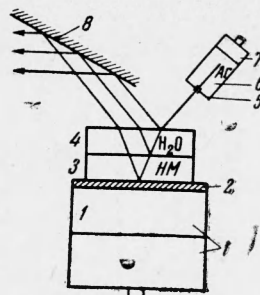
В работе [1,2] приводятся данные, доказывающие тот факт, что детонационный фронт в разбавленных смесях нитрометана (НМ) и ацетона (А) является негладким.

Из этого, по аналогии с детонацией в газах [3,4], сделано заключение о том, что реакция в детонационной волне идет не равномерно по всему фронту, а наиболее интенсивна в отдельных его точках. В настоящей работе приводятся экспериментальные данные, доказывающие негладкость детонационного фронта во всех смесях НМ-А и в чистом НМ. В дальнейшем все эти вещества обозначаются НМ.

Идея опытов основана на том, что гладкая поверхность детонационного фронта должна работать как зеркало, от которого можно получить регулярное отражение. На фиг. 1 приводится схема опыта: 1 — активный заряд; 2 — полированная металлическая пластинка; 3 — НМ; 4 — вода, которая наливается над слоем НМ для контроля правильности оптической установки (известно, что ударная волна в инертной жидкости — зеркально гладкая [5]). На детонационную волну под углом 40° к ее поверхности падает луч от источника света.

Источником света служит аргон 6, сжатый сильной ударной волной от заряда 7, свет от которой проходит через щель 5. Луч, отраженный под углом 40° к поверхности волны, направляется в объектив СФР зеркалом 8. Щель СФР устанавливается перпендикулярно щели 5 и вырезает из нее точку.

Отражениям от неподвижных поверхностей соответствуют на пленке горизонтальные линии, от движущихся — наклонные.



Фиг. 1