

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. Я. АПИН и В. К. БОБОЛЕВ

**О ХАРАКТЕРЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ
В ПОРОШКООБРАЗНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ**

(Представлено академиком Н. Н. Семеновым 21 III 1947)

При выяснении характера прекращения детонации в нитроглицерине и нитроглицероле, заключенных в стеклянные трубки небольшого диаметра, Ратнер и Харитон (1) установили при помощи фотографического метода существование резкого перехода (излома) от большой скорости детонации к меньшей и последующего обрыва ее. Если в нитроглицерине или нитроглицероле детонация возбуждается, например, от достаточно мощного инициатора, то в узких трубках она вначале распространяется вполне устойчиво со скоростью около 7500 м/сек., после чего, однако, может наступить внезапное уменьшение ее до приблизительно 1800 м/сек. с последующим резким прекращением. На фотографии следа пламени виден излом в месте перехода от большой скорости к меньшей. При употреблении менее мощного инициатора в указанных взрывчатых веществах можно вызвать распространение детонации с устойчивой малой скоростью, которая в достаточно узких трубках резко прекращается. Иногда перед прекращением детонации наблюдается внезапный переход от малой скорости к еще меньшей, например от 1800 к 700 м/сек. Таким образом, в этих случаях прекращение детонации происходит ступенчато, с резким обрывом, без плавного затухания ее.

Вопрос о том, присуще ли это свойство только жидким нитроэфиром или оно имеет место и для других взрывчатых веществ, оставался невыясненным.

Для выяснения характера прекращения детонации в порошкообразных взрывчатых веществах мы исследовали скорость их детонации вблизи предельного (критического) диаметра заряда. Скорость детонации измерялась при помощи фотографического метода с регистрацией изображения пламени на фотопленку, расположенную на внешней поверхности вращающегося барабана, окружная скорость которого составляла 30 м/сек. Детонация возбуждалась при помощи детонатора № 8 (гремучая ртуть-тетрил). При этом было обнаружено, что в порошкообразных взрывчатых веществах: нитроглицерине (твердом, стабильная форма), пентрите, гексогене и пикриновой кислоте прекращение детонации носит такой же характер, как и у жидких нитроэфиров. Наблюдающиеся в порошках изломы скорости детонации в большинстве случаев обозначены менее отчетливо, чем у нитроглицерина и нитроглицероля.

Наряду с изломами и обрывами детонации в порошках очень часто наблюдается и плавное затухание ее с постепенным уменьшением скорости детонации и ослаблением интенсивности свечения (на фотографии получается изображение в виде „запятой“, захватывающей

большую или меньшую часть длины заряда). Кроме того, в порошках наблюдаются не только простые переходы от большой скорости к меньшей, как это имеет место и у жидких нитроэфиров, но иногда наблюдаются и более сложные переходы. Например, возможен такой вид прекращения детонации: многоступенчатый переход от большей, очень медленно затухающей скорости детонации к меньшей, от последней к другой большей, затем от нее к еще меньшей и, наконец, обрыв детонации (или „запятой“). Такого рода более сложные виды прекращения детонации изображены на приводимых снимках.

На рис. 1 зафиксировано прекращение детонации в порошкообразном нитроглицерине (размер зерна менее 0,4 мм) при плотности заряжения $\rho=1,08$ г/см³, диаметре заряда $d=1,9/2,8$ мм (внутренний и

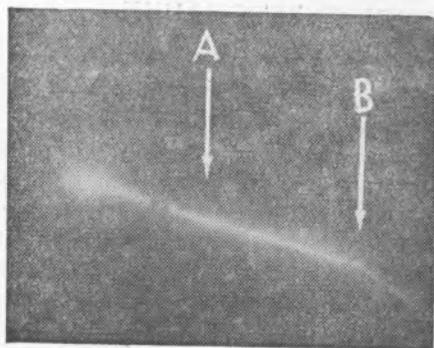


Рис. 1

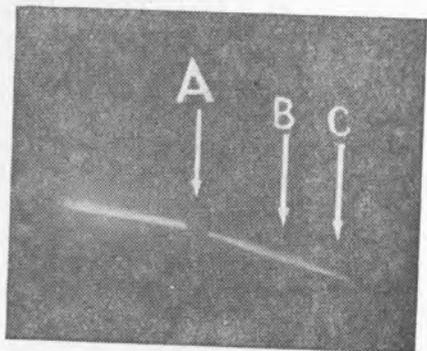


Рис. 2

внешний диаметры стеклянной трубки соответственно равны 1,9 и 2,8 мм) и общей длине заряда $l=346$ мм. Детонация распространяется слева направо, пленка движется снизу вверх. В данном случае детонация прошла только на участке 260 мм, после чего она прекратилась (оборвалась). В точке В совершенно отчетливо виден резкий излом скорости детонации. Влево от излома, на участке $l_1=200$ мм, детонация распространяется в среднем со скоростью около 2900 м/сек., а вправо от излома, на участке $l_2=60$ мм, она распространяется со значительно меньшей скоростью — 1300 м/сек. При внимательном рассмотрении фотоснимка на участке большей скорости в точке А можно заметить незначительный излом, после которого детонация распространяется с повышенной скоростью. На участке малой скорости, вправо от точки В, тоже можно заметить нечто, похожее на излом.

На рис. 2 представлено прекращение детонации в тэне (пентрит, размер зерна 0,10—0,25 мм) при $\rho=0,95$ г/см³, $d=2,1/3,1$ мм и $l=436$ мм. Детонация прекратилась после того, как она прошла 240 мм длины заряда. Вначале детонация распространяется со скоростью около 4100 м/сек., затем, примерно в точке А, которая совпадает с непрозрачной меткой, специально нанесенной на внешней поверхности заряда, она переходит в меньшую скорость 2500 м/сек., после чего в точке В последняя небольшим скачком повышается до 3200 м/сек. Наконец, в точке С наступает еще один излом с переходом в наименьшую скорость 1500 м/сек. и последующим обрывом детонации.

На рис. 3 изображено прохождение детонации в пикриновой кислоте (размер зерна 0,01—0,5 мм) вблизи предельного диаметра заряда $d=2,8/3,8$ мм при $\rho=0,80$ г/см³ и $l=490$ мм. Детонация прошла по всей длине заряда. В точках А и В на внешней поверхности заряда были наклеены метки из черной бумаги. По большей части заряда (370 мм), влево от точки В, детонация распространяется с очень мед-

ленно затухающей скоростью, которая в среднем составляет около 3000 м/сек. На остальном участке (120 мм), вправо от точки излома В, она распространяется со скоростью 2300 м/сек. Хотя детонация и прошла по всей длине заряда, она по своему характеру протекания очень похожа на затухающую (или обрывающуюся). Поэтому вполне возможно, что при большей длине заряда обнаружится прекращение детонации.

Приведем еще два примера, характеризующих поведение гексогена. 1) Гексоген (зерно 0,03—0,15 мм), $d = 1,2/2,0$ мм, $\rho = 1,0$ г/см³ и $l = 320$ мм. Детонация прошла до конца заряда. На участке, отстоящем на 270 мм от начала заряда, имеется переход скорости от 3500 к 2400 м/сек. 2) Гексоген (зерно 0,03—0,15 мм) при немного меньшем диаметре заряда $d = 1,06/1,85$ мм, $\rho = 1,0$ г/см³ и $l = 300$ мм. Детонация обрвалась, пройдя 225 мм длины заряда. На участке, отстоящем на 175 мм от начала заряда, наблюдается переход от малой скорости 2300 м/сек. к еще меньшей — 1600 м/сек.

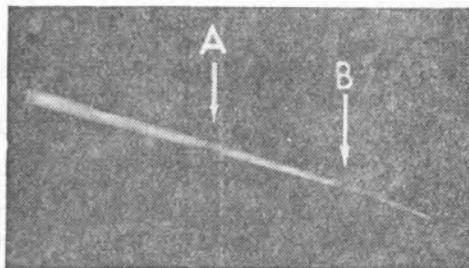


Рис. 3

Заметим еще, что на рис. 3 довольно отчетливо выступают некоторые особенности протекания детонации в пикриновой кислоте, которые, повидимому, вообще характерны для такого рода недостаточно устойчивых режимов детонации, когда детонация развивается в особо жестких условиях. Эти особенности заключаются в следующем. Изображение следа пламени сужается от начала к концу заряда. Участок малой скорости дает более узкий и менее интенсивно освещенный след пламени. Интенсивность свечения распределяется по длине заряда крайне неравномерно; иногда на некоторых участках наблюдаются более или менее правильные чередования ярко освещенных мест и темных пятен, во многом напоминающие спиральный (спиновый) ход детонации. На участке А—В (рис. 3) частога спина составляет около 100 000 гц. Очень похожие изменения в интенсивности свечения можно заметить и у жидких нитроэфиров⁽¹⁾. Относительно спиновой детонации взрывчатых веществ имеются указания у Урбанского⁽²⁾ и Паризо⁽³⁾. Последние усматривают в этом внешнюю аналогию со спиновой детонацией в газах.

На основании имеющихся данных мы полагаем, что явление излома скорости детонации и резкого обрыва ее вблизи предельного диаметра, повидимому, является общим свойством большинства взрывчатых веществ. Изменения в химических свойствах и физической структуре взрывчатых веществ не вносят существенных коррективов в общую картину затухания детонации. Влияние указанных факторов ограничивается тем, что в одних случаях явление ступенчатого затухания детонации и некоторые другие детали, связанные с этим, проявляются чаще и более отчетливо, а в других случаях — реже и менее отчетливо. Причины этого явления, повидимому, кроются в механизме распространения детонации, общем для всех взрывчатых веществ.

Ступенчатое затухание детонации можно представить, конечно, в самых общих чертах, весьма схематично, если допустить, что распространение детонации подчиняется струйчато-пробойному механизму⁽⁴⁾. Согласно последнему, распространение детонации осуществляется благодаря проникновению (прорыву, пробое) многочисленных струй горячих газов в свежие слои взрывчатого вещества. Скорость детонации равна скорости проникновения. На пределе детонация будет

поддерживаться некоторым минимальным числом струй (или групп струй). Движение струй (распространение детонации) идет извилистым путем и охватывает на своем пути не обязательно всю массу взрывчатого вещества.

При наличии взаимодействия струй уменьшение или увеличение числа их в общем потоке может оказать существенное влияние на ход детонации вблизи предела, в некоторых случаях резко изменяя ее скорость. Появление скачка скорости (излома) будет носить статистический характер. Что касается появления на фотографиях пламени детонации светлых и темных пятен и спиновой структуры, то это может быть отнесено, главным образом, за счет извилистого, в том числе спирального движения струй.

В связи с последними замечаниями необходимо еще иметь в виду, что структуры спиновой детонации взрывчатых веществ и газов имеют между собой большое сходство и, повидимому, не только внешне. Укажем на два обстоятельства, значительно углубляющих это сходство.

1. Структура переднего края фронта спиновой детонации в газах очень напоминает собой языки пламени, выбрасываемые вперед в негоревший газ. Обширный материал в этом отношении и прекрасные фотографии, характеризующие всю гамму переходов от спиновой к „настоящей“ детонации, приведены в докторской диссертации Шелкина⁽⁵⁾.

2. Если взорвать небольшой заряд взрывчатого вещества (азид свинца или капсуль-детонатор) в атмосфере инертного газа, заключенного в стеклянную трубку, то выбрасываемые при этом языки пламени (или струи горячих газов) обладают спиновой структурой^(5, 6).

В заключение авторы считают приятным долгом выразить благодарность члену-корреспонденту АН СССР проф. Ю. Б. Харитону за постоянный интерес к работе и ценные указания.

Институт химической физики
Академии Наук СССР

Поступило
21 III 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Б. Ратнер и Ю. Б. Харитон, ДАН, 41, 307 (1943). ² T. Urbanski, Roczniki Chemji, 6, 838 (1926); 12, 715 (1932); 13, 130 (1933). ³ A. Parisot, Mém. d'Artill. Fr., 18, 499 (1939). ⁴ А. Я. Апин, ДАН, 50, 285 (1945). ⁵ К. И. Шелкин, Докторская диссертация, Ин-т хим. физики АН СССР, 1946. ⁶ W. A. Bone, R. P. Fraser and W. H. Wheeler, Phil. Trans. Roy. Soc. (L), A, 235, 29 (1935).