

А. В. ДУБОВИК, А. А. ГОНЧАРОВ, А. А. ДЕНИСАЕВ, В. К. БОБОЛЕВ

К СТРУКТУРЕ ФРОНТА МАЛОЙ СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИИ В НИТРОГЛИЦЕРИНЕ

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 8 XII 1974)

Кавитационная модель детонации с малой скоростью (д.м.с.) в жидких взрывчатых веществах удовлетворительно объясняет причину возникновения и основные особенности распространения процесса (¹, ²). Выводы о структуре фронта д.м.с. необходимо делать на основе специальных исследований. Установлено (³, ⁴), что поверхность фронта д.м.с. вогнута в сторону распространения, причем взрывная реакция впервые возникает в периферийных участках вблизи оболочки заряда, а затем распространяется в его центральную часть. Этим объясняются неоднородность свечения фронта и наличие характерных максимумов свечения д.м.с. с боковой стороны поверхности зарядов.

В указашной картине развития взрыва при д.м.с. недостаточно ясным является происхождение сильного уменьшения яркости свечения фронта

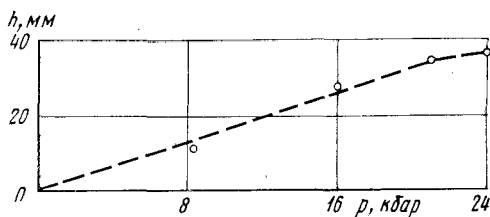


Рис. 1

при передаче реакции от периферии в центральный участок. Возможна следующая альтернатива: резкое замедление скорости взрывчатого превращения или экранирующие эффекты кавитации и разрушающей оболочки заряда. Удовлетворительный ответ можно получить из результатов измерения профиля давлений во фронте д.м.с., особенно в участках вблизи оболочки

ки. Оценка профиля д.м.с. в цилиндрических зарядах нитроглицерина (НГЦ), выполненная в (⁵) с помощью электромагнитного метода, не облегчает решение поставленной задачи по ряду причин: введение датчиком возмущений в поток впереди фронта д.м.с., отсутствие плоского взаимодействия фронта с перекладиной датчика и т. д. В настоящей работе исследование профиля давлений при детонации НГЦ выполнено с помощью пьезоэлектрических датчиков, которые, в силу конструктивных особенностей, минимально влияли на процесс и позволяли получать информацию о событиях в периферийных участках зарядов. В большинстве опытов одновременно регистрировались давление и яркость свечения фронта д.м.с.

Эксперименты с нитроглицерином проводились в зарядах специальной конструкции (⁴). Стеклоанная трубка диаметром 22/25 мм разрезалась пополам вдоль образующей и одна половина приклеивалась к плоской поверхности плексигласового блока размером 50×50×120 мм³, образуя кювету, которая заполнялась НГЦ. Дном кюветы служила пластина из текстолита толщиной 2 мм, выполнявшая также роль экрана продуктов взрыва инициирующего заряда содагола (ТНТ/NaCl 50/50) плотностью 1,16 г/см³ (диаметр 25 мм). На расстоянии 70 мм от экрана на поверхности плексигласового блока помещалась диафрагма диаметром 2,5 мм, через которую регистрировалось свечение фронта д.м.с. с помощью фото-

умножителя. На том же удалении от экрана со стороны стеклянной оболочки располагался датчик давления, который имел следующее конструктивное оформление. Чувствительный элемент — пластина ЦТС-23 диаметром 5 мм и толщиной 1 мм — припаивался сплавом Вуда между торцами волновода и согласующего стержня диаметром 5 мм. Волновод и стержень изготовлялись из латуни — материала с близким к ЦТС акустическим импедансом. Время циркуляции упругой волны по стержню намного превосходило время записи процесса. Волновод имел форму усеченного конуса

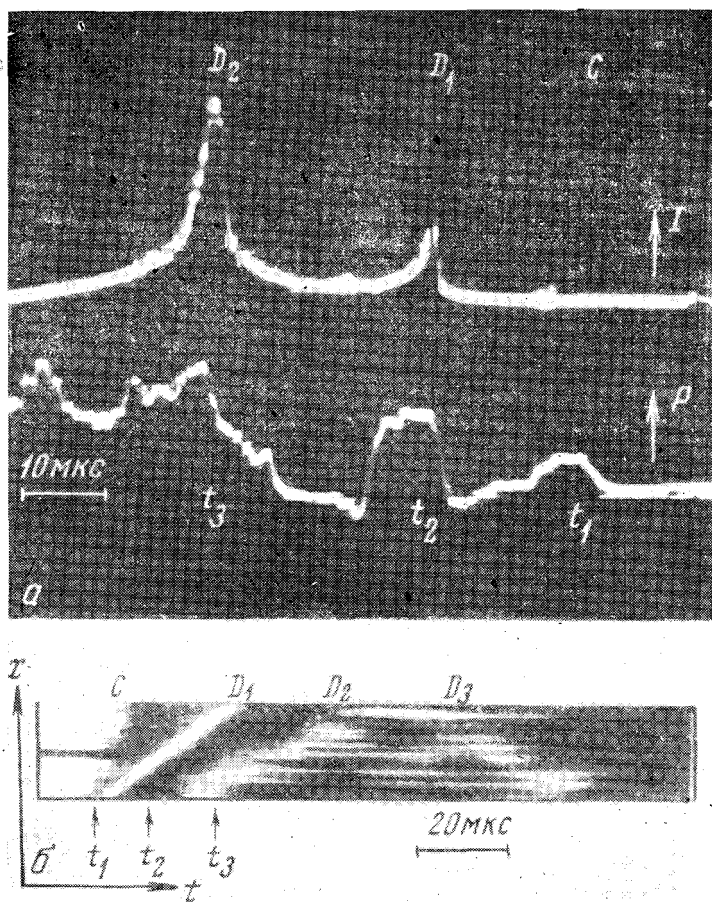


Рис. 2

с углом при вершине 3° . Ориентированный нормально к оси заряда, волновод своим заостренным концом (диаметр основания 1 мм) упирался в стеклянную оболочку. Указанная конструкция волновода обеспечивала высокое временное разрешение записи давления д.м.с., вследствие малой площади контакта практически не влияла на процесс детонации и не вносила искажений при передаче профиля исследуемого волнового возмущения к чувствительному элементу. Сигнал с датчика давления регистрировался осциллографом С-1-17 с входным сопротивлением 10 мом. Постоянная времени измерительной цепи более чем на порядок превышала характерное время записи процесса.

Градуировка датчиков проводилась по записи давлений детонации зарядов содатаола при изменении концентрации тротила от 40 до 60%.

С помощью электромагнитного метода было установлено, что давление детонации применявшихся зарядов изменялось от 8,5 до 24 кбар. Тариро-

вочный график показан на рис. 1, на котором по оси ординат отложена величина сигнала на экране осциллографа (в мм), по оси абсцисс — давление. В интервале давлений меньше 20 кбар величина сигнала пропорциональна амплитуде детонационной волны.

На рис. 2а приведены осциллограммы записи давления (p) и яркости свечения (I), а на рис. 2б — фоторазвертка опыта с НГЦ. Темной полоской

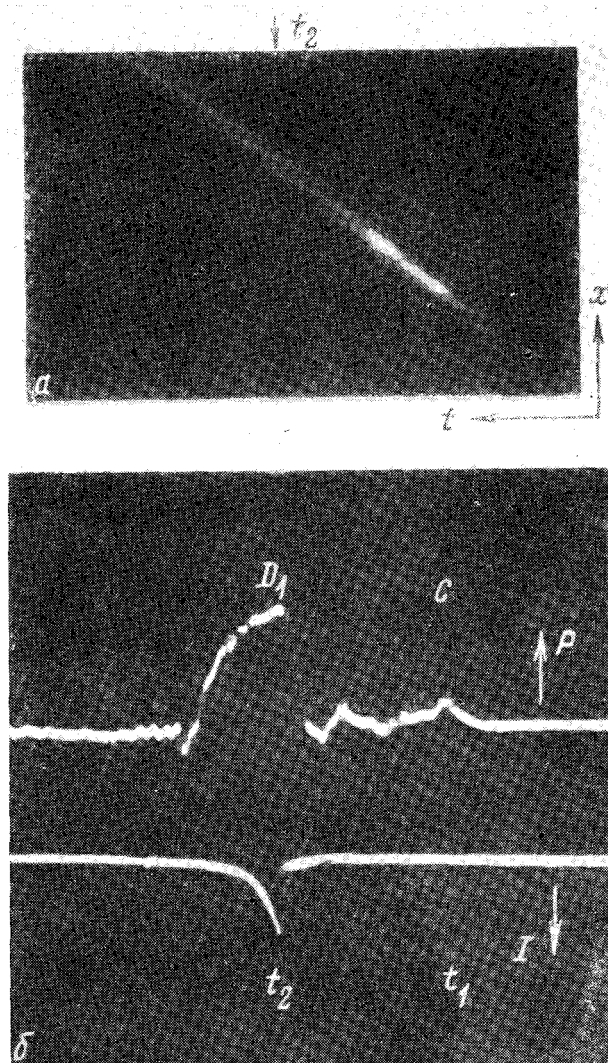


Рис. 3

показано положение датчика давления и диафрагмы. В момент t_1 датчик давления фиксирует предварительную ударную волну C , движущуюся вдоль стеклянной оболочки заряда. Ее амплитуда составляет 2,5 кбар, скорость 5,2 км/сек. После прохождения волны C оболочка теряет прозрачность в волне разгрузки, наличие которой фиксируется пьезодатчиком в течение времени $t_1 t_2$. В момент t_2 фотоумножитель регистрирует первое свечение D_1 фронта д.м.с. (скорость распространения $D_1=2,1$ км/сек). Одновременно датчик давления записывает волну с амплитудой ≈ 8 кбар. Уменьшение яркости свечения фронта в интервале $t_3-t_2 \approx 25$ мсек сопровождается соответствующим снижением давления в периферийной зоне

заряда. Повторное возрастание свечения D_2 (скорость $D_2 \approx 1,6$ мк/сек) в момент времени t_3 вновь совпадает с подъемом давления до максимальной величины ≈ 12 кбар.

Исходя из полученных результатов и данных ⁽⁴⁾ по регистрации свечения д.м.с. камерой СФР со щелью поперек заряда, можно составить следующее представление о структуре фронта детонации в НГЦ. Движение предварительной ударной волны вызывает появление кавитационных пузырьков в узкой (~ 1 мм) зоне вблизи оболочки заряда. Они являются центрами инициирования реакции во фронте волны D_1 . Дальнейшее развитие реакции в глубь заряда в форме нормального горения исключено, поскольку за характерное время записи свечения д.м.с. около 50 мксек прореагирует слой толщиной менее 1 мм (считаем, что скорость нормального горения НГЦ при $p=10$ кбар не превосходит 20 м/сек). Достаточно быстрое распространение реакции в глубь заряда возможно в форме взрывного горения, для которого необходимо наличие неоднородностей (кавитации) в жидком веществе. Их появление можно связать с движением волны разрежения от боковой поверхности заряда вслед за распространением фронта D_1 (в интервале $t_2 t_3$ наблюдается спад давления и уменьшение яркости свечения д.м.с.). Этот факт объясняет происхождение волны D_2 , распространяющейся по вновь возникшим неоднородностям. Таким образом, при д.м.с. вещество последовательно, «слой за слоем» (начиная с периферии заряда), вступает в реакцию. Количество указанных «слоев» зависит от многих факторов, в частности от геометрии заряда, свойств оболочки, характера разлета продуктов взрыва и т. д. На рис. 2б заметны 4 фронта реакции, распространяющихся с интервалом $\sim 20-40$ мксек. Однако часто наблюдается отсутствие реакции в центральной части заряда («темный канал» во фронте д.м.с. ⁽³⁾).

Хорошо известно, что д.м.с. способна распространяться в тонких (доли миллиметра) пленках жидких веществ ⁽⁷⁾. На рис. 3а приведена запись боковой фоторазвертки свечения д.м.с. в заряде, отличающемся от применявшихся ранее тем, что НГЦ располагался в узком (порядка 0,1 мм) зазоре между оболочкой и лавсановой пленкой (толщиной 10 мкм).

Пространство между пленкой и плексигласом заполнялось глицерином. В этих условиях наблюдался только один фронт реакции $D_1 \approx 2,2$ км/сек. Осциллограммы яркости свечения и давления приведены на рис. 3б. Пьезодатчик зафиксировал распространение волны C по оболочке ($p \approx 2,5$ кбар) и волновое возмущение с амплитудой ≈ 9 кбар.

Если поменять местами глицерин и НГЦ, то стационарной д.м.с. не наблюдается, очевидно, из-за отсутствия условий для распространения фронта D_1 .

Институт химической физики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
28 XI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик, В. К. Боболев, ДАН, т. 161, № 5 (1965).
² R. W. Watson, C. R. Summers et al., IV Symp. (Intern.) on Detonation, 1965, Washington, 1966, p. 117. ³ Г. С. Соснова, И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик, ДАН, т. 149, № 3 (1963). ⁴ А. В. Дубовик, А. А. Гончаров и др., ДАН, т. 216, № 3 (1974).
⁵ А. В. Дубовик, И. М. Воскобойников, В. К. Боболев, Физика горения и взрыва, № 4 (1966). ⁶ Е. З. Новицкий, Е. С. Тюнькин и др., Горение и взрыв. Матер. 3-го Всесоюз. симп. по горению и взрыву, «Наука», 1972, стр. 602. ⁷ G. D. Coley, J. E. Field, Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, v. 335, 67 (1973).