

ром конечные характеристики газозвеси будут те же ($T_1=3015^\circ\text{K}$), а время полного выгорания будет наименьшим. Но расчеты показали, что для воспламенения газозвеси более мелкого порошка требуется довольно значительное повышение начальной температуры газа.

Вариант 3. В двух первых вариантах горения газозвеси начальная масса кислорода принималась в избытке по сравнению со стехиометрической ($\alpha=1,2$). При расчете третьего варианта была сделана попытка определить, как влияет уменьшение коэффициента избытка кислорода на основные характеристики процесса выгорания газозвеси. По сравнению с предыдущим вариантом был изменен один начальный параметр: $\alpha=1$.

Расчет показал, что уменьшившаяся начальная масса газа быстро охлаждается до такой температуры, при которой не может воспламениться ни одна из частиц в принятом диапазоне размеров ($5 \div 30 \text{ мк}$). Такое сравнение оказалось невозможным.

Варианты 4 и 5. Определение влияния α на характеристики процесса выгорания газозвеси было проведено для начальной температуры газа 1500°K . Варианты 4 и 5 больше ничем не отличались соответственно от вариантов 2 и 3. Оказалось, что изменение коэффициента избытка кислорода от $\alpha=1,2$ до $\alpha=1$ мало влияет на основные характеристики горения газозвеси (кроме уже упомянутой, необходимой для воспламенения газозвеси, начальной температуры газа).

Все вычисления были выполнены на ЭВМ БЭСМ-2М. Значения физических констант, принятые в расчетах, взяты из работ [1—5].

*Поступила в редакцию
12/II 1970*

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Гуревич, А. М. Степанов. ФГВ, 4, 2, 1968.
2. М. А. Гуревич, А. М. Степанов. ФГВ, 4, 3, 1968.
3. Д. Кэй и Т. Лэби. Справочник физика-экспериментатора. ИЛ, 1949.
4. В. С. Чиркин. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М., Атомиздат, 1968.
5. Термодинамические константы индивидуальных веществ. Под ред. В. П. Глушко. М., Изд-во АН СССР, 1962.

УДК 534.222.2

УПРУГАЯ ВОЛНА В ТОНКОСТЕННОЙ ОБОЛОЧКЕ И ЕЕ РОЛЬ ПРИ ПРОТЕКАНИИ НИЗКОСКОРОСТНОГО РЕЖИМА ДЕТОНАЦИИ

*О. К. Розанов, А. Н. Дремин
(Москва)*

Успешное исследование механизма низкоскоростных режимов детонации в жидких ВВ во многом зависит от понимания роли оболочки, в которой содержится исследуемое вещество. Существование возмуще-

вия по оболочке, опережающего фронт реакции, было экспериментально показано в работе [1], где продемонстрировано, что подобное возмущение в стекле, имеющее скорость $5,3 \text{ км/сек}$, сильно искажает получаемую на фоторегистрах запись свечения процесса вследствие предварительной деформации стекла. Однако до недавнего времени его возможное влияние на распространение низкоскоростных процессов не учитывалось.

В ряде работ при изучении низкоскоростных режимов детонации в жидких ВВ (в смесях на основе перекиси водорода [2], в нитроглицерине [3—5]) и устойчивое распространение реакционной зоны со скоростью $\sim 2 \text{ км/сек}$ связывается с акустическими свойствами оболочки. Авторы работ [3—5] полагают, что в оболочках с высокой акустической жесткостью существуют предварительные волновые возмущения, которые отходят от зоны реакции и обгоняют ее, вызывая в веществе, находящемся перед фронтом реакции, разрывы сплошности. Благодаря последним, инициирование реакции во фронте малой скорости детонации в жидком ВВ происходит так же, как и при детонации с малыми скоростями твердых порошкообразных ВВ [5].

Из исследования сжимаемости стекла [6] известно, что скорость фронта ударной волны при различном приложенном начальном давлении вплоть до 290 кбар остается постоянной и равной $5,4 \text{ км/сек}$. (Использовалось стекло $\rho_0 = 2,48 \text{ г/см}^3$, в состав которого входили SiO_2 — 72,2%, Na_2O — 14,1%, CuO — 12,4% и др.). При этом оказалось, что массовая скорость u за резким фронтом первой (упругой) волны при одинаковом приложенном давлении первоначально значительно уменьшается по мере распространения волны по образцу. Однако уже на толщинах стекла 3 и 4 см значения u за упругой волной оказались практически одинаковыми и равными $\sim 0,27 \text{ км/сек}$, что соответствовало давлению $\sim 36 \text{ кбар}$ [6]. Это указывало на то, что, начиная с таких расстояний, давление за упругой волной, скорость которой оставалась постоянной, меняется незначительно.

Представляло интерес определить, каково давление за упругой волной в тонкостенных стеклянных оболочках, как быстро затухает эта волна, установить поведение цилиндрической оболочки под действием упругой волны и попытаться выяснить ее роль для протекания низкоскоростного режима детонации.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧКАХ

Существование и скорость распространения возмущения по прозрачной оболочке удобно наблюдать по отсечке света постороннего источника, которая происходит по мере прохождения этого возмущения. Щель прибора СФР устанавливается по центру цилиндрической трубки в направлении ее оси. Подсвечивающий заряд помещается на противоположной от наблюдателя стороне исследуемого заряда и отделяется от последнего матовым экраном. Ударная волна в оболочке создавалась зарядом ПЖВ-20 насыпной плотности, который отделялся от нее инертной преградой.

Исследовались пустые или заполненные водой стеклянные трубки различного диаметра и высоты. Высота трубок изменялась от 10 до 90 см, внутренний диаметр — от 1,5 до 2,5 см при толщине стенок 0,09—0,17 см. Во всех случаях фиксировалась равномерная от 5,20 до 5,35 км/сек скорость прекращения свечения, что совпадает со скоростью

упругой волны в стекле. Эти опыты показывают, что возмущение по оболочке распространяется с постоянной скоростью на весьма значительные расстояния.

Интенсивность возмущения и его затухание по мере распространения по оболочке оценивались по скорости разлета стекла с торца, которое начинается в момент, когда на торец выходит возмущение. Скорость разлета приравнивалась скорости отсечки света постороннего источника, проходившего над торцом до этого момента. Типичная фоторазвертка, получаемая в такой постановке опыта, приводится на рис. 1.



Рис. 1. Разлет материала стеклянной трубы с торца. Высота трубы 40,5 см, диаметр 2 см.

Давление за упругой волной определялось по формуле $p = \rho_0 \cdot D \cdot u$, где ρ_0 — плотность стекла, D — скорость возмущения (упругой волны) по оболочке, u — массовая скорость за упругой волной. Значение $u = \frac{1}{2} \omega$, где ω — скорость разлета стекла с торца. В опытах использовалась труба с внутренним диаметром ~ 2 см и толщиной стенки 0,16 см. Полученные значения давления за упругой волной в зависимости от высоты стеклянной трубы h представлены в таблице.

Качественным подтверждением существования за упругой волной в тонкостенной стеклянной оболочке заметного массового потока может служить следующий опыт.

h , см	ω , км/сек	u , км/сек	p , кбар
40	0,25	0,125	17,5
60	0,17	0,085	12,0
90	0,14	0,070	10,0

Примечание. $D=5,30$ км/сек, $\rho_0=2,65$ г/см³.

На гладкую стальную пластину была поставлена стеклянная труба, торцы которой плоско отшлифованы. Высота трубы ~ 35 см, внутренний диаметр $\sim 1,8$ см, толщина стенок $\sim 0,15$ см. Поверх трубы в контакте с ней ставился заряд ВВ, используемый при инициировании низкоскоростных режимов детонации. Продукты взрыва заряда отсекались. В результате опыта на пластине остался довольно глубокий отпечаток кольцевой формы, размеры которого в точности совпали с поперечным сечением трубы. Отметим, что поставленная рядом со стеклянной стальная труба точно таких же размеров не оставила никаких отпечатков. Обе трубы располагались симметрично от оси заряда.

Поскольку давление за упругой волной в оболочке падает, то можно было ожидать изменения в характере разрушения (деформации) оболочки, приводящего к отсечке света постороннего источника. В случае цилиндрической оболочки при прохождении света сразу через два слоя стекла, качественные эффекты, сопровождающие разрушение, могут накладываться друг на друга. Эксперименты были проведены на плоских пластинах, так как картина, получаемая на фоторегистре, не будет полностью соответствовать истинной.

Пластина из обычного оконного стекла толщиной 0,45, шириной ~ 20 и высотой ~ 70 см устанавливалась на заряд насыпного ПЖВ-20 диаметром 6 см. Продукты взрыва отсекались. Полученная фоторазвертка процесса приведена на рис. 2, где видно, что разрушение стекла происходит неравномерно. Сначала появляются отдельные «непрозрачные» точки, которые затем увеличиваются по площади. Скорость роста этой непрозрачной зоны составляет ~ 2 км/сек. Вместе с тем остаются участки, которые в явном виде не подвергаются разрушению, т. е. через них свет проходит беспрепятственно. По мере распространения волны по пластине количество «неразрушенного» стекла увеличивается.



Рис. 2. Распространение упругой волны в стеклянной пластине.

Скорость появления «непрозрачных» точек, определенная по наклону прямой, проведенной через эти точки, составила $\sim 5,15$ км/сек. Можно считать, что она соответствует скорости упругой волны в этом стекле.

Приведенная на рис. 2 фоторазвертка содержит интересную особенность. Прежде чем упругая волна доходит до конца пластины (момент t_2) от него начинает распространяться возмущение («обратный» процесс t_1), которое тоже делает стекло непрозрачным. Время $\Delta t = t_2 - t_1$, казалось бы, характеризует задержку начала видимого разрушения стекла, так как известно, что материал в волне разрежения разрушается легче. Однако, как показали дополнительные эксперименты, интенсивный разлет стекла с торца начинается в момент, соответствующий приходу упругой волны. Поэтому можно предположить, что еще до прихода на торец собственно упругой волны до него дошло какое-то возмущение, которое обладает большей скоростью и практически не фиксируется при своем «прямом» распространении. Скорость этого возмущения можно оценить следующим образом. Зная высоту использовавшегося в опыте стекла h и скорость упругой волны $D_{уп}$, определим время распространения упругой волны по стеклу $T = h/D_{уп}$. Отношение $h/(T - \Delta t)$ дает искомую скорость c . Оказалось, что для употреблявшегося оконного стекла $c = 5,8$ км/сек, что соответствует скорости предвестника, существование которого в стекле предсказывалось в работе [6].

Отметим еще одну особенность этой фоторазвертки. На позитиве, а особенно на негативе, хорошо видна серия волн, предшествующая основной упругой волне, распространяющейся со скоростью $D_{уп}$. Строго определить скорость этих волн, исходя из их наклона к оси времени, и сравнить их значения с $D_{уп}$, имея только подобного рода фоторазвертки, трудно. В то же время можно довольно точно оценить частоту их

следования друг за другом. Установлено, что частота этих волн растет от ~ 450 до ~ 650 кгц. По-видимому, наличие на фоторазвертках приведенного типа такой серии волн следует связывать с собственными колебаниями стеклянной пластины при распространении предвестника. Это подтверждается тем, что начало процесса разрушения стекла с торца совпадает с приходом на него первой волны из этой серии.

Поведение цилиндрической оболочки под действием упругой волны выяснялось аналогичным способом. Однако в этом случае щель прибора СФР устанавливалась перпендикулярно оси трубки. Типичная фоторазвертка представлена на рис. 3, а. После прохождения упругой волны по оболочке, которое сопровождается отсечкой света постороннего источника (момент t_1), начинается разлет оболочки по радиусу. Скорость этого разлета невелика и зависит от пройденного упругой волной расстояния. Так, на расстоянии 17—20 см от пластины, формирующей в оболочке упругую волну, скорость разлета $\sim 0,04$ км/сек, на расстоянии 35—40 см она составляет уже $\sim 0,02$ км/сек, а на расстояниях 60—70 см — $\sim 0,01$ км/сек. Следует отметить, что данные получены на стеклянных трубах, заполненных водой. Пустые трубки разлетаются медленнее. Кроме того, оказалось, что при одинаковой толщине оболочки скорость разлета не зависит от диаметра, по крайней мере в пределах от 1,5 до 3 см.



Рис. 3. Радиальный разлет заполненной водой стеклянной трубы под действием упругой волны.
а) целая труба; б) труба с трещиной.

Силы, обуславливающие радиальный разлет оболочки при прохождении по ней упругой волны, весьма незначительны. Это подтверждается следующим фактом. Если стеклянную трубку плотно обмотать снаружи в два-три слоя хлорвиниловой изоляцией, то указанного радиального разлета не наблюдается даже при высоте трубки ~ 30 см и в том случае, если она заполняется водой.

Скорость радиального разлета тонкостенной стеклянной оболочки под действием упругой волны можно значительно увеличить, если искусственно создать в ней трещину. Увеличение скорости разлета видно из сопоставления фоторазверток, представленных на рис. 3. Ударная волна посылалась одновременно в две одинаковые заполненные водой стеклянные трубки с внутренним диаметром $\sim 1,8$ см. В одной трубке (см. рис. 3, б) на расстоянии 20 см от ее начала была сделана трещина. Сравнение скоростей разлета показывает, что трубка с трещиной разлетается в 4—5 раз быстрее.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ НИЗКОСКОРОСТНОГО РЕЖИМА ДЕТОНАЦИИ

Рассмотрим ряд экспериментов с НГЦ, постановка которых основана на существовании сильного возмущения в стеклянной оболочке. Если давление за упругой волной в оболочке составляет величину

10—15 кбар, то естественно ожидать, что такое динамическое воздействие при определенных условиях может самостоятельно вызвать детонационный процесс.

Известно, что низкоскоростной режим детонации возникает в цилиндрических трубах, заполненных способными к малой скорости жидкими ВВ, при давлениях меньших 10 кбар [7, 8], а для возникновения высокоскоростного режима в этих условиях необходимо давление, например в НГЦ, порядка 25—30 кбар [9]. Эксперимент ставится следующим образом: стеклянная трубка высотой ~ 20 см заполняется НГЦ с выпуклым мениском, а затем аккуратно накрывается плоской стеклянной пластиной так, чтобы между пластиной и торцевой поверхностью трубы оставался тонкий слой НГЦ. Фотографирование процесса можно производить или сбоку, или одновременно сбоку и с торца по способу, описанному в работе [10]. В последнем случае можно наблюдать, что в момент прихода упругой волны на торец в периферийных областях поперечного сечения возникает свечение более яркое по сравнению со свечением идущего снизу процесса. Через некоторый промежуток времени от торца навстречу «прямой» волне реакции начинает идти самостоятельный низкоскоростной процесс [11]. Следует отметить, что иногда при такой постановке опытов по тем или иным причинам, связанным, по-видимому, с толщиной «зажатого» слоя НГЦ, обратный низкоскоростной процесс не возникает. В работе [4] для страховки на закрытый металлической пластиной торец трубы помещался кристалл азида свинца, который при таких (~ 15 кбар) давлениях в упругой волне детонирует и в зависимости от собственного веса вызывает высоко- или низкоскоростной детонационный процесс.

Необходимо подчеркнуть одну особенность, наблюдаемую в подобных экспериментах. После столкновения идущих навстречу низкоскоростных процессов (скорость их распространения составляет ~ 2 км/сек) реакция прекращается, волны как бы не проходят друг сквозь друга (аналогичное явление можно наблюдать на рис. 5). Подробность интересна, поскольку известны факты, когда низкоскоростной процесс, отражаясь от запаянного торца стеклянной трубки, начинал распространяться назад и проходил большую часть длины трубы [12]. Эти эксперименты были выполнены с нитрогликолем, содержащимся в стеклянных трубах длиной ~ 75 см с внутренним диаметром и толщиной стенок $\sim 0,2$ см. Кроме того, установлено, что в жидком ВВ, в частности в НГЦ, по которому уже прошел низкоскоростной процесс, может спонтанно возникать высокоскоростной процесс со скоростью детонации $\sim 7,5$ км/сек, который догоняет и обгоняет ушедшую вперед низкоскоростную реакционную волну [11]. Как показано в работе [13], высокоскоростной процесс, распространяющийся вслед за низкоскоростным, можно вызвать и искусственно.

В другой серии экспериментов выяснялось, может ли возмущение в виде упругой волны, распространяющейся по цилиндрической стеклянной оболочке, само, без каких-либо дополнительных устройств, приводить к возникновению детонационного режима. Для этого использовались длинные (40—60 см) трубки с внутренним диаметром ~ 2 см и толщиной стенок $\sim 0,15$ см. НГЦ заливался только в верхнюю часть трубы. Высота столба жидкости варьировалась от 17 до 28 см. Вещество удерживалось в верхней части благодаря пластилиновой пробке высотой ~ 5 см; торец трубы оставался открытым. В нижней части трубы также ставилась пластилиновая пробка высотой ~ 5 см, чтобы избежать прорыва в трубу продуктов взрыва инициирующего заряда (ПЖВ-20 насыпной плотности диаметром 6 см), который отделялся от

стеклянной трубы слоем плексигласа толщиной 0,3 см. С внешней стороны трубы продукты взрыва отсекались плотным картонным экраном. При такой постановке опыта на ВВ не воздействует ничего, кроме упругой волны в оболочке.

Щелевая фоторазвертка развивающихся процессов производилась посредством ждущего фоторегистра (ЖФР). Во всех случаях в столбе НГЦ возникал реакционный процесс спустя 200—250 мксек после прихода упругой волны. Времена задержки определялись в дополнительных экспериментах по отсечке света постороннего (взрывного) источника, располагавшегося на расстоянии 1,5—2 м от исследуемого заряда. Реакция возникала всегда в средней части (по высоте) столба жидкости. Реакционный процесс проходил, как правило, со скоростью ~ 2 км/сек и распространялся как в обе стороны от центра, так и только в направлении распространения упругой волны. На рис. 4 показано возникновение и распространение низкоскоростного режима детонации под действием упругой волны в стеклянной оболочке высотой 43 см в столбе НГЦ высотой 21 см. В плексигласовых трубках высотой ~ 40 см в аналогичной постановке опытов возникал гораздо более медленный процесс, скорость которого была $\sim 0,8$ км/сек.

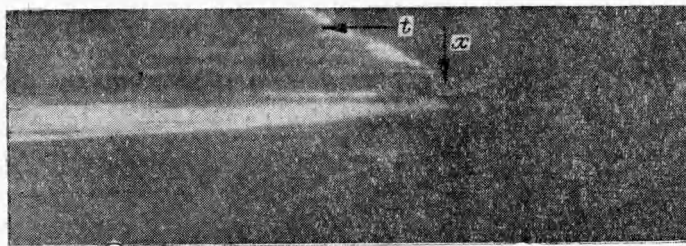


Рис. 4. Фоторазвертка возникновения низкоскоростного режима детонации под действием упругой волны в стеклянной оболочке.

Возникновение низкоскоростного детонационного режима под действием только одной упругой волны в оболочке подтверждается еще следующими экспериментами. Когда упругая волна доходит до искусственной трещины в стеклянной оболочке, то от нее спустя 15—20 мксек в обе стороны начинает распространяться низкоскоростной процесс. Трещины в оболочках создавались местным нагревом предварительно нанесенной с поверхности царапины. Из проведенных экспериментов не удалось установить, как влияет характер трещины (длина, направленность) на возникновение детонационного режима. Однако установлено, что система последовательных искусственных трещин «не работает»: если создать несколько трещин, отстоящих друг от друга на одинаковых расстояниях ($\sim 4,0$ — $5,0$ см) и располагающихся либо на одной, либо на противоположных сторонах трубы, то низкоскоростной процесс возникает только на первой трещине, остальные не приводят к возникновению реакции. На рис. 5, а показано возникновение низкоскоростного режима на трещине, сделанной на расстоянии 22 см от плексигласовой пластины, через которую входила инициирующая ударная волна от заряда ПЖВ/талк (76/26) насыпной плотности. Скорости основного процесса (1), идущего от начала трубы, и, возникшие на трещине (2), совпадают и равны $2,20 \pm 0,05$ км/сек. Поведение нескольких трещин, обращенных к прибору СФР, показано на рис. 5, б. Видно, что реакция воз-

никла только на одной (первой) трещине, а остальные экранируют свечение доходящего до них низкоскоростного процесса. Причина этого пока не ясна. Как правило, подобного возникновения низкоскоростного режима на искусственной трещине не наблюдается, если трещину обмотать снаружи трубы хлорвиниловой изоляцией.

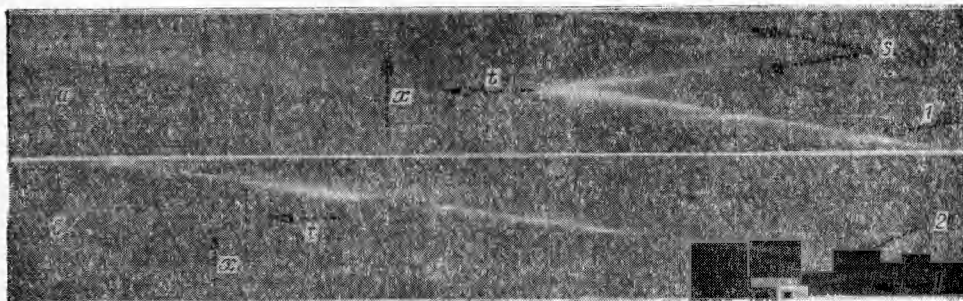


Рис. 5. Фоторазвертка возникновения низкоскоростного режима детонации на одной искусственной трещине, сделанной в стеклянной трубе с диаметром ~ 2 см (а) и на четырех трещинах, отстоящих друг от друга на расстоянии ~ 5 см (б).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что в стеклянных оболочках распространение упругой волны не зависит от протекания низкоскоростного реакционного процесса. На основании этого можно утверждать, что при распространении низкоскоростного режима детонации не реализуется предполагаемый рядом исследователей стационарный комплекс: ударная волна по оболочке — зона кавитации — зона реакции, так как быстрого затухания упругой волны в оболочке не установлено. Это, в свою очередь, заставляет считать вопрос о стационарности данного детонационного режима открытым, поскольку длина зоны кавитации должна со временем увеличиваться, и характер поведения кавитационных пузырей к моменту прихода зоны реакции должен меняться.

С этой точки зрения представляло интерес рассмотреть процесс распространения данного (~ 2 км/сек) режима в сравнительно длинных стеклянных трубах. Использовались трубы длиной до 1,5 м с внутренним диаметром ~ 2 см и толщиной стенок 0,15 см. Наблюдение производилось как с торца трубы, так и с боковой поверхности. Оказалось, что фоторазвертка процесса только с торца трубы не дает достаточной информации. В ряде экспериментов свечение низкоскоростного режима пропадало на значительные (до 200 мксек) времена, а возникающий затем процесс давал картину свечения реакционного фронта, явно отличающуюся от первоначальной. Однако в этом случае нельзя не учитывать того факта, что упругая волна, достигнув торца трубы, может некоторым образом экранировать свечение идущего за ней процесса в результате разлета оболочки и возмущения поверхностного слоя ВВ.

Идеальным явилось бы одновременное фотографирование процесса с торца и с боковой поверхности. Но сделать это на одну пленку при таких длинах заряда невозможно. Фотографирование двумя приборами сопряжено с трудностями временного совмещения фоторазверток и недостаточным разрешением с торца. Проще оказалось фотографировать

процесс двумя приборами (СФР и ЖФР) на разных участках трубы. Первый прибор (СФР), фиксируя распространение низкоскоростного режима на начальных участках, давал информацию о существовании режима и величине его скорости. Второй прибор (ЖФР) осуществлял контроль за тем, дошел ли процесс до конца трубы. В ряде экспериментов, особенно при длинах $\sim 1,5$ м, было обнаружено, что реакция прекращалась, свечение пропадало и процесс не проходил по всей длине трубы. Контрольный опыт, выполненный в такой же трубе со смесью пироксилина с тальком, имеющий скорость детонации $\sim 2,4$ км/сек, показал, что разлетающаяся под действием упругой волны оболочка не экранирует свечение подобного медленного детонационного процесса.

Следует считать недостаточно выясненным вопрос о механизме образования кавитационных пузырей под действием упругой волны в оболочке. Качественные соображения об определяющем (главном) влиянии волны разрежения, приход которой в сжатое ВВ вызывает кавитацию [4, 5], в результате чего кавитационные полости растут до момента встречи с зоной реакции [14], нуждаются, на наш взгляд, в некотором уточнении. Рассмотрим следующий эксперимент. Известно, что свечение реакционного фронта при низкоскоростном режиме детонации в центральных областях заряда отсутствует [3, 11]. В цилиндрических оболочках на торцовых фоторазвертках наблюдается несветящийся «канал», располагающийся по оси трубы. Реакция протекает в периферийных областях заряда (рис. 6, а). Происхождение и характерные размеры этого «канала» пока не ясны. Не исключено, что его существование связано с маховским диском, который может образовываться при схождении к центру цилиндрической ударной волны, генерируемой в жидком ВВ упругой волной в оболочке. Образование маховского диска для толстостенных оболочек не вызывает сомнения, так как цилиндрическая волна усиливается при схождении ее к центру. В качестве примера укажем на образование подобной маховской конфигурации в плек-

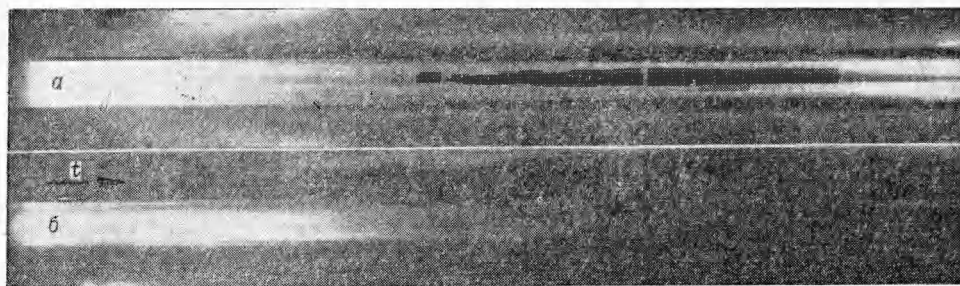


Рис. 6. Торцовая фоторазвертка свечения низкоскоростного режима в стеклянной трубе с внутренним диаметром 1,65 см, толщиной стенки 0,13 и высотой 32 см.
а) обычная труба; б) труба, обмотанная хлорвиниловой изоляцией.

сигласовых и водяных цилиндрах, по внешней стороне которых скользила детонационная волна [15]. Для тонкостенной оболочки возникновение тройной конфигурации не очевидно, поскольку усиления цилиндрической ударной волны при ее схождении может и не быть вследствие влияния волн разрежения со стороны оболочки.

Если стеклянную оболочку обмотать хлорвиниловой изоляцией, то свечение низкоскоростного режима будет заметно отличаться (рис. 6, б). Реакция протекает менее интенсивно, особенно в прилегающих к обо-

лочке слоях, свечение почти совсем исчезает. Структура возникающего затем свечения значительно отличается от свечения, показанного на рис. 6, а.

Трудно представить, чтобы изоленга каким-то существенным образом повлияла на волну разрежения. Вероятнее предположить, что за упругой волной в стеклянной оболочке существуют продольные и радиальные колебания. Наличие подобных колебаний в длинных тонкостенных металлических трубах показано в работе [16]. По-видимому, в случае стекла присутствие изоленга изменяет характер колебаний оболочки, что сказывается на образовании и поведении кавитационных пузырей.

Отмеченный в первой части работы факт, что изоленга устраняет радиальный разлет оболочки, начинающийся после прохождения упругой волны, можно трактовать следующим образом. Упругая волна в тонкостенной стеклянной оболочке создает одноосное динамическое сжатие материала. Она распространяется со звуковой скоростью, и затухание ее амплитуды обусловлено необратимыми потерями на сжатие материала, а не влиянием волн разрежения с боков и сзади. Этим, очевидно, объясняется сравнительно медленное снижение давления в волне, имеющего столь высокие (~ 10 кбар) значения. Радиальный разлет оболочки, по всей вероятности, связан с поверхностными дефектами стекла, когда в результате радиальных колебаний трубы летят поверхностные слои. Поэтому изоленга резко снижает скорость этого разлета.

Авторы выражают глубокую благодарность В. А. Парамонову за большую помощь при проведении экспериментов.

*Поступила в редакцию
18/II 1969*

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Jones. Proc. Roy. Soc. 1928, **A120**, 603.
2. E. Hauser. Explosivstoffe, 1953, 5/6, 64.
3. Г. С. Соснова, И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик. Докл. АН СССР, 1963, **143**, 3.
4. И. М. Воскобойников, А. В. Дубовик, В. К. Боболев. Докл. АН СССР, 1965, **161**, 5.
5. А. В. Дубовик, И. М. Воскобойников, В. К. Боболев. ФГВ, 1966, **2**, 4, 105.
6. А. Н. Дремин, Г. А. Ададунов. ФТТ, 1964, **6**, 6, 1757.
7. A. V. Amster, R. Woolfolk. Nature, 1967, 215, № 5108.
8. А. В. Дубовик, В. К. Боболев. ФГВ, 1967, **3**, 4, 493.
9. А. Н. Дремин, О. К. Розанов и др. ФГВ, 1967, **3**, 1.
10. А. Н. Дремин, Г. А. Ададунов, О. К. Розанов. Докл. АН СССР, 1960, **133**, 16.
11. О. К. Розанов. Канд. дисс. ФИХФ АН СССР, 1965.
12. Р. Х. Курбангалина. Канд. дисс., ИХФ АН СССР, 1947.
13. А. Б. Дубовик. Канд. дисс., ИХФ АН СССР, 1966.
14. R. W. Watson, C. R. Summers. 4-th Symposium (International) on Detonation, White Oak, 1965.
15. Г. А. Ададунов, А. Н. Дремин и др. ФГВ, 1967, **3**, 2.
16. J. H. Heilmann, H. Kolsky. J. Mech. and Phys. Solids, 1966, **14**, 3, 121.