

РОЛЬ ОБОЛОЧКИ ПРИ РАЗВИТИИ ВЗРЫВА В ТЭНЕ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

А. В. Обменин, В. А. Балыков, А. И. Коротков, А. А. Сулимов

(Москва)

Оболочка заряда играет важную роль при переходе горения ВВ во взрыв и детонацию, что отмечалось К. К. Андреевым [1] и позднее в работах [2—4]. На отдельных стадиях преддетонационного развития процесса влияние оболочки является различным. В данной работе рассмотрен частный вопрос, связанный с исследованием влияния оболочки на скорость низкоскоростного режима, который предшествует непосредственно возникновению детонации.

В настоящее время установлено [3—6], что низкоскоростной режим возбуждается волнами сжатия и может распространяться с почти постоянной по длине заряда скоростью. При поджигании литых ВВ (дина, пентолит) в замкнутой стальной трубе возникает низкоскоростной режим со скоростью 1000—2000 м/сек, которая меньше объемной скорости звука в ВВ [2, 3]. В работах [6, 7] наблюдалось развитие низкоскоростного режима в слоях сильно спрессованного тэна и гексогена со скоростью до 1000 м/сек, при этом ВВ заключалось между пластинами плексигласа и поджималось. Имеющиеся в литературе данные [2—6] соответствуют условиям, когда параметры оболочки были неизменными. Вместе с тем, проведенные предварительно исследования с тэном высокой плотности показали [8], что оболочка оказывает существенное влияние на скорость низкоскоростного режима, величина которой изменялась от 1100 м/сек в плексигласовой оболочке до 3200 м/сек в толстостенной стальной оболочке. Ниже излагаются результаты опытов, поставленных с целью детального исследования данного эффекта.

Применялся тэн с размером частиц 320—400 мкм, который запрессовывался непосредственно в оболочку порционным способом до плотности $\rho_0 = 1,73 \text{ г/см}^3$, близкой к максимальной. Использовались в основном оболочки из Ст. 45 длиной 125 мм с внутренним диаметром $d_0 = 5,0 \text{ мм}$. Толщина стенки оболочки δ_0 изменялась в широких пределах — от 1,3 до 17,5 мм. Поджигание ВВ производилось у закрытого конца через болт-воспламенитель.

Скорость процесса определялась оптическим методом с помощью ждущего фото-регистра ЖФР-2 и регистрировалась через ряд узких (диаметром 0,8 мм) отверстий, расположенных на расстоянии 20 мм.

Измеряя после опыта толщину стенки оболочки, рассчитывали, используя закон сохранения массы, диаметр d_k , до которого расширился внутренний канал оболочки.

Определялась также прочность применяемых оболочек в условиях нагружения, близких к тем, которые имеют место при возникновении низкоскоростного режима. С этой целью в специальной серии опытов проводилось непосредственное измерение давления p^* , которое реализуется в канале оболочки при ее разрушении. Давление записывалось около точки поджигания, вблизи которой (на расстоянии 10—15 мм) происходило разрушение оболочки. Применяемый пьезоэлектрический датчик и регистрирующая аппаратура позволяли записывать давление до 10—12 кбар при быстроте нарастания $\frac{dp}{dt} < 0,3 \text{ кбар/мксек}$. При поджигании тэна в стальной оболочке нарастание

давления превышает указанную величину. Поэтому в этой серии опытов использовали прессованную смесь (50/50) тэна с дымным порошком, сгорание которой обеспечивало более медленное (за время $\sim 50 \text{ мксек}$) нарастание давления в оболочке до максимального значения p^* . Однако порядок величины скорости нагружения оболочки внутренним давлением сохранялся.

Анализ деформированных после опыта оболочек, подтвержденный результатами оптических наблюдений, показал, что низкоскоростной режим в тэне устанавливается на расстоянии 20—30 мм от точки поджигания и распространяется с практически постоянной по длине скоростью на оставшуюся (около $15 d_0$) часть заряда. На рис. 1 представлены результаты измерения скорости низкоскоростного режима (a) и деформации (d_k/d_0) внутреннего канала (b) в зависимости от толщины оболочки. Эти результаты соответствуют участку установившегося процесса. Как следует из полученных данных, при увеличении толщины стенки оболочки от 1,3 до 7 мм скорость режима непрерывно возрастает от 1300 м/сек до предельного значения — 3300 м/сек¹.

¹ Таким образом, скорость низкоскоростного режима может быть как меньше, так и больше объемной скорости звука $c_0 = \sqrt{dp/d\rho}$, соответствующей начальному состоянию ВВ (для тэна $c_0 = 2300 \text{ м/сек}$), на что обращалось внимание ранее [8].

Дальнейшее увеличение наружного диаметра оболочки не приводит к изменению скорости процесса и деформации внутреннего канала. Интересно, что форма кривых $w(\delta_0)$ и $\frac{d_k}{d_0}(\delta_0)$ является одинаковой.

Опыты, проведенные в оболочке с переменной толщиной стенки, показали, что скорость режима перестраивается в соответствии с изменением δ_0 . Следовательно, применение оболочек из одного материала (Ст. 45), но с различной толщиной стенки позволяет изменять в широких пределах скорость низкоскоростного режима в зарядах высокой плотности. В этом отношении твердые ВВ, видимо, отличаются от жидких, в которых скорость распространения аналогичного процесса (детонации с малой скоростью) меняется дискретно. Например, для нитроглицерина, согласно [9], она составляет, как правило, 1000 или 2000 м/сек в зависимости от свойств оболочки.

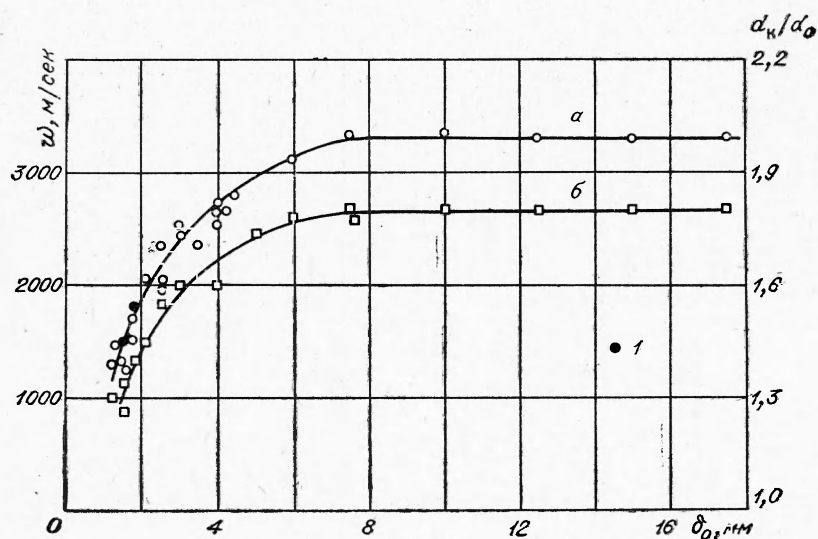


Рис. 1.

Результаты измерения давления p^* , которое выдерживает оболочка до разрушения, представлены на рис. 2. Видно, что при увеличении толщины стенки от 0,7 до 2,5 мм величина p^* возрастает с 4 до 10 кбар.

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что скорость низкоскоростного режима существенно зависит от давления, которое реализуется в оболочке, и в конечном счете — от амплитуды распространяющейся в ВВ волны сжатия. Если исходить из предположения, что амплитуда волны сжатия в ВВ не превышает p^* , то, как показывает сравнение данных рис. 1 и 2, при распространении режима со скоростью 2200 м/сек ($\delta_0=2,5$ мм) и 1300 м/сек ($\delta_0=1,3$ мм) значения амплитуды волны сжатия составляют соответственно 10 и 6 кбар. Последнее значение близко к полученному в работе [7], когда амплитуда волны сжатия, измеренная другим (электромагнитным) методом составила 2—5 кбар при скорости режима около 1000 м/сек. Необходимо отметить, что зависимость $p^*(\delta_0)$ (см. рис. 2) представляет самостоятельный интерес для задач, связанных с динамическим расчетом на прочность цилиндров, нагруженных внутренним давлением.

Определяющее влияние на скорость режима прочности оболочки, т. е. сопротивление, обусловленного силами сцепления, подтверждается также опытами, в которых тонкостенная оболочка окружалась массивной, но не обладающей прочностью водяной оболочкой (см. рис. 1, 1). При наличии водяной оболочки скорость режима не изменялась.

Как отмечалось, скорость низкоскоростного режима практически не изменяется на значительных длинах заряда, из чего следует, что амплитуда волн сжатия, которая ведет процесс, поддерживается постоянной. Такого рода поддержка может иметь место, если устанавливается подвижное равновесие между газоприходом из-за химической реакции и газоотводом вследствие деформации (расширения) оболочки. Скорость режима и, следовательно, величина равновесного давления возрастают при увеличении до определенного предела толщины стенки оболочки. Предельное значение скорости режи-

ма зависит от физико-механических характеристик материала оболочки, что было подтверждено прямыми опытами. В оболочках из менее прочных материалов: плексиглас, дюралюминий, латунь — предельные значения скорости для тэна той же плотности оказались соответственно равным 1100, 1200, 2600 м/сек.

В описанных экспериментах возникновение детонации отсутствовало, что находит свое естественное объяснение, если сравнить значение p^* (см. рис. 2) с критическим давлением инициирования детонации ударной волной, которое для тэна $\rho = 1,73 \text{ г/см}^3$, по нашим данным, составляет 15 кбар. Из этого сравнения следует, что низкоскоростной режим со скоростью $w < 2200 \text{ м/сек}$ ($\delta_0 < 2,5 \text{ мм}$) ведется волной сжатия, давление в которой меньше критического. Не исключено, что аналогичная картина имеет место при более высоких скоростях распространения. Таким образом, если создаются условия, при которых давление в волне сжатия поддерживается постоянным и меньшим критического давления инициирования, то распространение низкоскоростного режима является устойчивым. Опыты с удлиненными зарядами показали, что низкоскоростные режимы со скоростями $w < 2500 \text{ м/сек}$ на базах до 40 диаметров заряда распространяются устойчиво.

При рассмотрении вопроса о природе низкоскоростных режимов необходимо учитывать также профиль волны сжатия, характер которого определяется ее амплитудой. Известно [10], что в зависимости от соотношения между амплитудой волны и пределом текучести материала (ВВ) в нем распространяются различные конфигурации волн. Поэтому можно ожидать, что увеличение скорости низкоскоростного режима будет сопровождаться не только возрастанием амплитуды, но и крутизны переднего фронта волны сжатия.

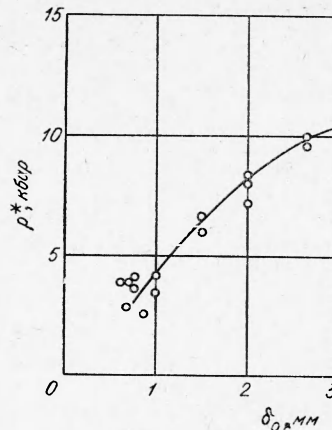


Рис. 2.

Поступила в редакцию
1/IV 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Андреев. Докл. АН СССР, 29, 469, 1940.
2. R. Gipson and A. Masek. XI-th Symposium (International) on Combustion, 1966.
3. D. Price and J. F. Wehner. Combustion and Flame, 1965, 9, 1.
4. А. В. Дубовик. Канд. дисс., 1966.
5. В. К. Боболев, А. В. Дубовик. ПМТФ, 1965, 2.
6. Г. Т. Афанасьев, В. К. Боболев и др. «Взрывное дело», № 63/20, «Недра», 1967.
7. В. К. Боболев, А. В. Дубовик и др. Первый Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву, 1968.
8. А. В. Обменин, А. И. Коротков и др. Первый Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву, 1968.
9. В. К. Боболев, А. В. Дубовик, И. Н. Воскобойников. Докл. АН СССР, 1965, 161, 5.
10. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Физматгиз, 1963.