

Если положить, что в зоне реакции $T \approx T_{\pi}$ (зона реакции узка), то

$$u_0^2 = \frac{\lambda_{\kappa} k_0 R T_{\pi}^2}{\rho_{\kappa} c E} \cdot \frac{\exp(-E/RT_{\pi})}{T_{\pi} - T_0 + L/2c}. \quad (23)$$

Скорость горения окислителя может зависеть от давления [10, 11], если при разложении образуется ленивая зона. Если реакция в конденсированной фазе экзотермическая ($Q_{\kappa} = -L$), то скорость горения смеси определяется уравнениями (19а) и (23) (ведущий процесс в дисперсной зоне), либо одним уравнением (23) (ведущий процесс в конденсированной зоне), тогда $T_{\pi} = T_0 + (Q_{\kappa}/c)$. В последнем случае, если считать, что в кинетической области $\omega = 0$, частицы вообще не будут вспыхивать, так как будет отсутствовать причина их нагревания. Поэтому при недостаточной температуре источника зажигания может случиться, что будет гореть только конденсированная фаза. Смена ведущей стадии, как и для зон с активной реакцией [12], определяется равенством скоростей горения при $T_{\pi} = T_0 + (Q_{\kappa}/c)$ и должна быть весьма резкой. Если частицы горючего расплавляются в конденсированной фазе, то в уравнение (19а) необходимо подставить размер агломерированных частиц.

Отделение института
химической физики
АН СССР, Черноголовка

Поступила в редакцию
3/VI 1975

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Лейпунский. ЖФХ, 1960, 34, 1.
2. Э. Н. Руманов, Б. И. Хайкин. Докл. АН СССР, 1971, 201, 1.
3. В. М. Захаров, Л. А. Клячко. Докл. ФГВ, 1972, 8, 1.
4. Б. В. Новожилов. Докл. АН СССР, 1960, 131, 1400.
5. Б. В. Новожилов. ЖФХ, 1962, 36, 1803.
6. Ф. А. Вильямс. Теория горения. М., «Наука», 1971.
7. Р. И. Нигматули, П. В. Ванштейн. Горение и взрыв. М., «Наука», 1972.
8. В. И. Юхвид, Э. И. Максимов, С. И. Матвеев.— В сб.: IV Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву (в печати).
9. А. Д. Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике, М., «Наука», 1967.
10. Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. Докл. АН СССР, 1964, 157, 412.
11. Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. НГПГВ, 1966, 2, 1.
12. О. Б. Якушева, Э. И. Максимов, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1965, 1, 3.

ВЛИЯНИЕ СТАЛЬНОЙ ОБОЛОЧКИ НА КРИТИЧЕСКИЙ ДИАМЕТР ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

Р. Х. Курбангалина, Л. И. Патронова

Известно [1—3], что заключение конденсированного ВВ в прочную массивную оболочку приводит к заметному уменьшению величины критического диаметра устойчивой детонации. Но ни в одной из имеющихся работ не было получено количественного соотношения между величиной критического диаметра d_c в свободном от оболочки (или в слабой оболочке) заряде и величиной критического диаметра d_m в металлической оболочке. Поскольку этот вопрос имеет большое практическое и научное значение, в данной работе было продолжено экспериментальное исследование, начатое ранее другими авторами, с целью получения

количественного значения коэффициента эквивалентности $k=d./d_m$.

Оболочки для определения d_m готовились из Ст. 3 расточиванием. Внутренняя поверхность каналов оболочек была после аккуратной расточки достаточно гладкой, поэтому шлифовка ее не проводилась. Длина основной рабочей части составляла 200 мм. В нескольких опытах при работе со смесью нитрометан/ацетон 81,3/18,7 были применены цельнотянутые из стали готовые трубки, длина которых доходила до 300—400 мм.

Для обеспечения надежного инициирования на основную трубку насаживалась стальная насадка длиной 40 мм, диаметр канала которой был несколько больше диаметра канала основной трубки. Иницирование осуществлялось от промежуточного инициатора — таблетки прессованного гексогена. Прохождение или затухание детонации фиксировалось по степени деформации оболочки и по торцевым фотографиям, полученным на скоростном фоторегистраторе. Для обеспечения хорошего контакта ВВ со стенкой оболочки в качестве исследуемых веществ были выбраны жидкие и порошкообразные ВВ, которые должны были иметь большие величины критического диаметра в свободном заряде. Это требование возникло в связи с тем, что в опытах использовались стальные трубки с каналом в 3 мм и более. Такому требованию удовлетворяли жидкий тротил, смеси нитрометана с ацетоном, аммиачная селитра. Начальная температура испытуемых ВВ, за исключением жидкого тротила, была около 20°C.

Экспериментальные данные отражены в табл. 1, где приводятся значения внутреннего диаметра, толщины стенки стальной оболочки,

Таблица 1

Внутренний диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Результат	Критический диаметр, мм			
			сталь	стекло	целлофан	k
Жидкий тротил при +85°C, $\rho = 1,46 \text{ г/см}^3$						
5,0	12,4	Детонация	3,8	60	90	23,7
4,3	12,5	»				
3,2	13,0	Затухание				
Жидкий тротил при +95°C, $\rho = 1,45 \text{ г/см}^3$						
4,0	12,9	Детонация	3,6	48	72	20
3,2	13,4	Затухание				
Нитрометан/ацетон 92/8, $\rho = 1,10 \text{ г/см}^3$						
4,1	13,0	Детонация	3,5	27	42	12
3,0	13,5	Затухание				
Нитрометан/ацетон 90/10, $\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$						
5,0	4,0	Детонация	4,6	33	54	12,5
5,0	3,0	»				
5,0	2,0	Затухание				
4,2	12,0	»				
4,2	17,8	»				
Нитрометан/ацетон 81,3/18,7, $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$						
18,1	4,5	Детонация	17	~ 136	~ 220	12,9
18,1	4,0	Затухание				
17,1	11,5	Детонация				
16,9	3,0	Затухание				
16,2	9,4	»				
15,0	12,5	»				
15,0	30,0	»				
Аммиачная селитра, $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$						
3,0	4,9	Детонация	< 8	≥ 80	≥ 100	> 30

величины критического диаметра в стальной оболочке d_m , в стеклянной оболочке d и в слабой (калька, целлофан) оболочке d_s , искомый коэффициент эквивалентности k . Величины критического диаметра для жидкого тротила в стеклянной оболочке взяты из работы [4], d_s для жидкого тротила в слабой оболочке получены из данных со стеклом увеличением их в 1,5 раза (такой коэффициент перехода от стекла к слабой оболочке был установлен для жидких ВВ в работе [6] и в ряде других экспериментов).

Для смесей нитрометан /ацетон 92/8 (здесь и далее весовое соотношение) и 90/10 величины критических диаметров определялись в стеклянных оболочках и из целлофана. Для смеси состава 81,3/18,7 d определено экспериментально, а в целлофановой оболочке получено экстраполяцией данных из работы [5].

Из табл. 1 следует, что заключение взрывчатых веществ в стальную оболочку приводит к уменьшению величины критического диаметра в общем на один порядок, но численный коэффициент при этом отличается для разных ВВ: для жидкого тротила ~ 20 , для смесей нитрометана с ацетоном ~ 12 , для порошкообразной селитры более 30 (определение коэффициента эквивалентности для аммиачной селитры еще не доведено до конца). Расхождение в коэффициенте эквивалентности довольно значительно и выходит за пределы ошибок эксперимента. Такое расхождение может иметь место и быть объяснено хотя бы качественно, если обратиться к причинам, обуславливающим как уменьшение величины критического диаметра, так и затухание детонации в металлической оболочке.

Основная причина, приводящая к уменьшению величины критического диаметра в металлической оболочке — уменьшение времени химического превращения τ , так как $d_m \approx a\tau$ (τ включает в себя и период индукции воспламенения во фронте детонационной волны и время химической реакции). Уменьшается τ в оболочке вследствие увеличения области и времени существования высоких давлений и температур из-за роста времени разгрузок как в боковой поверхности так и с тыльной стороны, времени разброса ВВ и продуктов взрыва. Существенное уменьшение τ у боковой поверхности заряда может быть вызвано резким ростом давления (следовательно и температуры) на границе раздела металл—ВВ в результате возникновения нерегулярных отражений. Это обстоятельство должно привести к увеличению поверхности ВВ, охваченной реакцией. Какая из этих причин доминирует, сказать в данный момент трудно. Эти причины могут отличаться для разных ВВ в зависимости от механизма детонации и структуры детонационной волны.

Причин, приводящих к затуханию детонации в металлической оболочке, тоже несколько. Но основная, по-видимому, — расширение и деформация оболочки, приводящие к боковым разгрузкам. Доказательством влияния деформации оболочки на d_m является существование зависимости величины критического диаметра от прочности материала оболочки. Следующей причиной, приводящей к затуханию, можно назвать теплототери к стенкам в узких каналах.

В работе [1] приведена оценка коэффициента эквивалентности в абсолютно недеформируемой оболочке с учетом только теплоотдачи и показано, что коэффициент эквивалентности в этом случае может достигнуть 300. В реальных условиях абсолютно недеформирующихся оболочек нет. Все реальные материалы претерпевают в условиях детонации конденсированных ВВ деформацию (упругую и остаточную), поэтому, возможно, реально наблюдаемый коэффициент эквивалентности лежит только в пределах 10—30.

Наибольший коэффициент эквивалентности наблюдается в случае самого слабого ВВ — аммиачной селитры, т. е. там, где давление и

температура детонации низки, где оболочка (при толщине стенок более 3 мм) практически не претерпевает остаточную деформацию. На величине критического диаметра может сказаться и упругая деформация оболочки, так как она имеет место в самые ранние стадии воздействия фронта детонационной волны на оболочку. Все эти вопросы требуют серьезных экспериментальных и теоретических исследований.

Расхождение коэффициента эквивалентности для жидкого тротила и смеси нитрометана с ацетоном — интересный фактор. Это расхождение, по-видимому, связано с различием структуры детонационных волн. В работе [7] установлено, что детонация смесей нитрометана с ацетоном происходит не по ударному механизму, а по пульсирующему (неодномерному), сложному механизму, поэтому потоки в детонационной зоне этих смесей сильно турбулентны. Можно предположить, что в этих смесях либо теплотери несколько больше из-за высокой турбулентности, либо отражения на поверхности раздела ВВ — металл происходит несколько иначе (из-за существования поперечных волн во фронте детонации), чем в жидком тротиле, детонирующем практически по одномерному механизму.

Следующий важный вопрос о толщине стенки — какова минимальная толщина стенки оболочки, которая еще обеспечивает прохождение детонации в оболочке с минимальным диаметром канала. Для выяснения этого вопроса было проведено несколько опытов на аммиачной селитре и на смесях нитрометана с ацетоном.

Эксперименты показывают, что d_m зависит от толщины стенки оболочки, что осложняет само определение величины k . Из экспериментальных данных видно, что основное уменьшение d_m происходит уже при небольших толщинах стенки оболочки, а при дальнейшем ее увеличении d_m уменьшается незначительно. Например, смесь нитрометана с ацетоном 90/10 детонирует в стальной трубке с внутренним диаметром 5 мм при толщине стенки 3 мм, но не детонирует в трубке с диаметром 4,2 мм при толщине стенки в 18 мм. Смесь нитрометан/ацетон 81,3/18,7 детонирует в трубке с внутренним диаметром 18,1 мм при толщине стенки 4,5 мм; увеличение толщины стенки до 30 мм не обеспечивало детонацию в трубке, имеющей несколько меньший диаметр.

Полученные экспериментальные данные приводятся в табл. 2; их

Т а б л и ц а 2

Внутренний диаметр оболочки, мм	Толщина стенки, мм	Результат
Аммиачная селитра, $\rho=0,8$ г/см ³		
4,0	14,0	Детонация
4,0	8,2	»
4,0	5,0	»
4,0	3,0	»
4,0	1,0	Затухание
Нитрометан/ацетон 90/10		
5,0	4,0	Детонация
5,0	3,0	»
5,0	2,0	Затухание
4,2	12,0	»
4,2	17,8	»
Нитрометан/ацетон 81,3/18,7		
18,1	5,0	Детонация
18,1	4,5	»
18,1	4,0	Затухание
17,1	12,0	Детонация
15,0	30,0	Затухание

пока немного, но по ним уже можно сделать следующий четкий вывод: основное уменьшение величины критического диаметра при заключении заряда ВВ в стальную оболочку, происходит уже при сравнительно небольшой толщине стенки оболочки, дальнейшее утолщение стенки практически мало влияет на уменьшение d_m . Толщина стенки оболочки, необходимая для достижения максимального значения k , составляет по экспериментальным данным всего 3—5 мм. Поэтому при определении d_m нет необходимости пользоваться очень толстостенными массивными оболочками. С другой стороны, 1) для уменьшения величины критического диаметра в стальной оболочке очень важную роль играют только близлежащие к заряду ВВ тонкие слои металлической обо-

лочки, 2) влияние оболочки имеет место в самые ранние стадии воздействия детонационной волны на оболочку.

В заключение необходимо заметить, что в работе [8] было отмечено уменьшающее величину критического диаметра действие тонких металлических фольг (толщина около 0,05 мм), нанесенных на внутреннюю поверхность стеклянных оболочек. Пока не известно, во сколько раз такие фольги уменьшают в пределе величину критического диаметра, так как не проделаны опыты с целью получения количественных данных. Этот вопрос требует дальнейших исследований.

*Отделение ИХФ АН СССР,
Черноголовка*

*Поступила в редакцию
15/VII 1975*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Б. Харитон.— В сб.: Вопросы теории взрывчатых веществ. Вып. 1, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
 2. А. Ф. Беляев.— В сб.: Вопросы теории взрывчатых веществ. Вып. 1, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
 3. И. Ф. Блинов, Л. М. Светлова.— В сб.: Теория взрывчатых веществ. Оборонгиз, 1963.
 4. А. Ф. Беляев, Р. Х. Курбангалина. ЖФХ, 1960, 34, 3.
 5. А. Н. Дремин, О. К. Розанов. НТПГВ, 1965, 1, 2.
 6. Р. Х. Курбангалина. Канд. дисс., ИХФ АН СССР, 1947.
 7. А. Н. Дремин, О. К. Розанов. Докл. АН СССР, 1961, 139.
 8. A. W. Campbell, T. E. Holland a. o. Nature, 1956, 178.
-