

Горение взрывчатых веществ

Воспламенение и горение газовых взрывчатых систем (ГВС)

ГВС - смеси газообразного или парообразного горючего с газообразным окислителем.

Воспламенить ГВС можно двумя путями:

-путем нагрева всей газовой смеси.

При нагревании до высокой температуры химические реакции взаимодействия достигают критической скорости, что приводит к воспламенению всей смеси.

- путем поджигания от источника высокой температуры (нагретое тело, искра, пламя).

ГВС могут гореть только при определенных соотношениях горючего и окислителя, т.е. только в определенных концентрационных пределах. Концентрационные пределы устанавливаются по содержанию горючего.

Нижний концентрационный предел (НКП) - это минимальное содержание горючего, при котором смесь может воспламениться и гореть.

Верхний концентрационный предел (ВКП) - это максимальное содержание горючего, при котором смесь может воспламениться и гореть.

На величину КП оказывают влияние различные факторы:

1. Примеси. По характеру влияния они могут быть разделены на 3 группы:
 - примеси, сужающие КП или даже делающие смесь вообще неспособной к горению (галогидные производные углеводородов);
 - примеси расширяющие КП - катализаторы реакций окисления.
 - инертные примеси, способные несколько сужать КП, т.к. отбирают на себя часть тепла (избыток горючего или окислителя играет роль инертной примеси).

2. Давление и температура (с увеличением параметра они, как правило, расширяются).
3. Природа окислителя, чем окислитель активнее, тем шире КП.
4. Размеры сосуда, в котором находится ГВС. Влияние размеров связано с охлаждающим действием стенок сосуда.
5. направление поджигания: снизу вверх он шире, сверху вниз - уже.

Концентрационные пределы горючести некоторых газовых систем.

Таблица 8.1

Горючее	Окислитель - воздух		Окислитель - кислород	
	НКП, % вес.	ВКП, % вес.	НКП, % вес.	ВКП, % вес.
H ₂	4	75	4	95
CO	12,5	74,5	15,5	93,9
CH ₄	5	15	5,4	59,2
C ₂ H ₆	3	12,5	3	66
C ₂ H ₂	2,5	80	-	-

В реальных условиях часто образуется ГВС, состоящая из нескольких горючих газов. Нахождение КП ведется следующим путем.

$$\text{НКП(ВКП)} = \frac{100}{\sum \frac{m_i}{n_i}}, \quad (8.1)$$

где

n_i - соответствующий нижний или верхний предел i -того компонента.

n_i - соответствующий нижний или верхний предел i -того компонента.

Теория нормального горения была разработана Зельдовичем и Франк-Каменецким.

Процесс горения протекает в узкой зоне - зоне химических реакций (ЗХР) (рис 8.1).

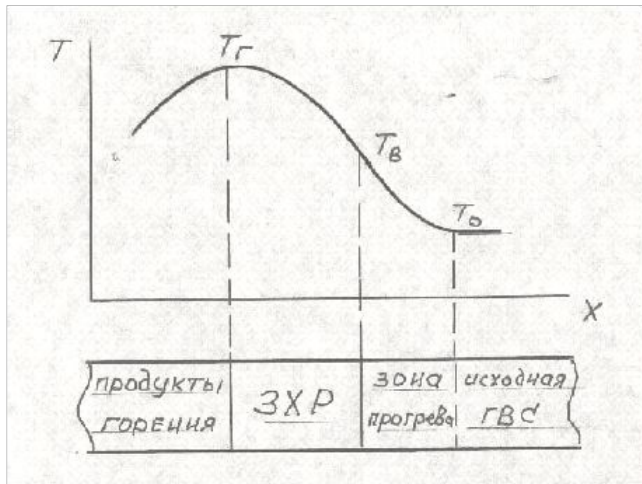


Рис 8.1 Температурный профиль горения ГВС

T_0 - Начальная температура ГВС

T_B . Температура воспламенения ГВС

T_G - Температура горения ГВС

Скорость распространения ЗХР (скорость пламени) называется нормальной линейной скоростью горения - U (ед. расстояния / ед. времени).

Массовая скорость горения U_m , это количество исходной ГВС, сгоревшей в единицу времени с единицы поверхности фронта

$$U_m = U \cdot \rho_0 \quad (\text{г/см}^2 \text{ с}) \quad . \quad (8.2)$$

Согласно теории нормального горения скорость распространения ЗХР обуславливается совокупностью двух процессов: переносом тепла из ЗХР в зону прогрева за счет теплопроводности; массопереносом вещества из зоны прогрева в ЗХР за счет диффузии.

При совместном решении уравнений теплопроводности и диффузии:

$$U_m = \sqrt{\frac{2\lambda}{Q} \cdot m' \cdot \left(\frac{RT_r}{E}\right)^{m+1} \cdot (T_r - T_0)^{-m} \cdot W_{тр}}, \quad (8.3)$$

где λ - коэффициент теплопроводности;

m' - порядок реакции;

T_r - температура горения;

E - энергия активации;

T_0 - начальная температура;

$W_{тр}$ - скорость реакции при температуре горения;

$$W_{\pi} = \rho_0^m \cdot z \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_r}\right). \quad (8.4)$$

Чем выше плотность или температура, тем выше скорость реакции (горения).

Скорость горения зависит от соотношения компонентов и имеет максимальную величину при стехиометрическом соотношении. Добавки влияют на скорость горения, также как и на КП. Кроме этого, ГВС горят устойчиво, если диаметр сосуда больше некоторого критического значения. В процессе горения выделяющаяся в ЗХР тепловая энергия передается слоям непрореагировавшего вещества. При этом часть энергии рассеивается в окружающую среду (стенки сосуда). При диаметрах сосудов меньше критических, энергии, передаваемой непрореагирующему веществу, оказывается недостаточно для возбуждения химической реакции.

Горение конденсированных взрывчатых систем (КВС)

Конденсированные ВС представляют собой как гомогенные системы (индивидуальные ВВ), так и гетерогенные, представляющие смесь горючего и окислителя.

В процессе горения зарядов конденсированных ВС следует различать три основных процесса:

- зажигание от источника воспламенения с торца заряда;
- послойное горение (параллельными слоями);
- воспламенение заряда с боковой поверхности (при отсутствии бронировки боковой поверхности).

Процесс горения КВС можно характеризовать линейной и массовой скоростью горения.

Скорость горения зависит от ряда факторов:

- геометрических размеров заряда (его диаметра, если он в форме цилиндра);
- внешних условий (температуры и давления);
- дисперсности ВС (размера частиц);
- наличия примесей.

Для смесевых систем дополнительно оказывают влияние:

- химическая природа компонентов, их теплофизические характеристики;
- соотношение компонентов и дисперсность каждого из них.

Величина критического диаметра не является постоянной и зависит от внешних факторов: температуры и давления; при их повышении величина критического диаметра снижается.

Для учета влияния температуры заряда на скорость горения существует ряд эмпирических выражений типа

$$U = U_0 \cdot \exp(\beta(T - T_0)) , (8.5)$$

где

$$\beta = (0.8 \div 1.4) \cdot 10^{-3} , \text{град}^{-1} .$$

При практическом использовании порохов, ракетных топлив важнейшей характеристикой является закон горения - зависимость скорости горения от давления:

$$U = a + b \cdot p^v, \quad (8.6)$$

Закон горения находится экспериментальным путем и действителен только для какого-то диапазона давлений (в зависимости от давления может измениться закон горения)

Показатель степени закона горения (ν) является важнейшим параметром. При устойчивом горении $0 \leq \nu \leq 1$. Если же $\nu > 1$, то горение происходит с ускорением и может перейти в детонацию.

Коэффициент (α) в значительной мере зависит от процессов, протекающих в конденсированной фазе ВС, а коэффициент (β) - в газовой. Механизм горения ВС зависит от ее природы и от условий, в которых происходит процесс горения.

Для большинства ВС горящих в газовой фазе (летучие ВВ), к которым относятся такие ВВ, как тетрил, нитроглицерин, ТЭН, процессы идущие в конденсированной фазе не играют существенной роли и (8.6) используется в виде

$$U = b \cdot p^v \quad (8.7)$$

Для летучих ВС теплота испарения ($\sim 60 \text{ кДж/моль}$) значительно уступает энергии активации процесса ($\sim 120 \text{ кДж/моль}$), поэтому при подводе тепла происходит испарение вещества, пары которого в последствии воспламеняются (рис 8.2). Летучие ВВ горят по такому механизму только при сравнительно небольших давлениях ($\leq 10^7 \text{ Па}$), при больших давлениях процесс превращения может перейти в конденсированную фазу.

Для нелетучих ВС (бездымные пороха) по гипотезе Зельдовича в конденсированной фазе происходит процесс газификации - разложения вещества до промежуточных газообразных продуктов, которые в последствии воспламеняются (рис 8.3).

При горении смесевых твердых ракетных топлив происходят следующие процессы:

- прогрев поверхностного слоя;
- термическое разложение (пиролиз) частиц горючего и окислителя;
- смешение продуктов пиролиза и их химическое взаимодействие

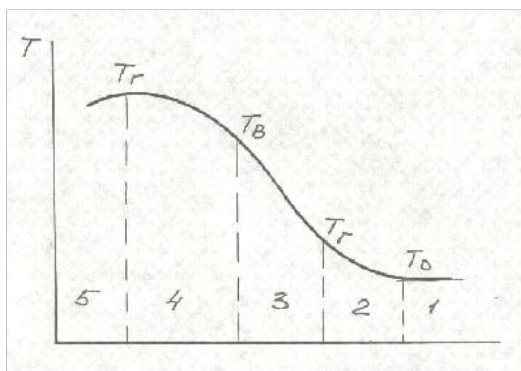


Рис. 8.3 Распределение температур в горящем нелетучем ВВ.

- 1- исходное ВВ;
- 2- зона прогрева ВВ до газификации;
- 3- зона газификации;
- 4- зона горения ;
- 5- зона продуктов горения

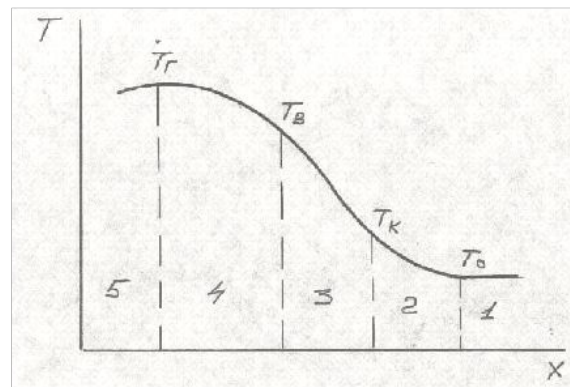


Рис. 8.2 Распределение температур в горящем летучем ВВ.

- 1- исходное ВВ;
- 2- зона прогрева ВВ до температуры кипения (T_k);

Переход горения в детонацию

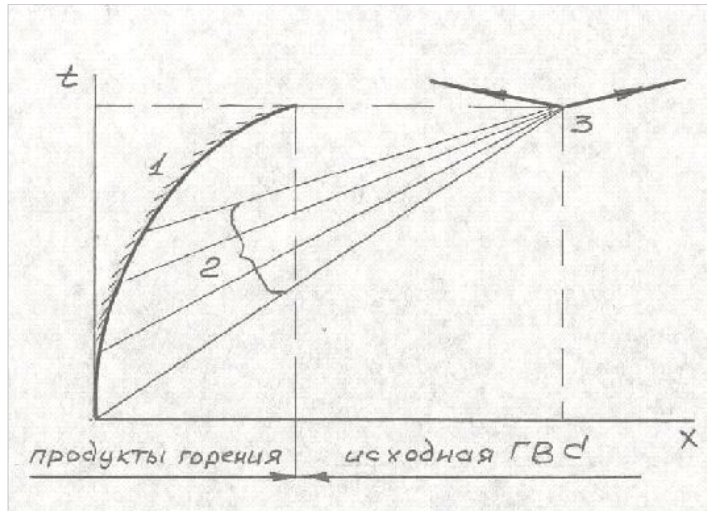


Рис 8.4 t,x - диаграмма процесса перехода горения в детонацию для ГВС.

При горении ГВС в замкнутом объеме продукты горения, нагретые до высоких температур, и находящиеся при давлениях, больших, чем исходная смесь, играют роль поршня, сжимающего исходный газ, и приводящего его в движение. Повышение

давления в исходной ГВС приводит к увеличению скорости горения. При самоускорении процесса формируются волны сжатия, сложение которых формирует в исходной ГВС ударную волну, способную вызвать быстрое химическое превращение- детонацию (рис 8.4).

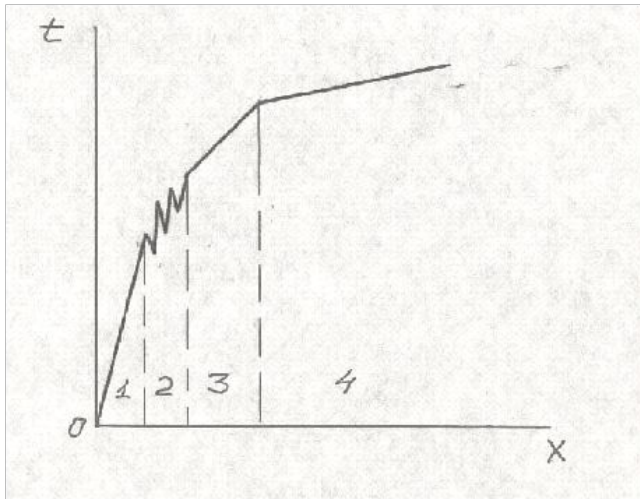


Рис 8.5 t, x - диаграмма перехода горения в детонацию для конденсированных ВС.

- 1- устойчивое послышное горение
- 2- конвективное горение
- 3- низкоскоростной режим взрывчатого превращения
- 4- стационарная детонация

Основной причиной перехода горения в детонацию для конденсированных ВС является увеличение поверхности горения. Это может происходить за счет проникновения раскаленных продуктов горения:

- в технологические поры исходного ВВ(для прессованных зарядов)
- в трещины и поры, возникающие под влиянием температурных и механических воздействий, а также за счет рекристаллизации одного из компонентов и др.

За счет увеличения поверхности горения происходит повышение давления, которое увеличивает скорость горения. Переходу горения в детонацию способствует замкнутость объема, в котором находится заряд ВВ.

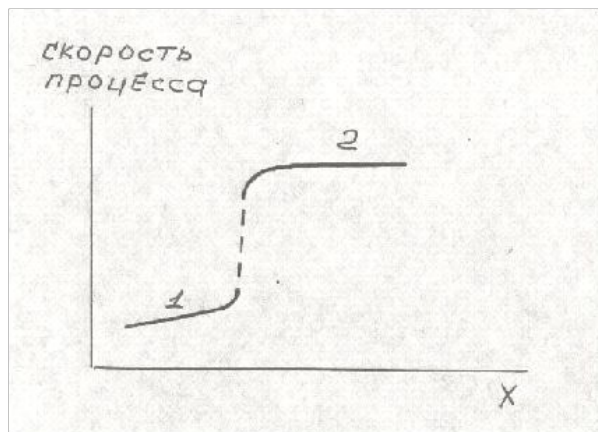


Рис 8.6 Переход горения (1) в детонацию (2) для гремучей ртути

В процессе перехода горения в детонацию послышное горение переходит в процесс конвективного горения (рис 8.5) - горение в порах, трещинах. Повышенное давление в зоне горения формирует волны сжатия и низкоскоростной режим носит уже волновой характер (процесс химического превращения инициируется слабой ударной волной), распространяющейся со скоростью $\sim 800-3500 \text{ м/с}$.

При определенных условиях (наличие оболочки, большой диаметр заряда) низкоскоростной режим перерастает в детонационный с нормальной скоростью (до $7-9 \text{ км/с}$). Для некоторых систем стадия (2, 3) (рис 8.5) может и отсутствовать. Изучение переходных процессов зачастую осложнено быстротечностью самого процесса (рис 8.6).

УРА!
Конец!

(Лекций)