

Лекция 3

Теория горения и взрывов

доктор технических наук, профессор
Лепешкин Олег Михайлович

Тема: Кинетическая реакция горения

Учебные вопросы

- 1.** Классификация видов и процессов горения и взрыва.
 - 2.** Условия протекания процессов горения и взрыва.
-

Учебная литература:

- 1. Зинченко А.В. Теория горения и взрыва, 2016.
URL:
[http:// elib.spbstu.ru/dl/2/s16-138.pdf](http://elib.spbstu.ru/dl/2/s16-138.pdf)**
-

1. Классификация видов и процессов горения и взрыва

Горение - одно из основных форм получения и преобразования энергии, основа многих технологических процессов производства.

Поэтому человек постоянно изучает и познает процессы горения. История науки о горении начинается с открытия М.В. Ломоносова: «Горение есть соединение веществ с воздухом». Это открытие послужило основанием для открытия закона сохранения массы при физических и химических превращениях веществ. Лавуазье уточнил определение процесса горения: «Горение есть соединение веществ не с воздухом, а с кислородом воздуха».

Горение – сложный, быстро протекающий химический процесс, сопровождающийся выделением тепла и света.

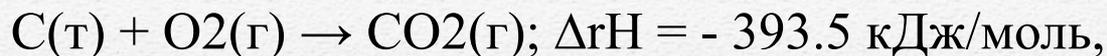
В основе процессов горения лежат экзотермические окислительно-восстановительные реакции, которые подчиняются законам химической кинетики, химической термодинамики и др. фундаментальным законам природы (закону сохранения массы, энергии и т.д.).

Схема процесса горения веществ



Обычно рассматривают химические реакции горючих веществ с кислородом воздуха.

Например, горение каменного угля, состоящего в основном из углерода:



где $\Delta_r H < 0$ – **энтальпия** химической реакции, указывающая, что при сгорании 12 г углерода ($n = 1$ моль) выделяется (- 393.5 кДж) энергия в форме теплоты.

Горение природного газа используется в кухонной газовой горелке, двигателе некоторых автомобилей, паровых турбинах электростанций или котельных горячего водоснабжения.

В природном газе метан является основным компонентом (до 98 об.%). Его реакция с молекулярным кислородом воздуха сопровождается образованием оксида углерода (IV) и воды:



Тлением называют беспламенное горение твердых тел.

Так горит кокс, применяемый в металлургии. При тлении процессы имеют низкую интенсивность и свечение красного типа.

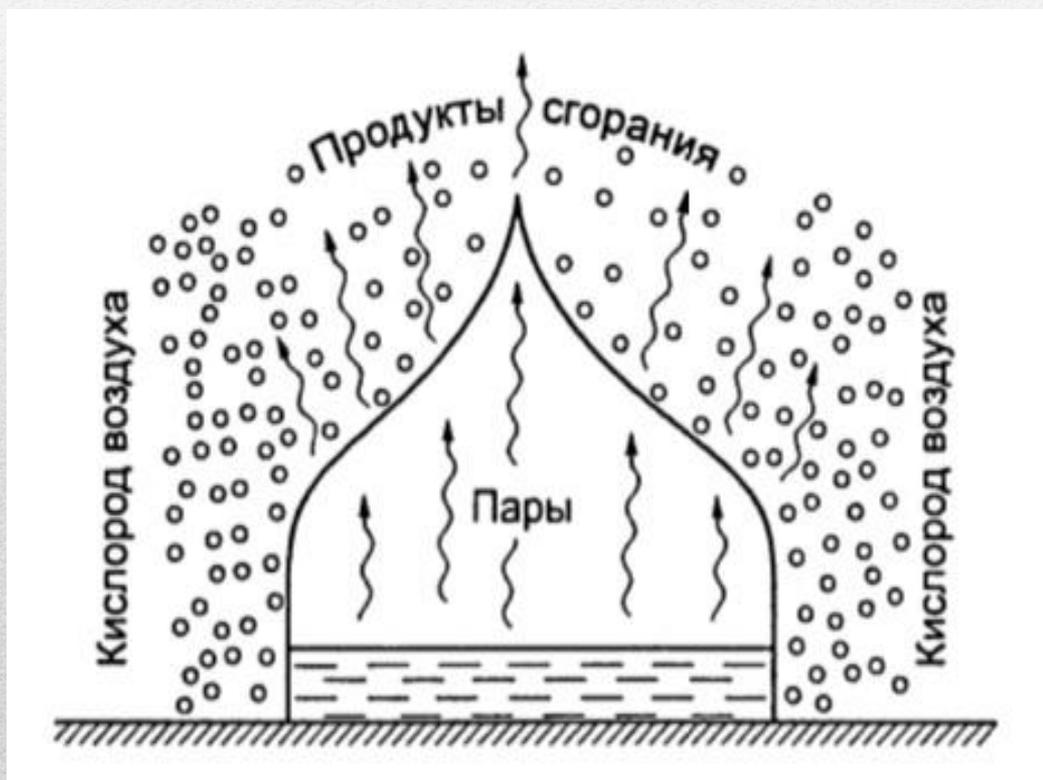
Взрыв также является разновидностью горения. Его отличие в том, что взрывчатые вещества уже содержат в своем составе и окислитель ($-\text{NO}_2$), и восстановитель ($-\text{C}-\text{H}$ группы).

Взрыв – окислительно-восстановительный процесс, сопровождающийся выделением большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени.

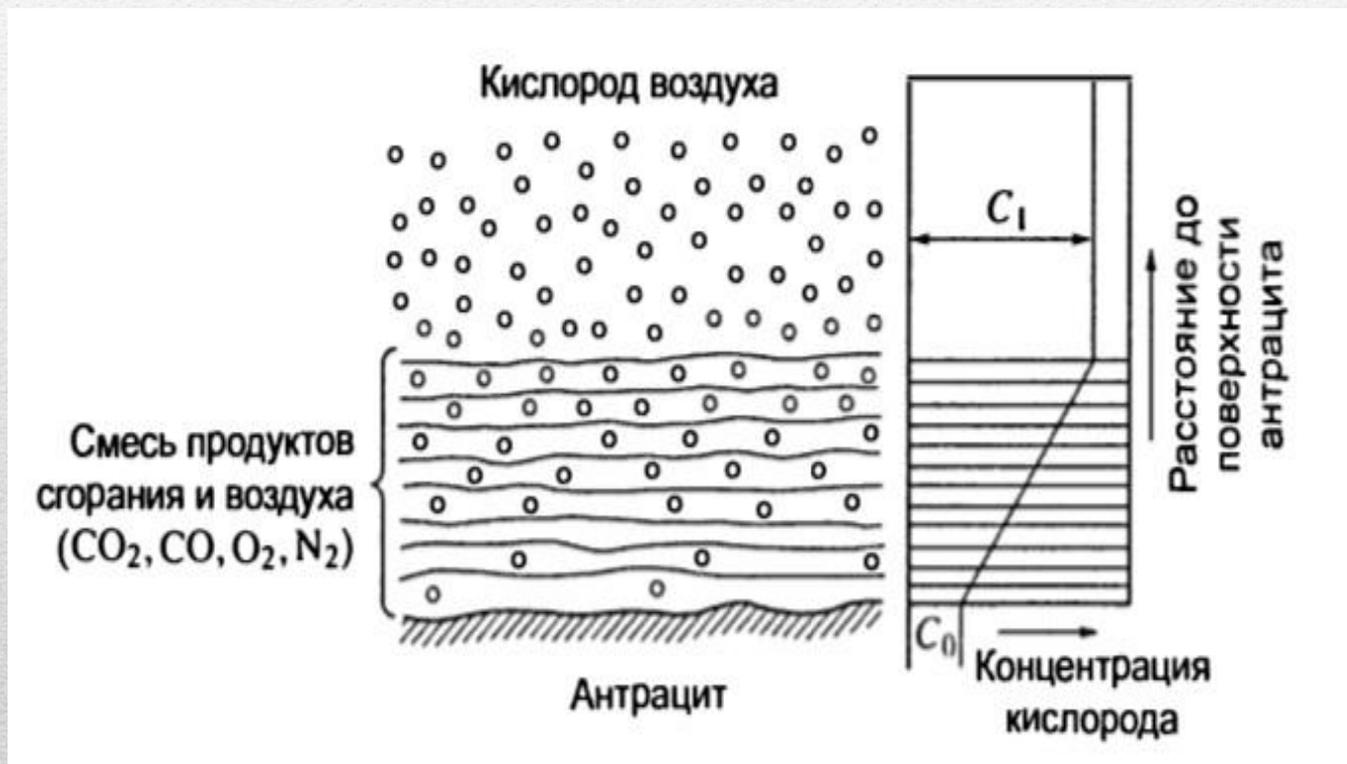
Один и тот же вид горючего может гореть обычным путем и в виде взрыва. Например, при использовании в быту газовых горелок мы проводим обычный процесс горения. Но если заполнить природным газом все пространство кухни, то при возникновении искры или пламени произойдет взрыв.

Различают гомогенное и гетерогенное горение.

При гомогенном горючее и окислитель находятся в одной фазе (обычно в газовой, например, смесь метана с воздухом).



При гетерогенном они находятся в разных фазах, окислитель, как правило, газообразный (например, O_2), а восстановитель твердый (уголь C , древесина, торф) или жидкий (бензин, мазут, дизельное топливо).



Наиболее общим свойством горения гомогенных горючих газовых смесей является проявление в определенных условиях прогрессивного самоускорения процесса – воспламенения.

Воспламенение – начальная стадия горения, в течение которой энергия, подводимая к системе от внешнего источника энергии, приводит к резкому ускорению химической реакции из-за прогрессивного накопления энергии (тепловое воспламенение) или активных промежуточных частиц (цепное воспламенение).

Роль воспламенителя может выполнять пламя, искра, накалившее тело или механическое воздействие в результате резкого сжатия горючей смеси (так происходит воспламенение горючей смеси в дизельном двигателе) или, например, трение различных материалов друг о друга.

При воспламенении необходимо, чтобы концентрации горючего вещества и окислителя находились в определенном соотношении.

Вспышка представляет собой воспламенение смеси воздуха с парами над жидкостью или твердым телом без загорания жидкости или твердого тела.

Вспышка возможна только в том случае, если состав паровоздушной смеси находится между верхним и нижним пределами воспламенения.

Фактически вспышка – процесс неустойчивого, быстро прекращающегося горения.

При воспламенении накаливаемыми телами должно выполняться правило: чем меньше размер тела, с помощью которого производят воспламенение, тем больше должна быть его температура.

Тепловые источники очень маленьких размеров не могут воспламенить горючие смеси.

Воспламеняющая способность разнообразных физико-химических процессов связана с тем количеством энергии, которая выделяется в виде тепла при их проведении. Примером является воспламенение с использованием энергии электрических искр. Для каждой горючей смеси существует минимальная мощность электрической искры, способной ее воспламенить.

Воспламенение гетерогенных горючих смесей имеет свои особенности, отличающие их от гомогенных смесей. Из твердых горючих веществ наиболее легко воспламеняются волокнистые и мелкораздробленные материалы (хлопок, войлок, ткань, сено, шерсть, мучная и каменноугольная пыль и др.).

Все они обладают малой теплопроводностью и большой удельной поверхностью, что способствует сохранению тепловой энергии искры в небольшом объеме горючего вещества и, как следствие, быстрому нагреву.

Поскольку **искра нагревает лишь небольшой объем твердых горючих веществ**, то образующихся при этом газообразных продуктов разложения зачастую недостаточно для образования горючей смеси.

Поэтому воспламенение искрами сопровождается обычно не горением волокнистых материалов, а тлением их углеродистого остатка.

Для воспламенения твердых веществ с образованием пламени необходимы более мощные источники воспламенения и более длительное их действие, например, пламя, большие по величине накалинные тела ит.д.

Для воспламенения твердых видов топлива их компоненты должны быть переведены в газообразное состояние или превращены в легковоспламеняющийся уголь. Для этого требуется нагрев до высокой температуры.

Распространение пламени встречается двух видов:
детонационная волна и волна горения.

Детонационная волна – один из видов ударной волны, распространение которой сопровождается тепловыделением благодаря реакциям во фронте волны. Эта волна поджигает следующую порцию газа.

Главный признак детонационной волны - огромная разница давлений перед фронтом и позади его. Скорость детонационной волны выше скорости звука (в твердых взрывчатых смесях она может достигать 7-10 км/с) и процесс протекает как взрыв. Большое давление перед фронтом сильно сжимает газовую смесь и образует высоконагретые продукты, которые самовоспламеняются.

Волна горения распространяется посредством диффузии активных частиц в соседние зоны и теплопередачи к соседним слоям газа. Скорость перемещения фронта пламени значительно ниже скорости звука и при этом отсутствует большая разница давлений.



2. Условия протекания процессов горения и взрыва

Горение можно классифицировать по следующим параметрам:

1. По условию смесеобразования горючих компонентов:

а) кинетическое; б) диффузионное.

2. По интенсивности поступления горючих компонентов в зону химической реакции:

а) ламинарное; б) турбулентное.

3. По агрегатному состоянию компонентов горючей смеси:

а) гомогенное; б) гетерогенное.

4. По скорости распространения зоны химической реакции горения:

а) дефлаграционное; б) детонационное.

В зависимости от скорости и механизма распространения зоны химической реакции горения (пламени) по горючей смеси можно выделить два режима горения:

- **дефлаграционное** (медленное) распространение зоны химической реакции (скорость от 0,5 до 50 м/с);
- **детонационное** (взрывное), когда зона химической реакции горения распространяется со скоростью ударной волны (от нескольких сотен метров в секунду до нескольких километров в секунду).

-

В условиях пожара горение в основном протекает в дефлаграционном режиме. Детонационное горение встречается редко (взрывы паро-, газо-, пылевоздушных смесей).



В зависимости от агрегатного состояния компонентов горючей смеси (горючего и окислителя), поступающих в зону горения, различают два вида или режима горения:

- **гомогенное горение** - горючее и окислитель находятся в одинаковом агрегатном состоянии (газообразном);
 - **гетерогенное (разнофазное)** - горючее и окислитель находятся в различных агрегатных состояниях.
-

В зависимости от условий образования горючей смеси и соотношения скорости реакции горения и скорости образования горючей смеси различают два режима горения:

- **кинетическое** - горение предварительно перемешанных газо- или паровоздушных смесей. Так как смесь горючего и окислителя готова к горению до момента ее воспламенения, то суммарная скорость процесса горения зависит только от скорости химической реакции горения. Если такое горение будет происходить в замкнутом или ограниченном объеме, то тогда может произойти взрыв. Так как энергия, выделяющаяся при сгорании смеси, не успевает отводиться за пределы данного объема, за счет увеличения давления возможно разрушение конструкций;

- **диффузионным горением** называется горение, когда образование горючей среды (смешение горючего и окислителя) происходит перед зоной горения или в зоне горения.

В зависимости от скорости поступления компонентов горючей смеси в зону горения различают **ламинарный** и **турбулентный** режимы горения.

Если компоненты горючей смеси поступают в зону горения **сравнительно спокойно**, то такое горение называется **ламинарным**.

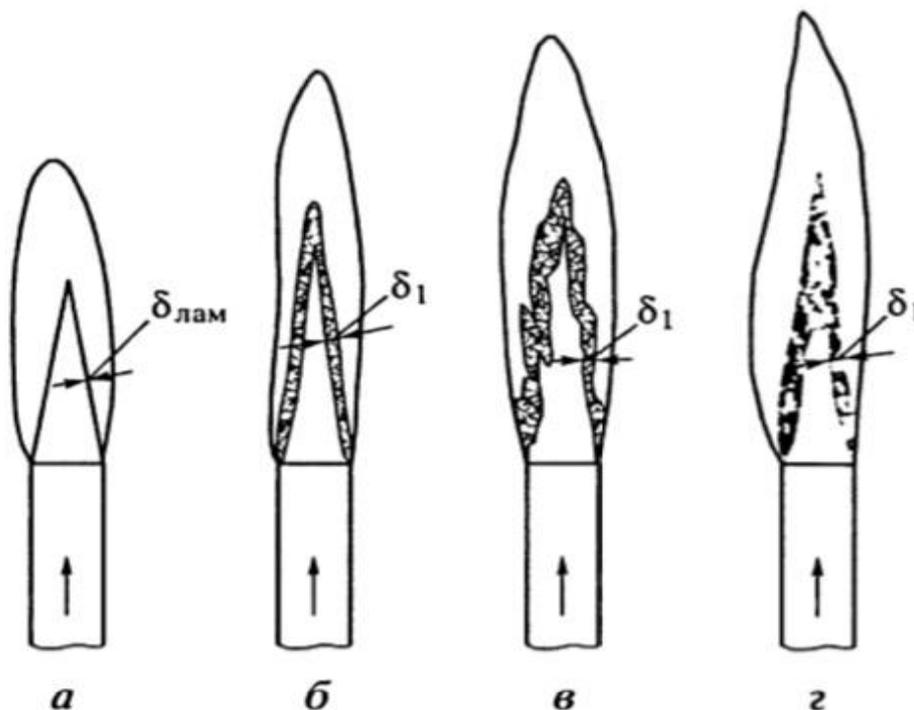


Рис. 1.4. Режимы горения:

a — ламинарное; *б* — мелкомасштабная турбулентность; *в* — масштаб турбулентности превышает толщину зоны горения; *г* — крупномасштабная турбулентность

Количественным критерием, характеризующим термодинамический режим течения жидкостей или газов, является число Рейнольдса (Re). Число Рейнольдса характеризует соотношение между силами инерции и силами трения в потоке:

$$Re = \rho v L / \mu,$$

где ρ – плотность жидкости или газа;

v – средняя скорость потока жидкости или газа;

μ – коэффициент динамической вязкости;

L – характерный линейный размер поверхности жидкости или газа.

При течении жидкости или газа внутри трубы L – это диаметр трубы. В случае пожара величину L можно определить как диагональ площади горения.

При небольших значениях критерия Re течение жидкостей или газов носит ламинарный характер, при больших значениях – турбулентный.

Значение критерия Рейнольдса, характеризующего переход от ламинарного к турбулентному режиму, составляет 2300. При наличии ламинарного течения численное значение критерия Рейнольдса будет значительно меньше критического ($Re < 2300$). Если компоненты горючей смеси поступают в зону горения с большой скоростью, то такое горение называется турбулентным. Число Рейнольдса в этом случае будет больше 2300. Турбулентность увеличивает скорость горения из-за более интенсивной передачи тепла от продуктов горения в свежую смесь.

В зависимости от скорости распространения пламени кинетическое горение подразделяется на:

- **нормальное горение.** Скорость такого горения находится в пределах единиц м/с. Распространение пламени в этом случае происходит при отсутствии внешних возмущений (турбулентности, либо резкого различия в давлении газов). Процесс горения и его скорость зависят только от природы горючего вещества (теплового эффекта, коэффициентов теплопроводности и диффузии). Поэтому для вещества определенного состава скорость горения является строго определенной величиной и составляет 0,3 – 3,0 м/с.;

- **взрывное дефлаграционное горение.** Скорость горения составляет десятки м/с. Примером такого горения служит горение порохов. В закрытом пространстве нормальное горение может переходить в дефлаграционное. Причиной такого перехода может быть развитие турбулентности, например, в результате трения газа о стенки сосуда, что приводит к изменению давления смеси. Последнее усиливает турбулентность, что еще более изменяет давление. Таким образом, происходит лавинообразное повышение скорости распространения пламени до сотен метров в секунду. Такое **ускорение горения называется дефлаграцией.** Скорости такого горения, как правило, дозвуковые, т.е. менее 333 м/с;

- **взрывное детонационное горение.** Скорость горения составляет тысячи м/с. Примером служит детонация взрывчатых веществ. Столь высокие скорости горения приводят к быстрому увеличению объема продуктов горения. Вследствие этого, впереди фронта пламени возникает волна сжатия. Каждая последующая волна догоняет предыдущую и накладывается на нее. В результате эти волны соединяются в одну ударную волну, которая как раз и является отличительным признаком детонационного горения.

