

Вопросы по Физико-химическим основам горения и взрыва с краткими ответами

Обзорная лекция Дудника Е.Н. ИГЗ УдГУ, кафедра ЗЧСиУР

1. **Закон Паскаля.** Неподвижные (медленно движущиеся) жидкость и газ передают давление по всем направлениям без изменения.

Давление – результат хаотических ударов молекул по произвольно ориентированной площадке. Даже на площадку 1 квадратный микрон приходится громадное количество ударов. Сила ударов – среднеарифметическое от этого числа. С очень большой точностью это среднеарифметическое одинаково по всем направлениям.

2. **Закон Бернулли.** В движущейся жидкости или газе давление ниже там, где скорость движения струи больше. Потому, что часть энергии хаотического движения молекул превращается в энергию направленного движения струи.

3. **Ламинарное и турбулентное течение жидкости и газа.** Ламинарное – струи не меняются со временем. Турбулентное – содержит хаотические вихри.

4. **Что такое горение?**

Горение - это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и свечением. В зависимости от скорости протекания процесса, горение может происходить в форме собственно горения и взрыва. Чтобы возник процесс горения, горючая среда должна быть нагрета до определенной температуры при помощи источника воспламенения (пламя, искра электрического или механического происхождения, накалинные тела, тепловое проявление химической, электрической или механической энергий). Горение веществ может протекать не только в среде кислорода, но также в среде некоторых веществ, не содержащих кислорода: хлора, паров брома, серы и т.д.

Различают следующие виды горения:

- **полное** - горение при достаточном количестве или избытке кислорода;

- **неполное** - горение при недостатке кислорода.

5. При полном горении продуктами сгорания являются двуокись углерода (CO_2), вода (H_2O), азот (N), сернистый ангидрид (SO_2), фосфорный ангидрид. При неполном горении обычно образуются едкие, ядовитые горючие и взрывоопасные продукты: окись углерода, спирты, кислоты, альдегиды. Кислотные дожди – следствие выброса в атмосферу ангидридов.

6. **Что такое пламя?**

Это хаотически движущиеся ионы, полученные из нагретой газовой смеси. Зона наиболее интенсивных химических реакций

7. **Что такое взрыв?**

Взрыв - это освобождение большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени.

Химический или электромагнитный взрыв приводит к образованию сильно нагретого газа (плазмы) с очень высоким давлением, который при моментальном расширении оказывает ударное механическое воздействие (давление, разрушение) на окружающие тела.

Химический взрыв - это частный случай горения, протекающего мгновенно с кратковременным выделением значительного количества тепла и света.

8. **Как преобразуются горючие вещества при нагревании?**

Горючие вещества могут быть в трех агрегатных состояниях: жидком, твердом, газообразном. Отдельные твердые вещества при нагревании плавятся и испаряются, другие - разлагаются и выделяют газообразные продукты и твердый остаток в виде угля и шлака, третьи не разлагаются и не плавятся. **Большинство горючих веществ независимо от исходного агрегатного состояния при нагревании образуют газообразные продукты, которые при смешивании с кислородом воздуха образуют горючую среду.**

9. **Два основных механизма горения.**

Известно, что свободные атомы, радикалы и неустойчивые промежуточные соединения входят с молекулами в реакцию гораздо легче, чем молекулы между собой. При такой реакции наряду с молекулой продукта обычно образуется новый радикал, который в свою очередь реагирует с молекулой, и т. д. Один первичный радикал создает длинную цепь последующих реакций.

При некоторых элементарных реакциях возникают сразу два радикала, что приводит к разветвлению цепи, и один первичный центр может вызвать целую лавину химического превращения.

Лавинное размножение активных промежуточных частиц, является основным фактором, определяющим возникновение и развитие горения подавляющего большинства газов и жидкостей.

Поскольку *цепная лавина* и *саморазогрев* как факторы ускорения процесса коренным образом различаются между собой, то «чисто цепное» и «чисто тепловое» горение существенно различны. В реальных условиях, относящихся к горению газов в технике, проявляются совместно оба ускоряющих фактора - цепная лавина и саморазогрев, находящихся в *положительной обратной связи* между собой.

10. Три режима горения.

- - нормальный режим горения;
- - дефлаграционное горение;
- - детонационное горение.

а) **Нормальный режим горения** наблюдается при спокойном гетерогенном двухфазном диффузионном горении. Скорость горения будет определяться скоростью диффузии кислорода к горючему веществу в зону горения. Распространение пламени происходит от каждой точки фронта пламени по нормали к его поверхности. Такое горение и скорость распространения пламени по неподвижной смеси вдоль нормали к его поверхности называют нормальным (ламинарным). Нормальные скорости горения невелики. В этом случае повышения давления и образования ударной волны не происходит.

б) В реальных условиях вследствие протекания внутренних процессов и при внешних осложняющих факторах происходит искривление фронта пламени, что приводит к росту скорости горения. При достижении скоростей распространения пламени до десятков и сотен метров в секунду, но не превышающих скорости звука в данной среде (300 – 320 м/сек) происходит **взрывное (дефлаграционное) горение**.

При взрывном горении продукты горения нагреваются до 1.5-3.0 тысяч °С, а давление в закрытых системах увеличивается до 0.6-0.9 МПа, т.е. порядка 6-9 атмосфер.

Продолжительность реакции горения до взрывного режима составляет для газов ~0.1 сек, паров ~0.2 – 0.3 сек, пыли ~0.5 сек.

Применительно к случайным промышленным взрывам под дефлаграцией обычно понимают горение облака с видимой скоростью порядка 100 - 300 м/сек, при которой генерируются ударные волны с максимальным давлением 20 - 100 кПа. (До 1 атмосферы).

в) **Процесс химического превращения горючих веществ, который вводится ударной волной и сопровождается быстрым выделением энергии, называется детонацией.** В определенных условиях взрывное (дефлаграционное) горение может перейти в детонационный процесс, при котором скорость распространения пламени превышает скорость распространения звука и достигает 1 - 5 км/сек. Это происходит при сильной турбулизации материальных потоков, вызывающей значительное искривление фронта пламени, большое увеличение его поверхности. При этом возникает ударная волна, во фронте которой резко повышается плотность, давление температура смеси. При возрастании этих параметров смеси до самовоспламенения горячих веществ возникает детонационная волна, **являющаяся результатом сложения ударной волны и образующейся зоны сжатой быстрореагирующей (самовоспламеняющейся) смеси.**

Избыточное давление в пределах детонирующего облака газовойоздушной, газопылевой смеси может достигать 2 МПа. (20 атмосфер)

При детонационном режиме горения облака ГВ большая часть энергии взрыва переходит в воздушную ударную волну, при дефлаграционном горении со скоростью распространения пламени ~200 м/сек - переход энергии в волну составляет от 30 до 40%.

11. Что такое температура вспышки?

- самая низкая температура горючего вещества, при которой в условиях специальных испытаний над его поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще не достаточна для устойчивого горения.

12. Что такое температура воспламенения?

- наименьшая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний вещество выделяет горючие пары и газы с такой скоростью, что после их зажигания возникает устойчивое пламенное горение. Значение температуры воспламенения применяется при установлении группы горючести веществ.

13. Что такое температура самовоспламенения? Это самая низкая температура вещества, при которой в условиях специальных испытаний происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающихся пламенным горением.

14. Что такое нижний (верхний) концентрационный предел распространения пламени?

- минимальное (максимальное) содержание горючего в смеси "горючее вещество - окислительная среда", при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания.

15. Что такое тление и температура тления?

Тление – горение без пламени. Температура тления - температура вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций окисления, заканчивающихся возникновением тления.

16. *Что такое условия теплового самовозгорания?

- экспериментально выявленная зависимость между температурой окружающей среды, массой вещества и временем до момента его самовозгорания. Причина самовозгорания – медленный саморазогрев, происходящий от процессов окисления.

17. * Что такое скорость выгорания?

- количество горючего, сгорающего в единицу времени с единицы площади. Скорость выгорания характеризует интенсивность горения вещества в условиях пожара.

18. Основные характеристики ВВ

- бризантность;
- фугасность (работоспособность);
- химическая и физическая стойкость (способность сохранять свои свойства, при хранении и обращении с ними);
- чувствительность к внешним воздействиям (минимальное количество энергии, необходимое для возбуждения взрыва);
- детонационная способность (критический диаметр детонации).

19. Взрывчатые свойства ВВ.

По взрывчатым свойствам (условиям перехода горения в детонацию) ВВ подразделяют на:

- инициирующие (первичные);
- бризантные (вторичные);
- метательные (пороха).

Иницирующие ВВ характеризуются очень высокой скоростью взрывного превращения, высокой чувствительностью, неустойчивым горением, быстрым его переходом в детонацию уже при атмосферном давлении. Взрыв может быть возбужден поджиганием, ударом или трением.

Основными представителями инициирующих ВВ являются азид свинца, гремучая ртуть, тетразен, тринитрорезорцинат свинца. Иницирующие ВВ используются для возбуждения взрывов других ВВ.

Бризантные (то есть способные дробить при взрыве) ВВ обладают меньшей чувствительностью к внешним воздействиям. Горение этих ВВ может перейти в детонацию только при наличии прочной оболочки, либо большого количества ВВ. Относительно безопасны в обращении. Основными представителями бризантных ВВ являются нитросоединения и взрывчатые смеси на основе нитратов, хлоратов, перхлоратов и жидкого кислорода: тринитротолуол, тетрил, гексоген, октоген и др. Применяются при производстве взрывных работ и для снаряжения боеприпасов различных видов и назначения.

Скорость детонации – до 9км/сек, избыточное давление до 300тысяч атмосфер.

Метательные ВВ (пороха) обладают устойчивым горением, детонируют крайне редко.

20. Закон кубического корня.

Если эталонный заряд C_0 на эталонном расстоянии R_0 создаёт определенные разрушения, то заряд C_1 такие же разрушения создаст на расстоянии R_1 , $R_1 = R_0 \sqrt[3]{\frac{C_1}{C_0}}$.

21. Наиболее распространенные химические вещества, способные отдавать кислород.
 $KNO_3, NaNO_3, NH_4NO_3, H_2O_2, KMnO_4, KClO_3$

22. Что такое легковоспламеняющиеся жидкости?

Легковоспламеняющимися называются жидкости с температурой вспышки не более 61 °С в закрытом тигле или 66 °С в открытом тигле.

23. Последовательность окисления при горении органических веществ.

Горение углеводов: в зоне подогрева они превращаются в СО и H_2 , которые затем и сгорают. Реакция окисления СО идет только в присутствии водяного пара, H^+ и OH^- являются активными центрами окисления. Значит, пар – катализатор.

$H_2O + CO = CO_2 + H_2$. Далее водород окисляется до воды, и реакция повторяется снова.

24. Горение пороха.

Пороховой заряд ружья или орудия горит. Горение это весьма быстрое. Время выстрела равно отношению длины ствола к скорости пули или снаряда, что составляет около 1 мс (миллисекунда) для стрелкового оружия. Нетрудно показать, что при выстреле из пушки давление в стволе порядка 500 МПа, или 5000 атм. Скорость горения пороха растет с давлением, что резко усиливает метательное действие. На открытом воздухе порох горит хотя и эффективно, но гораздо медленнее, без особых механических проявлений. Пороховые артиллерийские бомбы и мины, применявшиеся при осаде крепостей, работали именно за счет ускорения горения пороха в замкнутом объеме.

25. Разница между дефлягацией (дефлягационным горением) и детонацией (детонационным горением)

- *в способе распространения процесса.* Горение распространяется за счет движения тепловой волны, переноса тепла от горячих продуктов реакции к непрореагировавшему заряду. Именно поэтому на скорость горения влияют внешние условия. Например, рост давления усиливает теплообмен и ускоряет горение.

Детонацию же распространяет ударная волна - весьма сильное и резкое сжатие вещества. Рост давления, плотности и температуры за фронтом волны запускает быструю реакцию. Образуется устойчивый комплекс - *детонационная волна, состоящая из ударной волны и следующей за ней зоны химической реакции*. Выделение энергии в зоне реакции поддерживает ударную волну, так что процесс распространяется с постоянной скоростью, зависящей только от свойств ВВ.

Выделяемая энергия (и конечная температура) у ВВ примерно те же, что и для пороха. Но скорость детонации ВВ весьма велика. Заряд длиной в 20 см полностью прореагирует за 20-30 мкс. Это в 100 раз быстрее, чем сгорает порох при выстреле. Поскольку достигаются громадные давления в 20-30 ГПа (гигапаскаль), то есть 200-300 тыс. атм, **влиять на детонацию извне очень трудно.** Этим и объясняется стабильность детонационной волны.

Между бризантными ВВ и порохами нет принципиальной разницы. Тротиловые шашки обычно спокойно горят в костре без взрыва. Но в замкнутом объеме (слабый теплоотвод), при измельчении вещества (увеличение площади поверхности горения) горение ВВ легко переходит в детонацию. Горение пороха гораздо устойчивее, чем горение ВВ, так что детонации при штатных условиях использования не возникает. **Однако при воздействии очень сильной ударной волны некоторые виды пороха детонируют.**