

Лекция 8.

3.3. Диффузная и кинетическая области гетерогенного горения

При низких температурах скорость химического взаимодействия горючего и окислителя мала. Она намного меньше скорости их взаимной диффузии, которая, поэтому, почти не влияет на ход процесса. Считается, что процесс горения протекает в кинетической области и его следует рассматривать как чисто химический процесс.

При высоких температурах или ухудшенных условиях массообмена скорость реакции намного опережает скорость диффузии, которая в данном случае определяет ход процесса. Можно считать, что процесс горения развивается в диффузной области и его следует рассматривать с чисто физической стороны.

Наиболее подробно исследования горения углерода сделаны советскими учеными – школой чл.-корр. АН СССР А.С. Предводителя. Дальнейшее развитие исследования гетерогенных процессов в натуральном топливе проводил Г.Ф. Кнорре.

В начальный период реакции, когда температура низка, скорость реакции незначительна, а концентрация кислорода у поверхности горячей частицы топлива велика. При этом скорость горения лимитируется скоростью протекания химической реакции окисления, т.е. кинетикой горения. Горение проходит в кинетической области (рис.3.3).

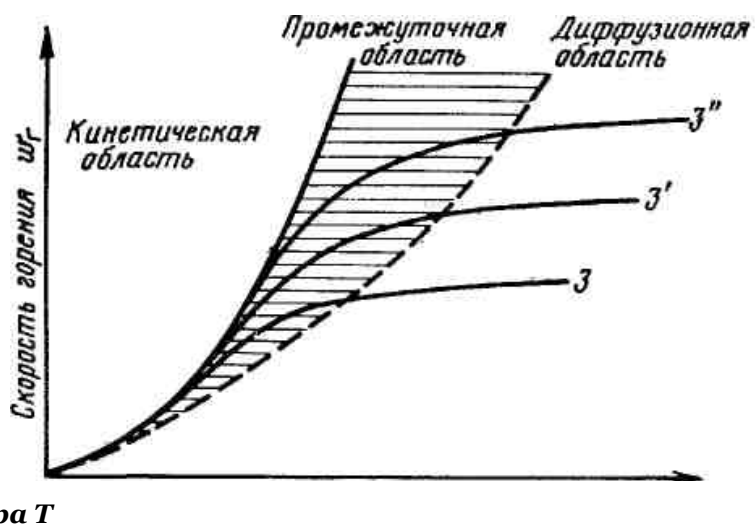


Рис. 3.3. Изменение скорости химической реакции в зависимости от температуры

По мере расходования кислорода его концентрация у поверхности частицы уменьшается. Одновременно с этим возрастает температура, а вместе с ней и скорость химической реакции. Кислорода начинает не хватать. Скорость горения начинает лимитироваться скоростью диффузии кислорода. Так горение переходит в диффузную область. В диффузной области скорость горения не зависит от температуры. Между этими областями находится промежуточная переходная

область, где влияние кинетики и диффузии соизмеримы. При увеличении интенсивности газообмена у поверхности горячей частицы кривая сдвигается в область больших скоростей химической реакции.

3.4. Смесеобразование

Чтобы каждая частица топлива, поданного в топку, встретила достаточное для сгорания количество окислителя, необходимо приготовить смесь топлива с воздухом.

Существуют два принципа смесеобразования: кинетический (рис. 3.4,а), диффузионный (рис. 3.4,б).

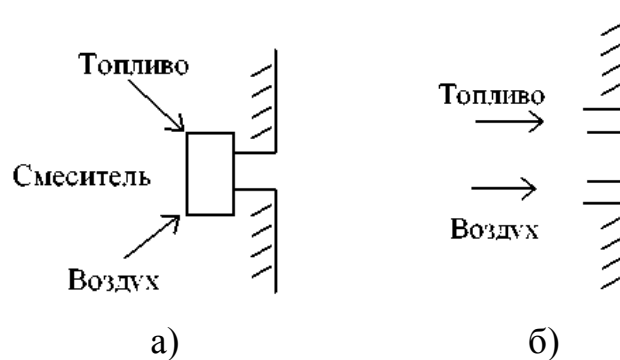


Рис. 3.4. Схемы смесеобразования

При кинетическом принципе однородная смесь топлива и воздуха образуется в смесителе еще до начала горения. После этого смесь подается в топку, где происходит ее воспламенение и сгорание. При этом принципе сжигания скорость сгорания определяется в основном скоростью протекания реакции и не зависит от скорости подвода окислителя.

При диффузном принципе сжигания топливо и воздух подаются в топку раздельно. В этом случае скорость сгорания большей частью определяется уже не скоростью протекания реакции, а скоростью подвода окислителя.

При использовании кинетического принципа сжигания важным фактором является скорость распространения пламени, т. е. скорость, с которой фронт воспламенения продвигается в потоке.

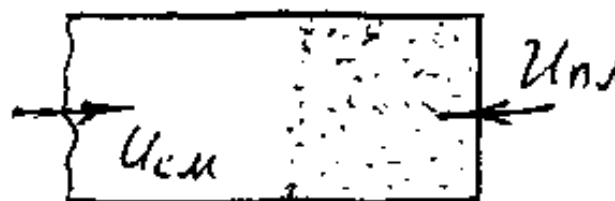


Рис. 3.5. Схема встречных потоков

$U_{см}$ – скорость движения топливовоздушной смеси; $U_{пл}$ – скорость распространения пламени

Рассмотрим цилиндрическую трубу, по которой движется смесь топлива и воздуха со скоростью U см/с. Если эту смесь воспламенить на конце трубы, то фронт воспламенения будет перемещаться навстречу движению смеси. При этом возможны три случая:

1. Скорость движения смеси ($U_{см}$) больше скорости распространения пламени ($U_{пл}$) $U_{пл} < U_{см}$. При этом равнодействующая $U_{действ} = U_{см} - U_{пл}$ направлена вправо. Фронт воспламенения будет вынесен из трубы.

2. $U_{см} = U_{пл}$. При этом происходит стабилизация фронта воспламенения (нужно отметить, что практически фронт воспламенения постоянно колеблется ввиду различных факторов).

3. Скорость $U_{пл} > U_{см}$. Результирующая скорость направлена в глубь трубы, к месту образования смеси. Такое положение очень опасно. В горелках, использующих кинетический принцип смесеобразования, это приводит к взрыву в смесителе. Поэтому в таких горелках стремятся к тому, чтобы скорость движения смеси была больше скорости распространения пламени.

По кинетическому принципу сжигается в основном газообразное топливо. По этому принципу может сжигаться и жидкое топливо в виде паровоздушной однородной смеси, т.е. при предварительном испарении и смешении с воздухом (принцип карбюрации).

При диффузном принципе сжигания в топочный объем подаются 2 отдельных потока: поток горючего и поток окислителя. Как бы интенсивно ни протекал процесс окисления, он все же будет лимитироваться скоростью подвода окислителя. Скорость процесса сгорания зависит от интенсивности перемешивания топлива и воздуха.

Перемешивание может быть молекулярным и макромолекулярным.

В области ламинарного режима интенсивность смесеобразования определяется интенсивностью молекулярной диффузии (т. е. молекулярным перемешиванием).

В области турбулентного движения, когда перемешиваются целые объемы, скорость горения зависит не только от диффузии, но и от макромолекулярного перемешивания.

На режим работы горелочных устройств, работающих по диффузному принципу смесеобразования, оказывают влияние многие факторы. Регулирование процесса производится следующим способом:

1. Используются конструкции горелок, позволяющие изменять угол встречи потоков воздуха и топлива. Изменяя угол, можно изменить точку встречи потоков, удалив либо приблизив ее к стенке топки. При приближении точки встречи перемешивание происходит быстрее и глубже, но при меньшей температуре, так как потоки еще не успели прогреться. При удалении точки встречи произойдет обратное явление. Таким образом, можно осуществлять регулирование процесса горения.

2. Воздействовать на процесс горения можно путем изменения степени крутки потока (топлива либо воздуха). Для закручивания потока воздуха либо

топлива применяются горелки с улиточным устройством. Недостаток этого способа заключается в том, что поток, выходя из горелки, быстро теряет крутку. В первый момент при выходе из горелки крутка велика, но температура потока еще низка. К тому времени, когда топливо и воздух прогреваются, крутка становится очень малой.

3. При неизменных углах подвода топлива и воздуха можно изменять характеристику горелки путем изменения скорости подачи топлива либо воздуха:

а) $\alpha = const, G_T / G_B = const$. Изменение скорости в этом случае производится путем изменения выходного сечения;

б) $\alpha = var, G_T / G_B = var$. Изменение скорости за счет изменения расхода воздуха.

В промышленной топочной технике широко применяются и промежуточные принципы действия горелок. В газовых горелках это может сводиться к простейшему приему предварительного смешения топливного газа с частью воздуха, необходимого для горения ($\alpha < 1$). Идущий на образование этой первичной смеси воздух принято называть первичным. Воздух же, подаваемый в рабочее пространство топки дополнительно и независимо от потока топлива, называется вторичным. Большинство горелок промышленного типа работает именно по этому смешанному принципу. В этом случае, изменяя состав смеси, выдаваемой горелкой, можно переходить от чисто кинетического горения ($\alpha_1 \gg 1$) к чисто диффузионному ($\alpha_1 = 0$), проходя все промежуточные этапы между ними. Такой прием может служить еще одним способом регулирования горения.

Соотношение между количеством первичного и вторичного воздуха зависит в основном от сорта сжигаемого топлива. При уменьшении количества первичного воздуха количество первичной смеси уменьшается, она быстрее прогревается и раньше наступает воспламенение топлива. Поэтому при сжигании трудновоспламеняемых (малореакционных) топлив (например, антрацитов) первичного воздуха следует давать поменьше.

3.5. Основные стадии процесса горения топлива

Естественной основой установившегося процесса горения является поточная схема. Общее время, необходимое от начала до окончательного завершения процесса горения равно сумме времени всех последовательных стадий:

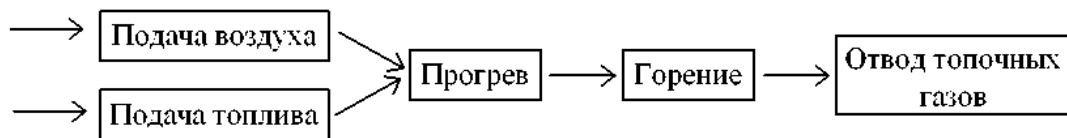
$$\tau_{\text{полн}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \dots$$

Пространственная протяженность всего процесса

$$L = \omega_1 \tau_1 + \omega_2 \tau_2 + \dots,$$

где ω – скорость движения смеси.

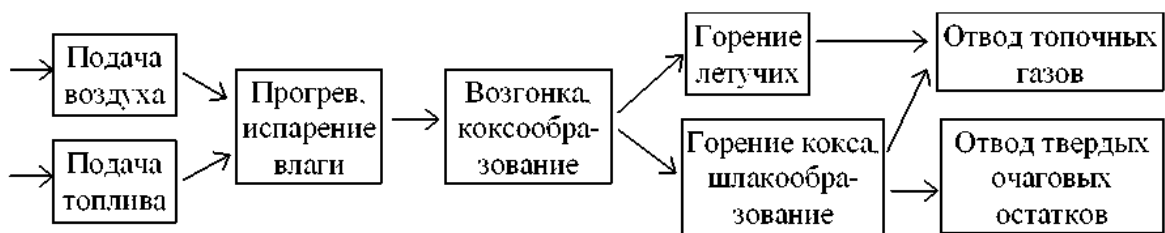
Поточная схема газообразного топлива:



Поточная схема выгорания жидкого топлива:



Поточная схема горения твердого топлива:



Как видно из схемы, при сжигании твердых топлив она усложняется процессом предварительной подсушки топлива, что затягивает начальный период прогрева топлива. После прогрева начинается стадия пирогенетического разложения с выделением летучих и коксообразованием. Первичный состав летучих под воздействием среды и высокой температуры сам претерпевает глубокие изменения, окончательно газифицируясь перед вступлением в интенсивный процесс горения.

Начало выхода летучих зависит от химического возраста твердых топлив. Например, молодые угли начинают выделять летучие при 170...200 °С, антрациты – при 400 °С. Выделяясь при сравнительно умеренных температурах и смешиваясь с потоком воздуха, летучие первыми проходят все предварительные стадии процесса и первыми воспламеняются. Это определяет их роль как зачинателей процесса. Выделяемое ими тепло способствует температурной активизации твердого углерода кокса, хотя нередко выделяющиеся из куска топлива летучие сами задерживают вступление кокса в активный процесс, создавая вокруг него газовую оболочку, препятствующую доступу кислорода. Углерод кокса, прогреваясь за счет тепла сгорания летучих, вступает в процесс с некоторым запозданием, уже после практического завершения выхода летучих, перехватывая кислород на собственное сгорание.

Роль коксовой (углеродной) основы топлива в развитии общего массового процесса отлична от роли летучих. Проявляя известную инертность в отношении вступления в активный процесс, особенно сказывающуюся у топлив с отощенной горючей массой, коксовый углерод обладает исключительной способностью к

устойчивому продолжению процесса до исчерпания запаса топлива в топке, если такой запас имеется. В последнем случае активно горящая коксовая основа является фактором устойчивости всего процесса в целом и при соответствующей его организации может обеспечить своим теплом все нужды предварительных (начальных) стадий.

Обязательным условием нормальной работы топочных устройств является бесперебойный отвод продуктов сгорания и образующегося шлака. Однако задача организации удаления шлака осложняется рядом факторов.

На поведение шлака в топочной камере существенное влияние оказывают состав минеральных примесей и характер газовой среды (что собственно определяет температуру плавления шлака), температурный режим, аэродинамика топки и другие факторы.

В слоевых топках вывод шлака осуществляется в гранулированном виде. В зависимости от мощности котла в слоевых топках может быть осуществлено периодическое либо непрерывное удаление шлака из топки.

В камерных топках при пылевидном сжигании твердые очаговые остатки могут удаляться как в гранулированном (твердом) виде, так и в расплавленном (жидком). По этому принципу разделяются топки с гранулированным и жидким шлакоудалением. Подробно конструкции топок будут рассмотрены ниже.

3.6. Количественные показатели и качественная характеристика топочного процесса

Работу любого топочного устройства принято характеризовать следующей системой характеристик.

Количественные характеристики:

- удельная нагрузка или форсировка, которая представляет количество тепла в час, выделенного на 1 м^2 рабочего сечения топки ($U = Q / F$);
- объемное тепловое напряжение топки – представляет собой количество тепла, выделяемого в час на 1 м^3 рабочего пространства ($V = Q / v$);
- тепловое напряжение колосниковой решетки (для слоевых топок) представляет собой количество тепла, выделяемого на 1 м^2 колосниковой решетки в час ($q = Q / F_{\text{реш}}$).

Основной качественной характеристикой топочного процесса является коэффициент избытка воздуха α , который представляет собой отношение количества теоретически необходимого для горения воздуха к количеству действительно поданного.