

неск. тыс. градусов) темп-ры, причём часто возникает излучающая свет область — пламя.

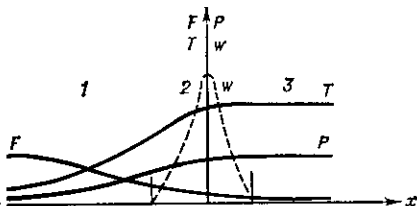
Отличит. особенность Г. — протекание хим. реакций в условиях её самоускорения. Скорость хим. реакции резко возрастает с увеличением темп-ры и выделяющаяся в реакции теплота всё более её ускоряет. С другой стороны, возможно самоускорение вследствие лавинообразного роста (в процессе разветвлённо-цепной реакции) концентрации активных частиц — атомов или радикалов, стимулирующих хим. превращение (см. *Взрыв*). Поэтому различают тепловое и цепное Г.

Основная и важная особенность процесса Г. — способность к распространению в пространстве. Вследствие процессов переноса (*диффузии* и *теплопроводности*) теплота или активные центры, накапливающиеся в горящем объёме, могут передаваться в соседние участки горючей смеси и инициировать там Г. В результате возникает движущийся в пространстве фронт Г., его скорость w наз. линейной скоростью Г. Массовая скорость Г. $m = \rho w$, где ρ — плотность исходной смеси. В отличие от *детонации*, где хим. реакция возникает в результате быстрого и сильного сжатия вещества *ударной волной*, скорость Г. невелика (10^{-3} – 10 м/с), поскольку оно обусловлено сравнительно медленными процессами переноса. Если движение газовой среды турбулентно, то скорость Г. увеличивается вследствие турбулентного перемешивания.

В зависимости от агрегатного состояния исходного вещества и продуктов Г. различают три основных типа Г.: гомогенное Г., Г. взрывчатых веществ и порохов, гетерогенное Г.

Гомогенное горение. Исходные вещества и продукты при таком Г. находятся в одинаковом агрегатном состоянии. К этому типу относится Г. газовых смесей (природного газа, водорода и т. п. с окислителем — обычно кислородом воздуха), Г. негазифицирующихся конденсиров. веществ (напр., термитов — смесей алюминия с окислами разл. металлов) и изотермическое Г. — распространение цепной разветвлённой реакции в газовой смеси без значит. разогрева. На рис. изображена структура фронта Г. в смеси газообразных горючего и окислителя. Хим. реакция происходит в очень

Структура фронта горения: 1 — зона прогрева, 2 — зона химической реакции, 3 — продукты горения; F — концентрация горючего или окислителя, P — концентрация продуктов горения, T — температура, w — скорость теплового выделения, x — пространственная координата.



узкой зоне (10^{-5} м) при темп-ре, близкой к темп-ре Г.: $T_1 = T_0 + Q/c_p$ (T_0 — темп-ра исходной смеси, Q — теплота сгорания, c_p — теплоёмкость газа при пост. давлении). В зоне подогрева темп-ра газа растёт за счёт тепла, выделившегося при Г. предыдущих порций смеси. В этой зоне происходит также убывание (вследствие диффузии) концентрации исходного вещества, хим. реакция идёт в очень обеднённой смеси. Скорость теплового выделения $w(x)$ имеет резкий максимум, связанный с тем, что в начале реакции низка темп-ра, а в конце её нет горючего. Скорость Г. $w \sim \sqrt{\kappa/\tau}$, $\tau \sim \exp(-\mathcal{E}/RT_1)$, где κ — коэффициент температуропроводности, а τ — характерное время хим. реакции в зоне Г., к-рое определяется в основном энергией активации \mathcal{E} и темп-рой Г. (R — универсальная газовая постоянная).

Теория распространения фронта Г. в гомогенной газовой смеси строится на основе механики сплошных сред и *кинетики химической*. Для случая одномерного стационарного распространения ламинарного пламени в смеси перемешанных горючего и окислителя теория

приводит к ур-ниям теплопроводности и диффузии, учитывающим хим. источник тепла и продуктов реакции (сток исходных веществ). В связи с малостью скорости Г. по сравнению со скоростью звука давление газа в области Г. можно считать постоянным. В системе координат, в к-рой фронт пламени покоится (исходное вещество натекает извне со скоростью Г. u), эти уравнения имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dx} \lambda \frac{dT}{dx} - \rho u c_p \frac{dT}{dx} + \Phi(T, a_1, a_2, \dots, a_n) &= 0 \\ \frac{d}{dx} D_i \rho \frac{d(a_i/\rho)}{dx} - \rho u \frac{d(a_i/\rho)}{dx} + \Phi_i(T, a_1, a_2, \dots, a_n) &= 0 \end{aligned} \right\} (*)$$

$i=1, 2, \dots, n,$

где x — пространств. координата, a_i — концентрации исходных веществ, промежуточных и конечных продуктов реакции, λ и D_i — коэффициенты теплопроводности и диффузии; Φ — удельная скорость теплового выделения (кол-во теплоты, генерируемое хим. реакцией в единице объёма в единицу времени), Φ_i — скорость изменения концентрации вещества в простейшей хим. реакции (также отнесённая к единице объёма и единице времени). Вид функций Φ и Φ_i конкретизируется при задании механизма хим. реакции.

К системе ур-ний (*) должны быть добавлены граничные условия, определяющие значения темп-ры и концентраций в исходной смеси ($x \rightarrow -\infty$) и постоянство этих величин (равенство нулю производных по координате) в продуктах Г. Решение системы (*) позволяет определить собственные значения задачи — скорости Г. u , а также распределения темп-ры и концентраций веществ в пространстве: $T(x)$, $a_i(x)$. В более сложных случаях соответствующие системы ур-ний решаются аналитически или приближённо, а также с использованием ЭВМ.

При Г. негазифицирующихся конденсиров. систем диффузия обычно не играет роли и процесс определяет только теплопроводность. Наоборот, при изотермическом Г. осн. процессом переноса является диффузия.

Гетерогенное горение. Исходные вещества при этом находятся в разных агрегатных состояниях. Важнейшие техн. процессы гетерогенного Г.: Г. угля, частиц металлов, сжигание жидких топлив в нефтяных топках, нек-рых двигателях внутр. сгорания, камерах сгорания ракетных двигателей. Процесс гетерогенного Г. обычно очень сложен. Хим. превращение сопровождается дроблением и испарением капель и частиц, образованием окисных плёнок на частицах металла, турбулизацией газовой смеси и т. п.

Горение взрывчатых веществ и порохов. Мн. конденсиров. взрывчатые вещества (ВВ), кроме быстрого (взрывного) протекания реакции (см. *Взрыв, Детонация*), способны к значительно более медленному хим. превращению путём Г. В отличие от обычных твёрдых и жидких топлив при горении ВВ не требуется подводить извне окислитель, т. к. горючее и окислитель в ВВ перемешаны на молекулярном уровне.

Г. ВВ связано с переходом вещества из конденсиров. состояния в газ. При этом на поверхности раздела фаз происходит сложный физико-хим. процесс, при к-ром в результате хим. реакции выделяется теплота и горючие газы, догорающие в зоне Г., отстоящей от поверхности на нек-ром расстоянии. Процесс Г. усложняется явлением диспергирования — переходом части конденсиров. вещества в газовую фазу в виде небольших частичек или капель.

Важной особенностью процесса Г. является наличие критич. условий. Распространение Г. возможно лишь в нек-рых интервалах изменения состава смеси, темп-ры и давления, условий теплоотвода во внеш. среду. Критич. значения этих параметров наз. пределами Г. Скорость Г. на пределе отлична от нуля, а при переходе через предел Г. прекращается.

При эксперим. исследовании Г. изучается зависимость скорости Г. от разл. параметров Г.: состава смеси, дис-