

разрядом от свечи. Для уменьшения отражения от стенок внутренняя поверхность бомбы зачернялась. Для вывода светового излучения в стенках бомбы имелись окна, представляющие собой композицию из кварцевого стекла КВ и плексигласа СТ-4, склеенных между собой акриловым клеем. Разработанная конструкция окон позволяла изменять оптическую толщину исследуемого газа. После каждого взрыва поверхность кварца полировалась.

В качестве источника подсветки использовался гелий-неоновый лазер ЛГ-52 с длиной волны 0,6328 мкм. Диаметр выходных окон соответствовал диаметру лазерного луча. Длина волны, соответствующая лазерному излучению, вырезалась из спектра газа с помощью монохроматора УМ-2 с шириной входной и выходной щели $0,2 \cdot 10^{-3}$ м. Монохроматический сигнал от УМ-2 принимался фотоумножителем ФЭУ-62 и регистрировался без последующего усиления осциллографом С8-13. Перед проведением эксперимента ФЭУ тренировался в течение двух часов модулированным с помощью стробоскопа лазерным излучением. Для уменьшения засветки фотоумножителя излучением газа и лазера в эксперименте применялась ограничивающая диафрагма и нейтральный светофильтр. Методом самоэкспонирования с помощью спектрографа ИСП-28 получен сплошной спектр свечения продуктов взрыва. Предварительно определялась спектральная чувствительность используемой фотопленки на спектре лампы СВДШ250-3. В качестве источника сравнения использовалась лампа ИФК-50.

На рис. 2 представлены теоретические [3] и экспериментальные результаты определения температуры взрыва гремучего газа. Видно, что при высоких начальных давлениях экспериментальные точки имеют большее отклонение от теоретической кривой, чем при низких. Этот факт может быть связан с некоторым уменьшением прозрачности стекла при прохождении через него ударной волны, более интенсивной при высоком начальном давлении [4]. Проведенный анализ погрешностей показал, что точность измерения температуры в эксперименте составила $\sim 2,4\%$.

Поступила в редакцию
17/VI 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Е. Нестерихин, Р. И. Солоухин. Методы скоростных измерений в газодинамике и физике плазмы. М.: Наука, 1967.
2. В. М. Гефтер, В. И. Мика, А. М. Семенов. Теплофизические свойства веществ. Обзорная информация, № 3. М.: Наука, 1976.
3. А. А. Максак, Н. А. Рой. Акустический ж., 1979, 2.
4. H. D. Mallory, W. S. McEwen. J. Appl. Phys., 1961, 32, 11.

СТАЦИОНАРНАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА ПРИ ПРОТЕКАНИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Ф. Б. Моин, М. Б. Фагараши

(Борислав)

Стационарная теория теплового взрыва при протекании одной химической реакции, разработанная Д. А. Франк-Каменецким [1], дает численные значения критического параметра $\delta_{кр}$ и предвзрывного разогрева $\Theta_{кр}$ в сосудах разной формы. При этом $\delta_{кр}$ представляет собой максимальное значение параметра уравнения, при котором еще возможно стационарное распределение температуры в реакционном сосуде.

Тепловой взрыв при протекании параллельных химических реакций рассмотрен в работах [2, 3] с точки зрения теории Семенова, предполагающей отсутствие градиентов температуры внутри сосуда. При этом критическое условие взрыва представляется в таком же виде, как и для одной реакции, а нахождение критических значений параметров формально сводится к определению эффективной энергии активации и эффективной скорости тепловыделения при температуре, равной температуре стенки сосуда. В работах [3, 4] в том же приближении рассмотрено влияние выгорания на тепловой взрыв при протекании параллельных реакций.

В [2—4] остается неопределенным численное значение коэффициента теплоотдачи, которое может быть найдено лишь в результате расчета стационарного распределения температуры в реакционном сосуде. Предположение, что при протекании нескольких параллельных реакций коэффициент теплоотдачи сохраняет

такое же значение, как и в случае одной реакции, не очевидно и требует проверки.

В настоящей работе рассматривается тепловой взрыв при протекании двух параллельных реакций с разными энергиями активации с учетом градиентов температуры внутри сосуда. Цель работы — расчет критических параметров и эффективного значения критерия теплоотдачи Нуссельта.

Общее уравнение теплопроводности при протекании двух параллельных реакций нулевого порядка в стационарном режиме, используя метод разложения экспонента, можно привести к следующему виду:

$$d^2\Theta/dx^2 + n/x \cdot d\Theta/dx + \alpha_1 e^\Theta + \alpha_2 e^{E\Theta} = 0 \quad (1)$$

с граничными условиями $d\Theta/dx=0$ при $x=0$; $\Theta=0$ при $x=\sqrt{\delta}$. Здесь $\Theta = (T - T_0)/RT_0^2$ — безразмерная температура; $x = \rho\sqrt{\delta}/r$ — безразмерная координата; $n=0, 1, 2$ для плоского цилиндрического и сферического сосудов соответственно; $E=E_2/E_1$ — отношение энергий активации ($E < 1$); $\delta = (Q_1 w_1^0 + Q_2 w_2^0) \cdot E_1 r^2 / \lambda RT_0^2$ — параметр Франк-Каменецкого для рассматриваемой задачи; Q_1, w_1^0, Q_2, w_2^0 — тепловые эффекты и скорости реакций при $T=T_0$; $\alpha_1 = Q_1 w_1^0 / (Q_1 w_1^0 + Q_2 w_2^0)$; $\alpha_2 = Q_2 w_2^0 / (Q_1 w_1^0 + Q_2 w_2^0)$; r — радиус сосуда; λ — теплопроводность.

Решения уравнения (1) представляют собой стационарные распределения температуры, удовлетворяющие граничному условию на стенке и дающие в центре сосуда значение температуры, равное Θ_0 . Эти решения определяются значением параметра δ , для расчета которого при заданном Θ_0 производится численное интегрирование уравнения (1) по координате x до достижения условия $\Theta=0$; при этом $\delta=x^2$. Как и в [1], решение (1) при малых x представлялось степенным рядом, при $x \geq 0,25$ производилось численное интегрирование на ЭВМ «Напри-2». Зависимость δ от Θ_0 имеет максимум, определяющий значения $\delta_{кр}$ и $\Theta_{кр}$.

Величина $\delta_{кр}$ представляет собой максимальное значение параметра уравнения (1), при котором еще возможно его решение, удовлетворяющее граничному условию на стенке. При $\delta > \delta_{кр}$ (1) не имеет решения, следовательно, в этих условиях стационарное распределение температуры становится невозможным. Определив $\delta_{кр}$, нетрудно рассчитать эффективное значение критерия Нуссельта

$$Nu_{эфф} = \frac{2\delta_{кр} V}{Sr} (\alpha_1 e^{\Theta_1} + E \alpha_2 e^{E\Theta_1}), \quad (2)$$

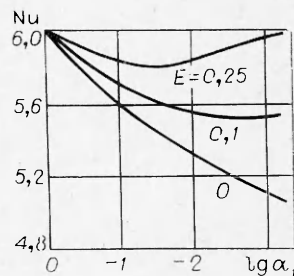
где Θ_1 — предвзрывной разогрев при протекании двух параллельных реакций в условиях, когда внутри сосуда нет градиентов температур. Величина Θ_1 определяется решением трансцендентного уравнения

$$\Theta_1 = \frac{\alpha_1 e^{\Theta_1} + \alpha_2 e^{E\Theta_1}}{\alpha_1 e^{\Theta_1} + \alpha_2 E e^{E\Theta_1}}, \quad (3)$$

непосредственно вытекающего из теории Семенова для рассматриваемого случая.

Подытоживая результаты расчетов, можно сделать следующие выводы. При монотонном переходе от одной реакции к другой (уменьшение α_1 от 1 до 0) Θ_1 непрерывно возрастает от 1 до $1/E$. Аналогичным образом меняется и $\Theta_{кр}$, причем для сферического сосуда $\Theta_{кр} = (1,5-1,6)\Theta_1$. Параллельно этому возрастает значение параметра $\delta_{кр}$. Для сферического сосуда $\delta_{кр}$ меняется от 3,3 до $3,3/E$.

Критерий теплоотдачи Nu при переходе от одной реакции к другой не остается постоянным. Максимальное значение Nu имеет при протекании одной реакции. В этом случае, как видно из формулы (2), $Nu = 2/\delta_{кр} E = 6,0$. Указанное в [1] значение $Nu=5,9$ неточно. Одновременное протекание двух параллельных реакций приводит к уменьшению Nu (см. рисунок). Физическая интерпретация этого факта достаточно очевидна. Реакции с разными энергиями активации локализуются в разных местах сосуда. Реакция с большей энергией активации локализуется преимущественно в центральной части сосуда, где температура максимальна. Реакция с меньшим значением E более «размазана» по объему сосуда, что приводит к уменьшению градиентов температуры и коэффициента теплоотдачи. Минимальное значение Nu зависит от отношения энергии активации E . Положение минимума, определяемое величиной α_1 , также зависит от E . При уменьшении E минимум Nu сдвигается в сторону реакции с меньшей энергией активации.



Критерий Нуссельта для теплового взрыва при протекании двух параллельных реакций.

Изменения Nu сравнительно невелики. При $E \geq 0.1$ Nu меняется менее чем на 10%. Таким образом, в большинстве случаев предположение о постоянстве коэффициента теплоотдачи является неплохим приближением и при протекании параллельных химических реакций.

Поступила в редакцию
13/VIII 1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. А. Франк-Камеенецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1967.
2. В. Г. Абрамов, Д. А. Ваганов, Н. Г. Самойленко. Докл. АН СССР, 1975, 224, 1.
3. В. Г. Абрамов, Д. А. Ваганов, Н. Г. Самойленко. ФГВ, 1977, 13, 1.
4. В. Г. Абрамов, Д. А. Ваганов, Н. Г. Самойленко. ФГВ, 1978, 14, 3.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

С января 1982 г. начнет выходить в свет новый ежемесячный журнал «Химическая физика». Журнал посвящен теоретическим и экспериментальным исследованиям по следующей тематике:

1. Строение и физические свойства атомно-молекулярных систем.
2. Динамика атомно-молекулярных процессов (передача энергии, перенос заряда, химические превращения); методы стимулирования химических реакций и элементарных процессов.
3. Кинетика и механизм химических реакций в газовой и конденсированных фазах и на поверхностях раздела фаз; ценные реакции с материальными и энергетическими цепями.
4. Ценные и тепловые процессы при воспламенении, горении и детонации в газах, в двухфазных и конденсированных системах; неравновесные процессы в ударных волнах.

Журнал будет публиковать оригинальные работы, сообщающие о новых явлениях или закономерностях, новых методах измерений или расчетов, новых путях применения физических методов исследования, а также статьи, где экспериментально или теоретически раскрывается физическая сущность ранее не интерпретированных эффектов или закономерностей.

Статьи объемом до 0,75 п.л. (включая рисунки и таблицы) в двух экземплярах с аннотацией, оформленные в соответствии с правилами, принятыми в журнале «Докл. АН СССР», следует направлять с необходимой документацией по адресу:

117977, ГСП-1, Москва, В-334, Воробьевское шоссе, 2-Б, Редакция журнала «Химическая физика».

Редколлегия журнала «Химическая физика»