

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 662.12

**О МЕХАНИЗМЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА
ПРИ ТЕПЛОМ ВЗРЫВЕ ЖИДКИХ ВВ**

*В. В. Барзыкин, Э. А. Штессель,
Ф. И. Дубовицкий, А. Г. Мержанов*
(Москва)

При тепловом взрыве жидких (расплавленных) веществ в реакционном объеме имеет место сложный конвективный теплоперенос, обусловленный перемешиванием жидкой фазы газообразными продуктами реакции и свободной конвекцией. Предельный режим теплового взрыва при чисто конвективной теплопередаче по реакционному объему, осуществляемой специальными условиями проведения эксперимента, которые обеспечивают равномерное распределение температуры по реакционному объему, изучался в работах [1, 2]. Было показано, что в этом случае характеристики теплового взрыва могут быть рассчитаны по теории Семенова [3].

Влияние свободной конвекции на критические условия теплового взрыва изучалось на модельных реагирующих системах без газовыделения в зоне реакции [4]. Экспериментально установлен вид зависимости критического значения параметра Франк-Каменецкого δ_* от критерия Рэлея Ra , характеризующего интенсивность свободной конвекции:

$$\frac{\delta_*}{\delta_0} = 1 + 0,062 Ra^{1/3},$$

$$\delta_* = \frac{Q}{\lambda} \cdot \frac{E}{RT_*^2} \cdot r^2 k_0 \exp(-E/RT_*); \quad Ra = \frac{g \varphi RT_*^2}{\nu a E} \cdot r^3. \quad (1)$$

Здесь δ_0 — критическое значение параметра Франк-Каменецкого при $Ra \rightarrow 0$; Q — тепловой эффект реакции; E — энергия активации; k_0 — предэкспонент; r — характерный размер; R — универсальная газовая постоянная; T_* — критическая температура самовоспламенения; λ — коэффициент теплопроводности; g — ускорение силы тяжести; φ — коэффициент объемного расширения; ν , a — коэффициенты кинематической вязкости и температуропроводности соответственно.

Влияние конвективного перемешивания пузырьками газообразных продуктов реакции на характеристики теплового взрыва изучалось в работе [5]. Было показано, что роль этой составляющей конвективного переноса тепла возрастает с ростом температуры и отмечено увеличение эффективного коэффициента теплоотдачи в процессе разложения. Эти опыты проводились в условиях, соответствующих небольшим числам Ra , когда влияние естественной конвекции мало.

В настоящей работе тепловой взрыв реагирующего вещества в жидкой фазе изучался в широком диапазоне изменения числа Ra с тем, чтобы иметь возможность проследить влияние обоих вышеупомянутых механизмов теплопереноса на критические условия теплового взрыва.

Объектом для исследования был выбран динитроксиэтилнитрамин (дина), температура плавления которого $52,5^\circ\text{C}$. При разложении этого вещества выделяется большое количество газообразных продуктов реакции, что способствует проявлению пузырькового механизма конвективного теплопереноса. С другой стороны, малая вязкость дины и широкий диапазон размеров реакционных сосудов позволяют выяснить роль теплопереноса за счет свободной конвекции.

Опыты проводились по методике [5] в цилиндрических сосудах с двойными стенками, изготовленных из нержавеющей стали. В качестве теплоносителя использовался глицерин. Интенсивность циркуляции теплоносителя и толщина стенок сосудов выбира-

лись такими, чтобы обеспечить граничные условия 1-го рода, т. е. постоянство температуры стенки в течение опыта. Отношение высоты реакционного объема к диаметру во всех опытах было равным 2. Разогрев вещества и температурные профили определялись дифференциальными термopарами и записывались потенциометром ЭПП-09.

Зависимости вязкости и плотности от температуры измерялись соответственно капиллярным вискозиметром и пикнометром. Данные по изменению плотности от температуры позволили определить величины коэффициента объемного расширения. Необходимые для расчетов кинетические параметры были взяты из работы [6]; коэффициент теплопроводности определялся по методу [7].

Диаметр Ф, см	$T_*, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$\nu \times 10^3,$ $\text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$	$\rho, \text{г} \cdot \text{см}^{-3}$
3,0	175,5	33,3	1,213	1,3665
3,4	170,2	36,5	1,328	1,372
3,6	168,5	29,5	1,368	1,374
4,5	161,5	30	1,55	1,381
5,2	152	24,7	1,848	1,391
6,93	144	22,9	2,158	1,399
15	139	23,3	2,373	1,4044
25	133	24	2,674	1,4107
39,6	126	23,2	3,187	1,418

Основные результаты эксперимента представлены в таблице (ΔT — разогрев вещества относительно температуры стенки).

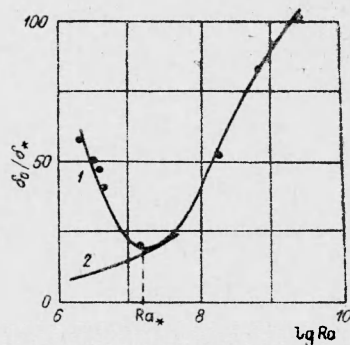
Полученные результаты обобщены в виде зависимости δ_*/δ_0 от критерия Ra на рисунке. Эта зависимость сопоставляется с результатами исследования [4] на моделях представленных формулой (1). В таких координатах за счет того, что в выражение для Ra входит критическая температура T_* роль пузырьковой конвекции уменьшается с ростом Ra, который в основном определяется увеличением размера r , так как T_* меняется сравнительно слабо (см. таблицу).

Основная особенность кривой 1 — наличие минимума δ_* при определенном Ra. Такой характер кривой 1 позволяет сделать вывод о смене механизмов теплопереноса и дает возможность ввести некоторое критическое число Рэлея (Ra_*), которое разделяет две области разных механизмов теплопередачи. Для дины $Ra_* \sim 10^7$.

В области $Ra < Ra_*$ кривая 1 значительно выше кривой 2, описывающей рост δ_* только за счет естественной конвекции. Это говорит о том, что в области $Ra < Ra_*$ основным механизмом теплопереноса является пузырьковое перемешивание. Достаточно хорошее совпадение кривых 1 и 2 в области $Ra \sim Ra_*$ говорит о том, что в области $Ra > Ra_*$ главенствующую роль в переносе тепла играет естественная конвекция.

По-видимому, величина Ra_* будет различной для каждого жидкого ВВ, в зависимости от интенсивности образования и движения пузырьков.

Таким образом, исследование теплового взрыва дины в широком диапазоне чисел Ra показало, что с увеличением этого числа происходит смена механизма теплопереноса в реакционном объеме. Начиная с Ra_* теплоперенос за счет свободной конвекции преобладает над теплопереносом за счет перемешивания газообразными продуктами реакции.



Зависимость критических условий теплового взрыва от критерия Рэлея.

1 — критические условия для дины;
2 — критические условия для модельных веществ.

Поступила в редакцию
21/V 1970

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Мержанов, В. В. Барзыкин и др. ЖФХ, 1961, 35, 9, 2083.
2. В. В. Барзыкин, А. Г. Мержанов. ЖФХ, 1964, 38, 11, 2640.
3. Н. Н. Семенов. КФН, 1940, 23, 3, 251.
4. А. Г. Мержанов, Э. А. Штессель. ФГВ, 1971, 7, 1.
5. А. Г. Мержанов, В. Г. Абрамов, Ф. И. Дубовицкий. Докл. АН СССР, 1959, 128, 6, 1238.
6. А. С. Штейнберг, Б. М. Слуцкер, А. Г. Мержанов. ФГВ, 1970, 6, 4.
7. В. С. Волькенштейн. II Всес. совещ. по тепло- и массообмену, Минск, 1961.

УДК 662.352+66.092.17

О ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ НИТРОГЛИЦЕРИНОВОГО ПОРОХА В ВАКУУМЕ

В. В. Александров, Н. С. Буфетов

(Новосибирск)

В работе [1] было показано, что при нагревании нитроглицеринового пороха в вакууме происходит испарение летучих компонентов нитроглицерина и динитротолуола. Совокупность экспериментальных данных указывает на то, что испарение приводит к образованию на поверхности реакционной зоны в конденсированной фазе бесплатенно горящего нитроглицеринового пороха подслоя, который состоит практически из нитро-клетчатки. Толщина подслоя ~ 3 мк.

В данной работе проведено калориметрирование процессов, происходящих в пленках пороха толщиной (d) 1—6 мк в вакууме при температурах от 70 до 280°С. (В от-

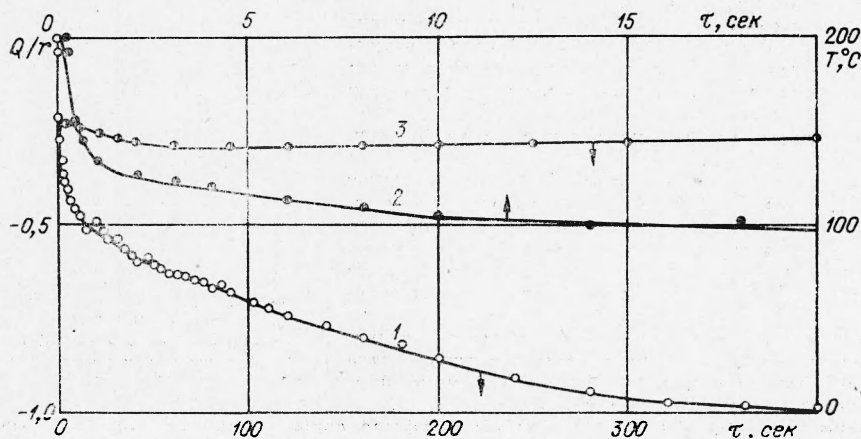


Рис. 1. Отношение поглощаемого тепла Q к теплоте испарения r в опыте при $T \approx 150^\circ\text{C}$. ($d=5-6$ мк; $r=125$ кал/г; навеска пороха $m=43,3$ мг; количество испарившихся летучих $\Delta m=12,6$ мг.)
1 — Q/r (большие времена до 400 сек); 2 — Q/r (малые времена менее 20 сек); 3 — температура.