

Рис. 1.

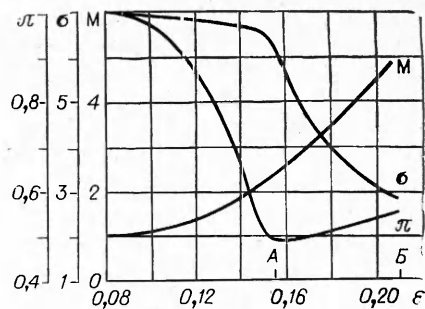


Рис. 2.

Результаты вычисления всех величин представлены на рис. 1 и 2 для случая водородно-воздушной смеси стехиометрического состава (*A* — режим дефлаграции Чепмена — Жуге, *B* — режим детонации).

Таким образом, в автомодельной постановке решена задача о сферической дефлаграции для режимов горения, когда видимая скорость пламени больше скорости звука в исходном газе. Получены аналитические зависимости от скорости горения для состояния продуктов сгорания и ударно-сжатого газа во взрывной волне перед фронтом пламени.

Поступила в редакцию
3/IV 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. К. И. Щелкин, Я. К. Трошин. Газодинамика горения. М., Изд-во АН СССР, 1968.
2. R. S. Lee et al. Combustion and Flame, 1976, 27, 3.
3. G. R. Taylor. Proceedind Royal Society, 1946, 186A.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОФИЛИ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ХОЛОДНОГО ПЛАМЕНИ ПРОПАНА

Р. А. Саядян, П. С. Гукасян, А. А. Мангашян
(Ереван)

Исследования по холодным пламенам в пропан-кислородных смесях показали, что в условиях стабилизированного холодного пламенного режима окисления наблюдается резкое увеличение концентрации радикалов (в ~ 15 раз) при переходе от предпламенной области в зону холодного пламени [1, 2]. Скачок концентрации радикалов практически при той же температуре свидетельствует о цепной природе возникновения пламени.

Исследования проводились в реакторе, состоящем из двух стеклянных цилиндрических сосудов (рис. 1) разной длины ($l_1 = 30$ см, $l_2 = 11$ см), но с одинаковыми диаметрами $d = 6$ см, соединенных последовательно через узкую трубку ($d = 1$ см). Давление реагирующей смеси $p_{\text{общ}} = 270$ торр

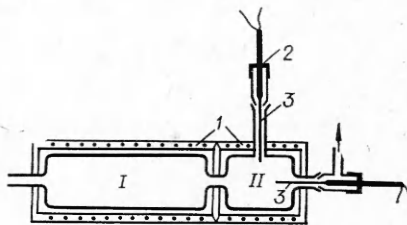


Рис. 1. Схема реактора.

I — предпламенная зона; *II* — зона стабилизированного холодного пламени. 1 — электроды; 2 — уплотнение для поддержки герметичности при перемещении зондов; 3 — зонды с термопарами.

($C_3H_8 : O_2 = 1 : 1$). Оба сосуда имели отдельный электрический подогрев. При подборе подходящих времен контакта во втором сосуде ($t_k = 8$ с) удалось получить стабильное холодное пламя [1, 2]. Относительно высокие линейные скорости (~ 40 см/с) в трубке, соединяющей сосуды, предотвращают распространение пламени в первую ячейку. С возникновением пламени температура второй ячейки поднимается и со временем устанавливается другая, более высокая температура ($\Delta T = 20-25^\circ C$), что является результатом саморазогрева системы в режиме холодного пламени. Понижением подогрева второй ячейки реактора удается снизить температуру пламени до температуры первой ячейки, где протекает медленная предпламенная реакция, а усилением подогрева можно повысить температуру пламени.

Таким путем изучена температурная зависимость радикалов в холодном пламени пропан-кислородных смесей и показано, что с повышением температуры концентрация радикалов проходит через максимум и далее уменьшается до значений, фиксируемых в медленной реакции. При этом пламя затухает. Найденная температурная зависимость совпадает с поведением радикалов в медленной реакции в области отрицательного температурного коэффициента [3] и говорит о том, что затухание холодных пламен связано с переходом реакции в область отрицательного температурного коэффициента в результате саморазогрева реагирующей системы. Температура в зоне пламени в указанных экспериментах [1, 2] измерялась в одной фиксированной точке — примерно в центре реактора. При изучении холоднотемпературного окисления нормальных и *изо*-бутанов в статических условиях установлено однако, что по вертикальному сечению цилиндрического реактора возникает резко выраженный асимметричный температурный профиль [4]. Максимальный разогрев при этом наблюдается в верхней части реактора и достигает $70-90^\circ C$, в центре же реактора разогрев не превышает $30-40^\circ C$. В связи с этим возникает необходимость изучения температурного профиля в струе в условиях стабилизированного холодного пламени.

Зондирование пламени проводилось по вертикальной и горизонтальной осям второй ячейки описанного выше реактора с помощью тонкой хромель-алюмелевой термопары ($d = 0,1$ мм). Чтобы стабильное холодное пламя не подвергалось существенному возмущению при измерении температурного профиля, термопара помещалась в стеклянную трубку диаметром $1-1,5$ мм с тонкими стенками ($\sim 0,1$ мм). Термопара вводилась

в зону пламени по методике зондирования пламени, описанной в работе [5]. При перемещении зонда герметичность реакционной зоны не нарушалась.



Рис. 2. Температурные профили по вертикальной оси реактора. 1 — инертная смесь; 2 — 5 — холодные пламена при $T_{ст}$ реактора, равных соответственно 327, 332, 346 и $357^\circ C$; — — — — — продольная ось реактора.

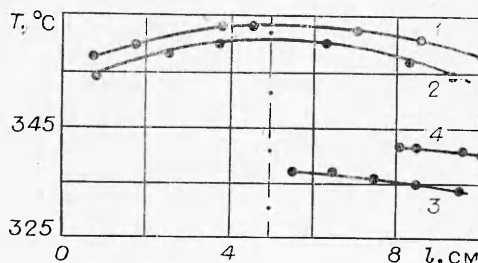


Рис. 3. Температурный профиль по горизонтальной оси реактора при разных обработках поверхности зонда и разных температурах стенки реактора.

1 — борная кислота, $T_{ст} = 335^\circ C$; 2 — хлористый калий, $T_{ст} = 333^\circ C$; 3 — реакция, $T_{ст} = 318^\circ C$; 4 — хлористый калий, $T_{ст} = 324^\circ C$; — — — — — вертикальная ось реактора.

На рис. 2 приведены данные по распределению температуры в зоне стабилизированного холодного пламени по вертикальной оси реактора при разных температурах стенки $T_{ст}$ второй ячейки. Температура в первой ячейке реактора поддерживалась постоянной и равной 328°C . Видно, что в условиях стабилизированного пламени в струе также появляется определенный профиль температуры. Это распределение, очевидно, есть следствие протекающего химического процесса, как и в случае [4]. Действительно, при пропускании инертного газа или воздуха через реактор температура реактора по сечению в основном остается постоянной, лишь у стенок она меняется на $2-3^{\circ}$. В стабилизированном холодном пламени появляется асимметричный температурный профиль (см. рис. 2, 2-5) с максимумом выше горизонтальной оси реактора, как и в случае холоднопламенного окисления бутанов в статических условиях [4]. Однако в настоящем случае максимальный разогрев по отношению к стенке сравнительно невелик. Наибольшее значение ΔT составляет 27°C , если считать по разности температур нижней стенки и максимуму на кривой распределения.

Из полученных данных следует, что при $T_{ст}$, равной 227, 332, 346, 357 и 380°C , разогрев ΔT составляет соответственно 20,5, 27, 19, 15 и 2°C . Таким образом, с возрастанием $T_{ст}$ разогрев сначала увеличивается, а затем падает. Это изменение симбатно яркости свечения пламени и температурной зависимости концентрации радикалов. При $370-380^{\circ}\text{C}$, когда пламя затухает, температурный профиль слабо выражен и разогревы не превышают нескольких градусов. Таким образом, наблюдаемые разогревы действительно являются следствием холоднопламенного режима окисления пропана.

На рис. 3 приведены данные по распределению температуры в зоне холодного пламени по горизонтальной оси реактора, где видно, что резко выраженных максимумов на кривых распределения температуры не наблюдается. Температура в центральной части лишь на несколько градусов выше температуры торцов реактора. Температурный профиль не меняется при разных обработках поверхности зонда (см. рис. 3, 1, 2).

Иная картина наблюдается, если измерения проводить при более низких температурах, т. е. когда интенсивность холодного пламени меньше. В этих условиях стабильное холодное пламя становится значительно чувствительнее к обработке поверхности зонда (см. рис. 3, 3, 4). При измерениях зонд вводится в реактор с правого торца (см. рис. 1). Кривая 3 представляет температурный профиль в условиях, когда поверхность зонда обработана борной кислотой и реакцией. В этом случае удается перемещать зонд в зону пламени до 4,5 см от правого торца реактора. При дальнейшем перемещении зонда пламя затухает и смесь охлаждается, принимая температуру стенки реактора. При этой температуре стенки в случае, когда поверхность зонда обработана хлористым калием, измерить температурный профиль практически невозможно, так как при внесении зонда в реактор пламя сразу затухает. Только при более высоких $T_{ст}$ удается проводить измерения, но на малых расстояниях.

Опыты показывают (см. рис. 3, 4), что зонд можно ввести в зону пламени лишь на два сантиметра. При дальнейшем перемещении зонда холодное пламя затухает и смесь охлаждается до температуры стенки реактора. Такое сильное влияние характера покрытия ничтожно малой поверхности зонда на холодное пламя также свидетельствует о цепной природе пламени [6, 7].

Полученные данные показывают, что наличие разогревов не вносит принципиальных коррективов в сделанные ранее выводы [1, 2] о причинах возникновения и затухания пламени. Действительно, по температурным профилям видно, что при введении термопары по горизонтальной оси реактора, как это делалось и в работах [1, 2], измеряется не максимальная температура пламени, а более низкая (см. рис. 2). В опытах

радикалы отбирались через диафрагму, расположенную ниже верхней стенки реактора на 1 см. В этой точке температура оказывалась более низкой, чем по оси реактора. Таким образом, отбор радикалов в работах [1, 2] проводился практически при измеренных термодарой температурах.

Данные по температурному профилю указывают на сложную структуру стабилизированного холодного пламени и на необходимость учета теплофизических явлений при количественном изучении холодных пламен.

Поступила в редакцию
9/II 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. П. С. Гукасян, А. А. Манташян, Р. А. Саядян. ФГВ, 1976, 12, 5, 789.
2. А. А. Манташян, П. С. Гукасян. Докл. АН СССР, 1977, 234, 2, 379.
3. А. А. Манташян, Г. Л. Григорян и др. Докл. АН СССР, 1972, 204, 6, 1932.
4. Т. Р. Симонян, А. А. Манташян. ФГВ, 1979, 15, 2.
5. I. N. Bradley, G. A. Jones et al. Tenth Symposium on Combustion, 1965.
6. Н. Н. Семенов. Цепные реакции. Л., Госхимтехиздат, 1934.
7. А. Б. Налбондян, С. М. Шубина. ЖФХ, 1946, 20, 1249.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВНОГО ГОРЕНИЯ КАПЕЛЬ СЕРЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А. П. Шелякин, Б. Т. Васильев, А. Г. Воротников
(Воронеж)

В работе [1] отмечено разбрызгивание серы при горении, однако авторы оставили это явление без внимания, считая процесс горения капле серы единым однородным процессом. Опыты проводились при температуре до 300°C. В других работах по горению капле серы о взрывном горении не упоминается.

Исследования [2] показали, что горение капле серы осуществляется в взрывном режиме, причина которого состоит в перегруппировке атомов в молекуле жидкой серы, образовании и разложении полимера. Одновременно могут происходить от одного до трех выбросов-протуберанцев (рис. 1). Для изучения этого явления при повышенных температурах проведены опыты на установке, схема которой представлена на рис. 2.

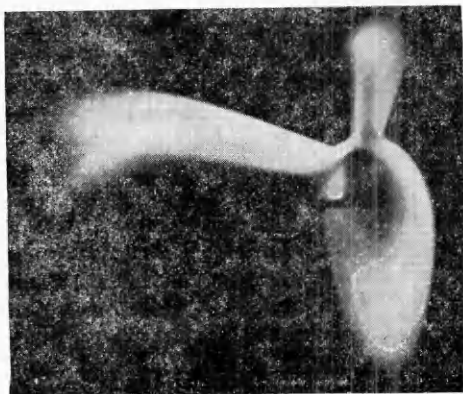


Рис. 1.

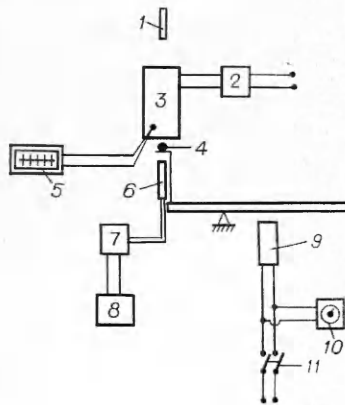


Рис. 2.