

Магистрант Б. Хасанов, ст. преп. Ш.А.Абдулхакимов,

доц., к.т.н. Дуняшин Н.С.АнДМИ, ТГТУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ПРОПАН-БУТАНО-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСИ

Горение газа представляет собой совокупность сложных аэродинамических, химических и тепловых процессов. Первый из них процесс смесеобразования предшествует горению или же протекает одновременно с ним. Этот процесс подчиняется законам турбулентной, реже молекулярной диффузии. Собственно процесс горения протекает в соответствии с законами химической кинетики [1].

На скорость горения, называемую также скоростью распространения пламени или скоростью воспламенения, влияют следующие факторы:

- 1) состав газовой смеси;
- 2) давление, под которым находится газовая смесь; при уменьшении давления увеличивается скорость горения смесей горючего газа с воздухом;
- 3) температура горючей смеси; с увеличением начальной температуры горючей смеси растет скорость распространения пламени;
- 4) характер и объем пространства, в котором происходит горение, например размер каналов, в которых происходит горение; при увеличении площади сечения канала скорость распространения пламени растет [2].

Возникновение пламени зависит от способности горящего вещества образовывать газо- и парообразные продукты горения, которые, догорая, и дают пламя. Таким образом, пламя представляет собой раскаленные до температуры свечения продукты горения.

Строение пламени при горении углеводородов в кислороде или воздухе характеризуется наличием трех зон, соответствующим трем стадиям горения:

- 1) ядро – стадия подготовки горючего к сгоранию;
- 2) средняя зона – стадия восстановления;
- 3) внешняя зона (факел пламени) – стадия догорания.

Форма, вид и относительные размеры этих зон зависят от соотношения кислорода V_k и горючего газа V_r в смеси, т.е. регулирования пламени, характеризуемого коэффициентом:

$$\beta = \frac{V_k}{V_r}.$$

Ядро пламени можно разделить на две части: внутреннюю и внешнюю (оболочку ядра). Во внутренней части находится смесь горючего газа и кислорода. Температура в этой части ниже температуры воспламенения горючей смеси, поэтому горение здесь не происходит. Наружная часть ядра представляет собой тонкий слой, в котором происходит пирогенное разложение по следующей схеме:



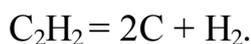
В этой же части ядра происходит неполное сгорание углерода:



В процессе распада молекулы углеводорода и сгорания углерода некоторое количество последнего оказывается свободным. Раскаленные части этого свободного углерода и дают яркое свечение оболочки ядра пламени. Форма ядра пламени, в зависимости от соотношения кислорода и горючего газа, изменяется от конусообразной до почти цилиндрической с закругленной вершиной.

Для ацетилена, получившего наибольшее распространение в процессах газопламенной обработки, стадия подготовки горючего к сгоранию (период индукции) характеризуется пирогенным разложением ацетилена в присутствии кислорода. Простое пирогенное разложение (без участия кислорода) заключается в распаде горючего при температуре 800-1250°C на составляющие элементы – углерод C и водород H, с возможным существованием в качестве промежуточного продукта метана CH₄.

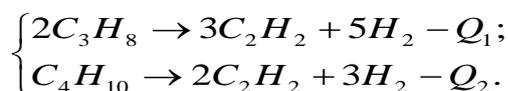
При элементарном разложении ацетилен распадается на углерод и водород по реакции:



В присутствии кислорода температура начала разложения ацетилена понижается, а скорость процесса возрастает в связи с окислением продуктов распада ацетилена, приобретающих в окисленном состоянии меньшую теплоустойчивость. Конечными продуктами пирогазного разложения ацетилена в присутствии кислорода являются СО и Н₂.

Пропан-бутано-кислородная смесь имеет более высокую теплотворную способность, чем ацетилен ($Q_{nC_3H_8} = 88,082 \text{ Мдж/кг}$, $Q_{nC_4H_{10}} = 114,8 \text{ Мдж/кг}$, $Q_{nC_2H_2} = 48,18 \text{ Мдж/кг}$), однако температурный режим факела пламени ниже, чем у ацетиленового пламени. Это объясняется тем, что скорость распространения пламени этих газов в кислороде ($v_{C_3H_8} = 4,5 \text{ м/с}$, $v_{C_4H_{10}} = 3,7 \text{ м/с}$) значительно меньше, чем у ацетилена ($v_{C_2H_2} = 13,7 \text{ м/с}$), что приводит к увеличению объема пламени и к понижению температуры.

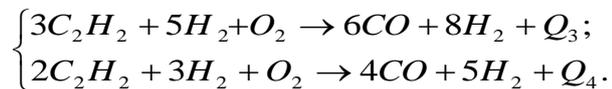
В ядре – происходит эндотермическое разложение пропана и бутана на промежуточные продукты – ацетилен С₂Н₂ и водород Н₂ – по реакции:



Оболочка ядра имеет голубое свечение, не так ярко выраженное, как у ацетилена, у которого ядро имеет белый цвет. Наружная форма ядра имеет почти цилиндрическое очертание с плавным закруглением на конце.

Средняя зона углеводородных газов, окружающая ядро и содержащая продукты неполного сгорания углерода (СО), обладает наиболее высокой температурой и восстановительными свойствами. Она характеризуется ускорением окислительных процессов и началом активного окисления СО и Н₂ в углекислый газ СО₂ и водяной пар Н₂О.

В средней – восстановительной зоне пропан-бутано-кислородного пламени происходит реакция окисления углерода с некоторым замедлением, по сравнению с реакцией окисления в ацетиленовом пламени. Средняя зона в последней трети своей длины имеет наиболее высокую температуру и газы восстановители СО и Н₂. Реакция горения в зоне экзотермическая:

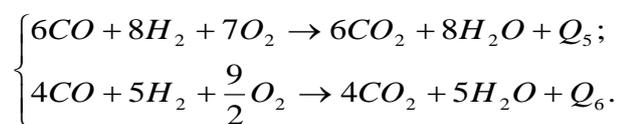


В наружном факеле пламени углеводородных газов за счет кислорода окружающего воздуха происходит догорание продуктов неполного сгорания углерода и водорода при понижающейся температуре по реакциям:



Эта часть пламени имеет окислительный характер.

Третья зона полного сгорания пропан-бутано-кислородного пламени характеризуется догоранием продуктов средней зоны, водорода и окиси углерода за счет кислорода, поступающего из воздуха:



На состав пламени влияют происходящие при высоких температурах реакции диссоциации газовых молекул. Состав неустойчивых промежуточных продуктов пирогенного разложения горючего газа во внутреннем ядре пламени наиболее точно определяется спектральным анализом. Так, например, спектральным анализом внутреннего ядра пламени обнаружен спектр углеводорода с полосами, испускаемыми молекулами углерода. Спектральный анализ наружной зоны пламени также обнаруживает присутствие радикала ОН и пр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абралов М.А., Дуняшин Н.С. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов – Т.: Iqtisod-moliya, 2010 – 226 с.
2. Абралов М.А., Эрматов З.Д., Дуняшин Н.С. Газопламенная обработка металлических и неметаллических материалов – Т.: ТашГТУ, 2007. - 154 с.