

В общем случае α зависит от R . В условиях проводившихся опытов ячейки имели приблизительно полусферическую форму и, следовательно, $\alpha \approx 2$. Величина α , вычисленная по наблюдавшейся в опытах видимой скорости пламени, как отношение скоростей после и до возникновения ячеек, составляет 1,95 для смеси 10% CH_4 +воздух и 1,5 для смеси 7,5% CH_4 +воздух.

Авторы благодарны Л. А. Ловачеву за участие в обсуждении результатов и замечания.

Поступила в редакцию 20/X 1976,
после доработки — 24/XII 1976

ЛИТЕРАТУРА

1. R. A. Strehlow. Fourteenth Symposium (International) on Combustion, Pittsburgh, 1973.
2. В. Н. Кривулин, Л. А. Ловачев и др. ФГВ, 1975, 11, 6.
3. В. С. Babkin, В. I. Babushok а. о. Archiwum termodynamiki i spalania, 1975, 6, 1.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В УГЛЕВОДОРОДНЫХ ПЛАМЕНАХ

Б. С. Фиалков, Н. Д. Щербаков, В. Т. Плицын

(Караганда)

Интерес к исследованию собственного электрического поля пламени обусловлен прежде всего противоречием между известными представлениями о нейтральности не только пламени в целом [1], но и отдельных его участков, включая и реакционную зону [2], и данными о развитии электронно-ионных явлений при горении, свидетельствующими о существенном различии их интенсивности в различных участках пламени [3, 4]. Последнее наряду с зависимостью подвижности частиц от массы должно, очевидно, способствовать нарушению нейтральности тех или иных зон и соответственно усложнению конфигурации поля.

Величина и распределение собственного электрического поля пламени имеют непосредственное прикладное значение, связанное с получающимися все большее распространение попытками воздействия на процесс горения, с помощью внешних электрических полей [5—7].

Экспериментальное изучение распределения электрического потенциала проведено в ламинарных пламенах (диффузионных и полученных при сжигании предварительно приготовленных смесей метана и пропан-бутана с воздухом). Коэффициент избытка воздуха в смеси изменялся от 0 до 1,2. Постоянство числа Рейнольдса, поддерживающегося во всех экспериментах в пределах 1300÷1360, позволило исключить влияние на конфигурацию поля аэродинамических факторов. Горючий газ смешивался с воздухом в тангенциальном смесителе и в выходном сопле (диаметр 10 мм и длина более 20 калибров) двухпроводной коаксиальной горелки, которые обеспечивали полноту перемешивания и выравнивание скоростного поля потока.

Были приняты меры для надежного экранирования пламени от воздействия внешних полей. С этой целью горелочный комплекс и из-

мерительный зонд помещались внутри объемного проволочного, надежно заземленного экрана. Высота расположения верхней горизонтальной сетки в 3—4 раза превышала высоту видимой границы факела, и температура достигающих ее продуктов горения не превышала 60—70°C. Экранирование при измерениях электрических характеристик пламени — необходимое условие их надежности, так как эксперименты показали, что пламя в силу своей проводимости и диодных свойств, обусловленных неизотропностью последней, обладает существенным коэффициентом усиления внешних сигналов [3].

Основные измерения выполнены с помощью одноэлектродного зонда. Металлическая горелка заземлялась, что позволяло значительно уменьшить размеры зонда и соответственно увеличить разрешение. Это важно при измерениях в нижней части пламени, где, как это видно из дальнейшего изложения, весьма высок градиент потенциала. Все измерения проводятся относительно фиксированной величины — потенциала «Земли». Применение такого зонда позволило значительно уменьшить возмущения газового потока в приэлектродной области. Наконец, благодаря пассивности зонда исключаются искажения поля пламени.

Специально проведенные эксперименты показали, что на результаты измерений значительное влияние оказывает материал электрода. Объяснить это влияние можно различным каталитическим воздействием материала электрода на процессы в пламени. Для уменьшения этого воздействия и обеспечения достаточно высоких механической и химической стойкости электродов при различных коэффициентах избытка воздуха последние были изготовлены из нихрома, обладающего лучшим из исследованных материалов сочетанием перечисленных свойств.

Конструктивно зонд представлял собой цилиндрический электрод диаметром 0,14 мм, выступающий на 1,5 мм из кварцевого капилляра с наружным диаметром 0,25 мм. Зонд перемещался с помощью координатного устройства с электрическим приводом. Использование синхронного электродвигателя и стабилизация питающего напряжения обеспечили постоянство скорости перемещения. Результаты измерений записывались на двухкоординатном самописце. Вдоль одной оси диаграммной бумаги фиксировалась величина, пропорциональная измеряемому потенциалу, вдоль другой — величина, пропорциональная перемещению зонда, определяемая с помощью реостатного преобразователя.

Температура в различных точках пламени измерялась с помощью платина-платинородиевых и хромель-алюмелевых термопар диаметром 0,5 мм. Используемые средства измерения и регистрации имели класс точности не хуже 0,5. На рис. 1, 2 представлены поверхности равных потенциалов и температур в пламенах метана и пропан-бутана при различных коэффициентах избытка воздуха в смеси. Имеет место значительная неоднородность нижней части электрического поля пламени в пределах расположения «голубого» конуса. По мере увеличения содержания кислорода в смеси более отчетливо проявляется эллипсоидоподобность внешней поверхности пламени, опирающейся на наружную кромку горелки. Поверхность, ограничивающая область активного протекания процессов снизу, имеет близкую к колоколообразной форму и опирается на внутреннюю кромку горелки. Характерна упругость этих поверхностей. Измеренное с помощью механотрона сопротивление перемещению зонда при соприкосновении его с поверхностью «голубого» конуса на 3—4 порядка превышало соответствующие величины в других областях пламени или сопротивление эквивалентной по физическим параметрам свободной струи газа аналогичного состава.

Величины сопротивлений поверхностей «голубого» конуса находились в пределах $1 \div 10 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$, а расстояние между внутренней и внешней поверхностями $l = 0,2 \text{—} 1 \text{ мм}$. При изменении коэффициента избыт-

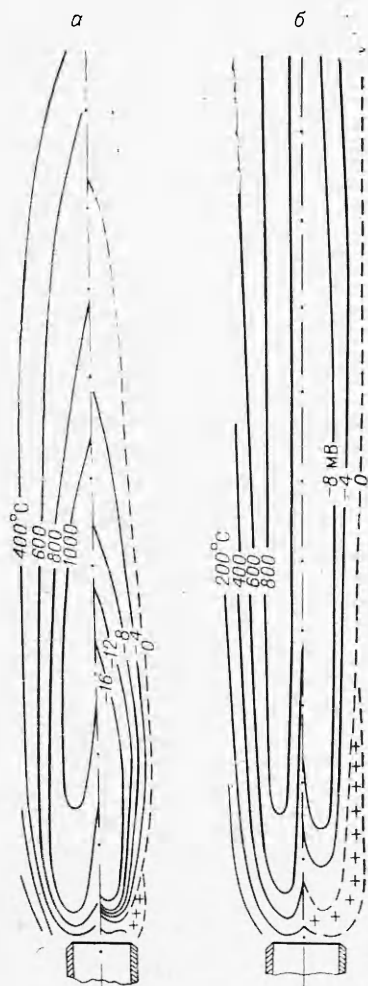


Рис. 1. Осевые сечения полей равных электрических потенциалов (справа) и температур (слева) в пламени метана при различных коэффициентах избытка воздуха (α).

а) $\alpha=1,1$; б) $\alpha=0,4$.

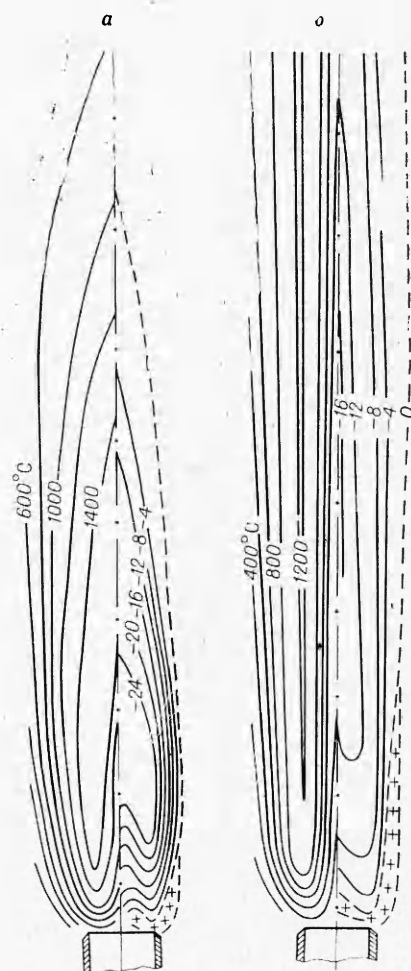


Рис. 2. Осевые сечения полей равных электрических потенциалов и температур в пламени пропан-бутана при различных коэффициентах избытка воздуха. Обозначения аналогичны рис. 1.

ка воздуха от 0,4 до 1,2 отмечено почти линейное увеличение l и величины сопротивления в 2—3 раза. Области, где наблюдались значительные сопротивления перемещению зонда, соответствовали расположению участков собственного поля пламени со значительными градиентами потенциала (см. рис. 1, 2) там, где соприкасаются области положительного и отрицательного потенциалов. Непосредственно вблизи выходного сечения горелки, где область положительных потенциалов распространяется вплоть до оси, или выше «полубога» конуса, где наблюдается лишь отрицательный потенциал, величины сопротивления были, как отмечалось, много меньшими. Это позволяет предположить увеличение поверхностного натяжения поверхности фронта горения под влиянием двойного электрического слоя. Имеет место различие молекулярного состава непосредственно прилегающих друг к другу, но обладающих противоположным потенциалом, областей пламени [4].

Рассмотрим локализацию областей отрицательного и положительного потенциалов, причем последних — у границ зоны активного горе-

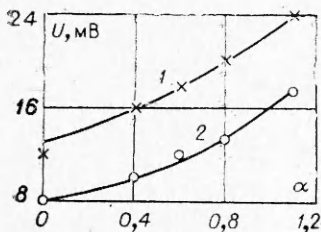


Рис. 3. Зависимость максимального значения электрического потенциала от коэффициента избытка воздуха.
1 — пропан-бутан; 2 — метан.

ния. Области положительного потенциала тяготеют к участкам, где высокий химический потенциал смеси сочетается с наличием в ней свободного кислорода. Здесь наблюдаются и наибольшие градиенты потенциала. Отмечено увеличение развития областей положительного потенциала вдоль внутренних границ зоны активного горения при уменьшении этих областей у наружных границ по мере увеличения коэффициента избытка воздуха в смеси (см. рис. 1, 2).

По сравнению с метаном электрическое поле пламени пропан-бутана более насыщенно, увеличиваются градиенты потенциала по сечению, растут его абсолютные значения (рис. 3).

Наблюдаемая локализация положительных и отрицательных потенциалов является следствием процессов, происходящих во фронте реакции с заряженными частицами разных знаков. Продиффундировавшие в свежую смесь (или к внешним границам пламени) электроны, возникшие при хемиионизации, захватываются молекулами кислорода (при достаточном парциальном давлении) с образованием отрицательных ионов O_2^- . Подвижность отрицательных частиц уменьшается. Вследствие этого положительные ионы с массой, меньшей, чем у иона O_2^- , разлетаются на большие расстояния, чем отрицательные. Отсутствие областей положительных зарядов во внутренних зонах диффузионных пламен и пропорциональность концентрации кислорода в смеси (см. рис. 2, 3), по-видимому, подтверждают подобный механизм локализации потенциалов различных знаков.

Поступила в редакцию 21/XI 1976,
после доработки — 1/III 1977

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Энгель. Ионизованные газы. М., Физматгиз, 1959.
2. Р. М. Фристром, А. А. Вестенберг. Структура пламени. М., «Металлургия», 1969.
3. Б. С. Фиалков, В. Т. Плицын. Кинетика движения и характер горения кокса в доменной печи. М., «Металлургия», 1971.
4. Б. С. Фиалков, В. Т. Плицын и др. ФГВ, 1971, 7, 3.
5. Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. Ионизация в пламени и электрическое поле. М., «Металлургия», 1968.
6. Г. Д. Саламандра. Фотографические методы исследования быстропротекающих процессов. М., «Наука», 1974.
7. Н. А. Исаев. — В сб.: Физика горения и методы ее исследования. Вып. 2. Чебоксары, ЧувГУ, 1972.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ФРОНТА ПЛАМЕНИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Г. Д. Саламандра, Н. И. Майоров

(Москва)

Под влиянием поперечного электрического поля фронт пламени, распространяющийся в горизонтальной трубе, наполненной медленно горящей топливно-воздушной смесью, растягивается. На его поверх-