

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 533.9.082.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
СЕРОУГЛЕРОДНОГО ПЛАМЕНИ**

В. А. Дудкин, В. Б. Либрович, В. Б. Рухин
(Москва)

Исследованию сероуглеродного пламени посвящено большое число работ [1]. В последние годы интерес к пламенам в смеси CS_2-O_2 возрос в связи с неравновесным характером излучения пламени в различных спектральных областях и возможностью получения инверсной заселенности [2]. В работах В. Л. Тальрозе с сотрудниками проводилось исследование спектров излучения при взрыве смеси сероуглерода с кислородом в замкнутом сосуде [3—5]. В [3] было показано, что в ультрафиолетовой части спектра 350—420 нм излучение пламени на порядок превышает спектральную плотность «абсолютно черного тела» при температуре 3500 К, которая соответствует адиабатической температуре взрыва стехиометрической смеси. В [5] примерно в тех же экспериментальных условиях проводилось исследование излучения в инфракрасной области. Измерения привели авторов работы к выводу о том, что основной вклад в излучение дают молекулы CO_2 . Этот вывод подтверждается также масс-спектроскопическим анализом продуктов реакции. В более ранних экспериментальных работах [6, 7], посвященных исследованию стационарного пламени сероуглерода, напротив, было показано, что в холодных пламенах при большом избытке кислорода CO_2 практически не образуется. Однако в работе [8] приведены данные масс-спектрометрического анализа продуктов горения смеси CS_2-O_2 , свидетельствующие о наличии CO_2 .

Различные выводы относительно присутствия в сероуглеродных пламенах молекулы CO_2 , по-видимому, связаны с различными условиями, при которых проводились эксперименты. В связи с этим представляет интерес спектроскопическое исследование стационарного пламени сероуглерода на одной установке при широкой вариации состава смеси и давления. В данной работе приводятся экспериментальные данные по исследованию инфракрасного излучения пламени смеси CS_2-O_2 над плоской горелкой. Спектральная область измерений 4—6 мкм позволяла следить за излучением молекул CO и CO_2 .

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Пламя смеси CS_2-O_2 поджигалось искрой над плоской горелкой 1 с размерами 2×45 см². Конструкция горелки, подробно описанная в [9], обеспечивала равномерное смешение раздельно подаваемых компонентов по всей поверхности горелки. Горелка размещалась внутри цилиндрической вакуумной камеры 2, из которой продукты горения откачивались двумя насосами ВН-6. На торцевых плоскостях камеры крепились окна из флюорита 3 и 4, позволяющие вести наблюдение за горением. Сосуд с газом, от которого регистрировалось излучение, представлял собой цилиндр, параллельный плоскости горелки диаметром 22 мм. Излучение,

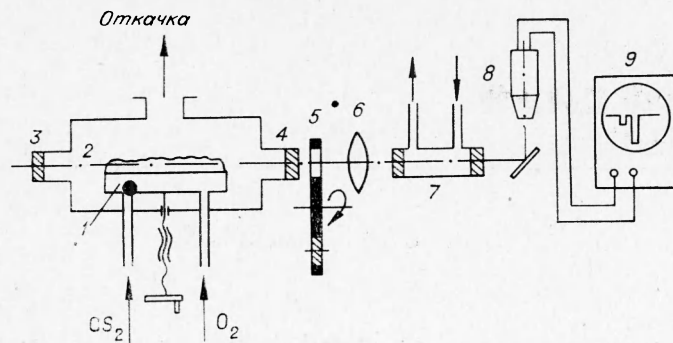


Рис. 1.

прошедшее через флюоритовое окно, модулировалось при помощи обтюратора 5 с частотой 50 Гц. Обтюратор имел два отверстия: одно из них не содержало фильтра, а в другом был помещен фильтр с диэлектрическим покрытием на подложке из NaCl, позволяющий вырезать спектральную область 4—6 мкм (пропускание фильтра в этом интервале не превышало 3%). Линза 6 из NaCl диаметром 3 см и с фокусным расстоянием 30 см фокусировала излучение на фотоприемник 8. Между линзой и приемником в некоторых опытах помещалась кювета 7, которую можно было быстро заполнять CO₂ или откачивать с целью выделения из общего излучения доли, даваемой молекулами CO. Торцевые окна кюветы были изготовлены из NaCl.

Излучение пламени регистрировалось охлаждаемым жидким азотом фотосопротивлением Ge—Au. Данные о спектральной чувствительности приемника приведены в [10]: ширина полосы от 2 до 8 мкм, ее максимум приходится на область 4—5 мкм, а отклонения спектральной чувствительности от среднего значения в области 4—6 мкм невелики и не превышают 20%. В связи с этим влияние спектральной характеристики приемника на результаты измерений невелико и не учитывалось. Сигнал с фотосопротивления подавался на осциллограф С1-15, так что при вращении обтюратора с фильтром на экране осциллографа можно было одновременно видеть полный сигнал от излучения и сигнал от излучения, в котором отсутствовала область 4—6 мкм. Диапазон регистрируемых сигналов составлял величину порядка 10⁻⁵—10⁻⁴ Вт. Инфракрасное излучение от нагретой горелки практически не попадало в поле зрения фотоприемника и, как показали опыты, давало пренебрежимо малый вклад в общее излучение.

На рис. 2 приведены данные о зависимости интенсивности инфракрасного излучения пламени CS₂—O₂ от исходного состава смеси при различных давлениях. По оси абсцисс отложено отношение весовых расходов O₂ и CS₂. Стехиометрический состав, подсчитанный согласно суммарной реакции $CS_2 + 3O_2 = CO_2 + 3SO_2$, соответствует отношению расходов $G_{O_2}/G_{CS_2} = 1,26$. По оси ординат отложена интенсивность инфракрасного излучения. Кривые 1—4 соответствуют давлениям в камере 0,025; 0,015; 0,010; 0,005 атм. Из рис. 2 видно, что при приближении состава к стехиометрии наблюдается резкое увеличение интенсивности излучения. По мере увеличения относительного содержания кислорода в 5—6 раз интенсивность излучения

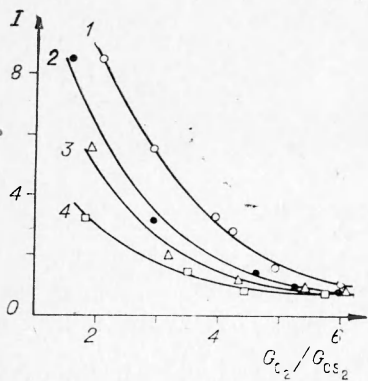


Рис. 2.

уменьшается примерно на порядок и для всех давлений выходит примерно на один и тот же уровень.

Чтобы получить информацию об относительном вкладе изучения молекул CO и CO₂ в суммарное, были выполнены эксперименты с дополнительной кюветой-фильтром, в которую накачивали CO₂ при давлении 1 атм. По данным, приводимым в [11], оптическая плотность слоя порядка единицы для компонентов полосы CO₂ 4,3 мкм получается для $p \approx 1$ атм при толщине поглощенного слоя 0,1 см. В настоящих опытах толщина поглощаемого слоя составляла 15 см, так что оптическая плотность была на два порядка выше и резонансное излучение перехода 001 → 000 полностью поглощалось. При давлениях 1 атм ширина вращательно-колебательных компонентов для CO₂ становится сравнимой с расстоянием между компонентами [12], так что полосы поглощения не прерываются, и кювета служит также фильтром для излучения от лежащих в области 4,3 мкм переходов типа 002 → 001 и т. п. Предварительные опыты с подобным фильтром показали, что при увеличении давления в кювете от 0,1 до 0,5 атм сигнал уменьшался, и уже при давлениях 0,5—1,0 атм величина сигнала, прошедшего через фильтр, практически не зависела от давления CO₂ в кювете. Это позволяло считать, что при давлении газа в кювете 1 атм излучение полностью поглощалось фильтром.

Давление газа в камере в этих опытах поддерживалось постоянным и составляло 0,015 атм, а изменялось отношение весовых расходов G_{O_2}/G_{CS_2} при $G_{CS_2} = 0,2$ г/с. Полученные результаты показаны на рис. 3, построенном в тех же координатах, что и рис. 2. Видно, что вблизи стехиометрического состава, когда интенсивность излучения пламени максимальна, излучение CO₂ составляет заметную долю от общего излучения (30—35%). По мере увеличения относительного содержания кислорода эта доля уменьшается и при $G_{O_2}/G_{CS_2} \geq 7$ излучение CO₂ в пламени практически не наблюдается. Результаты, представленные на рис. 2 и 3, получены в случае, когда оптическая ось находилась на расстоянии 15 мм от поверхности горелки.

Зависимость интенсивности излучения пламени CS₂—O₂ от давления обусловлена в основном следующими факторами: скоростью образования излучающих частиц в единице объема, гасящими процессами, происходящими при соударении частиц, и пространственным распределением зоны химической реакции, попадающим в поле зрения фотоприемника. Если пренебрегать влиянием давления на кинетику химических реакций в пламени, то зависимость концентрации излучающих частиц от давления можно считать линейной. Два других фактора трудно охарактеризовать даже качественно, поскольку пламя в наших условиях является неоднородной средой как по составу, так и по температуре.

В экспериментах, в которых варьировалось относительное содержание исходных компонентов, были исследованы смеси, по составу близкие к применявшимся в работе [5], и смеси, содержащие избыток кислорода, как в работах [6—8]. При этом оказалось, что при стационарном горении стехиометрические смеси CS₂—O₂ характеризуются излучением молекул CO, составляющим 65—70% суммарного излучения, в то время как молекулы CO₂ дают всего 30—35%. Этим стационарное пламя отличается от нестационарного быстрого протекающего процесса — взрыва [5], при котором основными излучателями являлись молекулы CO₂.

При переходе к смесям с избытком кислорода относительный вклад CO увеличивается при уменьшении суммарной интенсив-

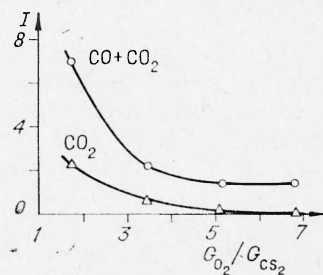


Рис. 3.

ности излучения и при $G_{O_2}/G_{CS_2} \geq 6$ составляет более 90% излучения в области 4—6 мкм. Подобное изменение можно связать с уменьшением температуры пламени при удалении состава горючей смеси от стехиометрического и с обусловленным этим фактом уменьшением скорости реакции окисления СО до CO_2 , поскольку известно [13], что скорость этой реакции сильно зависит от температуры.

Поступила в редакцию
23/VII 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Кондратьев. Кинетика и катализ, 1972, 13, 6, 1367.
2. N. Djeu, H. S. Piloff, S. K. Searles. Appl. Phys., Lett., 1971, 18, 538.
3. Е. Б. Гордон, М. С. Дроздов и др. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, 9, 560.
4. Е. Б. Гордон, М. С. Дроздов и др. Докл. АН СССР, 1974, 214, 4, 846.
5. Е. Б. Гордон, М. С. Дроздов и др. ФГВ, 1974, 10, 1, 15.
6. В. Н. Кондратьев. ЖФХ, 1939, 13, 9, 1260.
7. В. Н. Кондратьев. ЖФХ, 1940, 14, 3, 281.
8. S. K. Searles, N. Djeu. Chem. Phys. Lett., 1974, 12, 1, 53.
9. В. А. Дудкин, В. Б. Рухин. ПТЭ, 1974, 3, 200.
10. М. Н. Марков. Приемники инфракрасного излучения. М., «Наука», 1968.
11. Г. Герцберг. Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул. М., ИЛ., 1949.
12. Ш. Чен, М. Такео. УФН, 1958, 66, 391.
13. О. А. Цуханова. В сб. Кинетика и распространение пламени. М., 1959.

УДК 533.9.07

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНОГО ПЛАЗМЕННОГО КОМПРЕССОРА

А. Е. Войтенко, В. И. Кирко
(Новосибирск)

Существует ряд устройств, в которых плазма создается при газодинамическом сжатии газа с помощью взрыва [1]. Важнейшей для применений характеристикой взрывных источников плазмы является коэффициент полезного действия, определяемый как отношение энергии плазмы к полной энергии взрыва. Расчетное определение КПД затруднено ввиду сложного характера течения (нестационарность, диссоциация и ионизация газа, лучистое охлаждение плазмы и т. д.).

Ниже описывается метод экспериментального определения КПД, разработанный применительно к взрывному плазменному компрессору, который применяется для получения газовых потоков большой скорости [1—6], метания твердых тел [7], создания импульсных источников света [8, 9]. Отличительная особенность проведенных опытов — абсолютный характер измерения энергии с помощью калориметра.

Экспериментальное устройство (рис. 1) состояло из взрывного плазменного компрессора и калориметрической стальной ампулы. Вес заряда (сплав тротил—гексоген), включая линзу, был равен 270 г; полная энергия взрыва 1,3 МДж (удельная энергия приведена в работе [10]). При движении пластины 5 под действием продуктов взрыва пенопласт 6 ударно сжимался, испарялся и превращался в плазму, которая через канал 8 попадала в полость 11 ампулы 9. Принцип дей-