

## ГАЗОВЫЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ ПЛАМЕНА

В. В. Замашников

Институт химической кинетики и горения СО РАН, 630090 Новосибирск, albor@kinetics.nsc.ru

Получено так называемое спиновое распространение пламени предварительно перемешанных горючих газовых смесей. Наблюдалось непрерывное вращательное движение одного, двух и трех очагов пламени.

Ключевые слова: спиновое горение, газовое горение, равномерное распространение пламени.

В работе [1] обнаружено спиновое распространение пламени над смоченной жидким топливом плоской фольгой и фольгой цилиндрической формы. Пары жидкости испаряясь перемешиваются с воздухом, образуя горючую смесь, которая затем сгорает. Поскольку для образования горючей смеси требуется время, пламя не может существовать за фронтом. Очевидно, что, организуя соответствующим образом подачу предварительно перемешанной горючей смеси, можно также добиться спинового распространения пламени. Цель настоящей работы — получить вращающиеся пламена для предварительно перемешанной газовой смеси. Необходимо отметить, что аналогичная задача, только для детонационных волн, ставилась в работе [2]. Более детальное исследование непрерывного сжигания горючих смесей попережными детонационно-подобными волнами в плоских кольцевых камерах проведено в [3].

Экспериментальная установка показана на рис. 1. Она состоит из двух одинаковых металлических круглых пластин диаметром 118 мм, расположенных одна над другой на расстоянии  $\approx 1$  мм. Горючая смесь пропан — воздух подавалась через отверстие в центре нижней пластины. Расход смеси регулировался натекателем и измерялся расходомером. Горение инициировалось с помощью открытого пламени в месте выхода смеси в свободное пространство. Процесс горения регистрировался видеокамерой Hitachi VM 7380E. Эксперименты проводились при комнатной температуре и атмосферном давлении.

При малых расходах горючей смеси пламя после инициирования устремлялось в пространство между дисками и гасло, так как расстояние между дисками меньше критического, равного 1,7 мм [4]. С увеличением расхода волна горения распространялась по

окружности пластин на все большее расстояние от места поджига. Наконец, при расходах, когда средняя скорость горючего газа на выходе из пластин составляла  $\approx 10$  см/с, пламя могло распространяться на всю длину окружности. При этом после поджига либо два очага распространялись навстречу друг другу и гасли в месте встречи, либо, если удавалось инициировать один очаг, волна горения «бегала» по периметру пластин. Таким образом, наблюдалось вращающееся пламя. Отметим, что в работе [2] аналогичная картина наблюдалась после инициирования детонационной волны. Вращающееся пламя могло существовать столь долго, насколько хватало горючей смеси. Обработанное изображение пламени представлено на рис. 2 (кадр 1, съемка проводилась сверху), стрелкой указано направление его вращения. Нужно иметь в виду, что частота съемки 25 Гц и за время экспозиции пламя успевало пройти значительное расстояние. При дальнейшем увеличении расхода становилось возможным одновременное существование двух «бегающих» очагов (кадр 2 на рис. 2), а при еще большем расходе наблюдалось три очага.

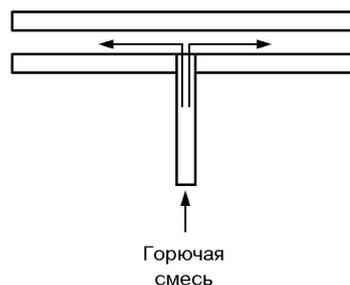


Рис. 1. Схема установки

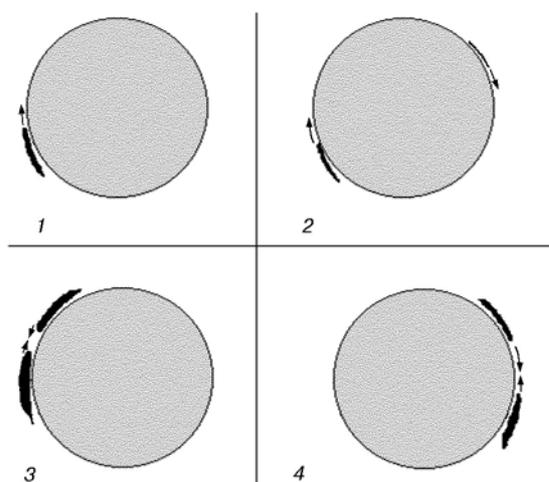


Рис. 2. Обработанные изображения пламен

Вероятно, при определенных условиях можно получить еще больше одновременно существующих очагов. Кроме того, обнаружено, что при достаточно больших расходах два очага, распространяясь навстречу друг другу, в месте встречи не гасли (либо гасли, но свежая смесь поджигалась продуктами горения), а снова распространялись навстречу друг другу (кадры 3, 4 на рис. 2). Такой режим, как правило, долго не существует, вероятно из-за того, что в месте встречи свежая смесь поджигается не всегда. При дальнейшем увеличении расходов горючей смеси на выходе из дискового канала устанавливался факел. На рис. 2 показаны изображения пламен смеси с 5 % пропана (нормальная скорость горения 34 см/с). Вращающиеся пламена наблюдались и для стехиометрической пропановоздушной смеси (нормальная скорость горения 39 см/с). Для бедных смесей (3 и 3,5 % пропана) «бегающее» по кругу пламя зарегистрировать не удалось. Но это не означает, что такое распространение пламени для бедных смесей принципиально невозможно, не исключено, что для этого требуется лишь более тщательный подбор расхода горючего газа. Были измерены скорости движения очагов горения. Они, хотя и не сильно, но зависят от расхода горючего

газа. Для смеси с 5 % пропана на нижнем пределе по расходу смеси скорость перемещения очага  $\approx 104$  см/с, с увеличением расхода она возрастает до  $\approx 124$  см/с. При некоторых расходах возможны как один, так и два очага, одновременно «бегающих» по окружности. Измерения показали, что скорости одиночного очага и каждого из двух очагов одинаковы. Скорость перемещения пламени для стехиометрической пропановоздушной смеси  $\approx 106$  см/с.

Видимая скорость распространения пламени зависит от нормальной скорости горения и коэффициента расширения продуктов сгорания. Так как нормальная скорость на пределе конечна, конечной будет и видимая скорость. За время одного оборота, которое определяется предельной видимой скоростью, истечет определенное количество смеси. Если смеси будет мало, образовавшийся после поджига очаг пламени погаснет из-за теплопотерь в стенки дисков. И только при достаточно больших расходах возможно существование пламени. Однако, так как за фронтом пламени находятся продукты, а перед ним — горючая смесь, пламя распространяется только в одну сторону и наблюдаются вращающиеся пламена. При дальнейшем увеличении расхода смеси становится возможным распространение пламени в обе стороны и устанавливается факел.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коржавин А. А., Бунев В. А., Намятов И. Г., Бабкин В. С. Спиновый режим газофазного горения конденсированного топлива // Докл. АН. 2000. Т. 375, № 3. С. 355–357.
2. Войцеховский Б. В. Стационарная детонация // Докл. АН СССР. 1959. Т. 129, № 6. С. 1254–1256.
3. Быковский Ф. А., Васильев А. А., Ведерников Е. Ф., Митрофанов В. В. Детонационное горение газовой смеси в радиальных кольцевых камерах // Физика горения и взрыва. 1994. Т. 30, № 4. С. 111–119.
4. Стрижевский И. И., Заказнов В. Ф. Промышленные огнепреградители. М.: Химия, 1974. С. 30.

Поступила в редакцию 29/IV 2002 г.