

УДК 536.46

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СПИНОВОГО ФРОНТА ПЛАМЕНИ В ГАЗОВОЙ СМЕСИ

© 2011 г.

В.П. Самсонов, М.М. Алексеев, И.В. Смирнова

Сургутский госуниверситет ХМАО–Югры

amm.iff@gmail.com

Поступила в редакцию 16.05.2011

Экспериментально доказана возможность формирования спиновоего фронта пламени при дефлаграционном горении смеси пропана с воздухом в плоской открытой щели. Обнаружено, что спиновый фронт пламени состоит из головной части полуцилиндрической формы, из которой вытягивается серповидный «ус». Исследовано влияние величины зазора между стенками модельной камеры сгорания и концентрации пропана в смеси с воздухом на закономерности распространения спиновоего фронта пламени. Определены области существования спиновоего пламени в координатах чисел Льюиса и Пекле. Предложен физический механизм, определяющий критические условия формирования спиновоего фронта пламени.

Ключевые слова: горение, пламя, спиновый фронт, спиновый режим, гидродинамическая неустойчивость, теплообмен.

Введение

Исследование спиновых режимов распространения фронтальных химических реакций является актуальной научной задачей для понимания связи гидродинамических, тепловых и диффузионных процессов в реагирующей среде с кинетикой химического превращения вещества. С точки зрения технических приложений феномен спиновоего фронта пламени может быть использован для управления скоростью теплообмена в энергосберегающих камерах сгорания и разработке новых систем зажигания в двигателях внутреннего сгорания. В настоящее время экспериментально и теоретически ведутся исследования двух видов спиновоего распространения волн горения: в конденсированных системах [1] и спиновой детонации в газах [2, 3]. Попытка получить спиновый режим при медленном горении газа в цилиндрически расходящемся потоке вблизи предела гашения ламинарного пламени была принята в работе [4]. Возможное anomальное поведение фронта пламени авторы работ [5–7] связывают с особенностями теплообмена в микроканалах и достижением сверхадиабатической температуры. Тем не менее, достоверные сведения об экспериментальном получении спиновоего фронта пламени при дефлаграционном горении газа в научной литературе до сих пор отсутствуют. Цель настоящего исследования – экспериментальное определение условий фор-

мирования спиновоего фронта пламени в расходящейся волне горения, распространяющейся в смеси горючего газа с воздухом.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Для проведения экспериментов была собрана экспериментальная установка, представляющая собой открытую камеру сгорания, образованную зазором между двумя горизонтальными плоскими пластинами круглой формы, расположенными одна над другой на расстоянии $2 \cdot 10^{-3}$ – $15 \cdot 10^{-3}$ м друг от друга. Диаметр круга равнялся 0.60 м. Смесь пропана с воздухом подавали через отверстие в центре нижней пластины, соединенной со шлангом, по которому поступал газ. Расход газовой смеси в экспериментах контролировали расходомером-счетчиком газа РГС-1. Для приготовления горючей газовой смеси необходимой концентрации с точностью до 0.1% использовали газометр вытеснения. Концентрацию пропана в смеси при проведении экспериментов изменяли от 2.5 до 9%. Зажигание пропано-воздушной смеси производили от искры при высоковольтном разряде между электродами. Для этого электроды размещали в центре отверстия, через которое вводили газовую смесь. Объем газовой смеси, продуваемой через щель перед воспламенением, в 10 раз превышал объем камеры сгорания. Спустя 5 с после заполнения щели газом, инерци-

онные течения исчезали, после чего газ воспламеняли. Фотографирование и видеосъемку процесса распространения фронта пламени производили цифровой видеокамерой со стороны верхней пластины.

Эволюция фронта пламени в условиях плоского микроканала

Изменение ширины щели в ходе проведенных опытов в диапазоне $l = 2 \cdot 10^{-3} - 15 \cdot 10^{-3}$ м позволило установить, что при $l > 8 \cdot 10^{-3}$ м фронт пламени представляет собой почти не искаженную цилиндрическую поверхность, расширяющуюся с постоянной скоростью. Уменьшение ширины щели до величины $l < 5 \cdot 10^{-3}$ м приводит к искривлению фронта пламени. На фронте пламени формируются периодически расположенные возмущения различной длины волны и амплитуды сразу же после воспламенения газовой смеси. Это явление наблюдается при горении смесей как с недостатком, так и с избытком воздуха.

Из проведенных опытов следует, что при

щения его поверхности, которые приводят к винтовому скручиванию «усов» в плоскости, перпендикулярной поверхности стенок камеры сгорания.

Заключение

Из полученных экспериментальных данных следует, что при уменьшении ширины щели до критической величины наблюдается абсолютная гидродинамическая неустойчивость ламинарного фронта пламени, которая проявляется при горении газовых смесей от нижнего до верхнего концентрационного предела воспламенения. Анализ результатов наблюдений позволил построить области существования спинового фронта газоздушного пламени при распространении в безграничной узкой щели в зависимости от чисел Льюиса и Пекле. Использование сложных поверхностей стенок камер сгорания (например, поверхностей коаксиально расположенных цилиндрических труб и т.д.) очевидно позволит получить многообразие форм спинового фронта пламени.

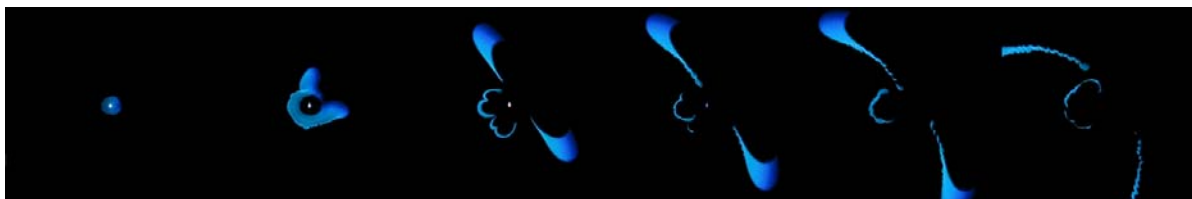


Рис. 1

горении смесей с недостатком воздуха происходит выживание одной пары возмущений с формированием ведущих. На рис. 1 представлены типичные кадры из видеофильма, иллюстрирующие эволюцию двух очагов пламени, сформировавшихся после разрыва фронта, который по аналогии со спиновой детонацией можно называть «спиновым».

Из измерений следует, что угловая скорость вращения очага пламени постоянна и зависит только от состава смеси и ширины щели. Скорости распространения очага пламени от времени в пределах допустимых погрешностей измерений не изменяется и линейно зависит только от ширины щели.

В узком интервале концентраций пропана и расстояний между пластинами наблюдалось формирование протяженного спинового фронта пламени в виде вытягивающихся из задней части ядра спина «усов». Одновременно на внешней части ядра спина развиваются возму-

Список литературы

1. Мержанов А.Г., Руманов Э.Н. Нелинейные эффекты в макроскопической кинетике // Успехи физических наук. 1987. Т. 151, №4. С. 553–593.
2. Солоухин Р.И. Детонационные волны в газах // Успехи физических наук. 1963. Т. 80, №4. С. 525–551.
3. Щелкин К.И. Неустойчивость горения и детонации газов // Успехи физических наук. 1965. Т. 87, №2. С. 273–302.
4. Замашиков В.В. Газовые вращающиеся пламена // Физика горения и взрыва. 2003. Т. 39, №2. С. 9–10.
5. Минаев С.С. и др. Разделяющиеся пламена в узком канале с градиентом температуры в стенках // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45, №2. С. 12–19.
6. Фан А. и др. Динамическое поведение разделяющихся пламен в канале с подогревом // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45, №3. С. 12–18.
7. Fengshan L., Omer L.G. Effects of pressure and preheat on super-adiabatic flame temperatures in rich premixed metan. Air Flames // Combustion Science and Technology. 2008. V. 180. P. 437–452.

PROPAGATION LAWS OF SPIN FLAME FRONT IN A GAS MIXTURE*V.P. Samsonov, M.M. Alekseev, I.V. Smirnova*

The possibility of forming of the spin flame front during deflagration combustion of propane-air mixture in a flat open slit is experimentally proved. It was found that the spin flame front consists of a head of semicylindrical shape, from which a crescent «tail» stretches. The effect of the size of the gap between the walls of the model combustion chamber and the concentration of propane mixed with air on the laws of the spin flame front distribution are investigated. The areas of existence of the spin flame are determined in the coordinates of the Lewis and Peclet numbers. The physical mechanism that defines the critical conditions for the formation of the spin of the flame front is proposed.

Keywords: combustion, flame, spin front, spin mode, hydrodynamic instability, heat transfer.