

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ТУРБУЛЕНТНОЕ ГОРЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ВОДОРОДА С УГЛЕВОДОРОДАМИ

В. П. Карпов, Е. С. Северин
(Москва)

В настоящее время водород и добавки водорода к углеводородам рассматриваются в качестве возможных вариантов перспективных топлив. Использование водорода обосновывается высокими скоростями горения и возможностью использования сильно обедненных смесей. Преимущества таких смесей с точки зрения снижения токсичности выхлопных газов очевидны. Данные по величинам ламинарных скоростей горения воздушных смесей водорода с добавками углеводородов известны [1]. Турбулентные скорости пламен таких смесей представляют несомненный интерес. Методика изучения турбулентного горения в условиях постоянного объема с турбулизирующими мешалками наиболее подходит для этой цели.

В данной работе экспериментально определены турбулентные скорости выгорания воздушных смесей водорода с метаном или пропаном при разных пульсационных скоростях и составах смесей. Используемое оборудование и метод измерения описаны в [2]. Опыты проведены при комнатной начальной температуре и атмосферном давлении.

Результаты экспериментов представлены на рис. 1. Температура продуктов горения смесей ~ 1850 К. Цифры у кривых обозначают объемную долю водорода в топливе. Максимальные скорости турбулентного выгорания метано-воздушной смеси с $\alpha=1,1$ изображены на рис. 1 штриховой кривой. Из рис. 1 видно, что замена в смеси 30% метана водородом позволяет провести процесс сжигания с такой же высокой ско-

Рис. 2. Влияние добавок пропана (а) и метана (б) к бедной водородно-воздушной смеси с $\alpha=4$ на зависимость $w(u'_e)$.

1 — $H_2+2 (O_2+3,76 N_2)$, $u_{л}=0,15$ м/с, $T=1050$ К; 2 — $0,9H_2+0,1CH_4+2 (O_2+3,76N_2)$, $u_{л}=0,13$ м/с, $T=1250$ К; 3 — $0,9H_2+0,1CH_4+2,6 (O_2+3,76N_2)$, $u_{л}=0,06$ м/с, $T=1050$ К; 4 — $H_2+0,05C_3H_8+2 (O_2+3,76N_2)$, $u_{л}=0,2$ м/с, $T=1350$ К; 5 — $H_2+0,2C_3H_8+2 (O_2+3,76N_2)$, $u_{л}=0,47$ м/с, $T=2050$ К; 6 — $H_2+0,3C_3H_8+2 (O_2+3,76N_2)$, $u_{л}=0,55$ м/с, $T=2350$ К.

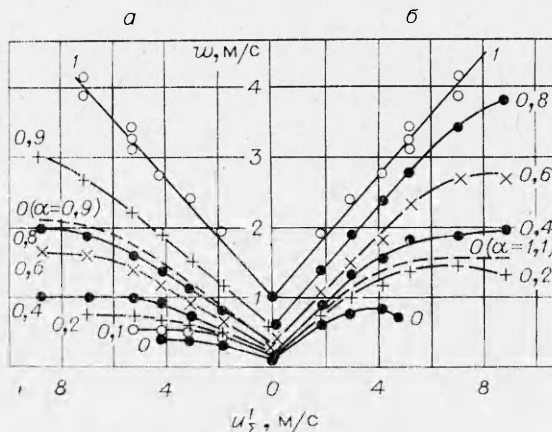
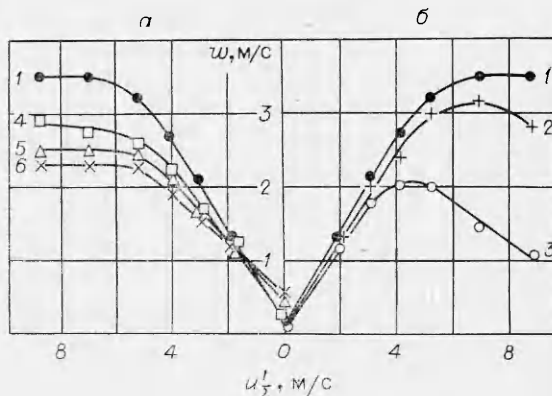


Рис. 1. Зависимость турбулентной скорости выгорания w от пульсационной скорости u'_e воздушных смесей водорода с пропаном (а) и метаном (б) при постоянном коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1,4$.



ростью. Для пропано-воздушной смеси максимальная скорость выгорания соответствует $\alpha=0,9$ и также нанесена штрихом. В этом случае требуется замена более 80% пропана в топливе на водород, чтобы достичь максимальной скорости выгорания. Даже по массовой доле для достижения максимальной скорости требуется в 3 раза большая замена водородом пропана, чем метана. Пропан по характеристикам горения — аналог бензина, поэтому из рис. 1 можно заключить, что эффективно процесс сжигания бедных смесей можно провести только с небольшими добавками бензина к водороду. При сжигании бедных смесей метана добавки водорода более эффективны.

Рассмотрим изменение турбулентных скоростей выгорания бедной водородно-воздушной смеси при добавлении углеводородов. Как видно из рис. 2, для водородно-воздушной смеси максимальное значение турбулентной скорости выгорания составляет 3,5 м/с при температуре продуктов 1050 К. Добавки пропана обогащают смесь, увеличивают температуру продуктов и ламинарную скорость пламени u_L , но уменьшают турбулентную скорость выгорания. На рис. 2 показано влияние замены 1/10 объемной доли водорода в смеси на метан. При этом смесь также обогащается, ее температура увеличивается, но при этом уменьшается скорость ламинарного пламени и турбулентная скорость выгорания. Если для тех же долей водорода и метана оставить температуру горения такой же, как у водородной смеси, то происходит резкое падение u_L и w . Результаты с добавками метана объясняют занижение на 30% турбулентной скорости выгорания смеси с $\alpha=4$, измеренной в работе [3] при добавлении к смеси городского газа для ионизации. Большая скорость выгорания бедной водородно-воздушной смеси с $\alpha=4$ подтверждает вывод, сделанный в [2] о влиянии числа Льюиса (отношения молекулярных коэффициентов диффузии недостающего компонента к коэффициенту температуропроводности смеси) на величину турбулентной скорости выгорания. Анализ шпирен-фотографий ламинарных пламен показывает, что в случае бедной водородно-воздушной смеси имеет место развитая ячеистая структура пламени. Добавки к такой смеси (см. рис. 2, 1) углеводорода, например смесь 6 (см. рис. 2), приводит к снижению дробления поверхности горения ламинарного пламени. По-видимому, эффективная величина числа Льюиса уменьшается при добавлении пропана или метана к бедной водородно-воздушной смеси и одновременно определяет структуру ламинарного фронта пламени и величину турбулентной скорости выгорания.

Поступила в редакцию
3/XII 1979

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Н. Хитрин. Физика горения и взрыва. М., 1957.
2. В. П. Карпов, Е. С. Северин. ФГВ, 1978, 14, 2, 33.
3. В. П. Карпов, Е. С. Северин.— В сб.: Горение гетерогенных и газовых систем. Черноголовка, 1977.

О НЕУСТОЙЧИВОМ РЕЖИМЕ ГОРЕНИЯ ТОНКОЙ ПЛАСТИНЫ

Т. П. Ивлева, К. Г. Шкадинский
(Черноголовка)

Неустойчивость фронта горения конденсированных веществ с конденсированными продуктами реакции — хорошо известный факт [1—4]. Наиболее интересными и сложными для исследования являются закономерности неустойчивого горения, характер которых зависит от свойств горючего, условий горения геометрических характеристик образца. В данном сообщении рассматривается неустойчивый режим безгазового горения достаточно длинной и тонкой пластины конечной ширины L .

Упрощая анализ, введем, подобно [5], осредненную по толщине температуру и глубину превращения, которые удовлетворяют следующей системе дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + (1 - \eta) \exp [\Theta / (1 + \beta \Theta)] - \alpha (\Theta - \Theta_n),$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial \tau} = \gamma (1 - \eta) \exp [\Theta / (1 + \beta \Theta)]$$