

ПРОМОТИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ РАСПЫЛЕННОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА

С. М. Когарко, В. Я. Басевич

В различных устройствах для сжигания топлива благодаря рециркуляции в свежую топливно-воздушную смесь подмешиваются продукты сгорания. При этом повышается температура свежей смеси и в нее попадает избыточное (сверхравновесное) количество активных центров, образующихся при горении. В экспериментах с гомогенными топливно-воздушными смесями углеводородов [1, 2] при неизменной температуре и при предварительном введении активных центров горения типа гидроксила, атомов кислорода и водорода наблюдалось улучшение и ускорение процессов горения: сокращалась задержка самовоспламенения, ламинарная и турбулентная скорости распространения пламени увеличивались, пределы стабилизации и зажигания пламени расширялись.

Горение капель — диффузионный процесс, скорость которого определяется не химической реакцией, а скоростью процессов переноса. При впрыске топлива в подогретый воздух начинается испарение, и состояние двухфазных топливно-воздушных смесей непосредственно перед зоной горения можно характеризовать степенью испарения (отношением паровой фазы к общему количеству топлива). При малой степени испарения, когда топливо впрыскивается в относительно холодный воздушный поток, горение является действительно чисто диффузионным: около капель образуются зоны горения, подобные зонам горения одиночных капель, в которых скорость горения подчиняется квадратичному закону, связывающему диаметр капли и время ее горения [3, 4]. При достаточно большой степени предварительного испарения наблюдается изменение механизма: в пламени образуется самостоятельная зона горения паровоздушной смеси, аналогичная зоне горения гомогенных топливно-воздушных смесей, в которой и за которой протекает диффузионное горение капель топлива [5] (смешанный гомогенно-диффузионный механизм).

Цель настоящей работы — исследование возможности промотирования горения распыленных жидких топлив в различных условиях.

Опыты проводились на установке с турбулентным потоком при атмосферном давлении (рис. 1). Воздух поступал в трубопровод с электроподогревателем 1, к нему присоединялась камера сгорания 6 постоянного сечения 40×70 мм с кварцевыми боковыми окнами. В камере сгорания с помощью плохо обтекаемого тела 7 размером 20 мм пламя стабилизировалось.

Источником активных центров являлась водородная горелка 3, размещавшаяся на расстоянии $L=200$ мм от стабилизатора 7. При работе горелки путем изменения расхода сжигаемого водорода создавались избыточные сверхравновесные концентрации активных ча-

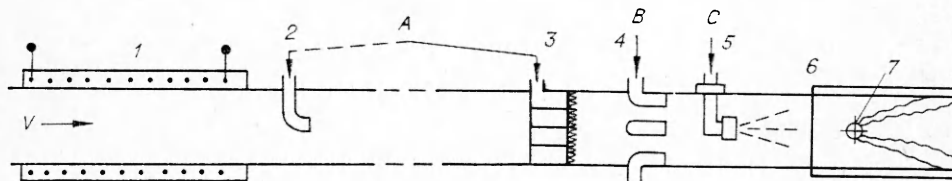


Рис. 1. Схема установки.
A — подача H_2 ; B — подача C_2H_2 ; C — подача C_nH_m или C_16H_{34} .

стиц (атомов и радикалов O, OH и H). Одновременно увеличивалась температура и скорость потока, снижалась концентрация кислорода и появлялись пары воды.

Чтобы воспроизвести подобные условия, но практически без активных центров, в трубопроводе на расстоянии $L=3000$ мм от камеры сгорания 6 устанавливалась горелка 2, в которой сжигалось такое же количество водорода. За время пребывания в трубопроводе происходит рекомбинация активных частиц. Время жизни последних при атмосферном давлении составляет несколько миллисекунд. Для компенсации теплоотвода в стенки трубопровода и поддержания заданной температуры в камере сгорания в этом случае включался электроподогреватель 1. Перед входом в камеру сгорания устанавливалась форсунка 5 для впрыска жидкого топлива и смеситель 4 для подачи газа, так что имела возможность проводить опыты как с распыленным жидким топливом, так и с гомогенными смесями.

Во всех описываемых опытах массовый расход воздуха поддерживался постоянным, а изменение скорости потока и его температуры являлось следствием изменения количества сжигаемого водорода в горелках 2 или 3. Степень турбулентности на входе в камеру сгорания составляла $\sim 7\%$.

При работе водородных горелок в камере сгорания перед стабилизатором измерялась концентрация атомарного кислорода и гидроксила. Концентрация атомарного кислорода определялась по известной методике [6] путем фотометрирования абсолютного выхода света в реакции $O + NO \rightarrow NO_2 + h\nu$. Концентрация гидроксила OH определялась спектроскопическим методом линейчатого поглощения [7]. Концентрация атомов водорода оценивалась расчетным путем в предположении «квазиравновесности» между концентрациями O, OH и H.

При сжигании в водородной горелке 3 2,4—4,2% H_2 от общего расхода воздуха температура потока возрастала до 200—350°C и концентрации составляли: $[O] = (4,5-8) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $[OH] = (2,5-5) \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Приблизительно такой же порядок величины имела концентрация атомов [H].

В качестве топлива применялся керосин (C_nH_m) с пределами кипения 140—300°C и цетан ($C_{16}H_{34}$) с температурой кипения 280°C. Для впрыска топлива применялась центробежная форсунка. Качество распыливания определялось парафиновым методом. Первоначальное распределение капель по размерам соответствовало среднему диаметру около 100 мкм. Степень испарения перед стабилизатором оценивалась по содержанию испаренной части топлива в потоке. Для этого из потока медленно отсасывался газ, который анализировался на содержание топлива. При температуре потока 200°C для керосина степень испарения составляла приблизительно 60% и увеличивалась до 90% при температуре 350°C. Для цетана такая же степень испарения достигается при 300—350°C.

В первой серии опытов определялись пределы стабилизации пламени по обеднению. Для проведения опыта устанавливался поток воздуха с определенной температурой и концентрацией активных частиц. Вблизи стабилизатора топливно-воздушная смесь приблизительно стехиометрического состава поджигалась искрой. Для получения бедного предела срыва количество подаваемого топлива уменьшалось, а предел срыва определялся визуально. На рис. 2, 1, 2 представлены пределы срыва для гомогенных топливно-воздушных смесей, когда через газовый смеситель подавался пропан. Видно, что в диапазоне температур 200—350°C и соответственно скоростей 40—53 м/с коэффициент избытка воздуха на срыве при отсутствии активных центров ($L=3000$ мм) составляет $\alpha=2,0-2,1$, а при наличии активных центров ($L=200$ мм) $\alpha=2,3-2,6$.

На рис. 2, 3 представлены пределы срыва для распыленного жидкого топлива по среднему коэффициенту избытка воздуха. Эти пределы оказались шире, чем для гомогенной смеси. Для керосина при температурах менее 200°C пределы срыва при наличии и при отсутствии активных частиц совпадают. При более высоких температурах и, следовательно, в присутствии активных центров ($L=200$ мм) пределы становятся шире. Расширение пределов при 350°C достигает приблизительно 20% по содержанию топлива. Для цетана ($C_{16}H_{34}$) при температурах менее 300°C эффект промотирования не обнаруживается, но четко проявляется при температуре 350°C. Для керосина и цетана механизм горения соответственно при температурах более 200 и 300°C по внешнему виду пламени следует отнести к смешанному гомогенно-диффузионному.

Во второй серии опытов определялся нижний предел зажигания топливно-воздушной смеси от пилотного пламени. Для этого вместо стабилизатора в камеру сгорания выводилась трубка-горелка диаметром 5 мм, через которую подавался газ и на срезе которой поддерживалось небольшое стационарное пилотное пламя. После установления потока с заданной температурой и концентрацией активных частиц подавалось топливо. При некотором значении α происходило воспламенение смеси, и это значение принималось за предел зажигания. Пределы зажигания зависят от мощности пилотного пламени, но в данной серии опытов она не варьировалась. На рис. 3, 2 показаны пределы зажигания гомогенной пропано-воздушной смеси. Они соответствуют коэффициенту избытка воздуха 2,1—2,2 при отсутствии активных частиц и 2,4—2,8 при подаче активных частиц в диапазоне температур 200—350°C. На рис. 3, 1 приводятся пределы зажигания для распыленного керосина. В том же диапазоне температур они заметно уже, чем для гомогенной смеси, и составляют: $\alpha=1,9-1,7$ при отсутствии и $\alpha=1,9-2$ при введении активных частиц. Для цетана опытные данные не приводятся, так как от использовавшегося пилотного пламени зажигание его смесей удавалось получить только при температурах более 350°C.

Из полученных данных следует, что для гомогенных смесей уже при температуре 200°C в потоке содержится достаточное количество активных центров и появляется эффект промотирования. В случае распыленного топлива при температурах менее 200°C для керосина и менее 280°C для цетана степень испарения мала и преобладает диффузионный механизм горения. Промотирование не может обнаружиться, поскольку в этом случае скорость горения определяется скоростью процессов переноса, а не скоростью химической реакции. При температурах более 200°C для керосина и 280°C для цетана, когда степень испарения возрастает, образуется самостоятельная зона горения паров с кислородом воздуха и механизм горения распыленного топлива становится гомогенно-диффузионным; эффект промотирования наблюдается так же, как и при горении гомогенных смесей.

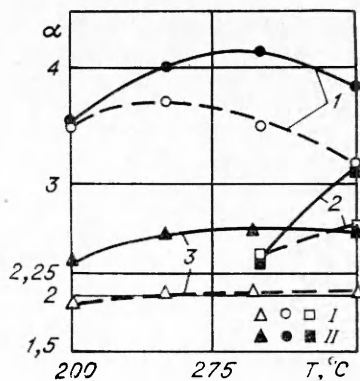


Рис. 2. Пределы стабилизации гомогенных смесей и распыленного топлива.

I — $L=3000$ мм; II — $L=200$ мм.
1 — C_7H_{16} ; 2 — $C_{16}H_{34}$; 3 — C_8H_8 .

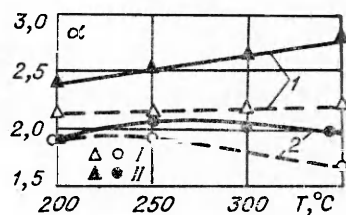


Рис. 3. Пределы зажигания, распыленного топлива (1) и гомогенных смесей (2).

I — $L=3000$ мм; II — $L=200$ мм.

Когда рассматривается влияние подмешивания к свежей смеси продуктов сгорания, например в результате рециркуляции, в первую очередь принимается во внимание вызываемое этим подмешиванием повышение температуры. Результаты проведенных опытов показывают, что заметную роль в ходе дальнейшего горения может играть и вводимое в свежую смесь избыточное сверхравновесное количество активных центров. Теоретическое объяснение явления промотирования для гомогенных смесей получено в [2]. Для распыленного топлива количественные расчеты представляются более сложными, но качественная основа объяснения остается и здесь той же.

Различные конструктивные меры, сводящиеся к созданию или сохранению избыточных концентраций активных частиц (уменьшение времени пребывания, устранение поверхностей, способствующих рекомбинации), позволяют использовать и усиливать эффект промотирования.

*Институт химической физики
АН СССР,
Москва*

*Поступила в редакцию
11/XI 1975*

ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Когарко, М. И. Девишев, В. Я. Басевич. ЖФХ, 1959, 33, 2345.
2. В. Я. Басевич, С. М. Когарко. ФГВ, 1969, 5, 99.
3. G. A. E. Godsave. 4-th Symposium (International) on Combustion, Williams and Wilkins Co, 1953, p. 819.
4. В. Я. Басевич, С. М. Когарко. Изв. АН СССР, ОТН, сер. Metallургия и топливо, 1960, 3, 121; 8-th Symposium (International) on Combustion, Williams and Wilkins Co, 1962, p. 1113.
5. С. М. Когарко, В. Я. Басевич. Изв. АН СССР, ОТН, сер. Metallургия и топливо, 1961, 4, 138.
6. А. В. Кармилова, В. Н. Кондратьев. ЖФХ, 1951, 25, 312.
7. В. Н. Кондратьев. Свободный гидроксил. М., ГОНТИ, 1939.

ОБРАЗОВАНИЕ РАСКАЛЕННЫХ ТЕЛ НА ПОВЕРХНОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ ДОБАВКАМИ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА

Р. К. Тухтаев, В. В. Александров, В. В. Болдырев

В [1] было обнаружено необычное действие ряда добавок на горение дины. Необычность состоит в том, что увеличение скорости происходит резко («скачком») и лишь спустя некоторое время после зажигания (рис. 1, а, излом на регистрограмме), в момент, когда на горячей поверхности из продуктов превращения добавки образуются конденсированные тела, разогревающиеся за счет гетерогенных реакций до температуры $\sim 1000^\circ\text{C}$. Позднее было установлено [2], что в случае хромсодержащих добавок активным веществом, ответственным за эффект является окись хрома, образующаяся в волне горения.

Интересно было проверить, являются ли обнаруженные явления характерными только для дины, или они носят более общий характер. С этой целью было опробовано действие соединений шестивалентного хрома на горение самых различных систем.

Сжигание проводилось при атмосферном давлении, на воздухе. В опытах использовались образцы цилиндрической формы высотой