

по длине, вносят свой вклад в суммарное уменьшение полноты сгорания. Вследствие обратного влияния частиц на газ (см. рис. 2) увеличение массовой доли частиц в потоке при незначительном содержании металла (в данном случае до 2—3 % от общей массы продуктов сгорания) повышает общую полноту сгорания металла, поскольку относительное содержание окисляющих реагентов меняется незначительно.

На рис. 5 приведена зависимость отношения времени сгорания частиц к времени пребывания их в канале от относительной координаты, откуда частицы начинают свое движение. При  $\tau_{*i}/\tau_{прi} \leq 1$  частицы полностью сгорают. Резкий рост зависимости в конце канала при  $x/L \rightarrow 1$  и в большей степени для частиц больших размеров объясняется нелинейностью  $\tau_{*}(x/L)$  и ускорением потока. Суммарная полнота сгорания  $\phi = 0,995$ .

Таким образом, в данной работе предложена численная методика, позволяющая проводить расчеты двухфазного течения смеси газа с горящими частицами металла. На модельном примере показаны количественные оценки скоростной и температурной неравновесности при определении времени пребывания полидисперсных частиц металла в полузамкнутом канале и полноты их сгорания. Исследовано влияние концентрации и размеров частиц. Установлена роль обратного влияния частиц на газ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Похил П. Ф., Беляев А. Ф., Фролов Ю. В. и др. Горение порошкообразных металлов в активных средах.— М.: Наука, 1972.
2. Бабук В. А., Белов В. П., Ходосов В. В. и др. ФГВ, 1985, 21, 3, 20.
3. Григорьев В. Г., Куценогий К. П., Зарко В. Е. ФГВ, 1981, 17, 4, 3.
4. Стернин Л. Е., Маслов Б. Н., Шрайбер А. А. и др. Двухфазные моно- и полидисперсные течения газа с частицами.— М.: Машиностроение, 1980.
5. Гусаченко Л. К. ФГВ, 1981, 17, 1, 140.
6. Яненко И. И., Солоухин Р. И., Папырин А. И. и др. Сверхзвуковые двухфазные течения в условиях скоростной неравновесности частиц.— Новосибирск: Наука, 1980.
7. Васенин И. М., Архипов В. А. и др. Газовая динамика двухфазных течений в соплах.— Томск: Изд-во ТГУ, 1986.
8. Медведев А. Е., Федоров А. В., Фомин В. М. ФГВ, 1984, 20, 2, 3.
9. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред.— М.: Наука, 1978.
10. Белоцерковский О. М., Давыдов Ю. М. Метод крупных частиц в газовой динамике.— М.: Наука, 1982.

Поступила в редакцию 15/IX 1987,  
после доработки — 15/XII 1987

УДК 536.462

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕГО ТОПЛИВА

*Ю. П. Бабаков, Ю. С. Иващенко, В. А. Новиков,  
А. Л. Садырин, С. И. Яковлев  
(Люберцы, Красноярск)*

Одна из особенностей плазмообразующих топлив, продукты сгорания которых используются в качестве рабочего тела импульсных геофизических МГД-генераторов [1], состоит в наличии ионизирующейся присадки (обычно нитратов цезия и калия [2]), которая обеспечивает требуемый уровень электропроводности продуктов сгорания. В работе [3] высказана гипотеза о диспергировании такой присадки с поверхности горения плазмообразующего топлива в виде расплавленных частиц (капель). В этом случае возможно объяснение эффекта снижения уровня электропроводности продуктов сгорания по сравнению с расчетным за счет незавер-

Состав	Удельная электрическая проводимость, См/м при $p$ , атм		
	2	4	6
А	0,1(4·10 <sup>-4</sup> )	0,08(3·10 <sup>-4</sup> )	0,06(2,4·10 <sup>-4</sup> )
Б	1,3(6,9)	0,37(4,46)	0,135(2,71)

Примечание. В скобках приведены расчетные значения ( $\sigma_p$ ).

шенности испарения частиц присадки в объеме камеры сгорания геофизического МГД-генератора.

Для подтверждения данного предположения экспериментально исследована удельная электрическая проводимость продуктов сгорания образцов модельных топливных композиций, аналогичных представленным в [2]. Измерения проводили с помощью электрического зонда по методике [4] с использованием переменного тока частотой 4 кГц. Зонд состоял из двух вольфрамовых электродов диаметром 100 мкм, расположенных в образце топлива на расстоянии 3,5 мм друг от друга. При сгорании образца зонд, оставаясь неподвижным, последовательно проходил через горящую поверхность и газовую фазу. На расстоянии 1,6—3,5 мм от поверхности топлива электроды обгорали, что фиксировалось падением тока, протекающего через зонд. Удельную проводимость продуктов сгорания определяли по вольт-амперным характеристикам зонда с учетом диаметра электродов, расстояния между ними и коэффициента растекания тока [5]. Для сравнения измерения проведены на двух топливных композициях: состав А (баллиститная основа) и Б (баллиститная основа + 20,5 %  $\text{KNO}_3$ ).

Максимальные значения измеренной удельной проводимости продуктов сгорания  $\sigma_n$  в сравнении с расчетными значениями  $\sigma_p$  представлены в таблице при различных давлениях  $p$  сжигания образцов топлива. Величины  $\sigma_p$  рассчитывали с учетом только термической ионизации по методике [6], разработанной для термодинамических и электрофизических характеристик продуктов сгорания многокомпонентных топливных смесей и имеющей погрешность не более 15—20 % [7]. В связи с этим различие  $\sigma_n$  и  $\sigma_p$  продуктов сгорания плазмообразующего топлива Б может объясняться только особенностями поведения ионизирующейся присадки в волне горения.

Измеренные значения  $\sigma_n$  для состава А более чем на 3 порядка превышают расчетные, что обусловлено неравновесной (химической) ионизацией в пламени [8]. В присутствии ионизирующейся присадки  $\text{KNO}_3$  (состав Б) термическая ионизация продуктов сгорания возрастает примерно на 4 порядка. Однако  $\sigma_n$  при этом в 5—20 раз меньше  $\sigma_p$ . Поскольку время ионизации паров присадки на 1—2 порядка меньше времени полного испарения ее частиц размером 50—200 мкм, используемых в составе Б, то можно считать, что низкий уровень  $\sigma_n$  свидетельствует о неполноте испарения частиц  $\text{KNO}_3$  [9]. Для состава Б значения  $\sigma_n$  пропорциональны доле испарившейся присадки. С учетом этого можно утверждать, что при горении топлива типа Б ионизирующаяся присадка  $\text{KNO}_3$  частично (5 ÷ 20 %) испаряется непосредственно с поверхности горения, остальная масса присадки диспергируется в виде частиц (капель), полное испарение которых может завершаться на значительном удалении от горячей поверхности [3]. Эффект уменьшения доли испарившейся присадки на горячей поверхности и соответственно проводимости продуктов сгорания с ростом давления от 2 до 6 МПа (см. таблицу) объясняется уменьшением времени пребывания частиц присадки на поверхности топлива вследствие изменения скорости горения топлива  $u$ , которая возрастает с давлением ( $u \sim p^{0.5-0.6}$ ).

Таким образом, экспериментально подтверждена гипотеза о диспергировании основной массы ионизирующейся присадки с поверхности го-

рения плазмообразующего топлива в виде частиц (капель), что необходимо учитывать при проектировании камер сгорания геофизических МГД-генераторов для обеспечения полноты испарения присадки и реализации расчетных электрофизических параметров продуктов сгорания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Морохов И. Д., Велихов Е. П., Волков Ю. М. Атомная энергия, 1978, 44, 3, 213.
2. Bangerter C. D., Peterson A. C., Convert E. E. // Proc. 8th Symp. on Engng Aspects of MHD.— Stanford, Calif.: Stanford Univ. Press, 1967.
3. Венгерский В. В., Бабаков Ю. П., Бордаков В. Н. и др. // Матер. Всесоюз. конф. «Применение аппаратов порошковой технологии и процессов термосинтеза в народном хозяйстве». — Томск, 1987.
4. Иващенко Ю. С., Зенченко В. М., Павленко В. Л. и др. ФГВ, 1984, 20, 5, 55.
5. Иоссель Ю. Я. Расчет потенциальных полей в энергетике. — Л.: Энергия, 1978.
6. Чернов Ю. Г., Сахаров Б. Б., Гуревич М. И. — М., 1981. — (Препр./АН СССР. ИАЭ; 3522/16).
7. Недоспасов А. В., Побережский Л. П., Чернов Ю. Г. Состав и свойства рабочих тел МГД-генераторов открытого цикла. — М.: Наука, 1977.
8. Calcote H. F. Comb. Flame, 1981, 42, 3, 215.
9. Магнитогидродинамическое преобразование энергии. Открытый цикл/Под ред. Б. Я. Шумяцкого, М. Петрика. — М.: Наука, 1979.

Поступила в редакцию 3/XI 1987,  
после доработки — 14/IV 1988

УДК 541.128 + 543.42 + 536.46 + 537.212

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ИОНОВ В ПЛОСКОМ ДИФФУЗИОННОМ УГЛЕВОДОРОДНОМ ПЛАМЕНИ

*В. И. Ботова, Б. С. Оспанов, Б. С. Фиалков*  
(Караганда)

Результаты исследований электрофизических аспектов окисления и горения углеводородов и связи электронно-ионных явлений с механизмом образования активных центров уже сейчас используются при разработке систем контроля и управления этими процессами [1—4]. Успех создания и внедрения подобных устройств в различных отраслях промышленности, связанных с сжиганием топлив, во многом будет зависеть от степени знания механизма последнего с рассмотрением причин появления заряженных частиц, их связи с радикальными реакциями.

Цель настоящей работы — экспериментальное исследование распределения атомов Н, радикалов и отрицательных ионов в плоском диффузионном пламени пропан-бутана. Для стабилизации факела использовалась диффузионная горелка Вольфгарда — Паркера с аргонной защитой. В качестве окислителя бралась смесь  $O_2$  и  $N_2$ , соответственно с расходами 0,64 и 1,9 л/мин, при этом расход топлива составлял 0,12 л/мин. Для изучения распределений атомов Н в пламени использовались метод ЭПР и зондовая техника, при идентификации радикалов, кроме того, применялся вымораживающий узел.

Пробы из пламени оттягивались кварцевым микрозондом (диаметр напускного отверстия порядка 30 мкм), который вводился в горизонтально расположенный факел, перпендикулярно к направленному течению смеси. Зондирование пламени осуществлялось либо со стороны топлива, либо со стороны окислителя. За начало отсчета принималась перегородка между топливом и окислителем, на расстоянии  $0,15 \pm 0,01$  мм от которой в сторону окислителя формировался фронт. Ионный состав пламени изучался масс-спектрометрически по методике, описанной в [5].

Изучение формы спектров ЭПР показало, что она меняется в зависимости от точки зондирования (рис. 1). В области топлива ( $r = -1,5$  мм) при зондировании со стороны кислорода наблюдается чистый