

случае отсутствия поля. Это говорит об изменении теплового потока от пламени к жидкости при наложении электрического поля. Данный результат качественно согласуется с данными работы [3], в которой обнаружена существенная деформация фронта пламени при соответствующем изменении средней скорости выгорания.

Качественно наблюдаемый эффект может быть объяснен следующим образом. Как известно [4], во фронте пламени имеются тяжелые положительные ионы, которые по массе превосходят присутствующие в этой же области пламени отрицательные ионы. При наложении поля, в соответствии с [1, 2], возникает «ионный ветер», т. е. направленное движение газа, вызываемое увлечением движущимися ионами электрически нейтральных молекул. Направление «ионного ветра» совпадает с направлением движения более тяжелых ионов (в данном случае положительных). При подаче на кольцевой электрод положительного потенциала «ионный ветер» должен деформировать пламя [3], приближая его к поверхности жидкости. За счет этого возрастает тепловой поток на поверхность жидкости и увеличивается скорость ее выгорания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаутон Д., Вейнберг Ф. Электрические аспекты горения.— М.: Энергия, 1976.
2. Степанов Е. М., Дьячков Б. Г. Ионизация в пламени и электрическом поле.— М.: Металлургия, 1968.
3. Гуляев Г. А., Попков Г. А., Шебеко Ю. Н. и др. Тез. докл. науч.-практ. семинара по электрофизике горения.— Караганда, 1988.— С. 21; ЖФХ.— 1989.— 63, № 9.
4. Фялков А. Б., Фялков Б. С. Ионный состав пламени пропан — бутан — воздух при пониженном давлении // ФГВ.— 1985.— 21, № 3.— С. 32.

г. Балашиха

Поступила в редакцию 3/IV 1990

УДК 614.841.12

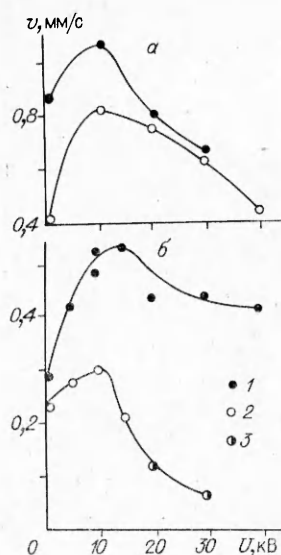
А. Ф. Пантелеев, Г. А. Попков, С. Г. Цариченко, Ю. Н. Шебеко

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПЛАМЕНИ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА

Экспериментально исследовано влияние переменного электрического поля (частота 50 Гц) на скорость распространения пламени по поверхности резинового кабеля. Найдено, что зависимость скорости распространения от величины приложенного электрического потенциала имеет максимум при $U = 10-15$ кВ для аргоно- и азотнокислородной окислительной среды. Наблюдаемые эффекты объяснены в рамках представления о влиянии «ионного ветра» на процесс горения.

Как известно [1, 2], электрическое поле способно влиять на процессы горения веществ в различных агрегатных состояниях. Причем в зависимости от геометрии и напряженности поля возможна как интенсификация, так и подавление горения. Наибольшее число имеющихся в литературе работ посвящено газофазным пламенам (см., например, [3—5]), в существенно меньшей степени изучены вопросы воздействия полей на пламена твердых топлив. Следует отметить работу [6], в которой найдено, что наложение электрического поля может существенно увеличить скорость распространения пламени по поверхности твердого топлива, в то время как уменьшение скорости пламени возможно только в замкнутых системах. Отмечено, что скорость пламени в присутствии поля может быть увеличена до 200 раз, а в незамкнутой системе замедления пламени получить не удается. В полужамкнутой системе скорость пламени можно уменьшить до 10 раз.

Качественно близкие к этому результаты получены в ряде работ, цитированных в [1]. Необходимо отметить также работы [7, 8], где



Зависимость $v(U)$ для смесей O_2 : инерт = 3:5 (а) и 1:1 (б).

1, 2 — аргоно- и азотнокислородная окислительная среда соответственно; 3 — гашение пламени, прошедшего расстояние 20 мм ($U = 20$ кВ) и 4 мм ($U = 30$ кВ).

изучены некоторые аспекты влияния поля на горение твердых веществ. Анализируя приведенные в упомянутых выше работах данные, можно сделать вывод о том, что механизм и закономерности влияния электрического поля на пламена твердых топлив изучены недостаточно для прогнозирования хотя бы качественного характера эффекта в том или ином конкретном случае. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию воздействия переменного электрического поля на скорость распространения пламени по поверхности полимерного материала.

Экспериментальная установка включала в себя кварцевую трубу с внутренним диаметром 50 и высотой 1000 мм, установленную вертикально, проточный смеситель газов, расходомеры, источник высокого переменного (частота 50 Гц) напряжения и газовую горелку для зажигания исследуемого образца, размещенного по оси трубы. Образец представлял собой участок четырехжильного электрического кабеля с резиновой изоляцией диаметром 15 и длиной 50 мм, внутри которого был вставлен металлический стержень диаметром 2 мм. На этот стержень подавали переменный электрический потенциал $U = 0 \div 40$ кВ.

Через трубу прокачивали окислительную среду, представлявшую собой смесь кислорода с инертным газом (азотом или аргоном) 1:1 или 3:5. Выбор обогащенной кислородом окислительной среды обусловлена необходимостью обеспечения устойчивого распространения пламени сверху вниз по поверхности полимерного материала, которого не удается достичь в случае исследованных образцов при горении в воздухе. Линейная скорость движения газа по трубе составляла около 4 см/с.

Образец поджигали газовой горелкой у его верхнего конца и наблюдали распространение пламени сверху вниз. В опытах фиксировали полное время прохождения пламенем от верхнего до нижнего конца образца и на основе этого вычисляли среднюю скорость распространения пламени в зависимости от величины приложенного электрического потенциала. Относительная погрешность измерения скорости пламени и электрического потенциала не превышали 10 %.

При наложении электрического поля качественно изменяется поверхность пламени, на которой развиваются газодинамические возмущения, обусловленные «ионным ветром». Пламя, как и в случае газоразрядного горения [9], приобретает характерную цветкообразную форму. Резко возрастает интенсивность сажеобразования. В некоторых опытах от поверхности образца до стенок трубы возникали сажевые нити, появление которых приводило к закорачиванию электрической цепи и прекращению воздействия поля на пламя (поверхность пламени в результате сразу же становилась гладкой).

Зависимость средней скорости распространения пламени v от величины приложенного электрического потенциала представлена на рисунке. Видно, что с увеличением U до 10—15 кВ скорость пламени растет, а затем уменьшается. Наличие максимума обусловлено, на наш взгляд, влиянием «ионного ветра». При относительно малых (до 10—15 кВ) потенциалах «ионный ветер» интенсифицирует газообмен вблизи поверхности твердого материала, облегчая доступ окислителя в зону горения. При более высоких потенциалах доминирует, вероятно, механизм роста теплопотерь из фронта пламени за счет увеличения его поверхности.

В некоторых случаях (см. рисунок, а) наблюдается даже гашение пламени на некотором расстоянии от места зажигания.

В случае разбавления кислорода аргоном заметны более высокие скорости распространения пламени по сравнению со случаем разбавления азотом. Это обусловлено, на наш взгляд, более высокой модельной теплоемкостью азота. С повышением содержания кислорода в окислительной среде скорость распространения пламени возрастает из-за роста скоростей химических реакций, а также из-за более интенсивного нагрева и газификации твердого материала в силу увеличения температуры пламени. Однако при переходе от азота к аргону и изменении содержания кислорода в окислительной среде ни характер кривых зависимости $v(U)$, ни положение их максимумов практически не изменяются, что свидетельствует о вероятном отсутствии нетепловой специфики азота по сравнению с аргонem (такая специфика выявлена в [10, 11] для газофазных пламен) и тем самым о влиянии поля на пламя в настоящих экспериментах преимущественно по механизму «ионного ветра». При этом, однако, нельзя отрицать и возможную существенную роль влияния электрического поля на химическую кинетику. Окончательный ответ на вопрос о механизме влияния поля должны дать последующие эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаутон Д., Вейнберг Ф. Электрические аспекты горения.— М.: Энергия, 1976.
2. Степанов Е. М., Дьячков Б. Г. Ионизация в пламени и электрическом поле.— М.: Металлургия, 1968.— 311 с.
3. Малиновский А. Э. Роль заряженных частиц в процессах горения и взрыва // Социалистическая реконструкция и наука.— 1934.— № 7.— С. 24—37.
4. Jagers H. C., Von Engel A. The effect of electric fields on the burning velocity of various flames // Combust. Flame.— 1971.— 16, N 3.— P. 275—285.
5. Дашевский В. Н. Воздействие электрического поля на процесс фильтрационного горения // Электрофизика горения.— Чебоксары: ЧувГУ, 1990.— С. 44—45.
6. Mayo P. J., Watermeier L. A., Weinberg F. J. Electrical control of solid propellant burning // Proc. Roy. Soc.— 1965.— A 284, N 1399.— P. 488—498.
7. Абруков С. А., Исаев Н. А. К вопросу о влиянии электрического поля на горение конденсированных систем // ФГВ.— 1975.— 11, № 1.— С. 77.
8. Баранов А. А., Булдаков В. Ф., Шелухин Г. Г. Влияние электрического поля на скорость горения гетерогенных конденсированных систем // Там же.— 1976.— 12, № 5.— С. 43.
9. Гуляев Г. А., Понков Г. А., Шебеко Ю. Н. О влиянии постоянного электрического поля на горение смеси пропан — бутан с воздухом // Там же.— 1985.— 24, № 4.— С. 24—25.
10. Фялков А. Б., Ларионова И. А., Калинин К. Я. и др. Роль молекулярного азота в формировании ионов в пламени // Электрофизика горения: Тез. докл. XIV Всесоюз. семинара по электрофизике горения.— Челябинск: ЧувГУ, 1991.— С. 8—9.
11. Гуляев Г. А., Понков Г. А., Шебеко Ю. Н. Об эффектах синергизма при совместном действии электрического поля и инертного разбавителя на газофазные пламена // ФГВ.— 1987.— 23, № 2.— С. 57—60.

г. Балашиха

Поступила в редакцию 27/IX 1991

УДК 621.762.32 : 621.762.016(088.8)

О. Ю. Ефимов, Н. Г. Зарипов, В. Н. Блошенко, В. А. Бокий

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫДЕЛЕНИЙ СВОБОДНОГО С В TiC, ПОЛУЧЕННОГО СИНТЕЗОМ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ

Исследована морфология выделений свободного углерода в карбиде титана, полученного методами СВС и теплового взрыва, и рассмотрены механизмы образования выделений в зависимости от температуры горения. Показано, что независимо от состояния углерода в исходной смеси и типа реакции в TiC при температуре горения менее 2400 °С наблюдаются остатки непрореагировавшего углерода, при $T_r = 2400 \div 2700$ °С — пленки графита, выстилающие поверхности пор, и при $T_r > 2700$ °С углерод входит в состав эвтектики TiC — C. Непрореагировавшая сажа выносится из