

эффектами [6] и длиннопериодические пульсации волны. Однако последние могут иметь и иное объяснение. Не исключено, что происходит периодическое зарождение обычной структуры с ударным фронтом в газе продуктов, натекающих в исходную вакуум-взвесь из зоны реакции. Явление требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Митрофанов В.В. Детонационные волны в гетерогенных средах. — Новосибирск: изд. НГУ, 1988. — С. 75—76.
2. Беляев А.Ф., Харитонов Ю.Б. О передаче детонации между инициирующими взрывчатыми веществами // ЖЭТФ. — 1937. — 7. — С. 198—202.
3. Ждан С.А. Структура детонационных волн в вакууме с частицами унитарного топлива // ФГВ. — 1991. — 27, № 6. — С. 109—115.
4. Ждан С.А. Безударное инициирование детонации в вакууме с частицами унитарного топлива // ФГВ. — 1992. — 28, № 4. — С. 136—142.
5. Бакиров И.Т., Митрофанов В.В. Высокоскоростная двуслойчатая детонация в системе ВВ — газ // Докл. АН СССР. — 1976. — 231, № 6. — С. 1315—1318.
6. Загуменнов А.С., Титова Н.С. и др. Детонация удлиненных зарядов с полостями // ПМТФ. — 1969. — № 2. — С. 79—83.

630090, г. Новосибирск,
ИГиЛ СО РАН

Поступила в редакцию 1/Х 1993

УДК 621.454.3

*Д.М. Захаренко, Ю.С. Иващенко, А.Л. Садырин,
С.И. Яковлев*

АКТИВАЦИЯ ГОРЕНИЯ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Попытки регулирования процесса горения твердого ракетного топлива путем наложения электрических полей были предприняты в середине шестидесятых годов [1]. При этом получено увеличение массовой скорости горения алюминизированного топлива на 10 % при атмосферном давлении и более эффективное воздействие на скорость распространения пламени по поверхности заряда. В работе [2] описано влияние продольного постоянного электрического поля на скорость горения гетерогенных конденсированных систем. Увеличение скорости горения, сопровождаемое пробоем пламенного промежутка, происходило при подводимой мощности около 1 кВт и составляло до 10 % при атмосферном давлении за счет джоулева нагрева. Влияние дугового разряда постоянного тока на воспламенение и горение твердого ракетного топлива исследовано в [3]. Установлено, что пороговое значение тока, ниже которого влияние тока на скорость горения отсутствует, равно 10 А. При этом требуемая для управления процессом горения электрическая мощность составляет 2—5 кВт.

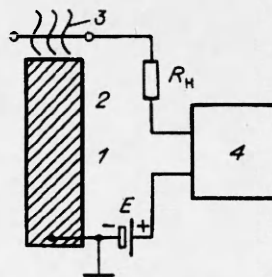
В предлагаемой работе испытан способ воздействия на скорость горения баллиститного пороха продольного электрического поля между электродом в пламени и электропроводящей подвижной поверхностью горения. Постоянный электрический контакт с последней осуществлялся с помощью сгорающих пленочных электродов, нанесенных на боковую поверхность образцов торцевого горения. Исследовалось горение модельного пороха, содержащего 40 % нитроглицерина и 60 % нитроцеллюлозы.

Использовались образцы прямоугольного сечения 7×10 мм и длиной 50—70 мм. На большие боковые грани образцов напылением в вакууме

© Д.М. Захаренко, Ю.С. Иващенко, А.Л. Садырин, С.И. Яковлев, 1994.

Функциональная схема подведения напряжения к зоне горения твердого топлива.

1 — образец топлива; 2 — пленочный электрод; 3 — вольфрамовый электрод в пламени; 4 — светолучевой осциллограф.



нанесены электроды из олова, боковая поверхность покрывалась тонким слоем парафина.

Конденсированные системы обладают сравнительно высокой электропроводностью поверхности горения (порядка $0,01 - 10 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$) из-за присутствия в поверхностном слое частиц сажи и металла [4]. При горении образуется подвижной электрод в виде поверхности горения, электрический контакт с которой непрерывно поддерживается с помощью сгорающего пленочного электрода. В качестве вспомогательного использовался вольфрамовый электрод диаметром 1 мм, расположенный в пламени над поверхностью горения. В результате роль второго электрода практически играл столб пламени, обладающий электропроводностью за счет ионизационных процессов в нем, электрический контакт с которым осуществлялся с помощью вольфрамового электрода.

На рисунке дана схема подведения напряжения к электродам. Вспомогательный вольфрамовый электрод имел положительную полярность, а пленочный электрод и, таким образом, поверхность горения — отрицательный. Запись тока в цепи осуществлялась с помощью светолучевого осциллографа. Напряжение E источника постоянного тока изменялось от 250 до 1100 В. Для ограничения тока в цепи использовано нагрузочное сопротивление $R_n = 1 \div 3 \text{ кОм}$. Кроме того, в блоке питания применялась автоматическая система защиты от перегрузки по току.

Измерение скорости горения производилось акустическим методом (методом акустической эмиссии) в ультразвуковом диапазоне частот с помощью накладного пьезоэлектрического датчика. Одновременно с целью обнаружения прогаров с помощью акустического метода контролировалась массовая скорость горения (по интенсивности акустической эмиссии). Ниже приведены результаты воздействия на скорость горения образцов пороха при напряжении источника питания 1000 В и различных давлениях.

p , МПа	U_0 , мм/с	U_e , мм/с	$k = U_e/U_0$
2	7,40	29,5	4,0
4	11,35	56,8	5,0
6	14,60	76,5	5,2
8	17,50	96,2	5,5
10	20,10	113,2	5,6

Рабочий ток в цепи во всех случаях не превышал 100 мА (ток срабатывания защиты блока питания), составляя в среднем 50 мА. Повышение скорости горения образцов при приложении продольного поля весьма значительно и достигает $k = U_e/U_0 \approx 5$, где U_e — скорость горения образцов при приложенном напряжении.

Переполяризация электродов на эффект практически не влияет. Минимальным активирующим напряжением при этом являлась величина 500 В. Аналогичные результаты получены для металлизированных составов, а также для составов с легкоионизируемыми добавками. В последнем случае за счет повышения электропроводности столба пламени пороговое активирующее напряжение снижалась до 250 В. При росте E выше порогового эффект увеличения скорости горения не изменялся (оставался постоянным).

При горении топлива эффект активации горения по мере ухода поверхности горения от электрода в газе может исчезать из-за возрастания сопротивления столба пламени и падения напряжения на нем. Этого не наблюдается при достаточно высокой электропроводности пламени. В то же время воздействие поля на горение топлив с малой электропроводностью пламени эффекта увеличения скорости горения не дает.

Умеренная величина тока воздействия (менее 100 мА) по сравнению с работой [3], где использованы токи до 50 А, не объясняет увеличения скорости горения за счет джоулева нагрева (1—2 % от тепла, выделяемого в пламени).

Для объяснения наблюдаемого эффекта предложен стримерный (плазмохимический) механизм активации процесса горения. Стримерная корона представляет собой разряд, развивающийся в пародымогазовой среде, а возможно, предварительно и в пламени, в виде множества тонких проводящих нитей (зон энерговклада) вдоль направления поля между фронтом пламени и поверхностью горения. В результате в стримерах происходит наработка химически активных частиц с последующими реакциями этих частиц вблизи поверхности. При этом возможно лавинообразное (цепное) развитие стримеров. В этом случае можно ожидать тушащего влияния на развитие стримеров электроотрицательных газов. Стримерный характер активации процесса горения подтверждается записями осциллограмм шумового тока в цепи питания схемы и возрастанием уровня шума акустической эмиссии на высоких частотах. Кроме того, существование порогового значения напряжения, активизирующего горение, свидетельствует о наличии напряжения зажигания стримерной короны (микродуг).

Таким образом, существует эффективный способ воздействия на горение баллистичных топлив путем наработки активных частиц в микродугах вблизи поверхности при шнуровании электрического разряда. При этом потребляемая стримерным разрядом электрическая мощность незначительна. Несомненно, требуется дальнейшее исследование метода, в том числе в приложении к смесевым конденсированным системам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаутон Дж., Вайнберг Ф. Электрические аспекты горения. — М.: Энергия, 1976. — С. 245—248.
2. Баранов А.А., Булдаков В.Ф., Шелухин Г.Г. Влияние электрического поля на скорость горения гетерогенных конденсированных систем // ФГВ. — 1976. — 12, № 5. — С. 689.
3. Татибана Т., Кимура И. Управление воспламенением и горением ТРТ дуговым разрядом на постоянном токе // Аэрокосмическая техника. — 1988. — 12. — С. 172—178.
4. Иващенко Ю.С., Комаров А.С., Павленко В.Л. Исследование электрофизических характеристик к-фазы при горении порохов баллистичного типа // ФГВ. — 1975. — 11, N 2. — С. 213—317.

660049, г. Красноярск,
Сибирский технологический институт

Поступила в редакцию 17/VI 1993

УДК 621.7.044.2

О.Г. Епанчинцев, А.А. Дитятьев

СТАБИЛЬНОСТЬ ФУЛЛЕРЕНОВ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ И СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Анализ направлений легирования фуллеренов, обеспечивающих возможность повышения температуры сверхпроводящего перехода фуллеренидов, показал [1] перспективность формирования металл-фуллереновых эндоэдральных комплексов (МФЭК), состоящих из фуллерена и активного металла (Li, Na, K, Mg, Ba, Y, La и др). Последний поставляет электроны во внутреннюю полость фуллерена. Такие комплексы используются в качестве основы для получения фуллеренидов щелочных металлов с повышенной температурой сверхпроводящего перехода.

Высокие давления, под действием которых фуллереновый каркас становится лабильным [2], интересно применить к задаче получения МФЭК. В

© О.Г. Епанчинцев, А.А. Дитятьев, 1994.