

УДК 533.6.01.72

Исследование взаимодействия долгоживущих плазменных образований со сверхзвуковым потоком и препятствием

В. А. Битюрин, В. Ю. Великодный

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

E-mail: oivtran@oivtran.ru

В. В. Попов, И. А. Самулис

Институт прикладной механики РАН, Москва, Россия

Создана установка для получения долгоживущих плазменных образований. Проведены исследования физических характеристик долгоживущих светящихся образований, получаемых при горении эрозионного разряда в гетерогенной микрокапельной среде воздуха и электролита. Получены с большой вероятностью светящиеся долгоживущие объекты и проведено исследование взаимодействия данных объектов с проводящим экраном и магнитным полем. Экспериментально обнаружено, что данные образования содержат в себе нескомпенсированный заряд. Предложена физическая модель данного явления и реализован вариант пробоя значительного разрядного промежутка ~ 1 м в гетерогенной среде микрокапель электролита и воздуха при относительно малых потенциалах 600—800 В.

PACS: 52.50.-b

Введение

В работах Н. Тесла [1] отмечено, что плазма, содержащая продукты эрозии электродов или продукты конденсации от специально испаряемой восковой подложки, обладает рядом уникальных свойств. В частности, отмечалось большое время жизни (~ 1 с) этих плазменных образований. Впоследствии эти результаты были повторены в большом числе экспериментальных работ [2—4]. Цель данной работы — получение устойчивых во времени плазменных образований в сверхзвуковом потоке гетерогенной среды при наличии эрозионного разряда и исследование взаимодействия полученных светящихся образований с проводящим экраном и магнитным полем, разработка физической модели процесса.

Получение долгоживущих плазменных образований

Для получения долгоживущих плазменных образований была использована идея эрозионного разряда, впервые реализованная в работах Н. Тесла [1, 2]. Для реализации эрозионного разряда использовался воск. Для этого один из электродов — анод частично смазывался воском, который также служил защитой электрода (его металлической части) от интенсивной эрозии. В

качестве рабочей среды использовался сверхзвуковой поток воздуха (на выходе из сопла Лавалья (число Маха $M = 1,7$) измерения проводились трубкой Пито) и мелкодисперсных [5] капель электролита высокой концентрации (раствор воды и поваренной соли с концентрацией $C = 25$ г/л). В результате эксперимента реализовывались два варианта: пробой в значительном разрядном промежутке ~ 1 м (подразумевается промежуток вне электродов, т. е. одним электродом является анод, а другим — заземленный корпус установки или окружающее пространство) при относительно малых напряжениях 600—800 В и долгоживущие плазменные образования с высокой вероятностью (~ 10 и 90 % линейных пробоев). В сухом воздухе пробой в таком промежутке соответствует разности потенциалов в 10^6 В. В результате

испарения воска с анода и последующей его конденсации в сверхзвуковом газокapelном потоке образуются кластеры и клубки из биологического полимера (воска). Вследствие большей подвижности электроны "прилипают" к этим восковым образованиям (т. е. попадают в потенциальные ямы полимера). В это время положительные ионы уносятся сверхзвуковым потоком газа. Таким образом, появляется значительное макроскопическое разделение заряда в пространстве.

Описание установки и эксперимента

Установка для представленного эксперимента состоит из нескольких частей (рис. 1). В баллоны 3 под давлением в 8—10 атм накачивается газ (в данной работе — воздух). Объем резервуара для сжатого воздуха — 480 л. Часть потока электролита (насыщенный раствор воды и поваренной соли) подается в закритическую часть сопла Лавала 4, где смешивается со сверхзвуковым потоком воздуха. Вторая часть потока электролита насыщается пузырьками воздуха в барботере (образуется пористый электролит) и подается в разрядный промежуток между катодом и анодом через отверстия. Для этого один из электродов — катод 6 — выполнен из медной трубки с отверстиями 7, направленными в сторону второго электрода —

анода 10. На анод перед каждым экспериментом наносится тонкий (~0,1 мм) слой воска по части поверхности (внешний размер камеры с электродами 120×50×35 мм, толщина стенок 10 мм). Пористый электролит готовится в барботажной секции 14, представляющая собой камеру, в которую подается воздух 16 через мембрану с микроскопическими отверстиями ($d \sim 100$ мкм) и смешивается с электролитом 15, образуя пористый электролит (пузырьковая смесь с высоким объемным газосодержанием $\phi \sim 0,3$ —0,92 (рис. 2). Обычно при течении пузырьковой смеси в каналах при $\phi > 0,3$ происходит переход из пузырькового режима течения в поршневой [6]. Реализация пузырькового режима течения при $\phi > 0,3$ является непростой инженерной задачей, которая была решена нами ранее [7].

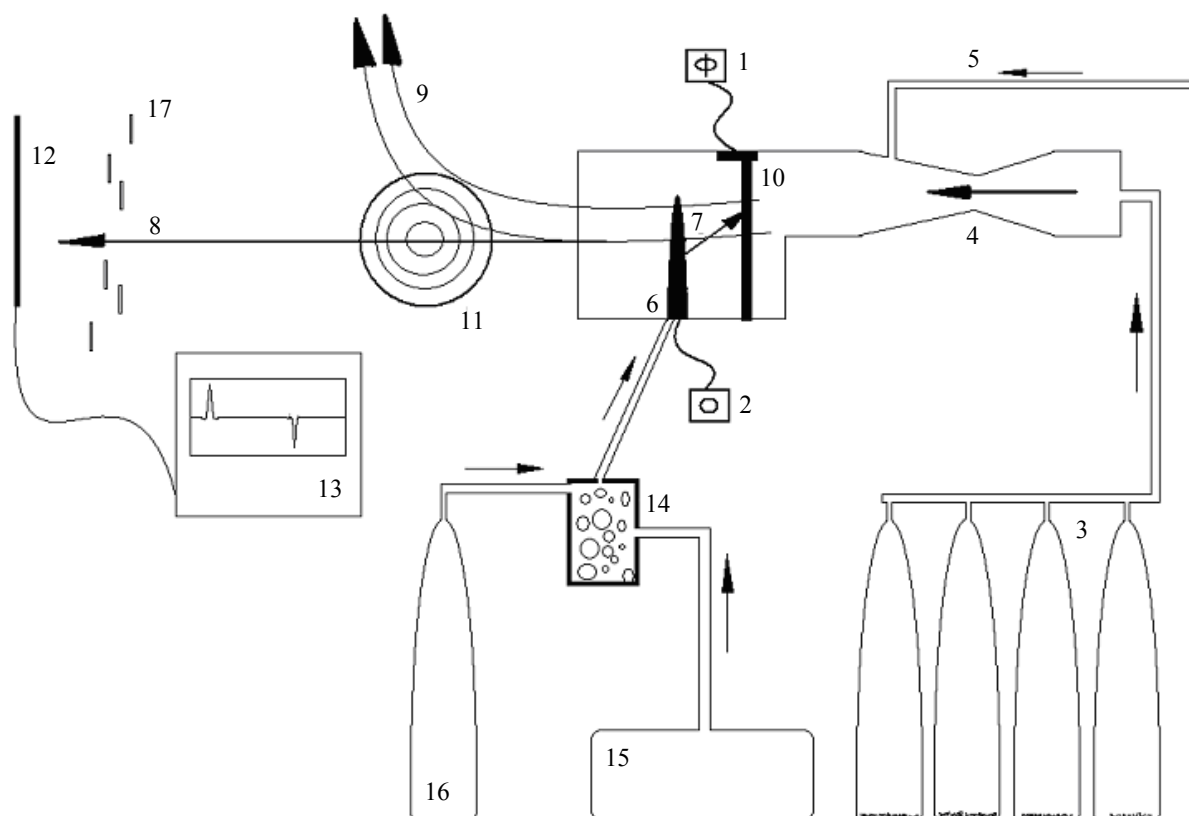


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 — подача напряжения на анод; 2 — подача напряжения на катод; 3 — балластная система подачи сжатого газа в рабочую часть канала; 4 — сопло Лавала; 5 — подача электролита в закритическую область сопла Лавала; 6 — электрод—катод (выполнен из медной трубочки с отверстиями, направленными в сторону другого электрода, для замыкания пористым электролитом разрядного промежутка); 7 — поток пористого электролита замыкает разрядный промежуток (создаются необходимые условия для рождения объемно-диффузионного разряда); 8 — направление движения светящихся шаровых плазменных образований в отсутствие магнитного поля; 9 — отклонение от прямолинейного движения шаровых плазменных образований в присутствии сильного магнитного поля; 10 — электрод—анод с напылением из воска; 11 — постоянные магниты (образуют магнитное поле, отклоняющее заряженные образования); 12 — проводящий экран; 13 — осциллограф; 14 — барботажная система для создания пористого электролита; 15 — электролит; 16 — сжатый газ; 17 — предметные стекла

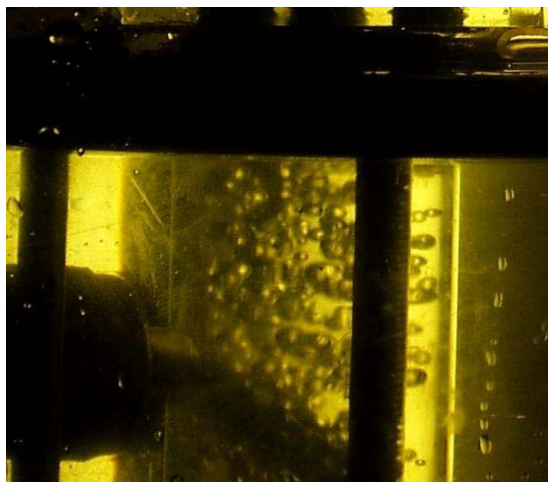


Рис. 2. Характерный размер пузырьков

Из фотографий (рис. 2) легко можно определить размер пузырьков относительно штанги в устройстве барботера (черная вертикальная полоса), размер которой известен и составляет $D = 6$ мм.

Во время эксперимента открываются клапаны подачи воздуха и пористого электролита, а затем на электроды подается напряжение (расстояние между электродами ~ 1 см). После этого происходит собственно эксперимент. Производится кино-фотосъемка: в непрерывном режиме снимаются осциллограммы с проводящего экрана, помещенного на значительном расстоянии от разрядного промежутка (~ 1 м).

Работа установки в режиме получения долгоживущих плазменных образований показана на рис. 3, из которого видно, как плазменное образование рождается в разряде, отделяется от основной части разряда и в то время, когда разряд уже исчез, продолжает двигаться, и находится вне рабочей части установки. При исчезновении плазмоида образуется нечто похожее на полутуберанец: реализуется локальный пробой в сторону заземленного корпуса установки (рис. 4). Одним из качественных подтверждений этому является святящееся образование, имеющее некомпенсированный заряд.

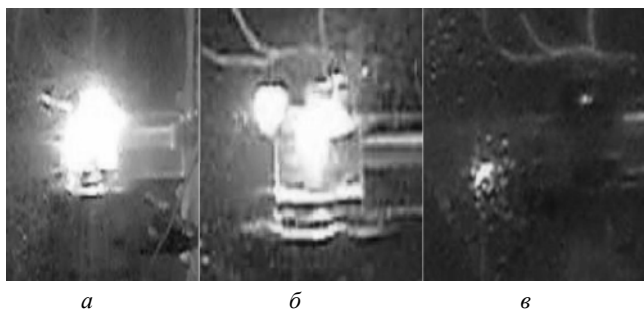
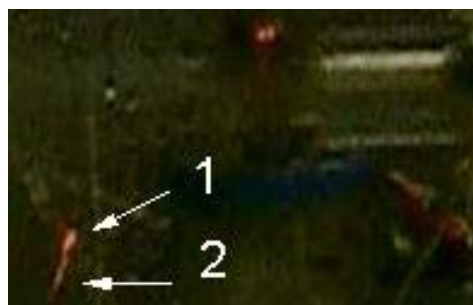


Рис. 3. Получение плазменного образования:

a — линейный пробой; b — рождение и отрыв святящегося образования от линейного разряда; $в$ — его жизнь вне разрядного промежутка



a

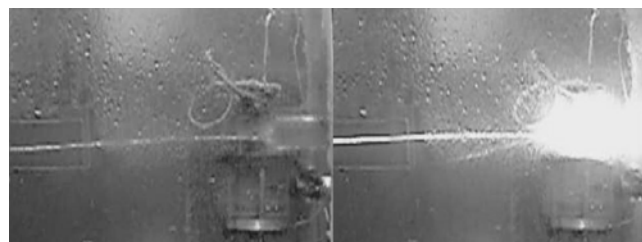


b

Рис. 4. Разряжение плазмоида на заземленную поверхность аквариума:

a — общий вид; b — увеличенное изображение:
1 — основное тело шарового святящегося образования;
2 — плазменное образование, стремящееся разрядиться на заземленную поверхность аквариума, образуется выброс в виде запятой

Визуально образуется выброс в виде запятой. Аналогичное явление при исчезновении долгоживущих плазменных образований наблюдалось и другими исследователями [5—7]. Плазмоид в данном случае разряжается на заземленную металлическую поверхность аквариума. В одном из вариантов получались долгоживущие плазменные образования в виде шариков, в другом случае получался линейный пробой в пространстве (рис. 5).



a

b

Рис. 5. Пробой разрядного промежутка:

a — при затухании линейного разряда; b — при наличии линейного разряда

Для качественной проверки того, что в данном эксперименте существуют макрообъекты с нескомпенсированным зарядом, мы поместили в струю сильное магнитное поле, и плазменные образования в присутствии магнитного поля начали сильно отклоняться от прямолинейной траектории (рис. 6, см. рис. 1 поз. 9), т. е. даже если химические реакции горения и окисления происходят, то электромагнитная природа данных образований неоспоримо присутствует.

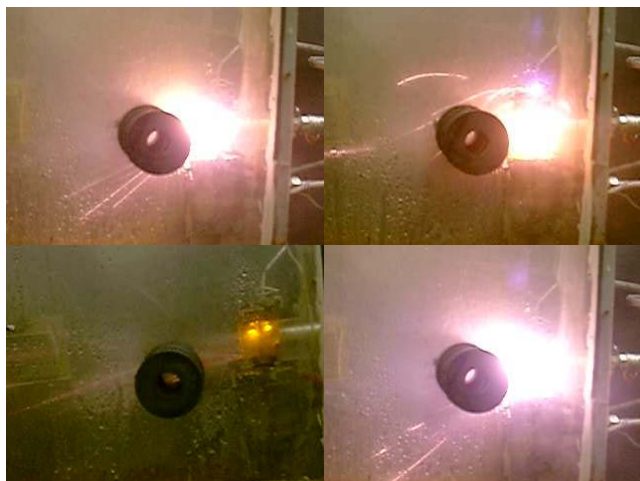


Рис. 6. Отклонение светящихся образований в магнитном поле.

(Полярность магнитов обратна той, что схематически изображена на принципиальной схеме установки)

Сигнал с проводящего экрана поступал на осциллограф. Типичная осциллограмма представлена на рис. 7, на котором видна временная развертка сигналов, поступающих на осциллограф с проводящего экрана, на который попадали долгоживущие плазменные образования (см. рис. 1, поз. 12, 13). Первый сигнал имеет положительную полярность, второй — отрицательную. Эти результаты имеют качественный характер и подтверждают только то, что плазменные образования могут иметь нескомпенсированный заряд. Для получения количественных данных необходимо совершенствование методики измерений. Эта работа в данный момент проводится.

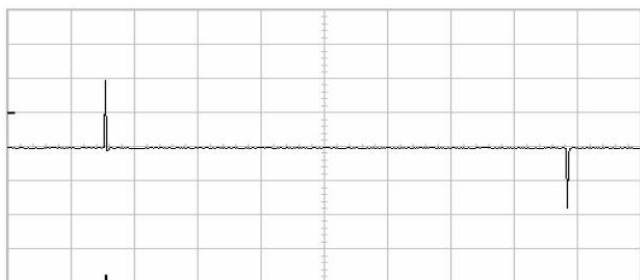


Рис. 7. Типичная осциллограмма с проводящего экрана

Авторами предложена физическая модель процесса, которая состоит в том, что электроны вследствие своей большей, чем ионы, подвижности быстро прилипают к ватообразному образованию, получаемому при испарении воска. Положительные ионы уносятся сверхзвуковым потоком. Для определения толщины волосинок в ватообразном образовании исследовались на микроскопе соскобы со стенок аквариума и со стенок металлического экрана. Толщина волосинок образования была микронного размера. По-видимому, свечение шарообразных плазменных образований можно объяснить как горением органики, так и наличием большого нескомпенсированного заряда, находящегося на волосинках полимерного воска. Возникает некоторое подобие коронного разряда на каждой волосинке.

Поэтому на осциллографе вначале регистрируется сигнал положительной полярности, а относительно тяжелое ватообразное тело, заряженное зарядом отрицательной полярности, попадает на экран с задержкой. Причем иногда возникает линейный пробой между заземленным металлическим экраном и анодом. После пробоя свечение исчезает. Иногда реализуется долгоживущее образование без пробоя разрядного промежутка. Как уже было сказано выше, исчезновение плазмоида происходит в виде локального пробоя на корпус установки.

Причины, по которым в отдельных случаях образуется пробой разрядного промежутка ~ 1 м (вне катода и анода), а в других его нет, до конца не ясны. Эта проблема требует как теоретического, так и экспериментального исследования.

Заключение

- Создана установка на базе эрозионного разряда в микрокапельной среде электролита и воздуха.
- Получены долгоживущие плазменные образования. Реализованы два режима течения с линейным пробоем и появлением шаровых светящихся долгоживущих плазменных образований.
- Исследовано взаимодействие данных светящихся образований с проводящим экраном.
- Экспериментально получены режимы течений с реализацией пробоя в большом разрядном промежутке при малых напряжениях 600—800 В.

- Качественно подтверждено наличие нескомпенсированного заряда в плазменных образованиях.
- Предложена качественная физическая модель процесса.

Л и т е р а т у р а

1. *Tesla N.* Colorado-Springs Notes: 1899—1900/ Ed. A. Marincic. — Belgrade: Nolit, 1978.
2. *File Ball in a Laboratory.* Collection of Papers. — Moscow: Chemistry, 1994. — 256 p.
3. *Klimov A., Nikolaeva V., Avramenko R.* Development of Plasma Aerodynamics in Russia// Prospective on 2-nd Workshop on Magneto- and Plasma- Aerodynamics for Aerospace Application, IVTAN. — Moscow, April 5—7. 2000. P. 30—33.
4. *Климов А. И.* Изучение физических свойств плазмойдов в воздухе и воздушном потоке// Химическая физика. 2006. Т. 25. № 3. С. 104—109.

5. *Velikodny V. Yu., Vorotilin V. P., Grishin V. G., Eremerov A. V., Nikitenko L. K., Timofeev I. B., Van Wie D.* Ignition of Kerosene-Air Mixture in High-Speed Stream// Proc. of Fifteenth Int. Conf. on MHD Energy Conversion and Sixth Int. Workshop on Magnetoplasma Aerodynamics. — Moscow, May 24—27. 2005. V. 3. P. 741—750.

6. *Низматулин Р. И.* Основы механики гетерогенных сред. — М.: Наука. 1978. — 336 с.

7. *Бушманов Е. А., Великодный В. Ю., Воротилин В. П., Яновский Ю. Г., Тимофеев И. Б., Ван Ви. Д.* О возможности улучшения характеристик активированного пористого топлива при использовании ионизации в диэлектрическом кавитаторе// Прикладная физика. 2003. № 5. С. 49—55.

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2008 г.

Research of interaction of long-living plasma formations with a supersonic stream and an obstacle

V. A. Bityurin, V. Yu. Velikodny

Incorporated Institute of Heats of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia
E-mail: oivtran@oivtran.ru

V. V. Popov, I. A. Samuolis

Institute of Applied Mechanics of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

The installation for generation of long-living plasma formations has been created. Are carried out researches of physical characteristics of the long-living shone formations received at burning of the erosive category in the heterogeneous microdrop environment of air and electrolit. Shone long-living objects have been received with a high probability. It is carried out research of interaction of the given objects with a spending screen and a magnetic field.

PACS: 52.50.-b