

ВЛИЯНИЕ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ОГРАНИЧЕНИЯ ЗОНЫ ПРИВЯЗКИ РАЗРЯДА К ЖИДКОМУ ЭЛЕКТРОЛИТУ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННОГО СТОЛБА

Х.К. Тазмеев, И.М. Арсланов, Г.Х. Тазмеев
 Камская государственная инженерно-экономическая академия
 tazmeevh@mail.ru

Экспериментально исследован газовый разряд между жидким электролитным катодом и металлическим анодом в диапазоне токов 4-21 А. Показано, что принудительное ограничение площади зоны привязки разряда к жидкому электролиту способствует увеличению протяженности плазменного столба между электродами в открытом воздушном пространстве до 0,5 м.

Введение.

Газовый разряд с жидким электролитным катодом представляет практический интерес как источник объемной плазмы атмосферного давления. Мощность, вкладываемая в разряд, может составить десятки киловатт и более. В связи с этим он становится пригодным для энергоемких плазменных процессов, в частности, может найти применение для конверсии полимерных отходов в синтез-газ [1]. Более эффективное использование плазмы газового разряда возможно при увеличении геометрических размеров разрядной области. Целью данной работы явилось изыскание способов, способствующих формированию протяженного плазменного столба между жидким электролитным катодом и металлическим анодом.

Эксперимент.

Основные элементы газоразрядного узла схематично изображены на рис. 1.

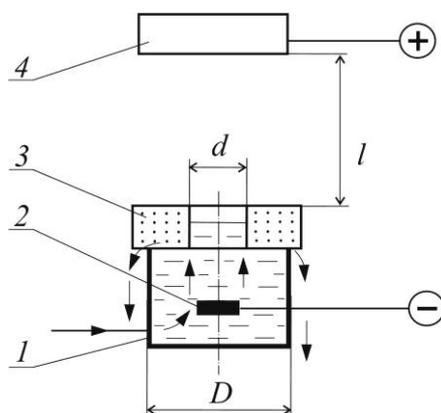


Рис. 1. Газоразрядный узел. Стрелками указано направление движения электролита.

Электролит вытекал из вертикального цилиндрического канала 1, внутри которого был смонтирован графитовый токоподвод 2. На выходном торце цилиндрического канала 1 устанавливалась пластина 3 из огнеупорного пористого материала, выполненная в виде шайбы. Разряд горел в воздушном пространстве между электролитом и размещенным над ним металлическим электродом-анодом 4.

В качестве электролита использовались водные растворы поваренной соли с удельной электрической проводимостью $\sigma = (1,5-2,0)$ См/м. Источником питания служил трехфазный двухполупериодный выпрямитель. Пульсации напряжения

сглаживались П-образным фильтром. Ток менялся ступенчатым варьированием балластного сопротивления, подключенного в цепь питания. Для измерения тока использовался стрелочный прибор М2015 класса точности 0.2. Напряжение U между графитовым токоподводом 2 и анодом 4 измерялось такого же класса точности прибором М2016, к которому присоединялось добавочное сопротивление. Для фотографирования разряда использовалась скоростная камера ВИДЕОСКАН-415. Напряженность электрического поля в столбе разряда оценивалась по результатам измерений напряжения при различных межэлектродных расстояниях l . Плотность тока на катоде определялась как отношение тока к площади зоны привязки разряда к электролиту.

Результаты и их обсуждение.

Вариант А. Эксперимент без ограничения зоны привязки разряда к электролиту (отсутствует пластина 3). Для удлинения межэлектродного промежутка требуется повышение напряжения между электродами. Одновременно с увеличением напряжения растет разрядный ток. При этом, как показали опыты, расширяется зона привязки разряда к электролиту и она, полностью занимая верхнюю поверхность электролита на торце канала 2, начинает переходить на его боковые стенки (рис. 2). Такая ситуация является нежелательной, т.к. может привести к повреждению стенок под воздействием тепла, идущего от плазмы через тонкий слой электролита.

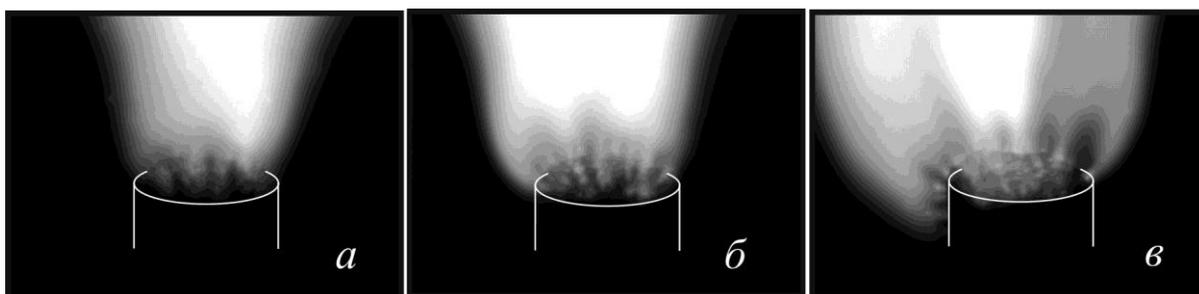


Рис. 2. Фотографии зоны привязки разряда к жидкому электролиту. Экспозиция 196 мкс. Белыми линиями обозначены внешние очертания стенки канала 2, из которого истекает электролит. $D = 20$ мм. $a - I = 4,0$ А; $б - 6,1$; $в - 7,4$.

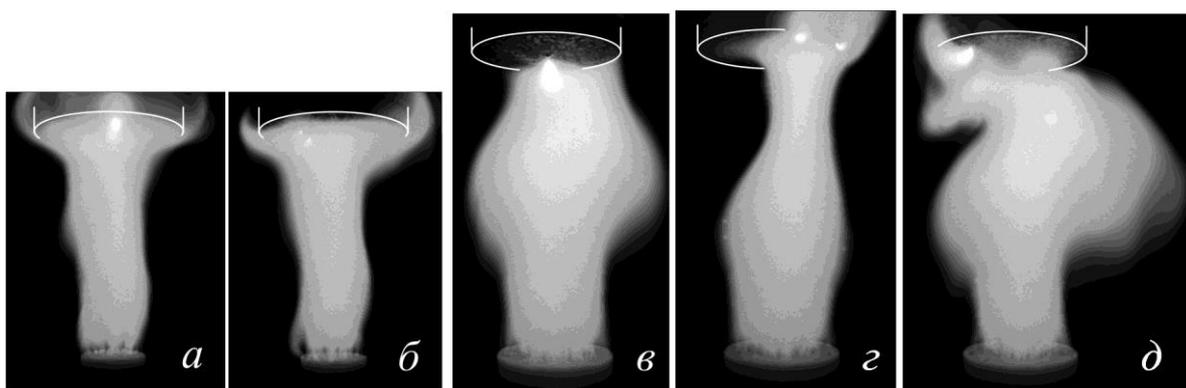


Рис. 3. Фотографии плазменного столба (вариант А). Экспозиция 196 мкс. Интервал между кадрами 125 мс. Белыми линиями обозначены внешние очертания анода. a и $б - D = 40$ мм, $l = 15$ см, $I = 14,5$ А, $U = 1530$ В; $в, г$ и $д - 75$ мм, 20 см, 21,0 А, 1580 В.

Увеличение диаметра D канала 2 позволило работать при повышенных значениях тока и получить устойчивый разряд в достаточно длинном промежутке $l = 15$ см (рис.3а

и 3б). Для дальнейшего удлинения межэлектродного промежутка потребовалось повышение тока и понадобилось соответственное расширение канала 1. Однако принятые меры оказались недостаточно удачными ввиду того, что пространственное положение плазменного столба получилось менее устойчивым. Фотографирование с малой экспозицией позволило зафиксировать крупномасштабные изменения формы и размеров плазменного столба (рис. 3в, 3г и 3д).

Вариант Б. Эксперимент с принудительным ограничением зоны привязки разряда к электролиту (установлена пластина 3). Как видно из фотоснимков с малой экспозицией, в данном варианте плавность контура плазменного столба нарушается, на его боковой поверхности появляются «хвосты», обращенные вниз (рис. 4). Такая картина является следствием того, что в центральной части плазменного столба скорость потока существенно возрастает, и крайние слои отстают за счет вязкого трения.

Поток плазмы убыстряется из-за увеличения интенсивности плазмообразования на жидком катоде, вызванного повышением плотности тока на нем. Оценки плотности тока, выполненные как отношение разрядного тока к площади отверстия с диаметром d , показали, что максимальное значение плотности тока на катоде достигает до 3 A/cm^2 . Однако, если учесть привязку разряда к боковым поверхностям отверстия, расчетное значение плотности тока получается меньше в два раза и более. Следует отметить, что согласно данным, полученным в экспериментах, для плотности тока на жидком электролитном катоде существует верхний предел [3,4]. В этом заключается одна из особенностей газового разряда с жидким электролитным катодом. Она отчетливо проявилась в обоих вариантах опытов.

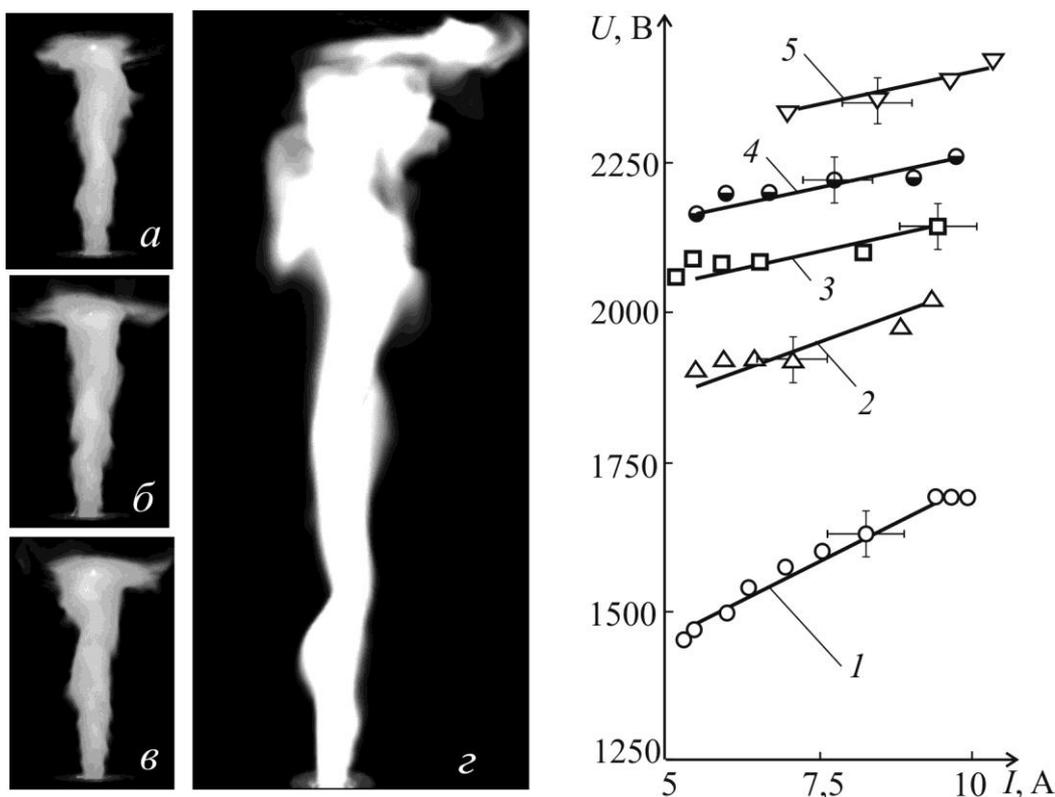


Рис.4. Фотографии плазменного столба (вариант Б).

Экспозиция 196 мкс. а, б и в – $d = 21 \text{ мм}$, $l = 15 \text{ см}$, $I = 10,0 \text{ А}$, $U = 1680 \text{ В}$, интервал между кадрами 100 мс; г – $d = 24 \text{ мм}$, $l = 52,5 \text{ см}$, $I = 9,5 \text{ А}$, $U = 2720 \text{ В}$.

Рис. 5. Вольтамперные характеристики (вариант Б).

$d = 21 \text{ мм}$. 1 – $l = 15 \text{ см}$; 2 – 25; 3 – 30; 4 – 35; 5 – 40;

Сужение отверстия пластины 3 привело к усилению кумулятивного эффекта и тем самым способствовало удлинению разрядного промежутка в вертикальном направлении. Повышение выходного напряжения выпрямителя позволило еще более увеличить этот геометрический размер. В исследованном диапазоне параметров максимальная длина разрядного промежутка составила 52,5 см. Моментальный фотоснимок плазменного столба, сформированного между электродами на таком расстоянии, представлен на рис. 4г.

Примечательно то, что напряжение, измеряемое на клеммах разрядного узла, увеличивалось при повышении тока (рис. 5). Такой результат частично обусловлен падением напряжения внутри электролита над токоподводом 2. Аппроксимирование экспериментальных данных отрезками прямых показало, что крутизна ВАХ не постоянна. Она больше при малых I (рис. 5, график 1). Следовательно, напряжение U растет не только из-за увеличения омического падения напряжения в электролите при повышении тока. Напряжение в самом газовом разряде также растет и получает заметный прирост в коротких разрядах.

Варьирование длины разрядного промежутка l позволило рассчитать среднее значение напряженности электрического поля в плазменном столбе. В исследованном диапазоне параметров оно получилось в пределах 25 ± 10 В/см, что сравнимо с напряженностью электрического поля в свободной угольной дуге, горящей в воздухе, [4]. В таких же пределах находится напряженность электрического поля в плазмотронах со стабилизацией дуги воздухом и азотом [5].

Выводы.

Повышение тока приводит к расширению зоны привязки разряда к электролиту. При этом плотность тока на электролитном катоде стремится к своему пределу, находящемуся в диапазоне 1-1,5 А/см².

Принудительное ограничение площади зоны привязки разряда к жидкому электролитному катоду способствует формированию устойчивого плазменного столба в вертикальном направлении и тем самым позволяет значительно увеличить расстояние между электродами.

Литература

1. Тазмеев А.Х., Фридланд С.В., Мифтахов М.Н. Содержание оксида углерода и углеводородов в синтез-газе при плазмохимической переработке полимерных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2006. №6. С.43-46.
2. Барин Ю.А., Школьник С.М. Зондовые измерения в разряде с жидкими неметаллическими электродами в воздухе при атмосферном давлении // ЖТФ. 2002. Т. 72., вып. 3. С.43-46.
3. Мифтахов М.Н., Тазмеев Х.К., Тазмеев А.Х., Фридланд С.В. Некоторые результаты экспериментального исследования газового разряда между проточным электролитом и металлическим электродом // ИФЖ. 2006. Т. 79, №3. С.109-115.
4. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 592 с.
5. Даутов Г.Ю., Дзюба В.Л., Карп И.Н. Плазмотроны со стабилизированными дугами. – Киев: Наук. Думка, 1984. – 168 с.