

Сергеева О. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДЖИГА ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В СИСТЕМЕ ГАЗ — ЖИДКОСТЬ

Представлены результаты экспериментальных исследований зажигания разряда постоянного тока при пониженном давлении между жидким катодом и металлическим анодом. Рассмотрен процесс поджига разряда для дистиллированной воды и подготовленных растворов. Зафиксировано возникновение катодонаправленного стримера.

Ключевые слова: плазма, стример, разряд, поджиг, жидкий катод.

1. Введение

Технологии плазмохимической обработки жидких сред контактной и бесконтактной неравновесной плазмой набирает обороты. В последнее время появляются все новые сведения о процессах получения ряда мелкодисперсных соединений (преимущественно оксидных и гидроксидных соединений металлов) [1], очистки и активации растворов при различных давлениях, температуре и составе жидких сред и плазмообразующего газа [2, 3].

Высоковольтные электрические разряды между металлическим анодом и жидким электролитным катодом обладают рядом технологических возможностей: позволяют получить оксидные порошки [4] и изменять химический состав жидкостей [5], очищать и дезинфицировать водные растворы от загрязнений [6], активировать воду и водные растворы, придавая им новые свойства, в том числе и бактерицидные [7].

В работе [8] показана возможность модифицирования поверхности полимерных материалов, погруженных в раствор, который играет роль катода.

При этом практически неизвестны процессы, приводящие к образованию плазмы в исследуемых системах твердое тело — газ — жидкость, что затрудняет создание адекватной математической модели.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для математического моделирования необходимо провести эксперименты, позволяющие качественно оценить протекающие процессы, чем и обосновывается актуальность данных исследований.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В работе [3] приведены результаты экспериментального исследования напряжений зажигания разряда постоянного тока, который возбуждали в воздухе при атмосферном давлении между жидким катодом (дистиллированная вода) и металлическим анодом (медь) в диапазоне $pd = 10^3 - 10^5$ Па·см. Авторы работы [3] экспериментально установили, что рост давления при фиксированном межэлектродном расстоянии описывается классическим уравнением [9]:

$$U_{пр.} = B(pd) / \ln[A(pd)/C], \quad (1)$$

где $C = \ln(1 + 1/\gamma)$, A и B — коэффициенты в эмпирическом выражении для первого таунсендовского коэффициента ионизации.

При задании в качестве подгоночных параметров B и отношение A/C , и фиксированным соотношением $B/A = 23,3$ [10], авторы [3] получили значение коэффициента γ , который в приблизительно в 6 раз меньше значений, полученных по известным значениям катодного падения потенциала для случая стационарного режима горения разряда ($\sim 10^{-4}$) [10].

В работе [3] предполагается, что зажигание тлеющего разряда с жидким катодом происходит в две стадии: 1 — возникновение коронного разряда и разрастание катодонаправленного стримера(ов); 2 — переход стримеров в тлеющий разряд по непонятному до конца механизму.

Целью проведенных исследований являлась оценка механизма поджига газоразрядной плазмы в системе газ — жидкость. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Провести эксперименты, позволяющие внешне оценить характер процессов в системе газ — жидкость при поджиге.
2. Провести эксперименты, позволяющие внешне оценить характер процессов в системе газ — жидкость при горении плазмы.

3. Результаты исследований процессов плазмохимической обработки в системе газ — жидкость

Объектом исследований были различные режимы поджига разряда в системе газ — жидкость.

При проведении исследований касающихся зажигания разряда использовалась: дегазированная дистиллированная вода, раствор нитрата серебра в дистиллированной воде и дистиллированная вода с добавлением метилоранжа в качестве индикатора.

Рассмотрим характер зажигания разряда в случае недостатка заряженных частиц (дегазированная дистиллированная вода) при пониженном давлении. На рис. 1 наблюдается развитие в газовом пространстве над поверхностью жидкости катодонаправленного стримера.



Рис. 1. Развитие катодонаправленного стримера в газовом пространстве над поверхностью дистиллированной воды. Скорость съемки 60 кадров/с

На рис. 1 видно, что появляется слабосветящаяся область в точке на поверхности конус (в случае заостренного анода) с основанием на жидком катоде. Далее светящаяся точка становится более яркой и по мере ионизации близкорасположенных молекул газа стример начинает удлиняться с образованием лавины, которая достигает поверхности жидкости. В случае недостаточной энергии заряженных частиц такой стример затухает до или при достижении поверхности раздела фаз. Иногда приходится включать устройство поджига повторно. Повторный стример обычно образуется в той же точке электрода (анода). При удачном достижении поверхности жидкости сначала образуется еще несколько стримерных каналов, а затем происходит поджиг разряда и между анодом и поверхностью жидкости появляется привычный конусный разряд.

Использование водного раствора, в котором присутствуют примеси, влияющие на структурные изменения в дистиллированной воде (например, при добавлении органического индикатора метилоранжа на рис. 2) приводит к началу выделения пузырьков на катоде перед пробоем и при образовании стримера на аноде — мгновенному пробое с яркой вспышкой поджига разряда. Дальнейшая обработка протекает с активным выделением пузырьков водорода на катоде (рис. 3).

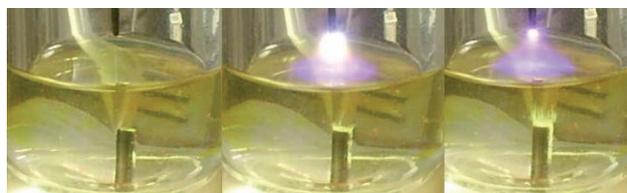


Рис. 2. Поджиг разряда над раствором метилоранжа в дистиллированной воде. Предпробой. Пробой. Разряд. Разница между кадрами (1/20) с

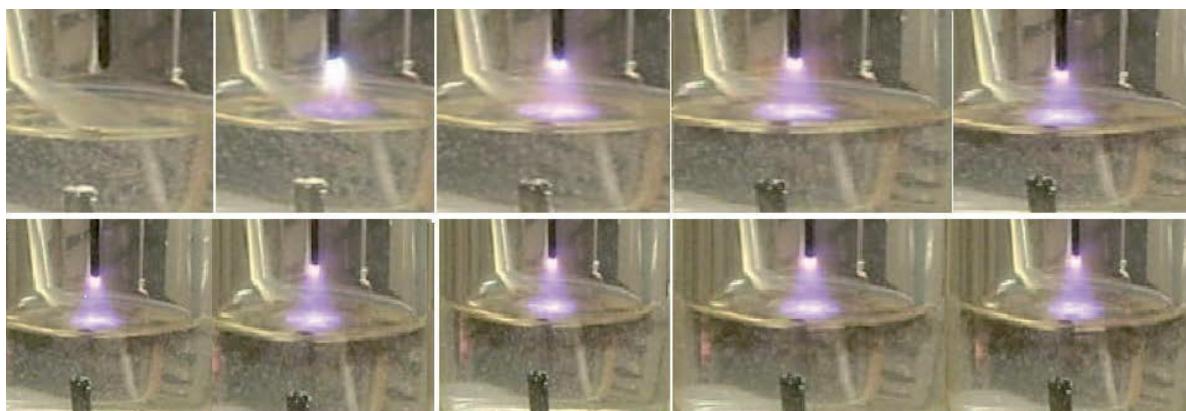


Рис. 4. Процесс обработки раствора нитрата серебра в воде в течение первой секунды обработки. Скорость съемки 20 кадров минуту

В ходе обработки наравне с выделением водорода происходит закисление раствора, которое наглядно проявляется в изменении окраски индикатора (метилоранжа), в сторону покраснения (рис. 3).

При использовании водного раствора, в котором присутствуют способствующие появлению заряженных частиц в жидкости примеси, (например, добавление нитрата серебра на рис. 4) приводит к поджигу и реакции на поверхности жидкости, начало которой совпадает с моментом поджига разряда.

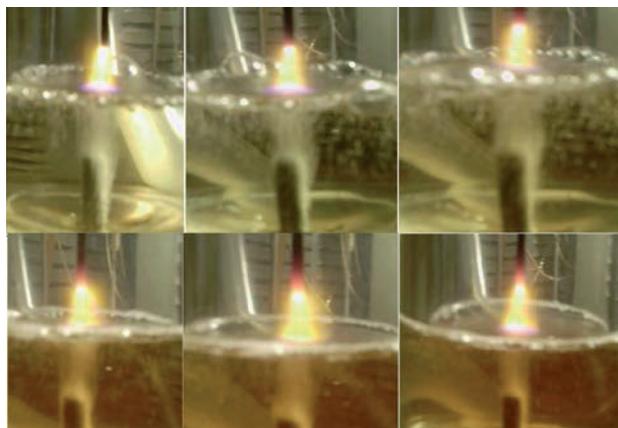


Рис. 3. Изменение окраски дистиллированной воды с добавлением индикатора (метилоранж) в течение 120 с (кадры по времени в каждом ряду расположены слева направо и сверху вниз по рядам 3 с, 13 с, 33 с, 103 с, 113 с, 123 с)

Пробой совмещается со вспышкой поджига разряда. Дальнейшая обработка происходит с протеканием реакций на поверхности жидкости, в виде появления четко видимой дисперсной области серебросодержащих частиц, которая быстро выходит за границы катодного пятна.

Динамика образования дисперсной фазы отражена на рис. 4.

При этом образование пузырьков водорода на катоде начинается с задержкой приблизительно в 1 с из-за конкуренции процессов восстановления серебра и водорода.

4. Выводы

1. Подтверждено сходство процессов, протекающих при пониженном и атмосферном давлении при поджиге разряда в системе газ — жидкость.

2. Отмечен стримерный характер образования плазменного разряда в условиях недостатка носителей заряженных частиц.

Литература

1. Пивоваров, А. А. Извлечение ионов поливалентных металлов из сточных вод гальванических производств плазмохимическим методом [Текст] / А. А. Пивоваров, О. В. Сергеева // Вестник Национального технического университета «ХПИ». — 2003. — № 14. — С. 77–84.
2. Пивоваров, А. А. Энергосберегающая технология извлечения благородных металлов из промышленных отходов [Текст]: труды Международной конференции / А. А. Пивоваров, С. В. Сытник, Н. М. Пололий // Экология и теплотехника. — Днепропетровск, 1996. — С. 112.
3. Иванов, А. Н. Исследование пробоя разрядов с водными катодами [Текст]: тезисы докладов XXXVII Международной (Звенигородская) конференции по физике плазмы и УТС, 9–13 февраля 2010 / А. Н. Иванов, В. В. Рыбкин, Д. А. Шутов. — Москва, 2010. — С. 261.
4. Кофстад, П. А. Высокотемпературное окисление металлов [Текст] / П. А. Кофстад. — М.: Мир, 1969. — 392 с.
5. Пивоваров, А. А. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов [Текст]: монография / А. А. Пивоваров, А. П. Тищенко. — Днепропетровск: Издательство DS-Print, 2006. — 221 с.
6. Сокольский, А. Г. Комплексное изучение фундаментальных физико-химических свойств и процессов плазмохимической активации водных растворов [Текст]: материалы семинара / А. Г. Сокольский, Е. В. Исханов, В. В. Кузнецов // Семинар «Получение, исследование и применение низкотемпературной плазмы». — Москва, 2002. — С. 338.

7. Бахар, В. П. Технология плазменной очистки загрязненных вод и активации водных растворов [Текст] / В. П. Бахар, А. Б. Заика, В. П. Кузнецов, И. А. Святкин // Экология промышленного производства. — 2008. — № 1. — С. 69–73.
8. Зволинский, В. П. Технология очистки и дезинфекции загрязненных вод плазмой газового разряда [Текст] / В. П. Зволинский, В. П. Бахар, И. А. Святкин // Чистая вода. Проблемы и решения. — 2009. — № 1. — С. 65–68.
9. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда [Текст] / Ю. П. Райзер. — Ид Интеллект, 2009. — 736 с.
10. Titov, V. A. Properties of atmospheric pressure glow discharge with liquid electrolyte cathode [Text] / V. A. Titov, V. V. Rybkin, S. A. Smirnov, A. L. Kulentsan, H.-S. Choi // High Temperature Material Processes (An International Quarterly of High-Temperature Plasma Processes). — 2007. — Vol. 11, № 4. — P. 515–525. doi:10.1615/hightempmatproc.v11.i4.40

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДПАЛУ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ В СИСТЕМІ ГАЗ — РІДИНА

Представлені результати експериментальних досліджень запалювання розряду постійного струму при зниженому тиску між рідким катодом і металевим анодом. Розглянуто процес підпалу розряду для дистильованої води і підготовлених розчинів. Зафіксовано виникнення катодоспрямованого стрімеру.

Ключові слова: плазма, стрімер, розряд, підпал, рідкий катод.

Сергеева Ольга Вячеславовна, кандидат технических наук, кафедры технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: ov.sergeeva@mail.ru.

Сергеева Ольга Вячеславівна, кандидат технічних наук, кафедра технології неорганічних речовин та екології, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.

Sergeyeva Olga, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: ov.sergeeva@mail.ru