

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ПОСТОЯННОГО ТОКА С КАТОДОМ, ПОГРУЖЕННЫМ В ПОТОК ВОДЫ

Х.К. Тазмеев¹, Б.А. Тимеркаев², Г.Х. Тазмеев², И.М. Арсланов¹

Набережночелнинский институт Казанского федерального университета¹
tazmeevh@mail.ru

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева²

Ключевые слова: газовый разряд, плазма в контакте с жидкостью, жидкий катод, воднорастворный катод, электролиз контактный с тлеющим разрядом.

Исследован газовый разряд в воздухе между двумя твердотельными электродами, один из которых находится в потоке воды и служит катодом. Рассмотрены два варианта. В первом варианте рабочий торец катода выступал из воды, а во втором – полностью был погружен в воду. Представлены электрические и спектральные характеристики разрядов, полученные в одинаковых условиях электрического питания. В качестве катода были использованы алюминиевые, медные, титановые и графитовые стержни. Разрядный ток находился в диапазоне 13-15 А.

Введение.

Электрические разряды, возбуждаемые в присутствии жидкой среды, представляют интерес как инструмент, который позволяет получить плазму с обширными возможностями практических приложений. Они находят применение в процессах очистки воды, синтеза наночастиц металлов, получения мелкодисперсных порошков оксидов и многих других технологических процессах [1-8].

В экспериментах металлический электрод принято либо монтировать глубоко внутри жидкости, либо над ней. В данной работе рассматривается промежуточный вариант, когда твердотельный катод располагается вблизи к поверхности жидкой среды – воды.

Эксперимент.

Опыты проводились на экспериментальной установке, подробное описание которой приведено в работе [9]. На рис. 1 схематично изображен катодный узел. Он состоит из стержневого катода 1, вставленного в диэлектрическую трубку 2. На рисунке изображены два варианта: *a* – над водой; *б* – под водой. Рабочий торец катода в варианте *a* выступает из воды и не смачивается водой, в варианте *б* – находится под тонким слоем воды. Глубина погружения *h* с учетом поднятия воды находится в пределах 2-3 мм.

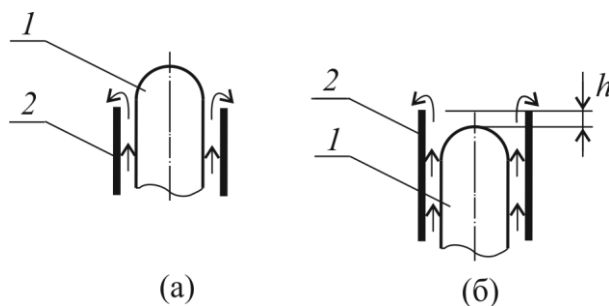


Рис. 1. Катодный узел. 1 – стержневой катод; 2 – диэлектрическая трубка. Стрелками указано направление потока воды.

В опытах использовались катоды из различных материалов. Анод был выполнен из меди. Массовая скорость потока воды составляла 10 г/с. Удельная электрическая проводимость находилась в пределах 150 ± 10 мкСм/см.

Межэлектродное расстояние (от торца катода до анода) устанавливалось равным 4 см в варианте а и 5 см в варианте б. Излучение разряда регистрировалось высокоскоростным оптоволоконным спектрометром AvaSpec-3648 в диапазоне длин волн 484-708 нм с разрешением 0.15 нм (дифракционная решетка 1200 штрихов/мм, входная оптическая щель 10 мкм). Излучение проецировалось на вход спектрометра короткофокусной (28 мм) собирающей линзой.

Результаты эксперимента и их анализ.

На рис. 2 приведены мгновенные фотографии электрического разряда, а также осциллограммы тока и напряжения для двух вариантов расположения катода.

Алюминиевый катод.

В обоих вариантах (а и б) катод интенсивно эродирован. Продукты эрозии – твердые мелкодисперсные частицы белого цвета. Рабочая поверхность покрывается твердой неметаллической коркой, которая имеет сильную адгезию к металлическому основанию. В плазменном столбе преобладает излучение сине-голубого цвета. В варианте б со стороны катода образуется тонкий канал красного цвета, характеризующий наличие излучающих атомов водорода. И в варианте а, и в варианте б в осциллограммах фиксируются пульсации тока и напряжения, причем в варианте б амплитуда пульсаций значительно больше.

Медный катод.

В варианте б излучение атомов водорода в прикатодной зоне проявляется ярче. В этом варианте пульсации тока и напряжения значительно усилены по сравнению с алюминиевым катодом. Торцы катода под водой очищаются до металлического состояния. Катод эродирован и сглаживается. В продуктах эрозии обнаруживаются мелкодисперсные частицы меди. Более подробно характеристики электрического разряда описаны в работе [9].

Титановый катод.

Излучение является чрезвычайно ярким в обоих вариантах. Отсутствуют какие-либо характерные оттенки. В варианте а пульсации тока и напряжения возникают редко, в варианте б они становятся интенсивными и крупномасштабными. При этом в осциллограммах и тока, и напряжения наблюдается некоторая асимметрия. На торце катода образуется неметаллическая корка черного цвета, которая интенсивно разрушается во время горения разряда.

Графитовый катод.

При длительной работе в отличие от металлических катодов графит загорается, образуя пламя. В варианте б в прикатодной зоне преобладает излучение атомов водорода, как и в случаях алюминиевого и медного катодов. Графит эродирован равномерно по торцу катода.

На рис. 3 приведены спектры разрядов, зафиксированные в моменты максимума излучения в вариантах расположения катодов под водой. Все спектры получены в одном и том же режиме работы спектрометра. Поэтому по спектрам можно оценить интенсивности излучения разрядов с разными катодами. Из сравнения спектров следует, что наиболее интенсивным является излучение разряда с титановым катодом. Причем, разряд дает интенсивное излучение во всем диапазоне длин волн в видимой области. Разряд с алюминиевым катодом излучает интенсивно в области малых длин волн. В излучении разряда с медным катодом наиболее интенсивными являются только спектральные линии атомов меди. Наименее интенсивным оказалось излучение разряда с графитовым катодом. В тех же режимах работы спектрометра излучение не зафиксировалось.

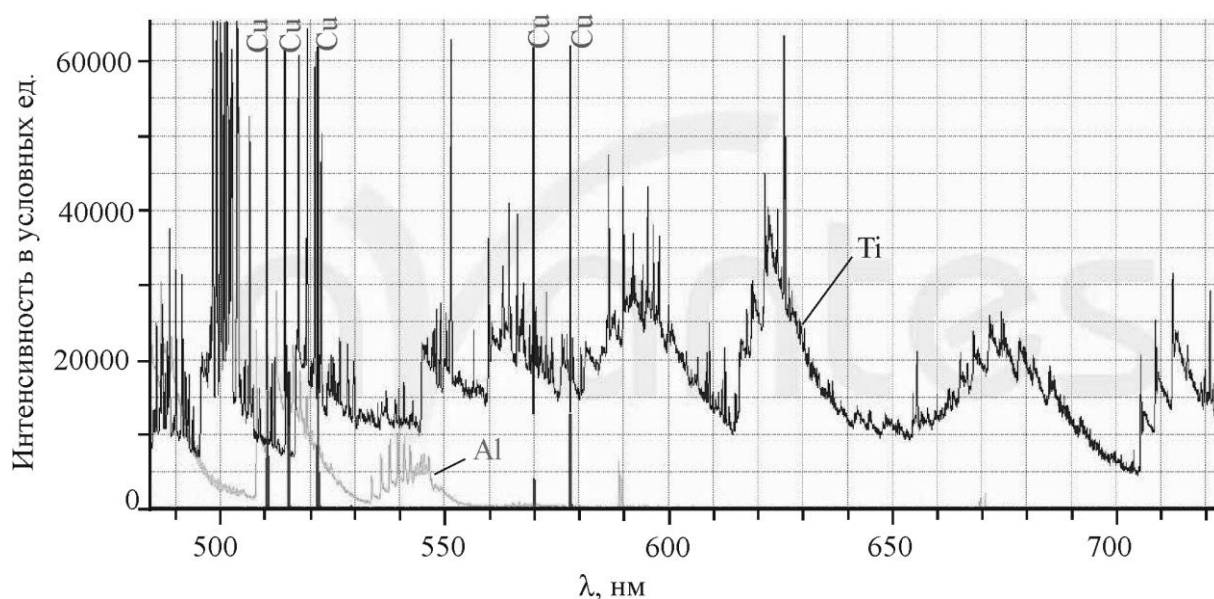


Рис. 3. Спектры излучения.

Выводы.

При нахождении катода под тонким слоем воды усиливается его эрозия. В плазменный столб в большом количестве поступают продукты эрозии. Частицы, нагретые в плазменном столбе, усиливают его излучение. Наиболее интенсивное излучение возникает в случае титанового катода.

Электрический разряд с катодом, погруженным в водный поток, может быть использован для получения гетерогенной плазмы и изучения ее свойств.

Литература

1. Bruggeman P.J. et al. // Plasma Sources Science and Technology. 2015. V. 25. P. 053002.
2. Титов В.А., Стокозенко В.Г., Титова Ю.В., Морыганов А.П. // Химия высоких энергий. 2015. Т. 49. № 6. С. 500-505.
3. Валиев Р.И., Гайсин А.Ф., Гайсин Ф.М., Гумеров А.З., Насибуллин Р.Т., Садриев Р.Ш., Саримов Л.Р., Хафизов А.А. // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57. № 3-3. С. 66-69.
4. Тазмеева Р.Н., Зиганшин Р.Р., Тазмеев Х.К. // Вестник машиностроения. 2008. № 10. С. 87.
5. Tazmeev A.K., Tazmееva R.N. // J. Phys.: Conf. Ser. 2017. V. 789. P. 012058.
6. Kashapov L.N, Kashapov N.F., Kashapov R.N., Denisov D.G. // J. Phys.: Conf. Ser. 2016. V. 669. P. 012029.
7. Ахметов М.Н., Ахметов Н.Д., Гимадеев М.М., Кривошеев В.А. // Прикладная физика. 2015. № 6. С. 53-56.
8. Timerkaev B.A., Sofronitskiy A.O., Andreeva A.A. // J. Phys.: Conf. Ser. 2016. V. 669. P. 012062.
9. Тазмеев Г.Х., Тимеркаев Б.А., Тазмеев Х.К. // Физика плазмы. 2017. Т. 43. № 7. С. 641-648.