

Л. Н. Багаутдинова, Ф. М. Гайсин, И. Ш. Абдуллин,
Т. Б. Мустафин, Аз. Ф. Гайсин, Г. Т. Самитова,
Ал. Ф. Гайсин, Л. Ш. Гасимова

РАЗРЯД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МЕЖДУ ТВЕРДЫМ ЭЛЕКТРОДОМ И ЭЛЕКТРОЛИТОМ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ

Ключевые слова: низкочастотный разряд, электролит, давление, формы и структуры разряда.

В работе исследуется низкочастотный электрический разряд переменного тока с частотой 50 Гц между стальным электродом и электролитом из 30 % раствора CuSO_4 при пониженных давлениях. Рассматриваются характерные формы электродных пятен на поверхности электролита, а также структура плазменного столба для различных межэлектродных расстояний. Приводится анализ экспериментальных данных при изменении давления, тока разряда и напряжения.

Keywords: low-frequency category, electrolyte, pressure, forms and category structures.

The low frequency AC electric discharge between a steel electrode and electrolyte is investigated at lower than atmospheric pressures. The electrolyte is a 30% solution of CuSO_4 . The characteristic shapes of electrode spots are observed. The structure of the plasma column at various distances between the electrodes is established. The experiments were carried out at various pressures, discharge currents and voltages.

Одним из интересных методов получения неравновесной низкотемпературной плазмы является использование низкочастотного электрического разряда (НЧР) переменного тока с частотой 50 Гц между твердым и электролитическим электродами [1-2 и др.]. В случае, когда между твердым и жидким электродами приложено переменное напряжение с частотой 50 Гц, структура и свойства разряда в газе существенно усложняется. Это связано с переменной знака на электродах. Перемена знака на электродах влияет на расположение пространственных зарядов, положительных и отрицательных ионов, искажающих электрическое поле. Картина усложняется еще и тем, что в паровоздушной среде образуется большое количество отрицательных ионов [3-4]. Физика электрического разряда переменного тока с частотой 50 Гц между твердыми и жидкими электродами практически не изучена.

Целью данной работы является изучение структур и форм плазменного столба (ПС), электродных пятен на поверхности электродов и их развитие в широком диапазоне давления $P = (1,6 \div 8,0) \times 10^3$ Па, межэлектродного расстояния $l = 5 \div 40$ мм, напряжения разряда $U = 500 \div 1240$ В, $I = 125 \div 1250$ мА. В качестве электролита используется 20 % и 30 % раствор CuSO_4 в очищенной воде, вторым электродом служит сталь 3 диаметром 4 мм.

Для исследования НЧР была разработана и создана специальная установка, которая состоит из системы электрического питания, вакуумной камеры с системой откачки, электролитической ванны и контрольно-измерительной аппаратуры. Вакуумная система состоит из вакуумной камеры, вакуумного насоса и вакуумной арматуры. Электролитическая ячейка заполняется исследуемыми электролитами необходимой концентрации. На дне ванны находится медная пластина, соединенная с одной из клемм источника питания. Верхний твердый электрод присоединяется

к другой клемме. Фотографирование разряда осуществлялось фотоаппаратами «Sony DSC-H9» и «ROWER 3.2». Результаты экспериментальных исследований НЧР представлены на фотографиях рис. 1 и 2.

Рассмотрим характерную структуру разряда переменного тока в воздухе между жидким электродом из 30 % раствора CuSO_4 в очищенной воде и стальным электродом. Как видно из фотографии рис.1а, твердый электрод охватывает неравномерное свечение. В верхней части твердого электрода наблюдается отрицательное тлеющее свечение (ОТС). Это объясняется тем, что эта часть электрода нагревается меньше, чем торец электрода. В результате нагрева торец электрода охвачен ярким свечением. Это подтверждается также отражением пятна в электролите. На поверхности электролита появляется круглое сплошное пятно, диаметр которого больше диаметра ПС в 4 раза. В данном случае плазменный столб имеет цилиндрическую форму с интенсивным свечением в межэлектродном промежутке. Сравнение рис. 1а и 1б показывает, что с увеличением давления от $2,9 \cdot 10^3$ до $4 \cdot 10^3$ Па при $l = 5$ мм с поверхности стального электрода происходит распыление материала. В результате образуется тонкодисперсный ферромагнитный порошок [5]. Некоторые частицы стального электрода падают в электролит, а частицы с края электрода отражаются вверх. Это объясняется тем, что одноименно заряженные с электролитом частицы отталкиваются от его поверхности, а разноименно заряженные с электролитом частицы притягиваются к нему.

Отметим также, что ОТС полностью охватывает верхнюю часть стального электрода (фотография рис.1б). Электродное пятно на электролите имеет сложную не сплошную форму. Из сравнения фотографий рис. 1а и 1б следует, что с ростом давления от $2,9 \cdot 10^3$ до $4 \cdot 10^3$ Па происходит изменение формы и структуры пятна на поверхности электролита. Сплошное пятно как бы

разрывается и на поверхности жидкого электрода появляются светящиеся области правильной и неправильной геометрической формы. Структура плазменного столба определяет сложную форму электродного пятна на электролите. Интенсивность свечения ПС ослабевает в сторону электролита.

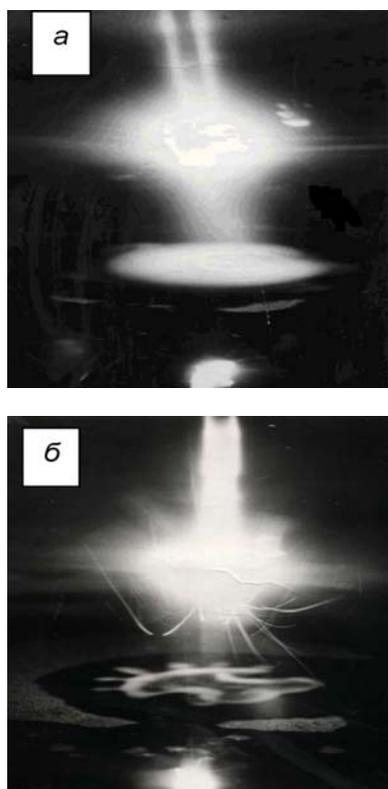


Рис. 1 - Фотографии НЧР переменного тока с частотой 50 Гц в 30 % растворе CuSO_4 в очищенной воде. Межэлектродное расстояние $l = 5$ мм.: *a* – $P = 2,9 \cdot 10^3$ Па, $U = 640$ В, $I = 1250$ мА; *б* – $P = 4 \cdot 10^3$ Па, $U = 720$ В, $I = 800$ мА

Анализ экспериментальных данных при $l = 30$ мм и $P = 1,6 \cdot 10^3$ Па показал, что с увеличением величины тока разряда от 125 мА до 600 мА имеются некоторые особенности. С ростом тока интенсивность излучения ОТС, охватывающего твердый электрод увеличивается. Как видно из рис.2*a* и 2*б*, меняется форма ПС. Плазменный столб при 125 мА в направлении электролита приобретает форму конуса, вершина которого находится на поверхности электролита (внизу). Между твердым электродом и плазменным столбом наблюдается темная область, где свечение воздуха практически отсутствует. С ростом тока от 125 мА до 600 мА ширина этой зоны уменьшается (рис. 2*a*) и появляется однородное пятно на поверхности электролита. Анализ экспериментальных данных при $l = 30$ мм показал, что с увеличением давления от $1,6 \cdot 10^3$ Па до $6 \cdot 10^3$ Па форма электродного пятна от сплошной круглой переходит к неправильной геометрической. Кроме того, возрастает интенсивность распыления материала стального электрода. Это видно из сравнения фотографий рис.2*a-г*.

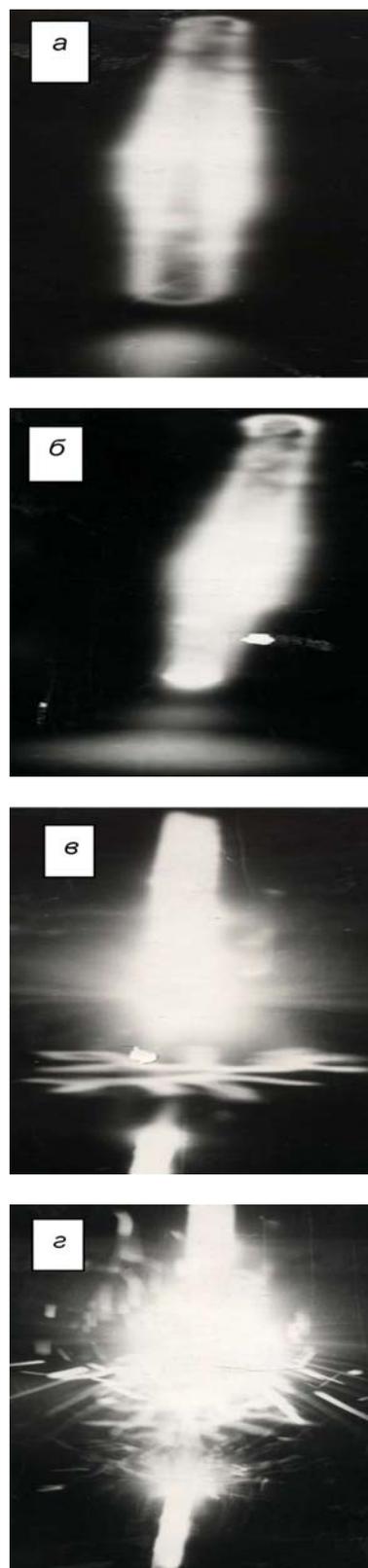


Рис. 2 - Фотографии НЧР переменного тока с частотой 50 Гц в 30 % растворе CuSO_4 в очищенной воде. Межэлектродное расстояние $l = 30$ мм.: *a* – $P = 1,6 \cdot 10^3$ Па, $U = 680$ В, $I = 125$ мА; *б* – $P = 1,6 \cdot 10^3$ Па, $U = 680$ В, $I = 600$ мА; *в* – $P = 4 \cdot 10^3$ Па, $U = 680$ В, $I = 715$ мА; *г* – $P = 6 \cdot 10^3$ Па, $U = 720$ В, $I = 700$ мА

Таким образом, в результате экспериментальных исследований НЧР с частотой 50 Гц между стальным электродом и электролитом из 30 % раствора CuSO_4 в очищенной воде выявлены следующие особенности. Установлено, что с увеличением давления однородная форма пятна на поверхности электролита принимает неправильные сложные геометрические формы. Структура плазменного столба определяет геометрическую форму электродного пятна на поверхности электролита. С ростом давления интенсивность распыления стального электрода существенно увеличивается. Выявлено, что увеличение межэлектродного расстояния приводит к образованию неоднородных форм плазменного столба.

Литература

1. Фортов В.Е. *Плазменные технологии* / В.Е. Фортов, Э.Е. Сон, Ф.М. Гайсин, К.Э. Сон, Б. Лесли, О.Дж. Хи, Их И Енг. Янг // Изд-во МФТИ г. Долгопрудный. 2006. 134с.
2. Гайсина Ф.М. *Физические процессы в газовых разрядах с твердыми, жидкими и плазменными электродами* / Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Казань, 1991.
3. Райзер Ю.П. *Основы современной физики газоразрядных процессов*. - М.: Наука, 1980. -416 с.
4. Райзер Ю.П. *Физика газового разряда*. – М.: Наука, 1987.- 591 с.
5. Гайсин А.Ф. *Способ получения металлического порошка (варианты)* / А.Ф. Гайсин, И.М. Нуриев, А.З. Гумеров // Патент от 27.08.2008 г. № 2332280.

© **Л. Н. Багаутдинова** - к.т.н., доц. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, lilur@bk.ru; **Ф. М. Гайсин** - д.ф.-м.н., профессор, зав. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ; **И. Ш. Абдуллин** - д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, abdullin_i@kstu.ru; **Т. Б. Мустафин** - асп. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, gasimova.techph@kstu-kai.ru; **Аз. Ф. Гайсин** – д.т.н., проф. той же кафедры, gasimova.techph@kstu-kai.ru; **Г. Т. Самитова** – асп. той же кафедры; **Ал. Ф. Гайсин** - к.т.н., доц. той же кафедры, almaz87@mail.ru; **Л. Ш. Гасимова** - соиск., вед. инж. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, gasimova.techph@kstu-kai.ru.