

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  $\text{CuSO}_4$  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  $\text{CuSO}_4$  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  $\text{CuSO}_4$  в очищенной воде. Межэлектродное расстояние  $l = 5$  мм.: а -  $P = 2,9 \cdot 10^3$  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.2а и 2б, 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. 2а) 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.2а-г. Рис. 2 - Фотографии НЧР переменного тока с частотой 50 Гц в 30 % растворе  $\text{CuSO}_4$  в очищенной воде. Межэлектродное расстояние  $l = 30$  мм.: а -  $P = 1,6 \cdot 10^3$  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  $\text{CuSO}_4$  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.