

Р. Ш. Садриев, Ал. Ф. Гайсин, Л. Н. Багаутдинова,
И. Ш. Абдуллин, Ф. М. Гайсин, Р. Р. Каюмов, Аз. Ф. Гайсин

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ МЕЖДУ ТВЕРДЫМ И ЖИДКИМ ЭЛЕКТРОДАМИ

Ключевые слова: плазма, разряд, частота, электрод, жидкость.

Приведены результаты экспериментального исследования развития высокочастотного электрического разряда между твердым и жидким электродами с использованием видеокамеры «Sony HDR-SR72E» в диапазоне импульса с частотой от 13,8 до 100 МГц в интервале межэлектродного расстояния $l = 2-20$ мм.

Keywords: plasma, discharge, frequency, electrode, liquid.

Presented are the results of experimental investigation of the HF discharge between solid and liquid electrodes with the use of video-camera Sony HDR-SR72E in the range of pulse frequency from 13,8 to 100 MHz and inter-electrode distances from 2 to 20 mm.

В настоящее время наблюдается возрастающий интерес к коронным разрядам. Исследования коронного разряда ведутся в двух направлениях – исследование физических процессов различных коронных разрядов и их применение для решения технологических задач. В настоящее время основной тенденцией является применение импульсных коронных разрядов. Синтез озона в плазмохимических реакторах с использованием коронного разряда проводится в промышленных масштабах.

Озон, созданный в плазмохимических реакторах, широко применяется для обеззараживания воды и различных материалов. Важное место в исследованиях коронного разряда занимает корона переменного тока, возникающего между иглой и плоскостью. В короне переменного тока происходит изменение во времени и пространстве распределения и величины объемного разряда. В коронном разряде этого типа существенным является ток смещения. Существует большое количество работ, посвященных исследованию возникновения коронного разряда в различных условиях [1, 2 и др.]. Несмотря на это исследование высокочастотных коронных разрядов (ВЧКР) между твердым и жидким электродами практически отсутствуют. В [3] приведены экспериментальные установки для получения разрядов в пузырьках и парах жидкости. Разработаны и созданы реакторы с ВЧ и СВЧ разрядом между твердыми электродами.

Экспериментальные исследования проводились на установке, предназначенной для изучения ВЧ и СВЧ разряда между стальным электродом и технической водой при атмосферном давлении, диаметре стального электрода $d = 1,5$ мм, и $d = 5$ мм и в диапазоне межэлектродного расстояния от 2 до 20 мм. В [4, 5] приведены результаты экспериментального исследования переменного тока между твердым электродом и электролитом при пониженных давлениях

Экспериментальные исследования проводились на установке, предназначенной для изучения электрического разряда с жидкими электродами. В качестве жидкости служит техническая вода. Установка для исследования высокочастотного разряда

между твердым и электролитическим электродами состоит из электролитической ванны и твердого электрода, металлической пластины для подвода потенциала в электролит, генератора высокой частоты ($f_0 = 13,8-100$ МГц). Электрический разряд горит между твердым электродом и технической водой. Измерение напряжения производилось с использованием киловольтметра КВЦ-120, предназначенный для измерения напряжений постоянного и переменного тока до 120 кВ. Одновременно на дисплее киловольтметра отображаются уровни действующего, амплитудного и среднего напряжений, что позволяет оценить форму и искажения измеряемого напряжения. Измерения тока проводились с помощью универсального цифрового мультиметра АВМ-4307. Видеосъемка ВЧ и СВЧ разряда осуществлялась на видеокамеру «Sony HDR-SR72E». Время экспозиции одного кадра – 0,04 с.

На рис. 1 представлена фотография высокочастотного электрического разряда при атмосферном давлении $d = 1,5$ мм и $l = 16$ мм. В качестве твердого электрода использована стальная игла марки сталь 40 с диаметром 1,5 мм. Анализ высокочастотного электрического разряда между твердым и жидким электродами (техническая вода) показал, что с ростом межэлектродного расстояния от 13 до 20 мм искровой разряд переходит в ВЧ коронный разряд.

В случае коронного разряда наблюдается слабое свечение плазменного столба, который имеет корневую структуру. Поверхность торца стальной иглы охватывает небольшое пятно синего цвета, которое распространяется вдоль иглы на расстоянии 3-4 мм. Вблизи жидкого электрода свечение не наблюдается. С уменьшением межэлектродного расстояния от 20 до 16 мм происходит переход коронного разряда в искровой. Если до середины межэлектродного расстояния наблюдается искровой разряд со слабым свечением, то вблизи жидкого электрода (техническая вода) горит контрагированная искра. На поверхности технической воды наблюдается небольшое пятно с корневой структурой. Из фотографии рис. 2 видно, что с дальнейшим уменьшением расстояния между твердым электродом и

технической водой наблюдается искровой разряд на всю длину межэлектродного расстояния. Особенностью горения искрового разряда между стальной иглой и технической водой является возникновение полускры с корневой структурой вблизи жидкого электрода (фотография рис. 3).



Рис. 1 - Искровой разряд при атмосферном давлении между стальной иглой с диаметром $d = 1,5$ мм и технической водой при $l = 16$ мм

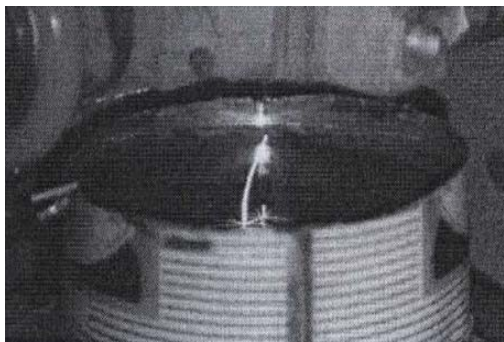


Рис. 2 - Искровые разряды при атмосферном давлении между стальной иглой с диаметром $d = 1,5$ мм и технической водой при $l = 15$ мм

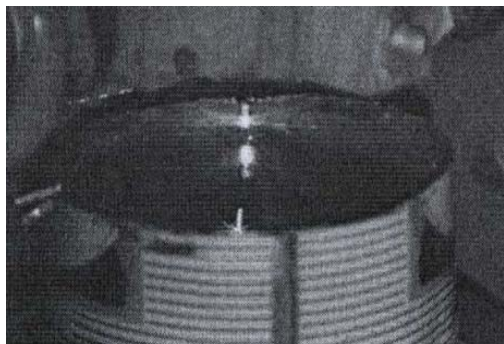


Рис. 3 - Разновидность искрового разряда между стальной иглой с диаметром $d = 1,5$ мм и технической водой при $l = 15$ мм

На фотографии рис. 4 показана искра, которая горит между твердым электродом с диаметром 5 мм и технической водой. Искровой разряд имеет точечное пятно, как на поверхности твердого электрода, так и на поверхности жидкого электрода.



Рис. 4 - Искровой разряд при атмосферном давлении между стальным (сталь 40) штырем цилиндрической формы с диаметром 5 мм и технической водой при атмосферном давлении и $l = 15$ мм

Таким образом, установлено, что в случае электрического разряда между твердым электродом (стальная иглолка) и технической водой с уменьшением межэлектродного расстояния ВЧ коронный разряд переходит в искровой. Выявлены некоторые особенности горения искрового разряда между твердым и жидким электродами.

Литература

1. Токарев А.В. *Коронный разряд и его применение*. – Бишкек, изд-во КРСУ. – 2009. – 124 с.
2. Токарев А.В. *Барьерные и барьерно-поверхностные разряды в технологии синтеза озона*. – Бишкек, изд-во КРСУ. 2011. – 119 с.
3. Peter Bruggtman and Cristophe Leys. *Нетермические плазмы в жидкостях и контрагирующие с жидкостями* (тематический обзор) / P. Bruggtman, Cr. Leys // J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 053001 (28 pp).
4. Багаутдинова Л.Н., Гайсин Аз.Ф., Абдуллин И.Ш., Гасимова Л.Ш., Гайсин Ф.М., Леушка М.А., Гайсин Ал.Ф. *Некоторые характеристики низкочастотного разряда с жидким электродом* / Л.Н. Багаутдинова, Аз.Ф. Гайсин, И.Ш. Абдуллин, Л.Ш. Гасимова, Ф.М. Гайсин, М.А. Леушка, Ал.Ф. Гайсин // Вестник Каз. технологич. ун-та. – 2013. – № 19. – С. 296-298.
5. Багаутдинова Л.Н., Гайсин Ф.М., Абдуллин И.Ш., Мустафин Т.Б., Гайсин Аз.Ф., Самитова Г.Т., Гайсин Ал.Ф. *Разряд переменного тока между твердым электродом и электролитом при пониженных давлениях* / Л.Н. Багаутдинова, Ф.М. Гайсин, И.Ш. Абдуллин, Т.Б. Мустафин, Аз.Ф. Гайсин, Г.Т. Самитова, Ал.Ф. Гайсин // Вестник Каз. технологич. ун-та. – 2013. – № 19. – С. 298-301.

© Р. Ш. Садриев - к.т.н., доцент каф. электротехники и электроники К(П)ФУ, srsh@list.ru; Ал. Ф. Гайсин - к.т.н., доцент каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, almaz87@mail.ru; Л. Н. Багаутдинова - к.т.н., доц. той же кафедры; И. Ш. Абдуллин - д.т.н., проф., зав. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, abdullin_i@kstu.ru; Ф. М. Гайсин - д.ф.-м.н., проф., зав. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ, gasimova.techph@kstu-kai.ru; Р. Р. Каюмов - к.т.н., асс. каф. технической физики КНИТУ им. А.Н. Туполева-КАИ; Аз. Ф. Гайсин - к.т.н., доц. той же кафедры.