

УДК 537.525

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПУЗЫРЬКОВОЙ СРЕДЕ РАСТВОРА СУЛЬФАТА АММОНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

© 2024 г. Л. Н. Багаутдинова¹, Э. Р. Бельгибаев¹,
Ал. Ф. Гайсин², Ф. М. Гайсин¹, Аз. Ф. Гайсин³, М. Н. Семенов³,
А. И. Купутдинова¹, И. Т. Фахрутдинова^{1,*}

¹ Казанский национальный исследовательский технический университет
им.А.Н. Туполева — КАИ, г. Казань, Россия

² Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

³ Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

*E-mail: itfakhrutdinova@kai.ru

Поступило в редакцию 20.02.2024 г.

После доработки 18.04.2024 г.

Принято к публикации 09.07.2024 г.

Разработана экспериментальная установка для исследования электрического разряда вдоль стальной иглы в электролитно-пузырьковой среде раствора сульфата аммония в водопроводной воде, которая имеет практическое значение для очистки и полировки медицинских изделий. Изучены вольт-амперные характеристики электрического разряда в рассматриваемых условиях. Установлен механизм развития процессов очистки и полировки медицинских игл из нержавеющей стали с погружением в раствор сульфата аммония в водопроводной воде. Выявлено, что электрические разряды при больших концентрациях электролита приводят к порче острого конца иглы.

DOI: 10.31857/S0040364424030162

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальные и теоретические исследования электрических разрядов в электролитно-пузырьковой среде имеют большое практическое значение [1]. Эти разряды используются в электролитно-плазменной технологии [2, 3], например, для очистки и полировки металлических изделий с погружением или без погружения в электролит. В [4–7] рассмотрены аспекты практического использования электрических разрядов в электролитно-пузырьковой среде для обеззараживания воды. В обзорных работах [8, 9] исследования посвящены электрическому разряду в жидкости, а также рассмотрено влияние газовой фазы на разряд. Установлено горение многоканального разряда внутри пузырьков в [10, 11]. В [12, 13] изучены особенности горения и развития разряда между струйным анодом и металлическим катодом в электролитно-пузырьковой

среде. В [14, 15] приведены результаты экспериментального исследования разряда переменного тока в электролите хлорида натрия при атмосферном и пониженном давлениях в пузырьковой среде внутри полиэтиленовой трубки.

Целью данной работы являются экспериментальные исследования характеристик электрического разряда в электролитно-пузырьковой среде раствора сульфата аммония в водопроводной воде, а также изучение механизма очистки и полировки медицинской иглы из нержавеющей стали.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработана и создана установка для экспериментального исследования электрического разряда вдоль стальной иглы в электролитно-пузырьковой среде раствора сульфата аммо-

ния в водопроводной воде при атмосферном давлении. Исследования проведены в диапазонах напряжения $U = 20\text{--}160\text{ В}$, тока $I = 5\text{--}40\text{ А}$ при концентрациях электролита сульфата аммония 1–10%, межэлектродном расстоянии между креплением иглы и поверхностью электролита $l_1 = 1\text{--}5\text{ мм}$ и глубиной погружения иглы в электролит $l_2 = 35\text{--}39\text{ мм}$.

На рис. 1 представлена экспериментальная установка для исследования электрического разряда в электролитно-пузырьковой среде раствора сульфата аммония в водопроводной воде при атмосферном давлении. Отличие источника питания постоянного тока состоит в использовании тиристорного стабилизатора. Газо-жидкостная пузырьковая среда в электролите образуется после зажигания электрического разряда.

На рис. 2 приведена осредненная вольт-амперная характеристика (ВАХ) электрического разряда постоянного тока в электролитно-пузырьковой среде при атмосферном давлении, $l_1 = 5\text{ мм}$ и $l_2 = 35\text{ мм}$. Для измерения напряжения использован вольтметр с классом точности 1.5%, а для измерения силы тока – амперметр с классом точности 1.5%. Межэлектродное расстояние определялось с помощью штангенциркуля с точностью 0.05 мм. В качестве электролита взят 1%-ный раствор сульфата аммония. Как видно из рис. 2, ВАХ электрического разряда имеет почти линейно возрастающий характер.

На поверхности необработанной стальной иглы из нержавеющей стали наблюдаются шероховатости (рис. 3а). На рис. 3б приведена фотография полированной поверхности медицинской иглы. Обработка производилась электрическим разрядом постоянного тока в электролитно-пузырьковой среде раствора сульфата аммония в водопроводной воде при атмосферном давлении, $l_1 = 5\text{ мм}$ и концентрации электролита 1.5%. Очистка и полировка поверхности происходит за время от 5 до 10 с. При этом конец иглы притупляется в зависимости от концентрации и состава электролита. Полировка поверхности происходит благодаря электрическому разряду, который образуется вдоль стальной иглы. В процессе полировки на поверхности иглы образуется плазменно-пузырьковая оболочка (ППО), как показано на рис. 3в и 3г. Между иглой и ППО горят микро-разряды. Аналогичные микро-разряды наблюдаются также в процессе обработки, когда торец электрода находится вне электролита. Фотографии поверхностей иглы до и после полировки сделаны через оптический микроскоп.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены ВАХ электрических разрядов постоянного тока в электролитно-пузырьковой

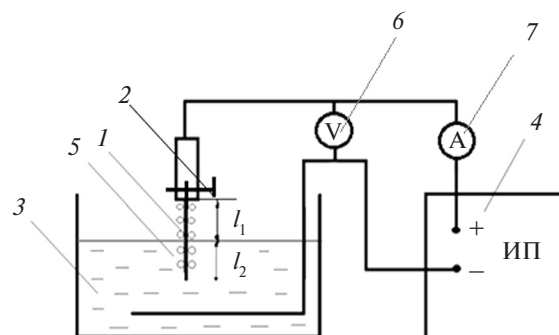


Рис. 1. Экспериментальная установка: 1 – медицинская игла, 2 – медное крепление, 3 – электролит, 4 – источник питания, 5 – пузырьковая среда в электролите в процессе горения электрического разряда, 6 – вольтметр, 7 – амперметр.

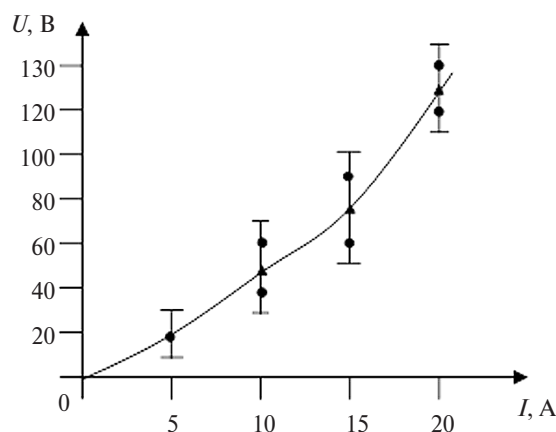


Рис. 2. Осредненная ВАХ электрического разряда постоянного тока в электролитно-пузырьковой среде при атмосферном давлении, $l_1 = 5\text{ мм}$, $l_2 = 35\text{ мм}$.

среде вдоль стальной иглы. Обнаружено, что в процессе полировки на поверхности иглы образуется ППО, внутри которой горят микро-разряды. Установлено, что электрический пробой происходит между острым концом медного крепления и электролитом при малых межэлектродных расстояниях ($l_1 < 5\text{ мм}$). Выявлено, что большие токи и концентрации электролита порядка 10% раствора сульфата аммония в водопроводной воде приводят к порче острого конца иглы.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 21-79-30062.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайсин Ал.Ф., Гайсин Аз.Ф., Гайсин Ф.М. Парогазовые разряды с непроточными и проточными электролитическими электродами и их практические применения. Казань: КНИТУ-КАИ, 2017. 356 с.

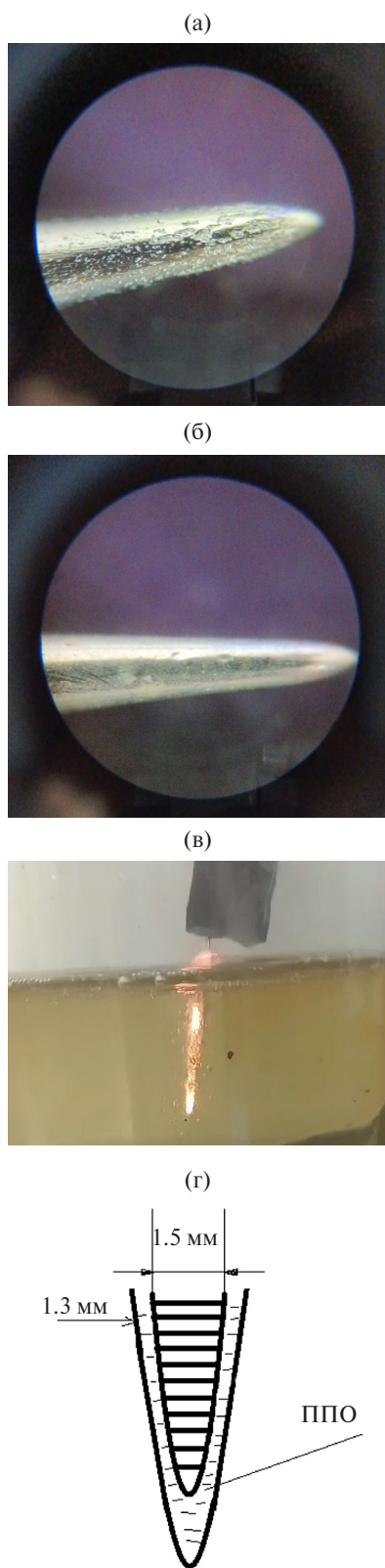


Рис. 3. Фотографии неполированной (а) и полированной (б) медицинских игл из нержавеющей стали; (в) — процесс полировки вдоль стальной иглы; (г) — схема образования ППО вдоль иглы.

2. Гайсин Ф.М., Залялов Н.Г. Способ получения высоковольтного разряда. Патент № 1445545. СССР. 1988.
3. Гайсин Ф.М. Способ полировки и придания блеска медицинским иглам. Патент РФ № 2787664. Б.И. № 2.2023.
4. Смирнов Б.М., Бабаева Н.Ю., Найдис Г.В., Панов В.А., Сон Э.Е., Терешонок Д.В. Пузырьковый метод очистки воды // ТВТ. 2019. Т. 57. № 2. С. 316.
5. Гайсин А.Ф., Насибуллин Р.Т. Об особенностях электрического разряда между электролитическим катодом и металлическим анодом // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 10. С. 959.
6. Сон Э.Е., Суворов И.Ф., Какауров С.В., Гайсин А.Ф., Самитова Г.Т., Соловьева Т.Л., Юдин А.С., Рахлецова Т.В. Электрические разряды с жидкими электродами и их применение для обеззараживания вод // ТВТ. 2014. Т. 52. № 4. С. 512.
7. Акишев Ю.С., Грушин М.Е., Каральник В.Б., Монич А.Е., Панькин М.В., Трушкин Н.И., Холоденко В.П. и др. Создание неравновесной плазмы в гетерофазных средах газ-жидкость при атмосферном давлении и демонстрация ее возможностей для стерилизации // Физика плазмы. 2006. Т. 32. № 12. С. 1142.
8. Bruggeman P., Degroote J., Vierendeels Y., Leys C. DC-excited Discharges in Vapour Bubbles in Capillaries // Plasma Sources Sci. Technol. 2008. V. 17. P. 025008.
9. Vanraes P., Bogaerts A. Plasma Physics of Liquids – A Focused Review // Appl. Phys. Rev. 2018. V. 5. 031103.
10. Самитова Г.Т., Гайсин Аз.Ф., Мустафин Т.Б., Гайсин Ал.Ф., Сон Э.Е., Весельев Д.А., Гайсин Ф.М. Некоторые особенности многоканального разряда в трубке при атмосферном давлении // ТВТ. 2011. Т. 49. № 5. С. 788.
11. Самитова Г.Т. Электрические разряды постоянного тока в движущихся пузырьках воздуха в электролите с образованием плазменной струи вне диэлектрической трубки. Дис. ... канд. техн. наук. Казань: Казанск. нац. иссл. технол. ун-т, 2013.
12. Фахрутдинова И.Т., Гайсин А.Ф., Сон Э.Е., Галимзянов И.И., Гайсин Ф.М., Мирханов Д.Н. Об особенностях электрического разряда между струйным анодом и металлическим катодом // ТВТ. 2017. Т. 55. № 6. С. 775.
13. Галимзянов И.И., Гайсин А.Ф., Фахрутдинова И.Т., Шакирова Э.Ф., Ахатов М.Ф., Каюмов Р.Р. Некоторые особенности развития электрического разряда между струйным анодом и жидким катодом // ТВТ. 2018. Т. 56. № 2. С. 306.
14. Валиев Р.И., Хафизов А.А., Багаутдинова Л.Н., Гайсин Ф.М., Басыров Р.Ш., Гайсин Аз.Ф., Гайсин Ал.Ф. Электрические разряды переменного тока в газожидкостной среде раствора хлорида натрия при атмосферном давлении // ТВТ. 2021. Т. 59. № 4. С. 634.
15. Хафизов А.А., Валиев Р.И., Багаутдинова Л.Н., Гайсин Аз.Ф., Гайсин Ал.Ф., Гайсин Ф.М., Сон Э.Е., Фахрутдинова И.Т. Электрический разряд переменного тока в однопроцентном растворе хлорида натрия в дистиллированной воде при пониженных давлениях // ТВТ. 2022. Т. 60. № 4. С. 625.