

УДК 537.528

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЖИДКОСТНОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

© 2025 г. М. Ф. Ахатов^a, *, А. Г. Каюмова^a, Р. К. Галимова^a, З. Я. Якупов^a

^aКазанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева, Казань, 420111 Россия

*E-mail: ahatov.81@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.06.2023 г.

После доработки 26.07.2024 г.

Принята к публикации 01.08.2024 г.

Плазменная технология очистки с одновременной полировкой струйным электрическим разрядом является более эффективной по сравнению с электрохимическим полированием. В статье рассмотрены процессы при воздействии электрического разряда на растворы неорганических веществ (NaCl , NH_4NO_3 и разряда в глицерине). Изучено распространение неорганического разряда в жидкости на поверхности различных материалов. Показано, что в качестве электролита наиболее эффективно использовать раствор NH_4NO_3 . Получены вольт-амперные характеристики электрического разряда между струйным электролитическим катодом и твердым анодом, а также многоканального разряда в струйном электролитическом катоде при разных длине и диаметре струи.

Ключевые слова: вольт-амперная характеристика, жидкая среда, кавитационные явления, плазменная струя, электрический разряд, электролит, электролитическая ванна

DOI: 10.56304/S2079562923030016

Рассматриваемый электрический разряд в жидкости представляет собой высоковольтный электрический разряд в жидкой среде. При формировании электрического разряда в жидкости выделение энергии происходит в течении достаточно короткого промежутка времени. Мощный высоковольтный электрический импульс с крутым передним фронтом вызывает различные физические явления: появление сверхвысоких импульсных гидравлических давлений, электромагнитное излучение в широком спектре частот вплоть до определенных условиях, до рентгеновского, кавитационные явления и другие. Указанные факторы оказывают на жидкость и помещенные в нее тела различные физико-химические воздействия [1–3]. Изучение свойств и характеристик электрических разрядов (ЭР) со струйными электродами в последнее время становится все более актуальным в связи с различными возможностями для обработки поверхностей различных материалов [4]. Здесь используются как электролитный, так и электролитно-плазменный режимы формирования, а также их комбинация. Специфика процессов плазменного образования со струйными электродами должна включать экологическую чистоту, низкое энергопотребление, локализованную контактную поверхность, формирование зоны разряда в широком диапазоне размеров и конфигураций за счет струйных

групп, возможность управления формой разряда с низким межэлектродным расстоянием, поддержание ЭР для длительный период при закрытой системе подачи электролита и другие более широкие технологические возможности по сравнению с таковыми в электролитической ванне. Таким образом, струйные электролитно-плазменные процессы конкурируют с технологией и применением ЭР в электролитической ванне между двумя электродами [5].

На рис. 1–3 представлены результаты экспериментального исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) разрядов. В качестве струйного электролитического катода используется насыщенный раствор NaCl в глицерине, анодом служила медная пластинка марки М1.

На рис. 1 представлена ВАХ электрического разряда между струйным электролитическим катодом и металлическим анодом при $l_c = 4$ мм, $G = 0.397$ г/с. Из анализа экспериментальных данных рис. 1 видно, что с ростом величины тока I разряда напряжение U разряда уменьшается, то есть ВАХ имеет падающий характер. При расходе электролита $G = 0.625$ г/с ВАХ разряда имеет также падающий характер (рис. 2), то есть с ростом расхода электролита при малых l_c величина тока электрического разряда возрастает [6].

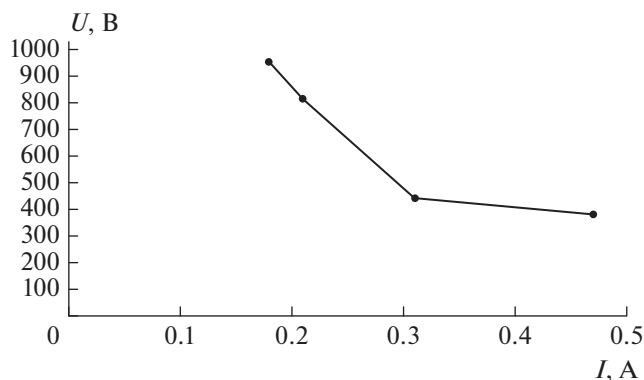


Рис. 1. ВАХ электрического разряда между струйным электролитическим катодом и твердым анодом при длине струи $l_c = 4$ мм, диаметре струи $d_c = 1.5$ мм и расходе электролита $G = 0.397$ г/с.

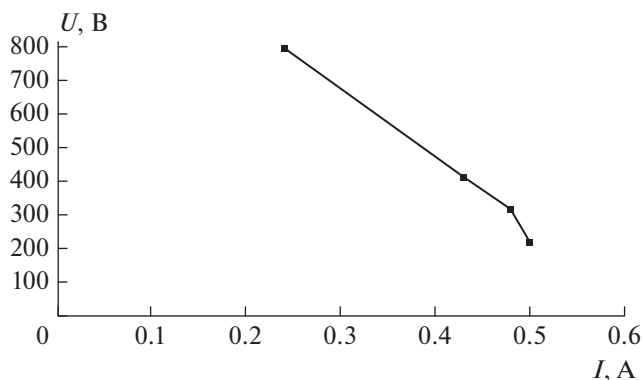


Рис. 2. ВАХ электрического разряда между струйным электролитическим катодом и твердым анодом при $l_c = 4$ мм, $d_c = 1.5$ мм и $G = 0.625$ г/с.

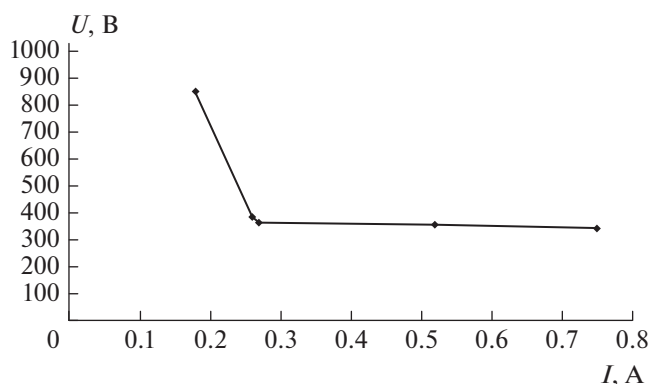


Рис. 3. ВАХ многоканального разряда в струйном электролитическом катоде при $l_c = 4$ мм, $d_c = 1.5$ мм и $G = 0.625$ г/с.



Рис. 4. Поверхность меди после обработки в случае раствора NH_4NO_3 .

Анализ ВАХ электрического разряда между струйным электролитическим катодом и твердым анодом, при погружении анода в электролит, для водного раствора NaCl в глицерине (рис. 3) показал, что величина U в интервале от 150 до 270 мА уменьшается резко, а в интервале $I = 270\text{--}750$ мА напряжение разряда уменьшается медленно [7].

Плазменная технология очистки с одновременной полировкой струйным электрическим разрядом является более эффективной по сравнению с электрохимическим полированием. Существуют также и другие методы воздействия плазменных струй на вещество [8–10]. Использование рассматриваемого процесса позволяет локально убрать имеющиеся дефекты и производить полировку до требуемой шероховатости. Технология позволяет производить локальную и ступенчатую обработку. Металлографические исследования выполнялись с использованием оптического микроскопа (рис. 4–5) [11].

В представленной работе экспериментально исследован процесс локальной очистки с одновременной полировкой поверхностей металлов и сплавов, когда обрабатываемое тело является



Рис. 5. Поверхность меди после обработки в случае раствора глицерина.

анодом. Экспериментальные исследования проводились с материалами различных форм и электрического разряда в жидкости для различных составов и растворов (NaCl , NH_4NO_3 и разряда в глицерине). При этом переход к исследованиям по обработке металлических изделий различных сложных конфигураций не представлял большой сложности. Разряд между струйным электролитическим катодом и твердым анодом позволяет очищать поверхность таких тел. Показаны вольт-амперные характеристики электрического разряда между струйным электролитическим катодом и твердым анодом, а также многоканального разряда в струйном электролитическом катод при разных геометрических параметрах струи. Установлено, что в качестве электролита наиболее эффективным является использование раствора NH_4NO_3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Takseitov R.R., Galimova R.K., Yakupov Z.Ya.* // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1588 (1). P. 012065.
2. *Takseitov R.R., Galimova R.K., Yakupov Z.Y.* // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. V. 1923 (1). P. 012012.
3. *Takseitov R.R., Galimova R.K., Yakupov Z.Y.* // J. Phys.: Conf. Ser. 2022. V. 2270 (1). P. 012064.
4. *Gaisin A.F., Kashapov N.F.* // J. Appl. Mech. Tech. Phys. 2018. V. 59. P. 591.
5. *Gaisin A.F et al.* // High Temp. 2020. V. 58. P. 777.
6. *Galimzyanov I.I. et al.* // High Temp. 2018. V. 56. P. 296.
7. *Fedotov A.I. et al.* // Power Technol. Eng. 2019. V. 53. P. 508.
8. *Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V.* // Symmetry. 2021. V. 13 (6). P. 927.
9. *Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V., Varaksin A.Yu.* // Appl. Sci. 2023. V. 13 (9). P. 5538.
10. *Кузенов В.В., Рыжков С.В.* // Ядерная физика и инжиниринг. 2019. Т. 10. С. 263.
11. *Tsareva A.M. et al.* // Russ. Aeronaut. 2020. V. 63. P. 362.

Propagation of a Liquid Inorganic Discharge on the Surface of Materials

M. F. Akhatov¹ *, R. R. Kayumov¹, R. K. Galimova¹, and Z. Ya. Yakupov¹

¹Tupolev Kazan National Research Technical University—KAI, Kazan, 420111 Russia

*e-mail: akhatov.81@yandex.ru

Received June 14, 2023; revised July 26, 2023; accepted August 1, 2023

Abstract—Plasma cleaning with simultaneous polishing by a jet electric discharge is more efficient than electrochemical polishing. The paper discusses the processes arising during the interaction of an electric discharge with solutions of inorganic substances, and studies the propagation of an inorganic discharge in a liquid on the surface of various materials (NaCl , NH_4NO_3 , and discharge in glycerol). A NH_4NO_3 solution is shown to be the most effective electrolyte. We report on current–voltage characteristics obtained for an electric discharge between a jet electrolytic cathode and a solid anode, as well as for a multichannel discharge in a jet electrolytic cathode at different jet lengths and diameters.

Keywords: current–voltage characteristic, liquid medium, plasma jet, electric discharge, electrolyte