

## ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

УДК 621.384

DOI: 10.17223/00213411/68/12/14

**Эрозия катодов вакуумной дуги  
при микросекундном диапазоне длительности импульсов\***А.Г. Николаев<sup>1</sup>, А.С. Бугаев<sup>1</sup>, В.Д. Гридилев<sup>1</sup>, В.И. Гушенец<sup>1</sup>,  
Е.М. Окс<sup>1</sup>, Н.А. Прокопенко<sup>1</sup>, Г.Ю. Юшков<sup>1</sup><sup>1</sup> *Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия*

Представлены результаты измерения удельной эрозии катодов вакуумной дуги при длительностях импульсов от 1 до 550 мкс. Показано, что эрозия материалов с температурой плавления более 500 °С не зависит от длительности импульса и находится в диапазоне 30–100 мкг/Кл, а эрозия катодов с температурой плавления менее 500 °С соответствует этому диапазону только при длительности импульса менее 10 мкс. При длительности импульса дуги 250–550 мкс эрозия для этих материалов достигает аномально высоких значений, 500–1000 мкг/Кл. Показано, что это связано с возрастанием капельной фракции при плавлении поверхности катода на глубину десятки микрометров в течение импульса дуги.

**Ключевые слова:** вакуумная дуга, удельная эрозия, катодное пятно, микрокапельная фракция.

**Введение**

Вакуумная дуга находит широкое практическое применение в различных технологических устройствах, таких, например, как ионно-плазменные напылительные установки или источники пучков ионов металлов для модификации поверхности [1–4]. При горении вакуумной дуги на поверхности катода функционируют катодные пятна [5–8], которые эмитируют плазму и микрокапли материала катода. В результате горения дуги масса катода уменьшается и этот процесс принято характеризовать параметром удельная эрозия катода  $\gamma$ , представляющим собой отношение потерь массы катода к количеству электрического заряда, пропущенного через цепь дуги. Поскольку эрозия материала катода за счет испарения неионизованных атомов много меньше удельной эрозии  $\gamma$ , то для детализации процесса эрозии значение  $\gamma$  принято представлять суммой удельной ионной эрозии  $\gamma_i$  и удельной микрокапельной эрозии  $\gamma_d$ .

Некоторые применения вакуумной дуги требуют ее длительного, многочасового непрерывного функционирования [9], время которого ограничено расходом материала катода. Таким образом, эрозия катода является одним из важных параметров устройств на основе вакуумной дуги, поскольку она определяет время непрерывной работы любого устройства на ее основе. С другой стороны, поскольку все основные процессы эрозии катода сосредоточены в катодных пятнах, то исследование поведения  $\gamma$ ,  $\gamma_i$  и  $\gamma_d$  при различных условиях эксперимента представляется важным для изучения физических процессов в катодном пятне вакуумной дуги.

Исследованиям удельной эрозии катода вакуумной дуги посвящено большое количество работ [10–12], однако основное внимание их авторы уделяли исследованию удельной ионной эрозии  $\gamma_i$ , определяющей процесс генерации плазмы. Настоящая работа посвящена исследованию общей удельной эрозии катодов  $\gamma$  при функционировании вакуумной дуги с амплитудой импульса тока 150 А, типичной для вакуумных дуговых ионных источников [13, 14]. В работе были исследованы катоды из 13 материалов, обладающих различными теплофизическими свойствами [15].

**Методика и техника эксперимента**

Схема разрядной системы, в которой осуществлялись измерения удельной эрозии материала катода вакуумной дуги, приведена на рис. 1. Была использована конструкция электродов вакуумной дуги с инициированием импульсным разрядом по поверхности диэлектрика, подробно рассмотренная в работе [16]. Катодный узел представлял собой катод  $l$  диаметром 6.3 мм и длиной

\* Работа выполнена в рамках госзадания ИСЭ СО РАН, проект № FWRM-2021-0006.