

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРОЗИИ ВОЛЬФРАМОВОГО КАТОДА ПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ АЗОТНОЙ ПЛАЗМЫ

Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Лазарук А.А.

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь,
E-mail: vai_mrtm@tut.by

Одной из основных характеристик работы электродуговых устройств является ресурс катода, испытывающего значительные тепловые нагрузки [1]. В качестве рабочего материала катода плазмотрона наибольшее распространение получил вольфрам, активированный окисями тория, лантана, бария, калия и другими веществами, внесение которых значительно снижает работу выхода электронов из металла и улучшает тем самым его эмиссионную способность при высоких температурах. Увеличение мощности и ресурса работы плазмотронов в значительной мере определяется успехами в изучении эрозии электродов в области приэлектродных участков дуги [2]. Эрозия катода возникает вследствие сложных тепловых, электрических, химических и механических процессов в приэлектродной области. Эти процессы до сих пор в достаточной мере не изучены. Основной упор в большинстве исследований по эрозии делается на экспериментальное изучение явлений и эмпирическое обобщение опытных данных для того, чтобы в дальнейшем создать обоснованную математическую модель и найти рациональные методы расчета оптимальных конструкций катодов.

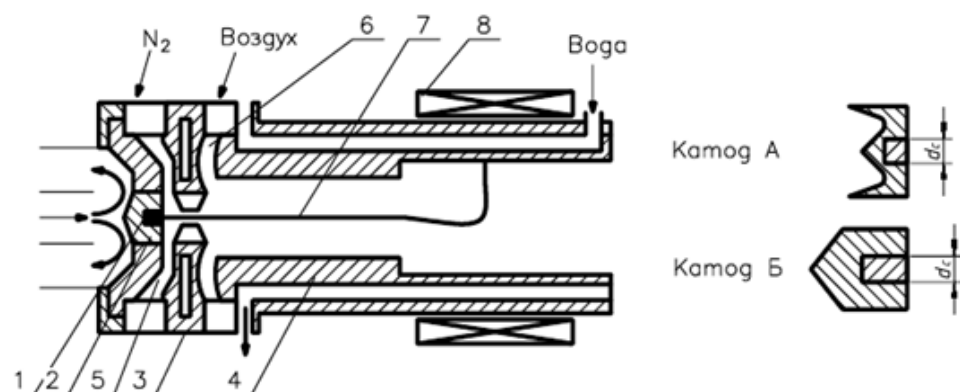
При наращивании мощности плазмотронов за счет увеличения тока следует иметь в виду, что скорость эрозии примерно пропорциональна току. Одним из путей снижения скорости эрозии является использование коаксиальных плазмотронов, плазмотронов с вихревой стабилизацией, в которых приэлектродные участки дуги перемещаются с большими скоростями вдоль поверхности электродов под действием аэродинамических или электромагнитных сил.

Основным фактором, определяющим скорость эрозии, является удельный тепловой поток в катод. Для термоэмиссионных электродов он, как правило, превышает 50 кВт/см^2 и зависит от рода рабочего газа, силы тока, характера охлаждения электрода и других факторов. Если дуга горит в водороде и гелии, то удельный тепловой поток вследствие высокой теплопроводности этих газов особенно велик. Для защиты катодов при нагреве агрессивных газов в дуговых устройствах наиболее широко используется аргон благодаря высокой эрозионной стойкости в нем вольфрама. Однако наиболее дешевым газом является азот и применение в плазмотронах азота в качестве защитного газа является экономически целесообразным. В литературе недостаточно экспериментальных данных по скорости эрозии вольфрамовых катодов, работающих в среде азота, поэтому такого рода исследования являются актуальными.

Для исследования эрозии вольфрамового катода и тепловых потерь в него разработан экспериментальный плазмотрон, схема которого приведена на рисунке 1. Плазмотрон состоит из вольфрамового катода 1, впаянного в медную обойму 2, медной профилированной нейтральной межэлектродной вставки 3 с минимальным внутренним диаметром 6 мм и медного анода 4 (цельного или составного) ступенчатой геометрии.

Рабочие и защитные газы подавались с закруткой соответственно в вихревые камеры 6 и 5, что обеспечивало как стабильность положения столба дуги на оси электродов, так и катодного пятна, что, в свою очередь, повышало точность определения диаметра пятна и плотности тока на катоде. Защитным газом служил азот, рабочим – воздух с расходами 3–4 г/с и 30–50 г/с соответственно. Охлаждение электродов и межэлектродной вставки осуществлялось водой.

При изучении влияния интенсивности охлаждения электрода на скорость эрозии вольфрама были использованы катоды двух конструкций (рисунок 1) – катод А и катод Б. Пайка вольфрамового стержня к медной обойме и обоймы к медному держателю осуществлялась серебряным припоем.



1 – вольфрамовый катод, 2 – медная обойма, 3 – нейтральная медная вставка,
4 – выходной медный анод, 5 – вихревая камера защитного газа,
6 – вихревая камера рабочего газа, 7 – дуга, 8 – соленоид
Рисунок 1 – Схема плазмотрона для исследования эрозии катодов

Потеря материала катода определялась путем его взвешивания до и после эксперимента, причем время непрерывной работы плазмотрона и величина потерь материала катода выбирались такими, чтобы удельная эрозия могла быть определена с точностью 10–20 %. В силу этого время испытаний варьировалось от 20 минут до 2,5 часов в зависимости от тока дуги.

Для отыскания путей снижения скорости разрушения катода исследован тепловой поток в него. Основная доля тепловой энергии, величина которой равна $I_i(U_k + U_i - \varphi)$, передается в катод ионами. Потеря тепла катодом в приэлектродной области происходит главным образом за счет термоэмиссии электронов и выражается величиной $I_i\varphi$.

Кроме того, теплообмен в области катода происходит излучением нагретой поверхности катода и высокотемпературного газа дуги, конвективным теплообменом, испарением вольфрама и т.д. Вклад этих слагаемых в тепловой поток обозначим через Q . Тогда для оценки теплоотвода вглубь катода, согласно [3], воспользуемся формулой:

$$Q_k = I_i(U_k + U_i - \varphi) - I_i\varphi + Q, \quad (1)$$

или

$$Q_k = I[s(U_k + U_i) - \varphi] + Q.$$

Согласно [4], катодное падение потенциала в азотной дуге при больших токах равно $7 \pm 2 В$. Проверенных данных о значениях ионной составляющей тока s и Q в литературе нет, что не позволяет рассчитывать тепловые потери в катод.

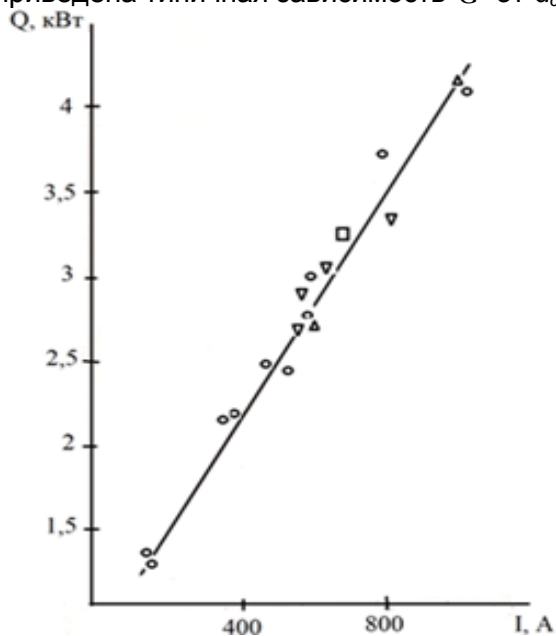
С целью определения s и Q , влияния на величину теплового потока условий отвода тепла от места привязки дуги были проведены калориметрические измерения в диапазоне изменения токов 200–1000 А при диаметре вольфрамовых стержней $d_c = 3-9$ мм и различных интенсивностях их охлаждения. Результаты экспериментов приведены на рисунке 2, из которого видно, что в исследованном диапазоне токов зависимость $Q = f(I)$ можно описать линейной функцией тока. Установлено, что $s=0,3$ и $Q=586$ Вт.

Из сравнения величин теплового потока для различных диаметров вольфрамовых стержней и способов их заделки (катоды А и Б) следует, что для таких катодов тепловой поток не зависит от интенсивности охлаждения стержня и его диаметра. Таким образом, формулу для расчета Q_k в случае азотной дуги можно представить в виде:

$$Q_k = 3,82I + 586, Вт. \quad (2)$$

Полученные данные по тепловым потокам в катод подтверждают, что основными прикатодными процессами, определяющими энергетический баланс на катоде, являются передача тепла ионами и термоэмиссия электронов.

Так как оптимальное охлаждение катода в значительной мере связано с величиной диаметра вольфрамового стержня d_c , были проведены исследования по определению удельной эрозии \bar{G} при различных диаметрах стержня. На рисунке 3 приведена типичная зависимость \bar{G} от d_c в азоте при $I=1000$ А.



катод А: \square – $d_c=3$ мм, ∇ – $d_c=5$ мм, катод Б:
 \circ – $d_c=4$ мм, \triangle – $d_c=9$ мм

Рисунок 2 – Зависимость теплового потока в катод от тока для азота

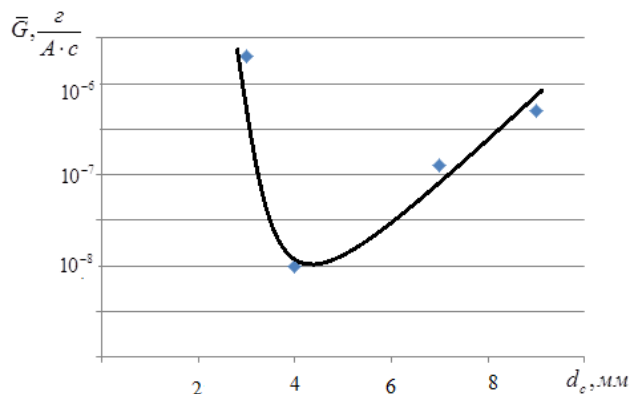


Рисунок 3 – Зависимость удельной эрозии вольфрамового катода от диаметра стержня при $I=1000$ А

По результатам экспериментов установлено, что минимальная эрозия катода имеет место при $d_c = 4$ мм, и при оптимизации его охлаждения в диапазоне токов 20–

1000 А составляет не более $(4...8) \cdot 10^{-9} \frac{z}{A \cdot c}$. Увеличение эрозии при $d_c < 4$ мм связано

в значительной мере с эрозией медной обоймы, поверхность которой начинает захватываться зоной привязки дуги. Поэтому для поддержания эрозии на минимальном уровне целесообразно диаметр вольфрамового стержня выбирать на 10–30 % больше диаметра катодного пятна.

Литература

1. Аньшаков А.С., Урбах Э.К., Урбах А.Э., Фалеев В.А. Исследование термохимических катодов в дуговых плазмотронах // Теплофизика и аэромеханика. – 2005. – Т. 12, № 4. – С. 685–691.
2. Туманов, Ю.Н. Плазменные, высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургических процессах / Ю. Н. Туманов. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 968 с.
3. Фарнасов, Г.А. Плазменная плавка / Г. А. Фарнасов, А. Г. Фридман, В. Н. Каринский. – М. : Metallurgiya, 1968. – 127 с.
4. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма / В. Финкельбург, Г. Меккер. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1961. – 369 с.