

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 533.9.02

Исследование сильноточной дуги в гелии

А.С. Аньшаков¹, Э.К. Урбах¹, С.П. Ващенко², Б.А. Поздняков²,
А.Э. Урбах¹, В.А. Фалеев¹, В.С. Чередниченко³

¹Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск

²Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск

³ОАО "Сибэлектротерм", Новосибирск

E-mail: Anshakov@itp.nsc.ru

Экспериментально исследованы электрические и эрозионные характеристики электродугового плазмотрона. Получены формулы для расчета величины напряжения на дуге в зависимости от расхода гелия, диаметра внутренней полости цилиндрического медного анода, тока дуги и расстояния от сопла до расплава металла.

Ключевые слова: дуговой разряд, плазмотрон, эрозия электрода, ток и напряжение дуги.

При исследовании электрических дуг в потоке газа, дуговой сварке разнородных металлов и плазменно-дуговой плавке титана и алюминия в качестве плазмообразующего газа используется гелий [1, 2]. Поэтому знание электрических параметров дугового разряда в гелиевой среде при токах в несколько килоампер представляет научный и практический интерес.

Схема плазмотрона для работы на гелии приведена на рис. 1. Плазмотрон состоит из двух узлов: анодного и соплового. Кольцо закрутки гелия расположено между анодом и соплом. Длительная работа плазмотрона достигается за счет быстрого перемещения анодного пятна по внутренней поверхности медного цилиндрического электрода как в окружном направлении, так и в осевом, создавая обширную зону А эрозии электрода. Осевое перемещение происходит естественным образом за счет движения радиального участка дуги вместе с потоком газа вглубь электрода. Затем

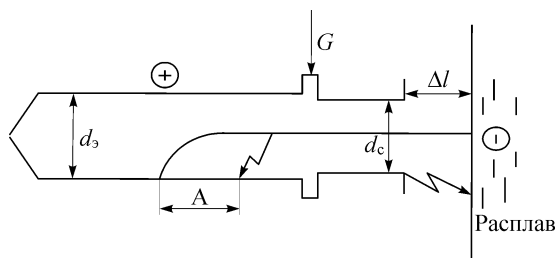


Рис. 1. Схема плазмотрона.

© Аньшаков А.С., Урбах Э.К., Ващенко С.П., Поздняков Б.А., Урбах А.Э., Фалеев В.А., Чередниченко В.С., 2009

происходит пробой дуга–стенка (показано стрелкой) и снова анодное пятно по спирали движется вглубь электрода. Чем больше расход газа, тем больше длина А зоны выработки электрода и тем больше ресурс плазмотрона. Основная часть экспериментов проводилась на модельном плазмотроне при $I = 200–600$ А с различными диаметрами внутреннего электрода d_3 и сопла d_c . Роль расплава играл графитовый блок. Во всех проведенных экспериментах вольт-амперная характеристика дуги была слабо падающая.

С ростом расхода гелия длина участка дуги, находящегося внутри анода (рис. 1), и величина напряжения на дуге увеличиваются.

С целью определения условий устойчивого горения дуги проведены исследования зависимости напряжения дуги от соотношения диаметров электрода d_3 и сопла d_c . Неправильный выбор этой величины приводит к каскадному горению дуги между электродом, соплом и расплавом (рис. 1), при этом сопло быстро разрушается. Например, эксперименты показали, что при расходе гелия $0,37 \text{ м}^3/\text{мин}$ оптимальное значение d_3/d_c находится в диапазоне 1,1–1,17. С увеличением тока дуги, расхода газа и диаметров d_3 и d_c полученное соотношение d_3/d_c практически остается неизменным, что и было подтверждено на технологическом плазмотроне.

Проведенные эксперименты с учётом данных, полученных на промышленном плазмотроне, позволили вывести формулу для расчета напряжения на дуге в зависимости от тока, расхода гелия, геометрических параметров плазмотрона и расстояния между соплом и расплавом. Основой послужила формула для расчета напряжения на дуге в двухкамерном воздушном плазмотроне [3]. Для исследуемой схемы напряжение имеет две составляющие: напряжение U_1 на внутреннем участке дуги анод–сопло и напряжение между соплом и расплавом ΔU :

$$U = U_1 + \Delta U. \quad (1)$$

Здесь $U_1 = 2070 \cdot (I^2/G \cdot d_c)^{-0,2} (G/d_c)^{0,25} (p \cdot d_c)^{0,35}$ — падение напряжения на участке дуги, находящемся внутри плазмотрона, ΔU — падение напряжения вне плазмотрона на участке Δl (см. рис. 1).

Эксперименты показали, что напряженность электрического поля внутри плазмотрона вплоть до выхода из сопла

$$E = 223,24 \cdot I^{-0,4}, \text{ В/см.} \quad (2)$$

Столь простая зависимость связана с тем, что напряжение на дуге и средняя длина дуги являются взаимосвязанными величинами и определяются одними и теми же комплексами: $(I^2/G \cdot d_c)^{-0,2}$, $(G/d_c)^{0,25}$, $(p \cdot d_c)^{0,35}$. Поэтому средний градиент напряжения должен определяться наиболее сильно изменяющимся фактором, в данном случае силой тока.

Далее для оценки падения напряжения ΔU в промежутке сопло–расплав примем, что напряженность поля вблизи расплава, как и в свободно горящей не обдуваемой дуге, составляет ≈ 4 В/см. Тогда средняя напряженность поля $E_{cp} = (E + 4)/2 = (223,24 I^{-0,4} + 4)/2$, а $\Delta U = (223,24 I^{-0,4} + 4)\Delta l/2$. Полное напряжение на дуге для исследованного плазмотрона, работающего на гелии, можно рассчитать по формуле

$$U = U_1 + \Delta U = 2070 (I^2/G \cdot d_c)^{-0,2} (G/d_c)^{0,25} (p \cdot d_c)^{0,35} + (223,24 I^{-0,4} + 4) \Delta l/2. \quad (3)$$

Здесь I , А, G , кг/с, d_c , м, p , Па, Δl , см.

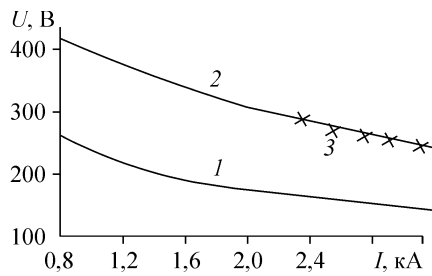


Рис. 2. Зависимость напряжения на дуге от тока. $G_{\text{He}} = 2 \text{ нм}^3/\text{мин}$, $d_3 = 43,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d_c = 39 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\Delta l = 0,2 \text{ м}$.

Напряжение на участке дуги внутри плазматрона (1), полное падение напряжения на дуге (2), расчет (1, 2), эксперимент (3).

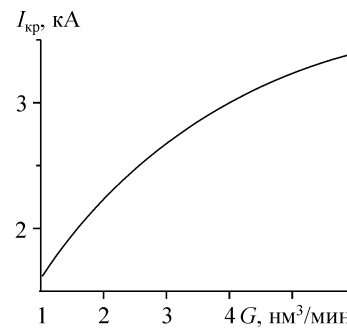


Рис. 3. Расчетная зависимость величины критического тока от расхода гелия.

Результаты расчета по формуле (3) представлены на рис. 2. Совпадение расчетных и экспериментальных данных подтверждает справедливость высказанных предположений и обобщения характеристик в критериальной форме.

При исследовании медных цилиндрических анодов в воздушной среде установлено, что для обеспечения длительного ресурса электрода необходимо выполнить следующие условия [4]:

$$G/pd_3 > 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ и } I < I_{\text{кр}} = 1,43 \cdot 10^6 \sqrt{G/p}. \quad (4)$$

Здесь G измеряется в $\text{нм}^3/\text{мин}$, d_3 — в м, p — в Па. Для гелия аналогичные формулы имеют вид

$$G/pd_3 > 2 \cdot 10^{-6} \text{ и } I < I_{\text{кр}} = 3,8 \cdot 10^6 \sqrt{G/p}. \quad (5)$$

На рис. 3 показана расчетная зависимость величины критического тока от расхода гелия для технологического плазматрона с внутренним диаметром анода $d_3 = 43,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Полученный результат имеет важное значение для выбора эксплуатационных параметров плазматрона.

При выполнении условий (5) величина удельной эрозии анода составляет 10^{-11} кг/Кл и ниже. Как показала эксплуатация промышленного плазматрона, при токе 3000 А ресурс анода составляет 300 часов и более.

ВЫВОДЫ

Получены обобщенные формулы для расчета основных электрических и технологических параметров электродугового плазматрона с длительным ресурсом работы на гелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельникова Т.С., Уланов И.М., Попенко В.Г. Влияние продольного магнитного поля на электрическую дугу // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1979. Вып. 3, № 1. С. 21–32.
2. Каринский В.Н., Куцын В.И. Сильноточный генератор плазмы инертных газов // Генераторы низкотемпературной плазмы. Тез. докл. XI Всесоюз. конф. Часть I. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1989. С. 26–27.
3. Жуков М.Ф., Коротеев А.С., Урюков Б.А. Прикладная динамика термической плазмы. Новосибирск: Наука. 1975. 295 с.
4. Аньшаков А.С., Быков А.Н., Тимошевский А.Н., Урбах Э.К. Взаимосвязь эрозионных процессов с аэродинамикой закрученного потока в цилиндрическом электроде плазматрона // Теплофизика и аэромеханика, 2002. Т. 9, № 4. С. 623–632.

Статья поступила в редакцию 3 сентября 2009 г.