

кообразующих добавок, уменьшить хрупкость и внутренние напряжения. В качестве одного из возможных путей предлагается осаждение покрытий Cu-Sn в специально подобранном режиме периодического изменения плотности тока, обеспечивающем поочередное осаждение сплавов, обогащенных тем или иным компонентом. Предлагается обращать особое внимание на тепловые режимы обработок, эксплуатации и хранения покрытий, а также учитывать роль природы подложек и толщины осаждаемых покрытий.

Литература

1. Иванов А.Ф. //Журн. Всесоюзн. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева. 1988. Т.33. № 2. С.126-138.
2. Тютин К.М., Космодамианская Л.В. // Там же, с.146-152.
3. Jordan M., Leuze E.G. /The electrodeposition of tin and its alloys. Sauglau, Wurt. Germany. 1995.
4. Воробьева Т.Н., Бобровская В.П., Свиридов В.В. // Известия АН Беларуси, сер. хим. наук. 1997. № 3. С.38-43.
5. Vorobyova T.N., Bobrovskaya V.P., Sviridov V.V. // Metal Finish. 1997. V.95, №. 11. P.14-20.
6. Воробьева Т.Н., Бобровская В.П., Рева О.В., Ивашкевич Л.С. // Тез. докл. II конференции «НОМАТЕХ-96», Минск 15-17 мая 1996. /Материалы, технологии, инструмент. 1996. № 2. С.51-52.
7. Воробьева Т.Н., Свиридов В.В., Рева О.В., Бобровская В.П. //Там же, с.103.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУГИ, ГОРЯЩЕЙ В ПЛАЗМОТРОНЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА С МЭВ

Бублиевский Д.А., Каролинский В.Г. Кузьмич В.А.,
Пекун А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М.
* Институт тепло- и массообмена НАНБ,
Брестский политехнический институт*

Формирование и стабилизация дуги в канале плазмотрона происходит при взаимодействии ее с потоком нагреваемого газа и стенкой электродазарядной камеры. Это взаимодействие носит как тепловой, так и электрический характер и в значительной мере определяется свойствами газа.

Один из способов увеличения мощности плазмотрона и достижения заданной температуры газа путем увеличения длины и напряжения дуги основан на применении между электродами изолированной от них медной вставки (МЭВ). Анализ результатов исследований показал, что целесообразно МЭВ выполнять многосекционной с подачей холодного газа в зазоры между секциями небольшой толщины.

В результате исследований установлено, что секции МЭВ заряжаются до потенциала некоторой точки участка столба дуги внутри секции из-за наличия несамостоятельного разряда между столбом и внутренней стенкой секции. Поэтому разность потенциала между дугой и секцией МЭВ становится существенно меньше, чем в случае несекционированной МЭВ при одинаковых их длинах. В плазмотронах с водяным охлаждением секций возможна утечка заряда с секции из-за электропроводности воды. Вследствие этого возможна ситуация, когда разность потенциалов столба и секции МЭВ окажется большой и достаточной для пробоя, что приведет к возникновению дуг по секциям и выходу плазмотрона из строя. Для того, чтобы избежать такого пробоя, секции подключались к системе охлаждения водой достаточно длинными дюритовыми шлангами, а потенциал секций постоянно контролировался в процессе проведения экспериментов. Таким образом, можно ожидать, что использование секционированной МЭВ в сочетании с распределенной подачей части рабочего газа для организации газовой завесы позволит увеличить не только длину, напряжение и мощность дуги при заданном токе, но и существенно повысить тепловой к.п.д. плазмотрона.

1. Описание экспериментальной установки

В экспериментальном плазмотроне использовались МЭВ с различным внутренним диаметром. Диаметр канала МЭВ в различных экспериментах составлял 4 мм, 6 мм, 8 мм или 10 мм. Число секций варьировалось от 3 до 11 штук, что позволяло изменять длину L МЭВ. Толщина одной секции экспериментального плазмотрона с учетом межсекционных изолирующих прокладок составляла 5,25 мм.

Рабочий газ (аргон) с расходом $G = 5-40$ л/мин подавался с закруткой в зазор между катодом и первой секцией МЭВ. Этот расход газа измерялся ротаметром типа РМ-2,5 ГУЗ, а давление аргона — манометром ВПЗ-У -1 - 0 атм. Кроме того, аргон подавался между секциями с расходом $G = 1-5$ л/мин. Этот расход измерялся ротаметром типа РМ-0,63 ГУЗ, а давление — манометром типа ОБМ В1-160 со шкалой -1 - 0 - 1,5.

Напряжение дуги и разность потенциалов между секциями и катодом

измерялись вольтметрами типа М826 с точностью 0,75%, а ток дуги измерялся амперметром типа М42100 класса 1,5. Давление в вакуумной камере поддерживалось равным 300 ÷ 800 Па и измерялось вакуумметром ВТЗ-1М.

Запуск плазмотрона осуществлялся путем кратковременного замыкания стержнем с электромагнитным приводом катода и первой секции МЭВ. При этом все секции перед запуском подключались к аноду. После зажигания короткой дуги между катодом и первой секцией, секции поочередно отключались от анода, при этом дуга вихревым потоком аргона устанавливалась на оси электроразрядной камеры.

2. Вольт-амперные характеристики

На рис. 1-2 приведены типичные вольт-амперные характеристики дуги, горящей в плазмотроне с МЭВ.

Эти характеристики определены при токах дуги 30-90 А, расходах ар-

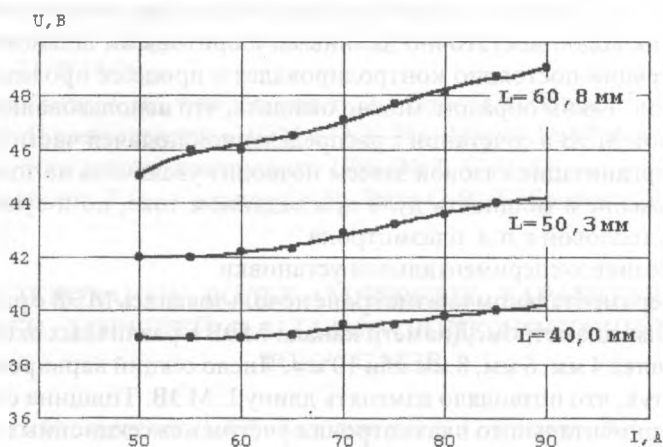


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики дуги в плазмотроне с МЭВ. $d = 10$ мм, $G = 13,7$ л/мин, $P_k = 64 \cdot 10^2$ Па, $P_c = 2,34 \cdot 10^4$ Па, $G_{оси} = 11,2$ л/мин, $G_{под} = 2,5$ л/мин.

гона $G = 6-25$ л/мин, диаметрах электроразрядной камеры $d = 4-10$ мм.

При исследовании этих характеристик плазматрон устанавливался на вакуумной камере установки ВУ-1Б.

Из приведенных рисунков видно, что вольт-амперные характеристики дуги являются восходящими. В результате проведенных экспериментов определено, что с увеличением межэлектродного расстояния путем добавления секций МЭВ напряжение дуги возрастало. После каждого проведенного эксперимента производился осмотр плазматрона, при этом

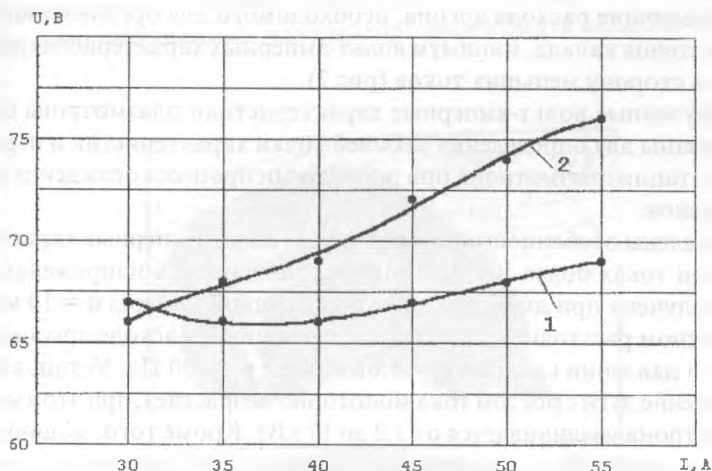


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики дуги в плазматроне с МЭВ при различных соотношениях расхода аргона G_i на организацию газовой завесы и основного расхода G_o .
 $d = 4 \text{ мм}$, $L = 29,3 \text{ мм}$, $G = 8,6 \text{ л/мин}$, $P_k = 54 \cdot 10^2 \text{ Па}$, $P_c = 34 \cdot 10^4 \text{ Па}$,

$$1 - \frac{G_i}{G_{осн}} = 0,7, 2 - \frac{G_i}{G_{осн}} = 0,18.$$

было установлено отсутствие горения дуги на секции. Это означает, что дуга горела в расчетном режиме на оси плазматрона. Обработка полу-

ченных данных позволяет сделать вывод, что вольт-амперные характеристики дуги имеют минимум при критерии I/d меньше $7,5$ А/мм. Такой вид характеристик позволяет эксплуатировать плазмотрон, используя силовой источник с жесткой вольт-амперной характеристикой, и этим обеспечить электрический к.п.д. плазмотрона близким к единице.

Изучение влияния перераспределения расхода аргона на входе в электроразрядную камеру и расхода газа в щели между секциями МЭВ показало, что положением минимума вольт-амперных характеристик дуги можно управлять. Так, снижая отношение величины основного расхода газа к величине расхода аргона, необходимого для организации газовой завесы стенок канала, минимум вольт-амперных характеристик дуги сдвигается в сторону меньших токов (рис.2).

Полученные вольт-амперные характеристики плазмотрона будут использованы для определения рабочей точки характеристик и параметров эксплуатации плазмотрона при проведении процесса осаждения углеродных пленок.

Выявлены особенности формирования вольт-амперных характеристик дуги при токах более 100 А. Типичная зависимость напряжения дуги от тока получена при диаметре электроразрядной камеры $d = 10$ мм, межэлектродном расстоянии $L = 29,3$ мм, суммарном расходе аргона $G = 13,7$ л/мин, и давлении газа в вакуумной камере $p = 600$ Па. Установлено, что напряжение дуги с ростом тока монотонно возрастает, при этом мощность плазмотрона увеличивается от $1,2$ до 17 кВт. Кроме того, мощность плазмотрона может быть увеличена не только за счет увеличения тока дуги, но и за счет увеличения межэлектродного расстояния.

Таким образом, исследования вольт-амперных характеристик дуги позволяют сделать следующие выводы.

1. Вольт-амперные характеристики плазмотрона с МЭВ являются восходящими при отношении тока к диаметру канала электроразрядной камеры более 30 . Это позволяет использовать стандартные силовые источники питания плазмотрона с жесткой характеристикой и нет необходимости использовать специальные источники электропитания с крутопадающей характеристикой, которые значительно дороже. Применение источников питания плазмотронов с жесткой характеристикой позволяет поднимать электрический к.п.д. установки до единицы.

2. Мощность плазмотрона можно увеличить не только за счет увеличения тока дуги, но и за счет увеличения длины МЭВ и напряжения дуги.