

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОТРОНА ПРИ МИКРОПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ ПРОВОЛОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Ю. С. БОРИСОВ, А. Н. КИСЛИЦА, С. Г. ВОЙНАРОВИЧ, Е. К. КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК, С. Н. КАЛЮЖНЫЙ
ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Для определения области рабочих напряжений плазматрона МП-04 установки микроплазменного напыления МПН-004 было построено семейство вольт-амперных характеристик, каждая из которых снималась при неизменном составе и расходе рабочего газа, длине открытого участка дуги и конструктивных размерах плазматрона. Тепловой поток определяли методом проточного калориметрирования. Это позволило определить в условиях процесса микроплазменного проволочного напыления термический КПД плазматрона, среднемассовую начальную энтальпию и температуру плазменной струи в зависимости от режима работы плазматрона — тока дуги и расхода плазмообразующего газа. Библиогр. 12, рис. 7.

Ключевые слова: микроплазменное проволочное напыление, проволочные материалы, аргоновая плазменная струя, вольт-амперная характеристика плазматрона, температура и энтальпия плазменной струи, термический КПД, напряжение и сила тока плазменной дуги, расход плазмообразующего газа

Технология газотермического нанесения (ГТН) покрытий по типу напыляемых материалов разделяется на порошковое и проволочное напыление [1]. Технология порошкового ГТН отличается разнообразием типов и составов напыляемых материалов, возможностью использования порошков с различным гранулометрическим составом. Однако она имеет ряд недостатков, связанных с трудностью обеспечения точной и стабильной подачи порошков в напыляющую газовую струю, а также необходимостью использования специальных порошковых дозаторов — сложных и дорогостоящих устройств.

Присущая всем порошкам для ГТН разница в размерах их частиц создает проблему неоднородности их нагрева, отражающуюся на качестве покрытий. В случае проволочного ГТН путем управления подачей напыляемого материала (проволоки) обеспечивается его точный и стабильный ввод в струю распляющего газа и гарантированное формирование потока расплавленных продуктов распыления проволоки. Недостаток этого процесса состоит в том, что состав напыляемого материала ограничен пластичными металлами. Однако в последнее время расширение применения порошковых проволок в определенной степени нивелирует этот недостаток.

Проволочное ГТН на практике представлено процессами электродуговой металлизации, газоплазменного проволочного напыления и в несколько меньшем объеме плазменного ГТН с

применением систем распыления «нейтральная проволока» и «проволока-анод» [2].

Созданная в ИЭС им. Е. О. Патона технология микроплазменного напыления покрытий (МПН) на первом этапе использовала технологию порошкового напыления. Для его реализации была разработана конструкция плазматрона, отличающаяся вынесенным анодом и наличием канала подачи защитного газа, экранирующего струю плазмы [3].

Формирование струи плазмы, распределение в ее объеме значений температуры и скоростей определяется как параметрами работы плазматрона, так и его конструкцией. В связи с этим при создании новой конструкции плазматрона необходимым этапом разработки технологии напыления с его использованием является определение его основных характеристик и предельных уровней температур и скоростей плазменной струи. Эта оценка необходима для установления возможностей плазматрона в части нагрева и плавления частиц напыляемого материала.

При разработке технологии микроплазменного напыления покрытий с использованием нейтральной проволоки необходимо было исследовать характеристики микроплазматрона и микроплазменной струи, генерируемой им в условиях напыления с использованием проволочных материалов.

Целью эксперимента является исследование термического КПД работы плазматрона η и опре-

деление среднemasсовой начальной энтальпии и температуры плазменной струи в зависимости от режимов работы плазмотрона: тока дуги I_d и расхода плазмообразующего $Q_{\text{пг}}$ газа.

Методика определения характеристик микроплазмотрона для условий МПН. Плазмотрон — преобразователь электрической энергии в тепловую. Поэтому с одной стороны, дуга плазменной струи как элемент электрической цепи характеризуется электрическими параметрами (током, напряжением), а с другой стороны, как источник тепла, — тепловыми параметрами (температурой, теплосодержанием). Существует сложная взаимосвязь между параметрами первой и второй группы.

Энтальпия (ΔH) — количество тепла, содержащееся в единице объема или массы струи, является важным тепловым параметром плазменной струи. Влияние расхода и состава рабочего газа на напряжение дуги наглядно иллюстрируется вольт-амперными характеристиками плазмотронов (ВАХ), представляющими собой зависимость между напряжением и током дуги при прочих равных условиях (длине дуги, параметрах плазмотрона, внешних условиях). В области малых токов ВАХ плазмотронов падающие, а с увеличением тока переходят в независимые и возрастающие. При неизменном составе газа напряженность всех участков столба плазменной дуги увеличивается при увеличении степени его сжатия. Степень сжатия столба дуги растет (до определенного предела) при уменьшении диаметра формирующего сопла и увеличении расхода рабочего газа. Как показывают исследования, основная масса газа проходит по периферийным областям столба и по мере увеличения расхода все интенсивнее охлаждает и сжимает столб. Чем интенсивнее обжата дуга, тем при меньшем значении тока ее ВАХ переходит в возрастающую. Таким образом, напряжение плазменной дуги зависит от конструктивных размеров плазмотрона от тока дуги, состава и расхода рабочего газа [4–6].

Для определения области рабочих напряжений плазмотрона строят семейство ВАХ, каждая из которых снимается при изменении расхода плазмообразующего газа $Q_{\text{пг}}$ и неизменных конструктивных размеров плазмотрона.

Для проведения эксперимента использовали плазмотрон МП-04 конструкции ИЭС им. Е. О. Патона. Измерения проводили при диаметре канала плазмоформирующего сопла 1,0 мм и диаметре электрода 1,5 мм. Расстояние от конца электрода до торца сопла равнялось 1,0 мм, расстояние от торца сопла до анода 1,5 мм. В качестве плазмообразующего и защитного газа использовали аргон. Расход плазмообразующего газа изменялся в

пределах 100...300 л/ч. Расход защитного газа во всех опытах поддерживался равным 400 л/ч.

Потери на нагрев деталей плазмотрона оценивали согласно методикам, описанным в работах [7, 8], по величине теплового потока $Q_{\text{п}}$ (Дж) воспринимаемого водоохлаждаемыми поверхностями плазмотрона (медного анода, катодного узла и плазмоформирующего сопла).

$$Q_{\text{п}} = c\rho Q_{\text{в}}\Delta T, \quad (1)$$

где c — теплоемкость воды, Дж/(г·К); ρ — плотность воды, г/см³; $Q_{\text{в}}$ — расход воды, см³/с; ΔT — разность температуры воды на входе и выходе из калориметра, °С.

Расход воды через калориметр (секции калориметра) измеряли ротаметрами РС-5, разность температур ΔT с помощью ртутных термометров с ценой деления 0,1 °С.

Тепловой поток определяли методом проточного калориметрирования на экспериментальной установке, схема которой показана на рис. 1.

Термический КПД плазмотрона вычисляли по соотношению:

$$\eta = 1 - \frac{P_{\text{н}}}{P_{\text{д}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{д}}$ — мощность дуги, определяемая как произведение $I_{\text{д}}$, $U_{\text{д}}$, Вт; $P_{\text{н}}$ — мощность теплового потока, расходуемая на нагрев водоохлаждаемых поверхностей плазмотрона (медного анода, катодного узла и плазмоформирующего сопла), которая определяется величиной $Q_{\text{п}}$ и потерями тепла на излучение $P_{\text{ос}}$; $P_{\text{н}} = Q_{\text{п}} + P_{\text{ос}}$.

Считая плазму оптически тонкой (прозрачной для собственного излучения), потери на излучение (учитывая, что при работе плазмотрона МП-04 дуга горит вне корпуса плазмотрона — между выносным анодом и кончиком катода), можно оценить по формуле:

$$P_{\text{ос}} = \frac{\pi d^2}{4} l \psi(\bar{T}), \quad (3)$$

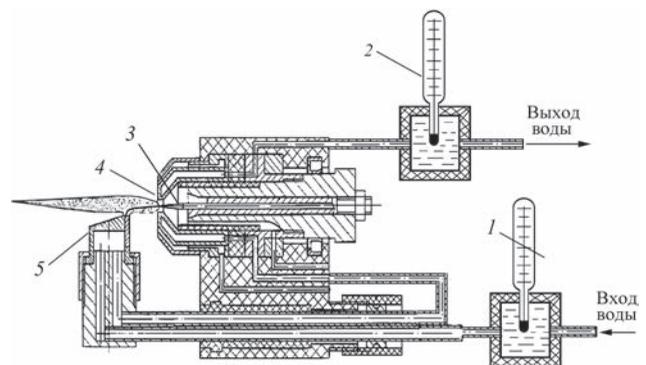


Рис. 1. Схема эксперимента по определению КПД работы плазмотрона: 1 — термометр, измеряющий температуру воды на входе в плазмотрон; 2 — термометр, измеряющий температуру воды на выходе из плазмотрона; 3 — катод; 4 — плазмоформирующее сопло; 5 — анод

где d — диаметр столба дуги; l — длина открытого участка дуги; $(\pi d^2 / 4)l$ — объем плазмы; ψ — объемные потери плазмы на излучение, Вт/м³; T — среднemasовая температура плазмы, К.

Энтальпию ΔH (Дж/л) плазменной струи определяли из соотношения:

$$\Delta H = \frac{P_d \eta}{Q_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — расход плазмообразующего газа, л/ч; η — термический КПД плазмотрона; P_d — мощность дуги, Дж/ч.

Температуру струи определяли по таблицам её связи с энтальпией в работе [9].

Измерение ВАХ микроплазмотрона МП-04 при проволочном напылении. ВАХ плазмотрона демонстрирует связь между напряжением плазменной дуги и силой тока. ВАХ позволяет установить диапазон устойчивой работы источника питания при изменении режимов работы плазмотрона.

Напряжение плазменной дуги зависит от конструктивных размеров плазмотрона (диаметр сопла, длина сопла), тока дуги, состава и расхода рабочего газа и от величины межэлектродного промежутка.

Основными тепловыми характеристиками плазмотрона являются термический КПД его работы $\eta_{\text{тр}}$, энтальпия ΔH и температура плазменной струи.

Расчетную оценку влияния параметров режима работы плазмотрона на энтальпию плазменной струи проводили с использованием выражения (4). С увеличением мощности дуги P_d возрастает температура и энтальпия ΔH плазменной струи. Влияние расхода плазмообразующего газа $Q_{\text{пр}}$ противоположное. Мощность дуги определяется, в свою очередь, двумя параметрами — силой тока и напряжением.

Для определения области рабочих напряжений плазмотрона МП-04 было построено семейство ВАХ, каждая из которых снималась при неизменном составе и расходе рабочего газа, длине открытого участка дуги и неизменных конструктивных размерах плазмотрона (рис. 2).

Обработка результатов эксперимента показывает, что ВАХ плазмотрона МП-04 являются восходящими и имеют линейный вид. Известно, что восходящие ВАХ в большинстве случаев являются более энергетически выгодными, так как при использовании источников питания не требуют введения в цепь дополнительного балластного сопротивления, падение напряжения на котором может достигать 50 % [10]. Таким образом, восходящие ВАХ микроплазмотрона МП-04 позволяют использовать для работы с ним источники пита-

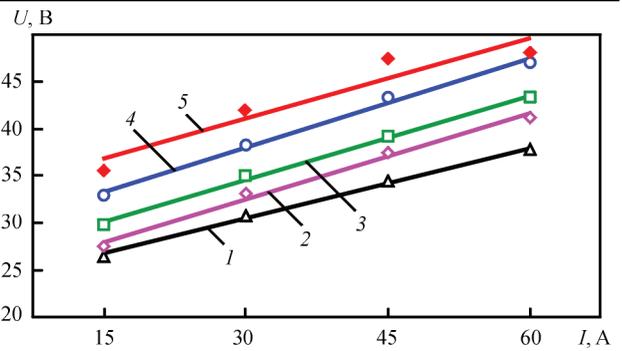


Рис. 2. ВАХ плазмотрона МП-04 (диаметр сопла 1 мм, плазмообразующий газ — аргон, расход плазмообразующего газа, л/ч: 1 — 100; 2 — 150; 3 — 200; 4 — 250; 5 — 300

ния как с крутопадающей внешней ВАХ, так и с жесткой внешней ВАХ [11].

Установлено, что при неизменном расстоянии «катод-анод» и неизменном составе газа напряжение линейно возрастает с увеличением силы тока и расходом плазмообразующего газа (рис. 2 и 3), тем самым увеличивается мощность плазмотрона.

Рост напряжения при увеличении расхода рабочего газа можно объяснить увеличением степени сжатия столба дуги. При обдуве дугового разряда на его границе за счет интенсивного теплообмена между газом и столбом дуги происходит процесс деионизации, что приводит к сокращению диаметра разряда и росту напряженности электрического поля в нем. Чем интенсивнее обжата дуга, тем при меньшем значении тока ее ВАХ переходит в возрастающую.

Из ВАХ (рис. 2 и 3) видно, что для рабочих значений силы тока и расхода плазмообразующего газа напряжение находится в пределах 25...50 В. Используя зависимость, приведенную в работе [12], можно считать, что источник питания для возбуждения дуги и устойчивой работы плазмотрона МП-04 на режимах, обеспечивающих распыление проволочных материалов, должен иметь возможность плавного регулирования тока в диа-

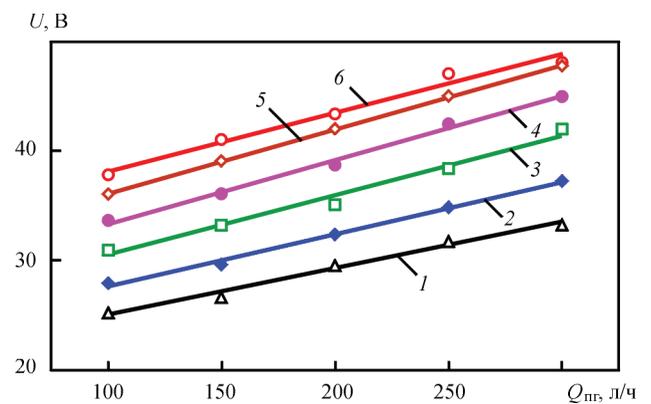


Рис. 3. Изменение напряжения плазмотрона МП-04 в зависимости от расхода плазмообразующего газа при разных значениях силы тока, А: 1 — 10; 2 — 20; 3 — 30; 4 — 40; 5 — 50; 6 — 60

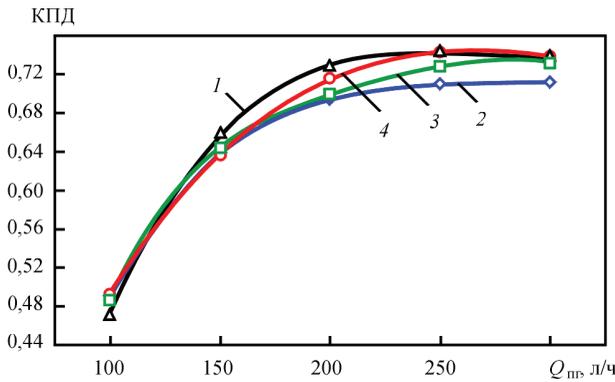


Рис. 4. Изменение термического КПД плазматрона МП-04 в зависимости от расхода плазмообразующего газа при разных значениях силы тока, А: 1 — 15; 2 — 30; 3 — 45; 4 — 60

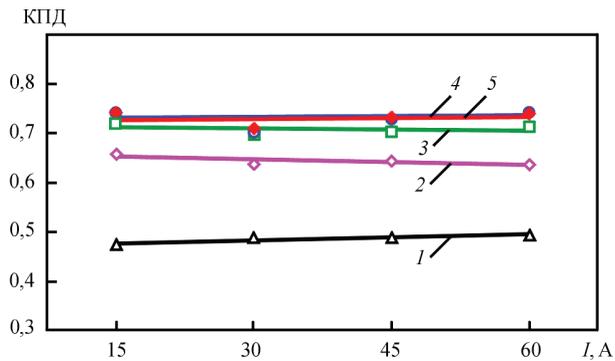


Рис. 5 Изменение термического КПД плазматрона МП-04 в зависимости от силы тока при разных значениях расхода плазмообразующего газа, л/ч: 1 — 100; 2 — 150; 3 — 200; 4 — 250; 5 — 300

пазоне 20...80 А и напряжение холостого хода не менее 60 В.

Исследования термического КПД микроплазматрона показали, что изменение силы тока от 15 до 60 А во всем диапазоне расхода плазмообразующего газа 100...300 л/ч практически не приводит к его изменению (рис. 4). Установлено, что термический КПД плазматрона увеличивается с увеличением расхода плазмообразующего газа в диапазоне 100...200 л/ч, а в диапазоне расходов 200...300 л/ч роста КПД не наблюдается. Это объясняется наступлением баланса между энергией, которая отбирается плазмообразующим газом и системой охлаждения плазматрона, а также наступлением критических условий, при которых сжатие дуги максимально и потери в стенке сопла остаются на одном уровне. Максимальный КПД микроплазматрона МП-04 достигает 75 %, что превышает результат, полученный в условиях МПН порошков [12].

Проведенные исследования показали, что КПД плазматрона МП-04 практически не изменяется с изменением силы тока при расходах газа, превышающих 100 л/ч (рис. 5).

Определение энтальпии и температуры аргоновой плазменной струи при микроплазменном проволоочном напылении. При микроплаз-

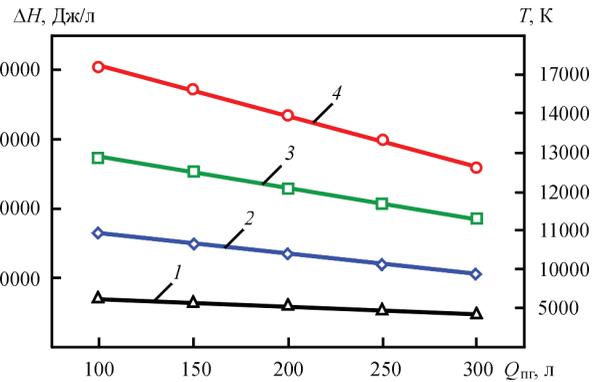


Рис. 6. Изменение энтальпии в зависимости от расхода газа для разных значений силы тока, А: 1 — 15; 2 — 30; 3 — 45; 4 — 60

менном проволоочном напылении для улучшения условий процесса плавления проволоки и диспергирования капли расплава металла, образующейся на торце нейтральной проволоки, и формирования струи, содержащей частицы напыляемого материала, используется повышенный расход газа при малом значении тока плазменной дуги. Поэтому энтальпия плазменной струи значительно ниже, чем при микроплазменном порошковом напылении. На рис. 6 видно, что с повышением расхода газа при менее интенсивном повышении мощности струи значения энтальпии и температуры струи плазмы снижаются.

Проведенный расчет параметров плазмы позволил по данным зависимости температуры аргона от энтальпии [9] определить температуру микроплазменной струи. Максимальная температура струи составляет 17700 К при минимальном расходе газа (100 л/ч) и максимальной силе тока (60 А), а минимальная температура равна 5000 К при максимальном расходе газа (300 л/ч) и минимальной силе тока (15 А) (рис. 6).

При фиксированном напряжении мощность дуги можно регулировать более гибким параметром — силой тока дуги. Энтальпия струи с увеличением силы тока, а следовательно и мощность

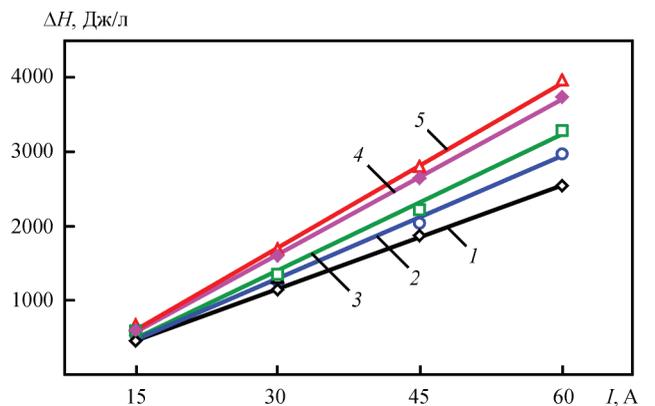


Рис. 7. Изменение энтальпии в зависимости от силы тока при разных значениях расхода плазмообразующего газа, л/ч: 1 — 100; 2 — 150; 3 — 200; 4 — 250; 5 — 300

дуги, возрастает линейно при всех расходах газа (рис. 7).

Поскольку напряжение в основном определяется конструкцией плазмотрона и составом плазмообразующего газа, то выбор режима его работы в процессе напыления заключается в установлении оптимальной комбинации силы тока и расхода плазмообразующего газа. Нижний и верхний уровень расхода плазмообразующего газа связан с условиями работы микроплазмотрона (тепловой нагрузкой на стенки сопла, стойкостью анода, стабильностью процесса).

Выводы

В результате измерения электрических и тепловых характеристик турбулентной микроплазменной струи аргона при распылении нейтральной проволоки установлено, что ВАХ микроплазмотрона с выносным анодом в этих условиях линейно возрастает в диапазоне токов 10...60 А для расходов плазмообразующего газа 100...300 л/ч, а КПД микроплазмотрона практически не зависит от значения силы тока и возрастает с 48 до 73 % с увеличением расхода плазмообразующего газа от 100 до 200 л/ч. Дальнейшее увеличение расхода плазмообразующего газа до 300 л/ч не приводит к изменению КПД. Расчетная величина энтальпии плазменной струи в этих условиях достигает 40 кДж/л, что эквивалентно температуре аргона струи 17700 К.

Список литературы

1. Ющенко К. А., Борисов Ю. С., Кузнецов В. Д., Корж В. М. (2007) *Инженерія поверхні*. Підручник. Київ, Наукова думка.
2. Бобров Г. В., Ильин А. А. (2004) *Нанесение неорганических покрытий*. Москва, Интернет Инжиниринг.
3. Борисов Ю. С., Войнарівич С. Г., Фомакін О. О., Ющенко К. А. (2002) Україна Декл. Пат. UA B23K10/00. *Плазмотрон для напылення покриттів*. № 2002076032
4. Жуков М. Ф., Смоляков В. Я., Урюков Б. А. (1973) *Электродуговые нагреватели газа (плазмтроны)*. Москва, Наука.
5. Коротаев А. С., Костылев А. М., Коба В. В. и др. (1969) *Генераторы низкотемпературной плазмы*. Москва, Наука.

6. Донской А. В., Клубникін В. С. (1979) *Электроплазменные процессы и установки в машиностроении*. Ленинград, Машиностроение.
7. Патон Б. Е., Гвоздецкий В. С., Дудко Д. А. и др. (1979) *Микроплазменная сварка*. Киев, Наукова думка.
8. Гладкий П. В. (1999) Тепловые характеристики дуги наплавочных плазмотронов. *Автоматическая сварка*, **6**, 13–15.
9. Энгельшт В. С., Гурович В. Ц., Десятков Г. А. и др. (1990) *Теория столба электрической дуги*. Низкотемпературная плазма. Т.1. Новосибирск, Наука.
10. Коротаев А. С. (1980) *Электродуговые плазмтроны*. Москва, Машиностроение.
11. Борисов Ю. С., Харламов Ю. А., Сидоренко С. Л., Ардатовская Е. Н. (1987) *Газотермические покрытия из порошковых материалов*. Киев, Наукова думка.
12. Borisov Yu., Sviridova I., Voynarovich S. et al. (2002) Investigation of the microplasma spraying processes. *Proceedings of the ITSC, Essen*, pp. 335–338.

References

1. Yushchenko, K.A., Borisov, Yu.S., Kuznetsov, V.D., Korzh, V.M. (2007) *Surface engineering*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
2. Bobrov, G.V., Iliin, A.A. (2004) *Deposition of inorganic coatings*. Moscow, Internet Engineering [in Russian].
3. Borisov, Yu.S., Voynarovich, S.G., Fomakin, O.O., Yushchenko, K.A. (2002) *Plasmatron for spraying of coatings*. Pat. 2002076032, Ukraine, Int. Cl. B23K10/00 [in Ukrainian].
4. Zhukov, M.F., Smolyakov, V.Ya., Uryukov, B.A. (1973) *Electric arc heaters of gas (plasmatrons)*. Moscow, Nauka [in Russian].
5. Korotaev, A.S., Kostilyov, A.M., Koba, V.V. et al. (1969) *Generators of low-temperature plasma*. Moscow, Nauka [in Russian].
6. Donskoj, A.V., Klubnikin, V.S. (1979) *Electroplasma processes and systems in mechanical engineering*. Leningrad, Mashinostroenie [in Russian].
7. Paton, B.E., Gvozdetsky, V.S., Dudko, D.A. et al. (1979) *Microplasma welding*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
8. Gladky, P.V. (1999) Thermal characteristics of arc of surfacing plasmatrons. *Avtomatich. Svarka*, **6**, 13-15 [in Russian].
9. Engelsht, V.S., Gurovich, V.Ts., Desyatkov, G.A. et al. (1990) *Theory of electric arc column*. Low-temperature plasma. Vol. 1. Novosibirsk, Nauka. [in Russian].
10. Korotaev, A.S. (1980) *Electric arc plasmatrons*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
11. Borisov, Yu.S., Kharlamov, Yu.A., Sidorenko, L., Ardatovskaya, E.N. (1987) *Thermal coatings from powder materials*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
12. Borisov, Y.S., Sviridova, I., Voynarovich, S. et al. (2002) Investigation of the microplasma spraying processes. In: *Proc. of ITSC, Essen*, 335-338.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМОТРОНА ПРИ МІКРОПЛАЗМОВОМУ НАПИЛЕННІ ДРОТОВИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Ю. С. БОРИСОВ, О. М. КИСЛИЦЯ, С. Г. ВОЙНАРОВИЧ, Є. К. КУЗЬМИЧ-ЯНЧУК, С. М. КАЛЮЖНИЙ

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Для визначення області робочих напруг плазмотрона МП-04 установки мікроплазмового напылення МПН-004 було побудовано вольт-амперні характеристики, кожна з яких фіксувалися при незмінному складі і витраті робочого газу, довжині відкритої ділянки дуги і конструктивних розмірах плазмотрона. Тепловий потік визначали методом проточного калориметрування. Це дозволило визначити в умовах процесу мікроплазмового дротового напылення термічний ККД плазмотрона, середньомасову початкову ентальпію і температуру плазмового струменя в залежності від режиму роботи плазмотрона — струму дуги і витрати плазмоутворюючого газу. Бібліогр. 12, рис. 7.

Ключові слова: мікроплазмове дротове напылення, дротові матеріали, аргонно плазмовий струмінь, вольт-амперна характеристика плазмотрона, температура і ентальпія плазмового струменя, термічний ККД, напруга і сила струму плазмової дуги, витрата плазмоутворюючого газу

INVESTIGATION OF ELECTRIC AND ENERGY CHARACTERISTICS OF THE PLASMATRON IN MICROPLASMA SPRAYING WITH WIRE MATERIALS

YU.S .B ORISOV, AN .K ISLITSA, S G . VOYNAROVICH, E K .K UZMICH-YANCHUK, S N .K ALYUZHNY

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

To determine the range of operating voltages of the plasmatron MP-04 of the installation MPN-004 for microplasma spraying, a family of volt-ampere characteristics was plotted, each of them was taken at the constant composition and consumption of the working gas, the length of the arc open section and the design dimensions of plasma. The heat flow was determined by the flow-through calorimetry method. It allowed determining the thermal efficiency of the plasmatron, the average mass initial enthalpy and the temperature of the plasma jet, depending on the plasmatron operating mode, i.e. arc current and plasma-forming gas consumption, under conditions of the microplasma wire spraying process. 13 Ref., 7 Fig.

Keywords: microplasma wire spraying, wire materials, argon plasma jet, volt-ampere characteristics of plasmatron, temperature and enthalpy of plasma jet, thermal efficiency coefficient, voltage and current strength of plasma arc, consumption of plasma-forming gas

Поступила в редакцию 10.07.2018

Новые книги

ISBN 978-617-7015-74-0

Физические процессы при сварке и обработке материалов. Теоретическое исследование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент: Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.В. Кривцуна. — Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. — 642 с.

Сборник включает 86 статей и докладов сотрудников отдела физики газового разряда и техники плазмы института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, опубликованных за период 1978–2018 гг. В нем обобщен сорокалетний опыт научно-исследовательской деятельности отдела в области теоретического исследования и компьютерного моделирования физических явлений, протекающих при дуговых, плазменных, лазерных и гибридных процессах сварки, наплавки и напыления покрытий. Может быть интересен и полезен ученым, инженерам и технологам, занимающимся проблемами дуговой, плазменной, лазерной и гибридной сварки и обработки материалов, а также аспирантам и студентам, изучающим теоретические основы сварочных и родственных процессов.

ISBN 978-966-8177-89-7

Мазур А. А. Очерки истории Патоновской научной школы: Сборник. 2-е изд., испр., доп. Киев, ИЭС; Харьков, ФЛП Либуркина Л. М., 2018. — 216 с.

В сборнике представлена информация о всемирно известной Патоновской научно-инженерной школе в области сварки и родственных технологий, которая была создана выдающимся ученым академиком Е. О. Патонем и развита достойным продолжателем его дела академиком Б. Е. Патонем. Освещены основные этапы и принципы создания и развития этой школы, ее влияние на мировую сварочную науку и технику, вклад в обеспечение экономической и военной безопасности страны.

Сборник рассчитан на широкий круг читателей, которые интересуются вопросами научно-технического, инновационного и экономического развития страны, а также молодежи, выбирающей свой жизненный путь.



Сборники можно заказать в редакции журнала «Автоматическая сварка».