

НОВЫЙ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛА ПОД СВАРКУ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

С.В. Анахов¹, А.В. Матушкин², Ю.А. Пыкин^{3, 4}

¹ Российский государственный профессионально-педагогический университет, г. Екатеринбург;

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург;

³ Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург;

⁴ ООО НПО «Полигон», г. Екатеринбург

Рассматривается новый одноконтурный плазмotron для резки металлов под сварку с улучшенными газодинамическими характеристиками. Конструкция плазмotronа создана в процессе решения проблемы равномерного распределения потока плазмообразующего газа по сечению газозвдушного тракта плазмotronа. В результате анализа различных конструктивных вариантов газозвдушного тракта – с увеличенным объемом расширительной камеры, с модификацией длины, количества и формы каналов завихрителя, с системой газодинамических фильтров в расширительной камере – создана комплексная система газовихревой стабилизации плазменной дуги. Система газодинамических фильтров представляет собой совокупность препятствий различной формы, установленных в расширительной камере, функцией которых является равномерное распределение потоков ПОГ по каналам завихрителя. Представлены результаты компьютерного моделирования, обосновывающие эффективность проектирования.

Проведен сравнительный анализ параметров эффективности и безопасности его работы. В процессе анализа параметров качества поверхности кромок реза (отклонения поверхности реза от перпендикулярности, величины шероховатости поверхности реза, размера зоны термического влияния) установлено, что новый плазмotron осуществляет резку металла под сварку на уровне 1-го класса качества. Показано также улучшение параметров безопасности при работе с новым плазмotronом.

Ключевые слова: плазмotron, проектирование, газовихревая система, газодинамический фильтр, газозвдушный тракт, плазмообразующий газ, стабилизация, резка, качество, перпендикулярность, шероховатость, зона термического влияния, эффективность, безопасность, шум, уровень звукового давления, излучение.

Характерной особенностью конструкций большинства применяемых для разделки металлов под сварку дуговых плазмotronов постоянного тока является применение газовихревой системы стабилизации плазменной дуги [1]. Тангенциально закрученный поток плазмообразующего газа стабилизирует катодное пятно, предотвращает шунтирование плазменной дуги и изолирует начальный участок плазменной струи от стенок канала соплового узла, формирует геометрию и кинетические свойства струи на выходе из сопла, способствуя, помимо улучшения вышеперечисленных параметров и снижению акустической нагрузки [2]. Проведенные авторами исследования показали, что применяемые способы газовихревой стабилизации в таких плазмotronах не обеспечивают в должной мере равномерность распределения пото-

ка плазмообразующего газа (ПОГ) по сечению газозвдушного тракта (ГВТ), снижая тем самым эффективность работы плазмotronа. В результате анализа некоторых конструктивных решений, позволяющих решить упомянутую проблему, был разработан плазмotron ПМВР-2М с новой системой газовихревой стабилизации (рис. 1).

В современных металлорежущих плазмotronах, как правило, применяются 2 системы подачи газа – одноконтурная (используется единый поток ПОГ для формирования и стабилизации плазменной дуги (струи)) и двухконтурная (2 потока газа – плазмообразующий и стабилизирующий). Система газовихревой стабилизации одноконтурных плазмotronов, как правило, включает в себя помимо соплового узла расширительную камеру, предназначенную для выравнивания потока ПОГ по се-



Рис. 1. Дуговой плазмotron ПМВР-2М для резки металлов под сварку

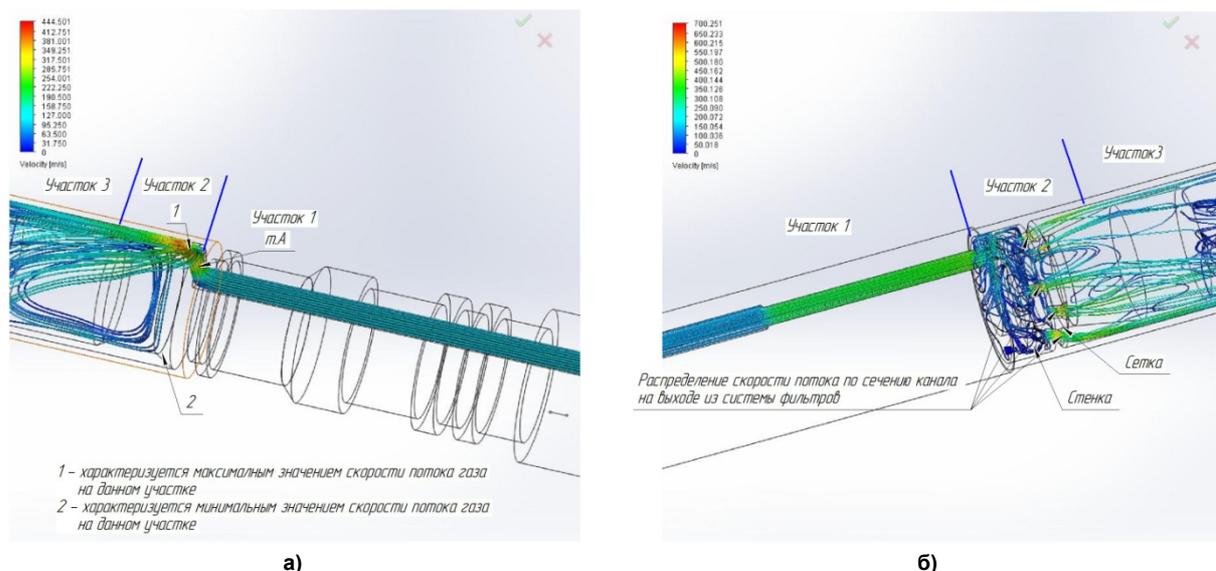


Рис. 2. Моделирование течения скорости потока ПОГ в системе газовихревой стабилизации плазмотрона:
а – без системы фильтров; б – с системой фильтров

чению ГВТ и завихритель. В процессе поиска решений проблемы равномерного распределения потока ПОГ по сечению ГВТ плазмотрона были проанализированы различные варианты газовихревой системы – с увеличенным объемом расширительной камеры, с модификацией длины, количества и формы каналов завихрителя, с системой газодинамических фильтров в расширительной камере.

Система газодинамических фильтров представляет собой совокупность препятствий различной формы, установленных в расширительной камере, функцией которых является равномерное распределение потоков ПОГ по каналам завихрителя. Газодинамический анализ проводился путем моделирования течения потока газа по каналам ГВТ плазмотрона в среде SolidWorks в приложении Flow simulation. Задачей исследований был выбор оптимальной конструкции газовихревой системы, сочетающей преимущества различных способов выравнивания потоков ПОГ. В результате исследований была разработана, исследована и оптимизирована конструкция плазмотрона ПМВР-2М с увеличенным объемом расширительной камеры и системой газодинамических фильтров, представляющих собой совокупность сплошной и перфорированной вертикальных стенок различной формы исполнения, а также укороченным завихрителем с шестизаходной резьбой. Были предложены и конструктивные изменения в форму соплового узла, учитывающие авторские разработки по проектированию плазмотронов с учетом факторов их безопасного применения.

Проведенное газодинамическое моделирование показало эффективность применения новой системы газовихревой стабилизации, обеспечивающей равномерное распределение потока ПОГ

по каналам завихрителя и в сечении соплового узла (рис. 2). Помимо численного анализа было выполнено экспериментальное исследование параметров эффективности и безопасности работы нового плазмотрона ПМВР-2М в сравнении с базовым плазмотроном ПМВР-М (ООО НПО «Полигон»), хорошо зарекомендовавшим себя на предприятиях Уральского региона.

Для анализа качества поверхности выполненного плазмотроном реза была проведена плазменная резка плоских контрольных пластин стали 09Г2С толщиной 10 мм при разных углах наклона плазмотрона по схеме, представленной на рис. 3. Режимы резки пластин – в табл. 1.

В процессе анализа качества поверхности кромок реза фиксировались параметры, определяемые ГОСТ 14792–80, – отклонение поверхности реза от перпендикулярности, величина шероховатости поверхности реза, размер зоны термического влияния (ЗТВ). Дополнительно был выполнен замер изменения твердости поверхностей, прилегающих к кромке реза металла, по схеме, приведенной на рис. 4. Определение величин зоны оплавления и ЗТВ выполнено на макрошлифах с использованием оптического микроскопа ЙЕНАФОТ 2000. Поверхность шлифов подготавливали на шлифовально-полировальном станке Ecomet 250/300 Grinder-Polisher, Automet 250/300 Power Head BUEHLER. Травление поверхности образцов выполнено в 4–5 % спиртовом растворе HNO_3 с промывкой водой и спиртом. Для измерения твердости использован автоматический твердомер Виккерс КВ 30. Результаты измерений представлены в табл. 2 и 3, на рис. 5.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о небольшом раскрытии кромок вертикальных резов ($\Delta = 0,8–1,1$ мм) при резке плазмо-

троном ПМВР-М, что соответствует верхнему пределу 2-го класса качества по ГОСТ 14792–80. Качество вертикальных резов плазмотроном ПМВР-2М выше и соответствует верхнему пределу 1-го класса качества по ГОСТ 14792–80 ($\Delta=0,2-0,5$ мм). Качество косых резов обеими плазмотронами приблизительно одинаково. Величина радиуса закругления верхней кромки реза для всех случаев соответствует требованиям ГОСТ 14792–80 (менее 2 мм) с небольшим улучшением (на 0,1 мм) для плазмотрона ПМВР-2М.

Глубина зоны перегрева на образцах составляет от 0,7 до 0,9 мм, что соответствует расстоянию от кромки реза до 5-й точки замера и 2-му классу точности по ГОСТ 14792–80. Твердость, измеренная на этих участках, на заготовках, полученных при резке плазмотроном ПМВР-2М, в основном ниже, чем у аналогичных образцов, полученных при резке ПМВР-М. Данный эффект

можно объяснить меньшей величиной тепловложения при выполнении резки (14 кВт потребляемой мощности ПМВР-2М и 21 кВт ПМВР-М – табл. 1).

Представленные данные показывают, что новая система газовихревой стабилизации плазмотрона ПМВР-М улучшает качество поверхности реза и энергоэффективность процесса. Кроме этого, улучшение профиля газоздушного тракта плазмотрона ПМВР-2М позволяет добиться и снижения уровня шумового загрязнения в рабочей зоне. В характерном для большинства плазменных резаков диапазоне сверхнормативного излучения (1–20 кГц) данный плазмотрон имеет на 5–8 дБ меньшие уровни звукового давления в 1/3-октавных диапазонах спектра, чем серийно выпускаемый плазмотрон ПМВР-М [2]. В результате уровень суммарной звуковой мощности в нормируемом диапазоне слышимой части спектра (до 8 кГц)



Рис. 3. Схема резки под разными углами наклона плазмотрона: а – 90°; б – 30°

Режимы резки (П – перпендикулярный рез (рис. 3, а); У – рез под углом (рис. 3, б))

Таблица 1

Параметр	Плазмотрон			
	ПМВР-М		ПМВР-2М	
	П	У	П	У
Ток дуги, А	110	105	88	80
Напряжение дуги, В	200	200	160	180
Скорость резки, м/мин	0,54	0,54	0,5	0,5
Диаметр сопла, мм	2	2	2	2
Расстояние до среза сопла L , мм	5	5	5	5
Давление плазмообразующего газа, МПа	0,45	0,45	0,5	0,5

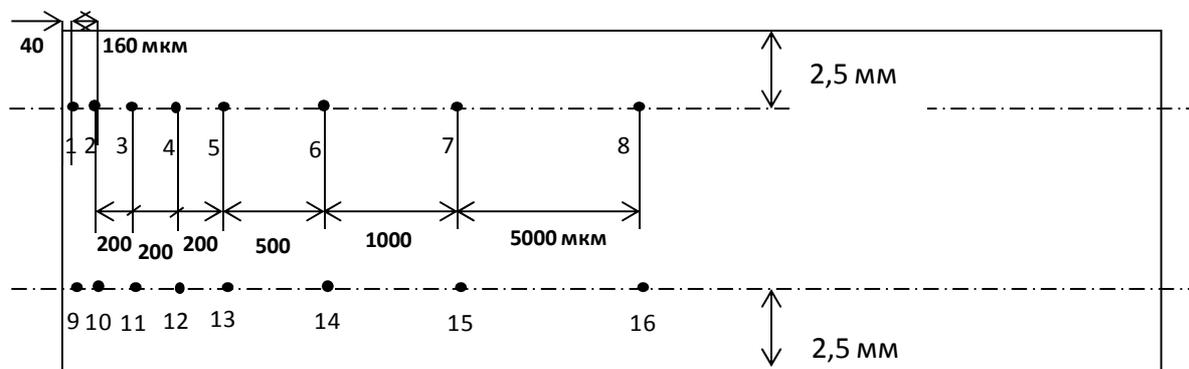


Рис. 4. Схема замера твердости ЗТВ кромки реза (кромка реза слева)

Таблица 2

Качественные показатели поверхности вертикального реза

Параметр	ПМВР-М		ПМВР-2М	
	Кромка 1	Кромка 2	Кромка 1	Кромка 2
Отклонение от перпендикулярности, град (Δ , мм)	83 (1,1)	85 (0,8)	87 (0,5)	89 (0,17)
Радиус оплавления верхней кромки, мм	1,0	1,0	0,9	0,9
Шероховатость поверхности реза Rz, мкм	6,1	6,8	10,2	–
Общая величина зоны термического влияния, мкм	800	800–900	800–900	700–800
Зона оплавления, мкм	5	10	5	50

Таблица 3

Качественные показатели поверхности косога реза

Параметр	ПМВР-М		ПМВР-2М	
	Кромка 1	Кромка 2	Кромка 1	Кромка 2
Отклонение от оси наклона, град	110	115	110	116
Радиус оплавления верхней кромки, мм	1,2	1,0	1,0	1,2
Шероховатость поверхности реза Rz, мкм	7,2	7,0	5,0	5,0
Общая величина зоны термического влияния, мкм	700–800	700	800	500–550
Зона оплавления, мкм	–	30	15	10

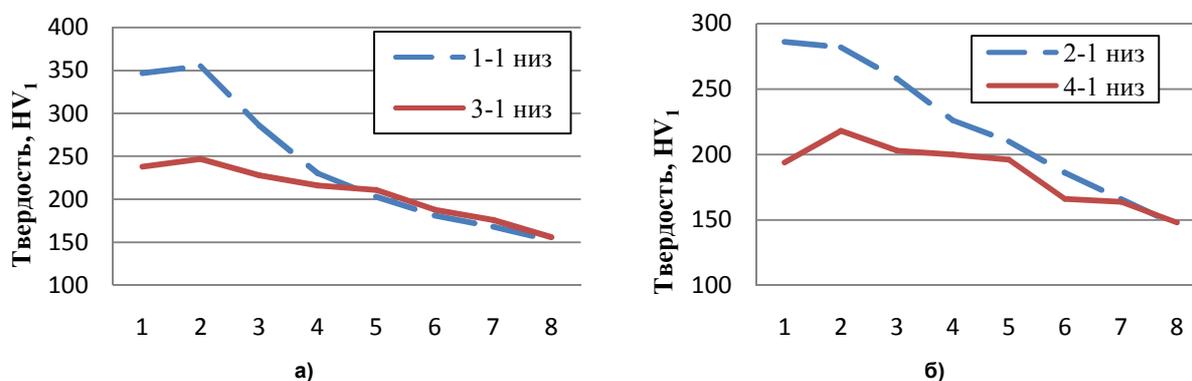


Рис. 5. Твердость в точках замера нижней части кромок реза по Виккерсу: а – вертикального (1-1 – ПМВР-М, 3-1 – ПМВР-2М); б – косога (2-1 – ПМВР-М, 4-1 – ПМВР-2М)

нового плазмотрона оказывается на 4–6 дБ меньше, чем у базового, что фактически означает увеличение допустимого времени работы для плазморезчика на 2–3 ч в смену. По всей видимости, подобный эффект достигается за счет эффекта улучшения стабилизации плазменной струи, а, следовательно, снижения масштаба пульсаций скорости и её радиальных градиентов, определяющих интенсивность шума турбулентных струй.

Литература

1. Анахов, С.В. *Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях: учеб. пособие* / С.В. Анахов; под ред. А.С. Боруховича. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2014. – 144 с.

2. Анахов, С.В. *Плазмотроны: проблема акустической безопасности. Теплофизические и газодинамические принципы проектирования малоциумных плазмотронов* / С.В. Анахов, Ю.А. Пыкин. – Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. – 224 с.

Анахов Сергей Вадимович, канд. физ.-мат. наук, заведующий кафедрой физико-математических дисциплин, Российский государственный профессионально-педагогический университет, г. Екатеринбург; sergej.anahov@rsvpu.ru, s_anahov@yahoo.com.

Матушкин Анатолий Владимирович, старший преподаватель кафедры технологии сварочного производства, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; 227433@e1.ru.

Пыкин Юрий Анатольевич, д-р техн. наук, профессор кафедры физико-химических технологий защиты биосферы, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург; генеральный директор ООО НПО «Полигон»; uarpolygon@mail.ru.

Поступила в редакцию 13 января 2015 г.

A NEW PLASMATRON FOR METAL CUTTING FOR WELDING: A COMPARATIVE ANALYSIS

S.V. Anakhov, Russian State Vocational-Professional University, Yekaterinburg, Russian Federation,
sergej.anahov@rsvpu.ru, s_anakhov@yahoo.com,

A.V. Matushkin, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
227433@e1.ru,

Yu.A. Pykin, Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russian Federation,
yappolygon@mail.ru

A new one-circuit plasmatron for metal cutting for welding with improved gas-dynamic characteristics is considered. The plasmatron design is created during the solution of the gas-dynamic problem of the non-uniform distribution of a plasma gas stream along the section of the plasmatron air-gas path. As a result of the analysis of various constructive variants of the air-gas path, such as the increased volume of the expansion chamber, the modification of the length, quantity and the form of gas rotating channels, the system of gas-dynamic filters in the expansion chamber, a complex system of gas rotating stabilization of a plasma arc is created. The system of gas-dynamic filters consists of a set of obstacles of various forms established in the expansion chamber, their functions represent uniform distribution of plasma gas streams along rotating channels. The results of computer modeling proving the design efficiency are presented.

The comparative analysis of efficiency and safety parameters is presented. During the analysis of parameters of the cutting edge surface quality (deviations from perpendicularity, roughness size, the size of the heat-affected zone) it was established, that the new plasmatron performs metal cutting for welding of the 1st quality class. The improvement of safety parameters is also shown in the work of the new plasmatron.

Keywords: plasmatron, designing, gas rotating system, gas-dynamic filter, gas-air path, plasma gas, stabilization, cutting, perpendicularity, roughness, heat-affected zone, efficiency, quality, safety, noise, level of sound pressure, radiation.

References

1. Anakhov S.V. *Printsipy i metody proektirovaniya v elektroplazmennyykh i svarochnykh tekhnologiyakh* [Principles and Methods of Designing in Electroplasma and Welding Technologies]. Yekaterinburg, Rus. St. Voc. Prof. Univ. Publ., 2014. 144 p.

2. Anakhov S.V., Pykin Yu.A. *Plazmotrony: problema akusticheskoy bezopasnosti. Teplofizicheskie i gazodinamicheskie printsipy proektirovaniya maloshumnykh plazmotronov* [Plasmotrons: The Problem of Acoustic Safety. Thermophysical and Gas-Dynamics Principles of Reduced Noise Plasmotron Designing]. Yekaterinburg, Ural Branch RAS Publ., 2012. 224 p.

Received 13 January 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Анахов, С.В. Новый плазматрон для резки металла под сварку: сравнительный анализ / С.В. Анахов, А.В. Матушкин, Ю.А. Пыкин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 65–69.

REFERENCE TO ARTICLE

Anakhov S.V., Matushkin A.V., Pykin Yu.A. A New Plasmatron for Metal Cutting for Welding: a Comparative Analysis. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 65–69. (in Russ.)