

УДК 533.7; 533.9.

Самигуллин А.Д., старший преподаватель, Набережночелнинский институт ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА ОБЪЁМНОЙ ПЛАЗМЫ

Аннотация: В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования течения плазмообразующего газа в канале генератора объемной плазмы. Построены зависимости мощности генератора плазмы от температуры и скорости электрической дуги. Показаны векторные сцены потока рабочего газа в канале генератора объемной плазмы.

Ключевые слова: плазма, энергетика, генератор плазмы, ВАХ.

Введение: В мире разработано уже много различных конструкций электродуговых плазмотронов, отличающихся материалом электродов, родом используемой для нагрева среды, конфигурацией разрядной камеры, способом охлаждения конструктивных элементов[1].

Нагрев газа в плазмотроне происходит в результате его взаимодействия с дугой, поэтому эффективность нагрева существенно зависит от того, каким образом организовано это взаимодействие, т.е. рабочий процесс[1].

Характеристики дугового разряда - температура, напряжение, скорость движения, интенсивность излучения и другие - зависят от условий горения разряда в плазмотроне, силы тока, напряженности магнитного поля, интенсивности обдува газом, давления окружающей среды, геометрических размеров канала и т.д. Характеристики электрической дуги в плазмотронах с вихревой стабилизацией разряда достаточно хорошо изучены[2], а дуги, движущейся под действием собственного магнитного поля, изучены очень мало [3].

Постановка задачи: С целью изучить факторы влияющие на скорость движения электрической дуги в собственном магнитном поле и

спроектировать генератор объемной плазмы с повышенным ресурсом работы электродов было принято решение разработать и создать экспериментальный образец импульсного генератора плазмы рельсотронного типа.

В основу работы плазмотрона положен принцип электродинамического движения дуг в поле собственного тока. Быстрое перемещение точки привязки дуги по электроду под действием электродинамических и газодинамических сил распределяет тепловую нагрузку от привязки по длине электрода, что дает возможность использовать водоохлаждаемые электроды, выполненные из относительно легкоплавкого материала и увеличить их ресурс работы.

Подача газа осуществляется в патрубки 3 тангенциально, что позволяет потоку газа обжимать дугу и уменьшить тепловую нагрузку на стенки корпуса плазмотрона 4. Для поджига электрической дуги используются дополнительные электроды. Дуга инициируются между основными электродами 2 в зоне минимального межэлектродного промежутка, после чего дуговые привязки перемещаются по поверхностям расходящихся электродов.

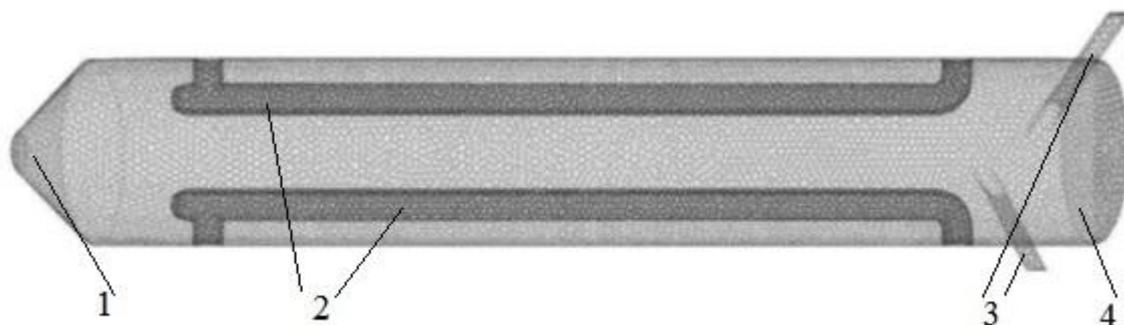


Рис.1. Импульсный генератор плазмы рельсотронного типа.

1 – сопло, 2- электроды, 3 – патрубки для подачи плазмообразующего газа, 4 – корпус.

Результаты экспериментальных данных: В ходе проведения экспериментальных исследований были получены энергетические характеристики плазмотрона (рис. 2.).

Вольтамперная характеристика попадает в область сильноточной сжатой дуги, с высокой плотностью тока. Это происходит в результате обжатия дуги магнитными полями и ограничения дуги электродами. Дуга горит в наименьшем промежутке, для увеличения длины дуги необходимо рост напряжения, которая ограничивается характеристиками источника питания и не может бесконечно возрастать. Проводимая в ходе экспериментов скоростная съемка показала, что движущийся электрический разряд втягивается в межэлектродное пространство и длина дуги составляет величину межэлектродного зазора (рис. 3.).

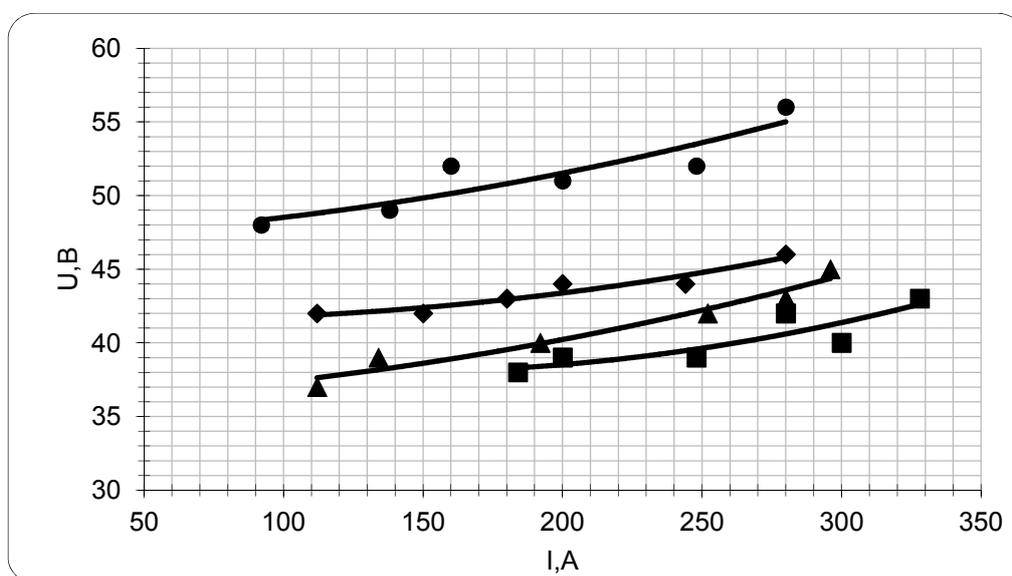


Рис. 2. Вольтамперная характеристика плазмотрона; ■- $d=4\text{мм}$, $L=4\text{мм}$; ▲- $d=6\text{мм}$, $L=4\text{мм}$; ◆- $d=12\text{мм}$, $L=6\text{мм}$; ●- $d=14\text{мм}$, $L=8\text{мм}$; d -диаметр электродов, L -межэлектродный зазор

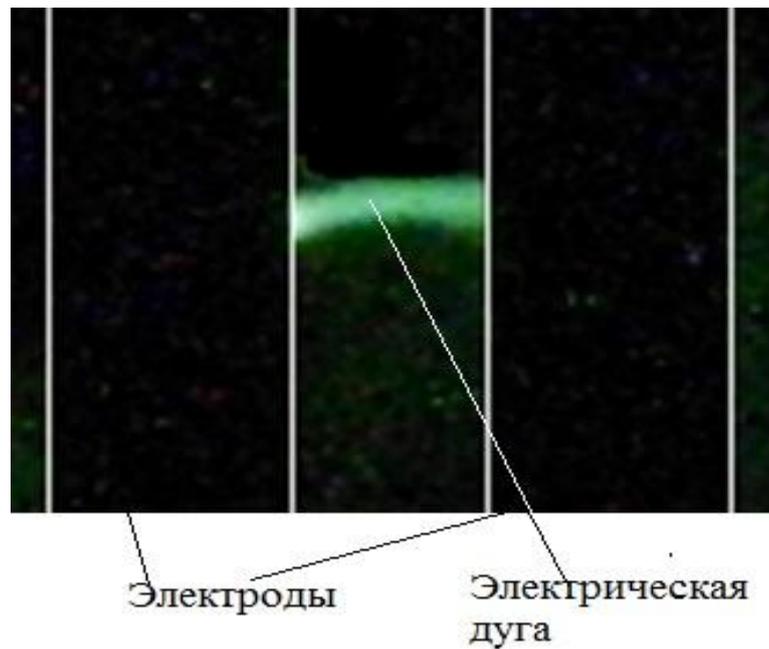


Рис. 3. Кадр из скоростной съемки движения электрической дуги

Одним из основных параметров плазмотрона является температура плазмы на выходе из сопла. Температура плазмы зависит от мощности вкладываемой в дугу рис. 4. [4]

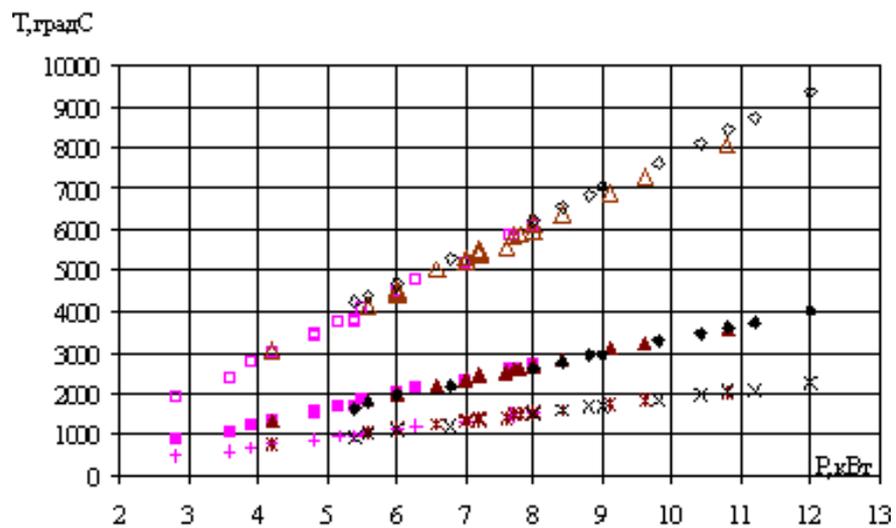


Рис. 4. Зависимость среднемассовой температуры от мощности

- при L=3 мм, G=1 г/с △ при L=5 мм, G=1 г/с ■ при L=3 мм, G=1,5 г/с
- † при L=3 мм, G=2 г/с ▲ при L=5 мм, G=1,5 г/с * при L=5 мм, G=2 г/с
- ◇ при L=6 мм, G=1 г/с ◆ при L=6 мм, G=1,5 г/с * при L=6 мм, G=2 г/с

L-межэлектродный зазор, G – расход плазмообразующего газа.

Температурное влияние зависит от количества импульсов, определяющих время воздействия плазмы на деталь. Управление количеством импульсов в единицу времени осуществляется изменением скорости движения электрической дуги, которая согласно [3] практически не изучены.

В результате экспериментальных исследований было выяснено, что на скорость движения дуги в импульсном генераторе плазмы рельсотронного типа существенное влияние оказывают следующие факторы – это сила тока, диаметр электродов, межэлектродный зазор, расход плазмообразующего газа и материал электродов [6].

На рис. 5. изображена зависимость скорости дуги от вкладываемой мощности. С увеличением силы тока скорость движения электрической дуги возрастает. Это обусловлено с увеличением силы воздействия собственного магнитного поля на электрическую дугу.

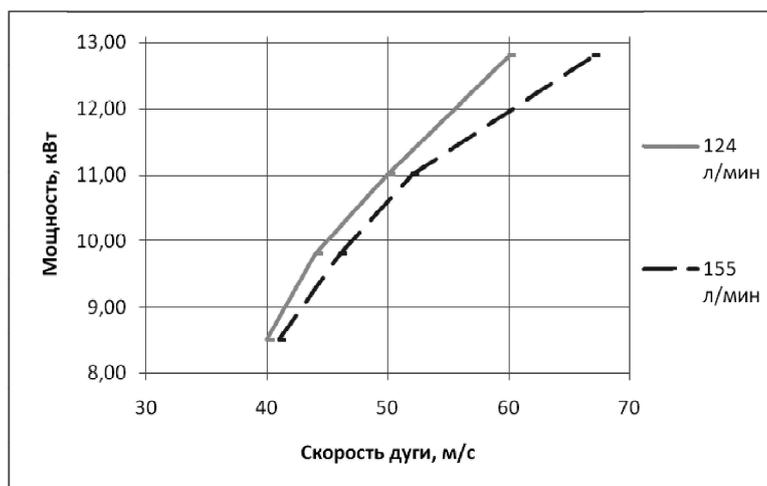


Рис. 5. Зависимость скорости дуги от мощности вкладываемую в дугу

На рис. 6. изображена зависимость скорости дуги от расхода плазмообразующего газа. На графике отчетливо видно, что с увеличением расхода плазмообразующего газа растет скорость электрической дуги.

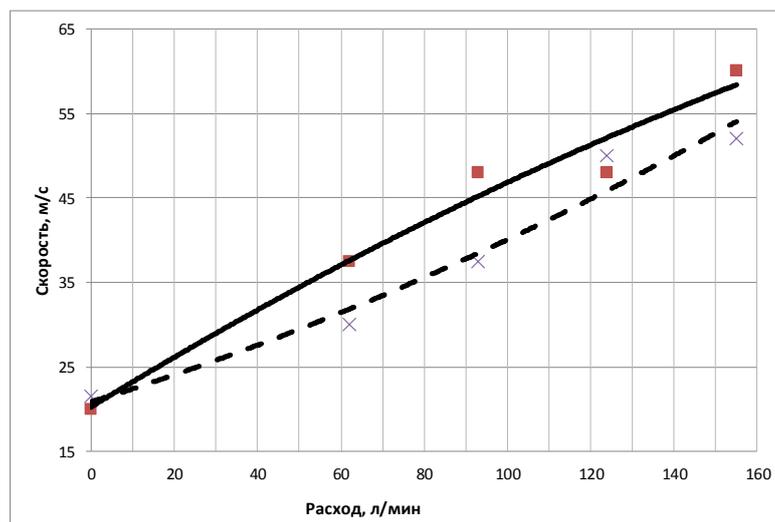


Рис. 6. Зависимость скорости дуги от расхода плазмообразующего газа.

Сплошная линия - $P=13$ кВт, пунктирная линия - $P = 9$ кВт.

Все замеры скорости дуги фиксировались с помощью высокоскоростной камеры Casio EX-F1 и зондов, которые подключаются к осциллографу GDS-806S через делители.

Результаты численного моделирования: Правильная подача плазмообразующего газ оказывает существенное влияние на скорость движения дуги. То есть линии тока течения плазмообразующего газа должна быть во всех областях канала генератора плазмы двигался в том же направлении что и электрическая дуга и не имело обратного направления. Экспериментальные исследования показали, что основным механизмом увеличения скорости дуги является ускорение за счет электромагнитных и газодинамических сил. Эффективность данных типов плазмотронов существенно зависит от правильной организации геометрии электродной системы и геометрии магнитных полей. Поэтому важным является построение физико-математических моделей для данной геометрии плазмотрона.

Моделирование производилась на основе пакета STAR-CCM+. Программа STAR-CCM+ использует подход к моделированию, основанный

на задании физических моделей в специальном меню и предоставляет полный контроль над процессом решения [5].

Разработанные модели процессов ускорения в данном типе плазмотронов с собственным магнитным полем учитывают свойства рабочего тела (газ-воздух) и геометрию канала.

Результаты счета по направлению векторов скоростей потока представлены на рис.7.

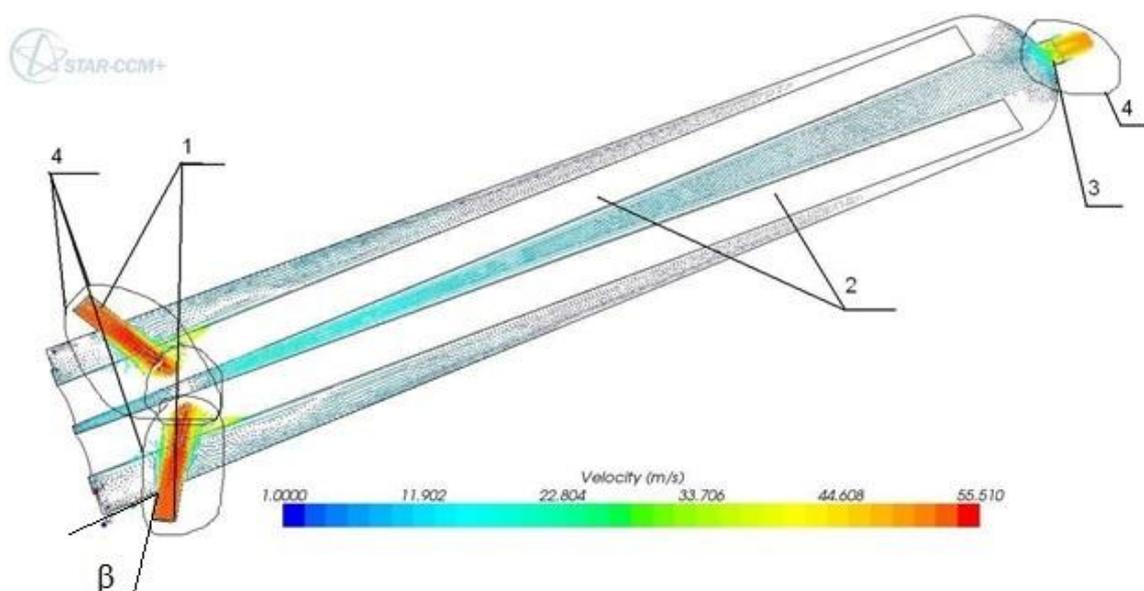


Рис. 7. Векторное поле скоростей потока воздуха в канале импульсного генератора плазмы рельсотронного типа.

На рис.6. по каналу 1 подаем плазмообразующий газ. Электрическая дуга движется между электродами 4. В области 3 находится поток воздуха высоких скоростей, а в области 2 находится поток воздуха низких скоростей. β – угол подачи и закрутки плазмообразующего газа.

Вывод: В ходе экспериментальных исследований было установлено, что разряд возникающий в МЭЗ представляет собой сильноточную сжатую магнитными полями дугу. На скорость движения дуги значительное влияние оказывает как геометрические параметры плазмотрона, энергетические параметры разряда так и газодинамика течения плазмообразующего газа в

разрядной камере. Численное моделирование позволило установить векторные и скалярные величины линии тока течений, получить оптимальную геометрию канала и необходимый угол подачи плазмообразующего газа позволяющую добиваться более высокую скорость движения разряда.

Литература

1. Жуков М.Ф. Электродуговые нагреватели газов (плазмотроны)/ М.Ф. Жуков, В.Я. Смолков, Б.А. Урюков. - М.: Наука, 1973 г.
2. Даутов Г.Ю. Особенности работы генераторов низкотемпературной плазмы с вихревой стабилизацией дуги и обобщение результатов исследований/ Г.Ю. Даутов, М.Ф. Жуков, А.С. Коротеев, В.Я. Смоляков, Ю.И. Сухинин, О.И. Ясько. // Низкотемпературная плазма. -М.: Мир, 1967.
3. Коротеев А. С. Генераторы низкотемпературной плазмы/ Коротеев А. С. и др. –М.: Наука, 1969.
4. Israphilov I.H., Israphilov D.I., Bashmakov D.A., Galiakbarov A.T., Samigullin A.D. Calculation of thermal processes in bottom electrode // Contemporary Engineering Sciences. - Vol. 8. – 2015. - n. 1. - p. 13 - 20 NIKARI Ltd, www.m-hikari.com <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.48110>
5. Israfilov I.H., Galiakbarov A.T., Bashmakov D.A., Gabdrakhmanov A.T., Samigullin A.D. Pulse plasma surface thermostrengthening of machine parts// IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. - Volume 69. - Issue 1. – 2014. - Article number 012037 Габдрахманов А.Т.
6. Габдрахманов А.Т. Исрафилов И.Х., Галиакбаров А.Т., Самигуллин А.Д. Исследование движения электрической дуги в импульсном плазменном генераторе // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2013» (МНТК «ИМТОМ-2013») и Форума «Повышение конкурентоспособности и энергоэффективности

Samigullin A.D., senior teacher, branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny.

THE STUDY OF GAS-DYNAMIC AND ENERGETIC PARAMETERS
OF THE GENERATOR VOLUMETRIC PLASMA

Abstract: This paper presents the experimental results and the calculated results volumetric plasma generator. Built by dependencies of the plasma generator power of the temperature and speed of the electric arc. Showing vector scenes working flow gas a channels generator volumetric plasma.

Keywords: plasma, energy, plasma generator, the CVC.