УДК 621.3

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ ПЛАЗМЕННАЯ УСТАНОВКА**

**Мещеряков В.Н., Муравьев А.А., Пикалов В.В., Бойков А.И., Евсеев А.М.**

Россия, г. Липецк, Липецкий государственный технический университет (ЛГТУ)

*Рассмотрены особенности конструкции электродуговых плазмотронов установки, предназначенных для нагрева поверхности металлоизделий, а также ее элементов, обеспечивающих работу установки. Приведена экспериментальная установка, рассмотрены особенности работы ее электродуговой части.*

*Ключевые слова: плазмотрон, плазмообразующий газ, электрическая дуга, блок управления, электропривод.*

**Введение.**

Электродуговые плазменные установки (плазмотроны), вырабатывающие низкотемпературную плазму c температурой до 2500 о С [1-5], могут найти применение в различных технологических процессах, требующих нагрева поверхности металлоизделий. Плазмотрон формирует столб плазмы, направляемый на поверхность металлоизделий. Для напыления различных материалов на поверхность изделия в зону, нагретую плазмой, могут подаваться под давлением порошковые материалы.

Наиболее простую конструкцию имеют электродуговые плазмотроны, в которых электрическая дуга горит в полости рабочей камеры, через которую проходит под давлением поток плазмообразующего газа, и созданный столб плазмы подается на обрабатываемый материал [1-5]. Рабочая камера может занимать вертикальное положение или располагаться горизонтально, возможен также поворот оси рабочей камеры. Плазмотроны с вертикальным расположением рабочей камеры с выходным каналом для плазмы направленным вниз используются в установках для сжигания твердых промышленных отходов, бытовых отходов и мусора с выработкой синтез-газа [1,4,5]. В таких установках плазмотрон размещен внутри закрытой печи, и ось его рабочей камеры с выходным отверстием для плазмы может располагаться под углом ко дну печи. Сжигаемые отходы загружаются на дно печи и попадают в зону действия потока плазмы. Для реализации поворота оси рабочей камеры и перемещения столба плазмы плазмотрон оснащается позиционной мехатронной системой.

**Конструкция электродугового плазмотрона и работа опытной установки.**

На кафедре электропривода ЛГТУ разработаны различные конструкции плазмотронов, предназначенные для установок сжигания твердых отходов [6,7], а также для нагрева поверхности металлоизделий [8,9]. Рабочую камеру электродугового плазмотрона, предназначенного для нагрева поверхности металлоизделий, целесообразно располагать горизонтально, так как в этом случае уменьшается рассеивание потока плазмы, выходящей через сопло и проходящей участок по воздуху от выхода рабочей камеры до поверхности нагреваемой детали.

На рисунке 1 приведена базовая конструкция электродугового плазмотрона с полой цилиндрической рабочей камерой [8]. Электродуговой плазмотрон содержит горизонтально расположенную трубчатую цилиндрическую рабочую камеру 1, выполненную из непроводящего электрический ток тугоплавкого материала. В стенке камеры выполнены два соосно расположенные отверстия, в которых установлены расходные графитовые электроды 2 и 3. К электродам от источника питания 4, номинальная мощность которого составляет 10 кВт, подводится регулируемое выпрямленное напряжение 170 – 220 В. В полость рабочей камеры через входной канал подается под давлением плазмообразующий газ с помощью нагнетающей установки 5 вентиляторного типа. Начальное зажигание дуги между электродами 2 и 3, разведенными на расстояние до 50 мм, осуществляется с помощью высоковольтного осциллятора 12, вырабатывающего напряжение до 50 кВ. Для удержания и растягивания дуги, горящей между электродами 2 и 3, предусмотрена система, реализующая магнитное дутье, состоящая из цилиндрического трубчатого магнитопровода 7 и полюсов 8 и 9. На полюсах размещена обмотка 10, получающая от источника ее питания 11 регулируемое напряжение постоянного тока.



**Рисунок 1 – Конструкция электродугового плазмотрона**

В результате горения дуги электроды 2 и 3 постоянно подгорают, и расстояние между ними в процессе работы увеличивается. Поэтому для обеспечения постоянного межэлектродного расстояния в [6] была предложена система плавного движения электродов, осуществляемого в процессе работы установки. Эта система представляет собой мехатронный блок с позиционным электроприводом.

На основании конструкции электродугового плазмотрона, приведенной на рис.1, была создана экспериментальная электродуговая плазменная установка, общий вид которой показан на рисунке 2. В качестве плазмообразующего газа в данной установке использовался воздух, взятый из помещения, в котором установлен плазмотрон, подаваемый под давлением с помощью вентилятора. Мощность электропривода вентилятора - 400 Вт, что составляет около 4% от мощности силовой электродуговой установки.

Наиболее энергоемкой частью установки является система питания электродов, обеспечивающая силу тока в дуге на уровне 60 – 80 А. уравнение баланса напряжений в цепи с электрической дугой постоянного тока имеет общий вид [10]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | , (1) |

где I - ток в дуге; Е – выпрямленная ЭДС источника питания;  - эквивалентное активное сопротивление дуги; - полная эквивалентная индуктивность цепи; *l*  - изменение длины дуги; *l -* длина дуги;  - дуговой градиент потенциала;  - падение напряжения вблизи электродов.



**Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной электродуговой плазменной установки**

При изменении объема вырабатываемой плазмы осуществляется регулирование тока дуги, сопровождающееся изменением потребляемой из сети мощности, а также оптимальным регулированием потока плазмообразующего компонента, в качестве которого использован воздух. Мощность электродуговой плазменной установки, составляла около 10 кВт, источник питания был выполнен в виде трехфазного регулируемого выпрямителя. В режиме холостого хода выходное выпрямленное напряжение составляло 220 в. Для улучшения электромагнитной совместимости электродуговой части плазматрона с питающей сетью разработан активный фильтр электроэнергии, компенсирующий нелинейный характер нагрузки и снижающий уровень высших гармоник, поступающих в сеть.

Для растягивания дуги и стабилизации ее положения на поверхности рабочей камеры закреплена магнитная система с полюсами, ось которых перпендикулярна оси, на которой находятся электроды. Увеличивая ток в обмотках на полюсах электромагнита, можно растягивать дугу и стабилизировать ее положение. Магнитная часть установки имеет малую мощность, составляющую менее 1% от мощности силовой электродуговой установки.

**Благодарность.**

Статья написана при поддержке гранта ЛГТУ №9 "Создание элек-тродугового плазмотрона с системами автоматизации".

Список литературы

1. Жуков М.Ф., Смоляков В.Я. Урюков Б.А. Электродуговые нагреватели газа (плазмотроны). М.: Наука. 1973. - 232 с.
2. Аньшаков А.С., Урбах Э.К., Урбах А.Э, Фалеев В.А. Переработка техногенных отходов в электродуговой плазме / Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и технология». 2008. №6. С. 131-135.
3. А.с. СССР № 599732. Электродуговой нагреватель газа постоянного тока / Жуков М.Ф., Лыткин А.Я., Худяков Г.Н., Аньшаков А.С. Опубл. 07.09.1982. Бюл. № 33.
4. Патент РФ № 2465748. Электродуговой плазмотрон / Мчедалов С.Г. Опубл 27.10.2012. Бюл. № 30.
5. Моссэ А.Л. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов / А.Л. Моссэ, В.В. Савчин // Беларуская навука, 2015. \_ 411 с.
6. Патент на полезную модель № 188618. Электродуговой плазмотрон / Мещеряков В.Н., Евсеев А.М., Пикалов В.В., Чупров В.Б., Конев В.А. Опубл. 18.04.2019. Бюл. №11.
7. Патент на изобретение RU 2713736 C1. [Электродуговой плазмотрон для сжигания твердых отходов](https://elibrary.ru/item.asp?id=42451565). Мещеряков В.Н., Евсеев А.М., Пикалов В.В., Данилова О.В., Ласточкин Д.В. Заявка  № 2019118826  от  17.06.2019. Опубл. 07.02.2020.
8. Патент на изобретение RU 2715054 C1. Э[лектродуговой плазмотрон](https://elibrary.ru/item.asp?id=42573211) Мещеряков В.Н., Конев В.А., Евсеев А.М., Пикалов В.В., Конев М.В., 25.02.2020.
9. Патент на изобретение № 2713746. Электродуговой плазмотрон / Мещеряков В.Н., Евсеев А.М., Пикалов В.В., Данилова О.В., Ласточкин Д.В. Опубл. 18.04.2019. Бюл. №11.

10. Доманов В.И. Влияние случайных факторов на работу системы регулирования тока дуговой плавильной установки / В.И. Доманов, А.В. Доманов, К.Е. Карпухин и др. // Приводная техника. - 2010. №6, С. 16-19.

**Мещеряков Виктор Николаевич**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой Электропривода ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д.30. Е-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru

**Муравьев Артем Артурович**, к.т.н., доцент кафедры Электропривода ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д.30. Е-mail: a.murawjow@yandex.ru

**Пикалов Владимир Владимирович**, ассистент кафедры Электропривода ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д.30. Е-mail: wreditels@mail.ru

**Бойков Андрей Игоревич**, к.т.н., доцент кафедры Электропривода ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д.30. Е-mail: aboikov2013@gmail.com

**Евсеев Алексей Михайлович**, старший преподаватель кафедры Электропривода ЛГТУ, 398055, г. Липецк, ул. Московская, д.30. Е-mail: alexevs94@gmail.com

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

UDC 621.3

**EXPERIMENTAL ELECTRIC ARC PLASMA INSTALLATION**

***Meshcheryakov V.N., Muravyev A.A., Pikalov V.V., Boikov A.I., Evseev A.M.***

*Russia, Lipetsk, Lipetsk State Technical University (LSTU)*

*This article discusses the design features of an electric arc plasma installation intended for surface heating of the metalwork products and its components that ensure the operation of the installation. An experimental setup is presented, the features of the operation of*

*its electric arc part are considered.*

*Key words: plasmatron, plasma-forming gas, electric arc, control unit, electric drive*

Bibliography

1. ZHukov M.F., Smolyakov V.YA. Uryukov B.A. Elektrodugovye nagrevateli gaza (plazmotrony). M.: Nauka. 1973. - 232 s.

2. An'shakov A.S., Urbah E.K., Urbah A.E, Faleev V.A. Pererabotka tekhnogennyh othodov v elektrodugovoj plazme / Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaya energetika i tekhnologiya». 2008. №6. S. 131-135.

3. A.s. SSSR № 599732. Elektrodugovoj nagrevatel' gaza postoyannogo toka / ZHukov M.F., Lytkin A.YA., Hudyakov G.N., An'shakov A.S. Opubl. 07.09.1982. Byul. № 33.

4. Patent RF № 2465748. Elektrodugovoj plazmotron / Mchedalov S.G. Opubl 27.10.2012. Byul. № 30.

5. Mosse A.L. Plazmennye tekhnologii i ustrojstva dlya pererabotki othodov / A.L. Mosse, V.V. Savchin // Belaruskaya navuka, 2015. \_ 411 s.

6. Patent na poleznuyu model' № 188618. Elektrodugovoj plazmotron / Meshcheryakov V.N., Evseev A.M., Pikalov V.V., Chuprov V.B., Konev V.A. Opubl. 18.04.2019. Byul. №11.

7. Patent na izobretenie RU 2713736 C1. Elektrodugovoj plazmotron dlya szhiganiya tverdyh othodov. Meshcheryakov V.N., Evseev A.M., Pikalov V.V., Danilova O.V., Lastochkin D.V. Zayavka № 2019118826 ot 17.06.2019. Opubl. 07.02.2020.

8. Patent na izobretenie RU 2715054 C1. Elektrodugovoj plazmotron Meshcheryakov V.N., Konev V.A., Evseev A.M., Pikalov V.V., Konev M.V., 25.02.2020.

9. Patent na izobretenie № 2713746. Elektrodugovoj plazmotron / Meshcheryakov V.N., Evseev A.M., Pikalov V.V., Danilova O.V., Lastochkin D.V. Opubl. 18.04.2019. Byul. №11.

10. Domanov V.I. Vliyanie sluchajnyh faktorov na rabotu sistemy regulirovaniya toka dugovoj plavil'noj ustanovki / V.I. Domanov, A.V. Domanov, K.E. Karpuhin i dr. // Privodnaya tekhnika. - 2010. №6, S. 16-19.

**Meshcheryakov Viktor Nikolaevich**, doctor of technical sciences, professor, head of Electrodrive department LSTU, 398055, Lipetsk, Moskovskaya, 30. E-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru.

**Muravyev Artem Arturovich**, Ph.D., associate professor Department of Electrodrive LSTU, 398055, Lipetsk, Moskovskaya, 30. E-mail: a.murawjow@yandex.ru.

**Pikalov Vladimir Vladimirovich**, assistent Department of Electrodrive LSTU, 398055, Lipetsk, Moskovskaya, 30. E-mail: wreditels@mail.ru.

**Boikov Andrei Igorevich**, Ph.D., associate professor Department of Electrodrive LSTU, 398055, Lipetsk, Moskovskaya, 30. E-mail: aboikov2013@gmail.com.

**Evseev Aleksei Mihailovich**, senior lecturer Department of Electrodrive LSTU, 398055, Lipetsk, Moskovskaya, 30. E-mail: alexevs94@gmail.com.