УДК 621.793.7

ДУГОВОЙ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ю.С. БОГДАНОВ
(Полоцкий государственный университет)

Приведены результаты разработки и испытаний высокоресурсного дугового плазмотрона, предназначенного для напыления защитных покрытий. В качестве плазмообразующего газа в плазмотроне используется газовоздушная смесь, применение которой позволило повысить мощность и снизить затраты на дефицитные инертные плазмообразующие газы. Использование взамен вольфрамового катода сравнительно нового пленкозащитного стержневого катода, обладающего высокой стойкостью в газах, содержащих кислород, позволило повысить срок службы плазмотрона без замены электродов. Приведены результаты ресурсных и промышленных испытаний разработанного плазмотрона. Предложены экспериментально установленные режимы напыления проволоки на вал центробежного насоса. Даны рекомендации по перспективам промышленного применения плазмотрона для изготовления и восстановления деталей шахтного и горно-химического оборудования.

Введение. В современном машиностроении используются различные источники высококонцентрированных потоков энергии, среди которых важное место занимают плазмотроны, используемые в различных процессах обработки материалов: плазменная сварка и резка, плазменное нанесение покрытий и плазмомеханическая обработка. В последнее десятилетие получили особое значение плазменное напыление и сварка, которые используются при изготовлении деталей с износо-, жаро-, коррозионностойкими и другими видами покрытий, а также при восстановлении изношенных деталей [1].

На практике при плазменном напылении деталей в качестве плазмообразующего газа применяли аргон, аргон с добавлением до 25 % водорода, азота, смеси азота и водорода, иногда смеси инертных газов, которые содержат гелий. Высокая стоимость и дефицитность инертных плазмообразующих газов ограничивали использование процессов плазменной обработки порошковых материалов. Это обстоятельство вызвало использование в качестве плазмообразующего газа воздуха и смеси воздуха с горючим углеводородным газом. Экономичность и техническая целесообразность применения газовоздушных смесей, с одной стороны, обусловила увеличение мощности плазмотронов, а с другой – резко снизила их ресурс. Так, работоспособность серийно выпускаемого плазмотрона ПП-25 без замены электродов составляет не более 30 часов. Кроме того, для плазмотронов для напыления характерной является недостаточная длина зоны взаимодействия плазменного потока с нагреваемыми частицами, низкие КПД и производительность напыления, а также небольшой ресурс электродов [2 – 4].

Цель исследования состоит в разработке высокоресурсного и высокопроизводительного плазмотрона для напыления, который работает на газовоздушной смеси, а также в поиске перспектив его использования в промышленности.

Основная часть. Исследования проводились на ОАО «ЛМЗ Универсал» (г. Солигорск). Известно, что стойкость вольфрамового электрода при добавлении кислорода к газовой среде в связи с образованием летучих соединений резко снижается. Например, в плазмотронах, применяемых для резки, при использовании технического азота, содержащего 3…5 % O_2, на вольфрамовом катоде через 2…3 часа работы при силе токе 300…400 А образуется кратер, смещение центра которого относительно оси сопла вызывает соответствующее смещение столба дуги и приводит к явлению двойного дугообразования. Поэтому при работе с кислородосодержащей плазмообразующей средой в первичное сопло подается аргон, защищающий вольфрамовый электрод от воздействия рабочего кислородосодержащего газа, подаваемого во вторичное сопло. Система с двойным газовым потоком имеет существенные недостатки. При использовании дешевого рабочего газа, например воздуха, все же остается необходимость в использовании дефицитного аргона. При этом усложняется конструкция плазмотрона и ухудшается нагрев рабочего газа, так как наиболее эффективно газ нагревается вблизи катодной области [5]. Сравнительно недавно появился новый вид катода – пленкозащитный стержневой катод, обладающий высокой стойкостью в газах, содержащих кислород (в воздухе, углекислом газе, техническом азоте). Он представляет собой стержень из циркония или его сплавов, запрессованный в медной обойме [6]. Учитывая это, для плазмотрона был использован стандартный пленкозащитный электрод-катод марки ЭП-05. Разработанный плазмотрон косвенного действия имеет мощность до 40 кВт и предназначен для нанесения защитных покрытий. При проектировании плазмотрона применялась система трехмерного параметрического проектирования КОМПАС-3D.

Плазмотрон (рис. 1) содержит расположенные соосно катод *1* в прикатодном корпусе *2* и анод *3* в прианодном корпусе *4*, между которыми установлен диэлектрический корпус *5*. Внутри прикатодного корпуса *4* расположена трубка охлаждения *6*, служащая для разделения потоков охлаждающей воды, которая закреплена глухой крышкой *7*. Кроме того, прикатодный корпус *2* содержит токоподводящий штуцер *8* для подачи воды. Снаружи к прианодному корпусу *4* присоединено кольцо *9*, служащее для подачи напыляемых материалов. Кроме того, прианодный корпус *4* содержит токоподводящий штуцер *8* для отвода воды. Внутри диэлектрического корпуса *5* расположен завихритель *10*, служащий для завихрения плазмообразующего газа, а снаружи к диэлектрическому корпусу *5* присоединен штуцер *11* для подачи плазмообразующего газа. Для герметизации элементов плазмотрона служат уплотнительные элементы *12* в прикатодном корпусе *2* и прианодном корпусе *4*.

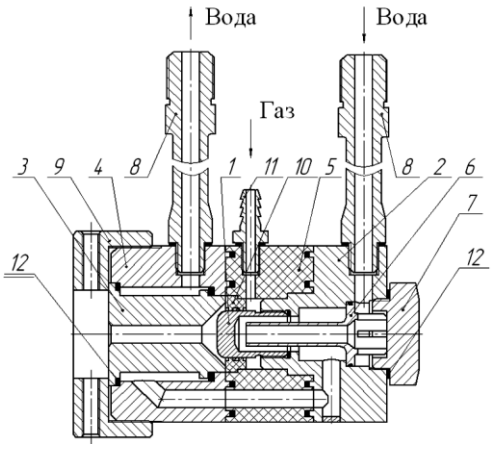


Рис. 1. Схема общего вида плазмотрона
1 – катод; 2 – прикатодный корпус; 3 – анод (сопло); 4 – прианодный корпус; 5 – диэлектрический корпус; 6 – трубка охлаждения; 7 – крышка глухая; 8 – токоподводящий штуцер; 9 – кольцо; 10 – завихритель; 11 – штуцер; 12 – уплотнительные элементы

Работает плазмотрон следующим образом. Через штуцер *11* подают плазмообразующий газ, который проходит через завихритель *10* и создает вихревой поток внутри разрядной камеры. Между катодом *1* и анодом *3* прикладывают напряжение холостого хода. С помощью устройства поджига (на чертеже не показано) пробивают межэлектродный промежуток (зазор катод – анод), после чего загорается дуга, которая выдувается плазмообразующим газом в разрядную камеру. Через отверстие кольца *9* подают напыляемый материал в плазменную дугу за срез анода *3*. Для охлаждения катода *1* по токоподводящему штуцеру *8* подводят воду через трубку охлаждения *6*. Затем вода по каналу диэлектрического корпуса *5* попадает в прианодный корпус *4*, охлаждает анод *3* и отводится по токоподводящему штуцеру *8* для отвода воды.

Узел завихрения рабочего газа определяет качество стабилизации столба плазменной дуги. Известно большое количество конструктивных вариантов узла завихрения. Использование шайбы-завихрителя, которая устанавливается между катодом и соплом, обеспечивает высокое качество формирования столба, но шайба подвержена разрушению в результате теплового воздействия столба дуги и требует большой точности при сборке плазмотрона. Наиболее удачно функции завихрителя выполняет электрод, на наружной поверхности которого выполнена винтовая нарезка. При плотной посадке такого электрода в корпусе плазмотрона рабочий газ поступает в камеру по пазам, образованным винтовой нарезкой. При этом усложняется конструкция корпуса электрода [7]. В разработанном плазмотроне с целью устранения этих недостатков шайба-завихритель, имеющая винтовую нарезку на внутренней поверхности, плотно одевается на катод. Тем самым исключается тепловое воздействие столба дуги на завихритель.

Еще одной особенностью разработанного плазмотрона является то, что трубка охлаждения имеет пазы для подачи воды и буртик, а токоподводящие штуцеры для подвода и отвода воды установлены в отверстиях прикатодного и прианодного корпусов, причем для подвода воды – в прикатодном корпусе, а для отвода – в прианодном корпусе. Штуцер для подачи плазмообразующего газа установлен в диэлектрическом корпусе, в котором выполнен сквозной канал для прохождения воды, совмещенный с каналами в прикатодном и прианодном корпусах. Указанные отличия позволяют обеспечить уменьшение числа штуцеров за счет упрощения системы охлаждения катода и анода, что упрощает конструкцию плазмотрона и уменьшает его материалоемкость при сохранении эксплуатационных характеристик. Например, трубка охлаждения с пазами для подачи воды и буртиком обеспечивает разделение потоков воды, один

из которых сначала охлаждает катод, а затем по каналу в диэлектрическом корпусе попадает в прианодный корпус и охлаждает анод.

Экспериментальные исследования разработанного плазмотрона проводились в лабораторных условиях на экспериментальном стенде (рис. 2) при следующих параметрах плазмотрона: расход рабочего газа 25…30 л/мин, силы тока дуги до 110 А и давлении газа 0,1…0,18 МПа. Результаты исследований показали длительную и стабильную работу плазмотрона.

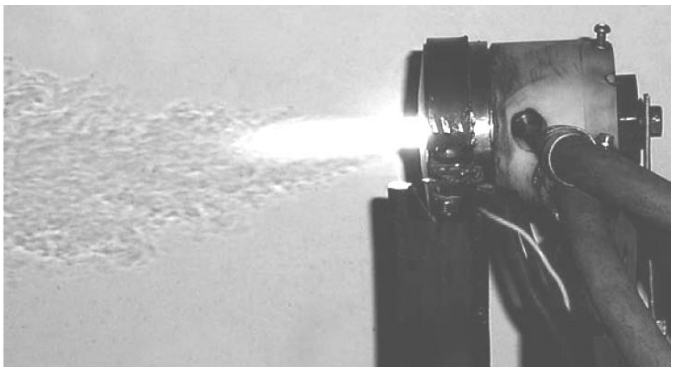


Рис. 2. Плазмотрон на экспериментальном стенде

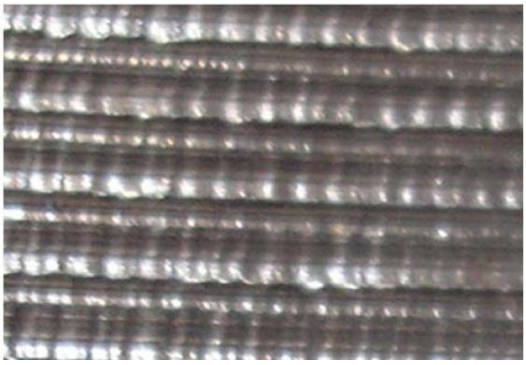
Ресурсные испытания проводились с осмотром рабочих поверхностей катода и анода после каждого включения. Ресурс плазмотрона без замены электродов составил свыше 55 часов, который превышает в полтора раза ресурс серийных плазмотронов аналогичного класса.

Промышленное испытание разработанного дугового плазмотрона проводилось при напылении проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на детали центробежного насоса, изготовленные из стали 45. Плазменному напылению подвергались валы на промышленной установке УПУ-3Д, укомплектованной источником питания АВПР-450. Распыляемая проволока вводилась в плазмотрон с помощью устройства подачи проволоки ППУ-503.

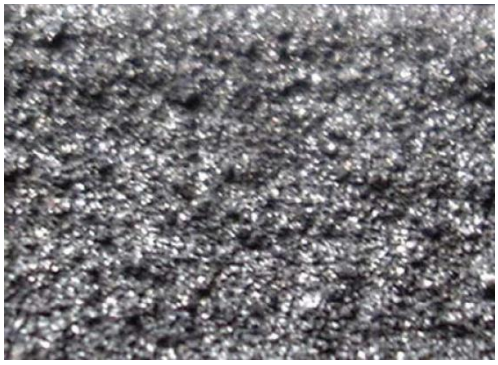
Для нанесения покрытия экспериментально установлен режим напыления проволоки на вал:

- расстояние от среза сопла плазмотрона до обрабатываемой поверхности 150 мм;
- угол атаки струи 90 ± 3°;
- частота вращения заготовки 28 мин$^{-1}$;
- сила тока дуги 110 А;
- расход газа 25…30 л/мин.

Полученная толщина покрытия составляла 0,8…1,2 мм и была измерена штангенциркулем до и после напыления. Визуальный осмотр выявил отсутствие трещин и пор. Рисунок 3 иллюстрирует поверхность вала до и после напыления.



а)



б)

Рис. 3. Поверхность вала центробежного насоса до напыления (а), поверхность вала с покрытием (б)

Также были проведены промышленные испытания плазмотрона при напылении порошка марки ПР-НХ15СР2 на детали привода скребкового конвейера, которые подтвердили работоспособность дугового плазмотрона.

Поскольку особенно остро стоит вопрос относительно восстановления и нанесения износостойких покрытий на детали шахтного и горно-химического оборудования, последующее развитие и применение плазменного напыления рекомендуется выполнять на деталях центробежного насоса (кольца уплотнения, валы, рабочие колеса, корпуса насосов), деталях проточных частей насоса и привода скребковых конвейеров (валы и др.).

Особое значение имеют покрытия из самофлюсующихся порошковых сплавов, которые могут применяться для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях гидроабразивной и химически активной среды, кавитации и дополнительного контактно-вибрационного разрушения проточной части при перекачивании гравийных, песчано-гравийных, шлаковых, золошлаковых и других абразивных гидросмесей. Кроме того, эти покрытия характеризуются стойкостью к ударам и давлениям, а также используются для защиты от коррозии.

Заключение. Решен комплекс актуальных задач, связанных с повышением ресурса работы и эффективности плазмотронов для нанесения покрытий. Работоспособность разработанного плазмотрона без замены электродов составила свыше 55 часов, что превышает в полтора раза работоспособность серийных плазмотронов аналогичного класса.

Разработанный дуговой плазмотрон и полученные результаты можно рекомендовать для использования в промышленных условиях при плазменном напылении как порошковых материалов, так и материалов в виде проволоки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, С.В. Плазменное газовоздушное напыление / С.В. Петров, И.Н. Карп. – Киев: Наук. думка, 1993. – 494 с.
2. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки; пер. с яп. В.Н. Попова; под ред. В.С. Степина, Н.Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.
3. Пути совершенствования плазмотронов для поверхностной обработки деталей / К.А. Корсунов [и др.] // Технологии ремонта, восстановления, упрочнения и обновления машин, механизмов, оборудования и металлоконструкций: материалы V междунар. практ. конф.-выставки «Ремонт-2003», Санкт-Петербург, 2003 г. – СПб.: ГПУ, 2003. – С. 123 – 125.
4. Дзюба, В.Л. Повышение эффективности работы плазмотрона для напыления / В.Л. Дзюба, К.А. Корсунов, В.С. Гаврыш // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: материалы I междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 2002 г. – Могилев: МГТУ, 2002. – С. 48 – 49.
5. Коротеев, А.С. Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет / А.С. Коротеев, В.М. Миронов, В.С. Свирчук. – М.: Машиностроение, 1993. – 296 с.
6. Плазменная сварка // Сварка и всё о ее технологии, схемах, типах и сварочном оборудовании [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: http://www.websvarka.ru/weld-97.html. – Дата доступа: 10.06.2009.
7. Сом, А.И. Новые плазмотроны для плазменно-порошковой наплавки / А.И. Сом // Плазма-мастер Лтд. [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: http://www.plasma-master.com.ua/rus/science/science. htm. – Дата доступа: 07.09.2009.

Поступила 29.11.2009

ARC-JET PLASMOTRON FOR SPRAYING AND PROSPECTS ITS INDUSTRIAL APPLICATION

J. BOGDANOV

The results of development and testing of arc-jet plasmotron with long service life, designed for protective covering spraying, are described. Steam-and-gas mixture was used as an orifice gas in plasmotron. Application of this mixture made it possible to raise power and reduce expenditures connected with the difficult-to-obtain inert orifice gases. Utilization of comparatively new film protective rod-shaped cathode, possessing long persistence in oxygen-bearing gases, instead of tungsten cathode made it possible to longer plasmotron service life without electrode replacements. The results of resource and industrial tests of the worked out plasmotron were described. Deduced from experiments modes of spraying the wire on the axis of centrifugal pump were offered. Recommendations on prospects of industrial application of plasmotron for production and reconstruction of details in mining and mountain-chemical processing equipment were given.