

УДК 621.793.74

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ
РЕШЕНИЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПЛАЗМОТРОНА
ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

А. М. Кадырметов, А. С. Пустовалов, В. О. Никонов, А. Ф. Мальцев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г.Ф.Морозова»

К прогрессивным методам получения плазменных покрытий относится широко используемое плазменное напыление, являющееся одним из наиболее универсальных методов и позволяющее наносить наиболее широкую номенклатуру различных материалов на различные детали. В связи с имеющимся до сих пор низким тепловым и общим КПД процесса плазменного напыления, актуальной задачей является повышение его общей эффективности.

Целью данной статьи является обоснование и выбор перспективных конструктивных и технологических решений электродугового плазмотрона для плазменного напыления.

Для того чтобы определить возможные пути совершенствования плазмотрона для плазменного напыления, обеспечить оптимальные режимы напыления и одновременно увеличить их тепловую эффективность, целесообразно использование схемы модульного плазмотрона с осевым введением различных материалов. Это обусловлено возможностью гибкого регулирования параметров процессов внутри плазмотрона, обеспечивающих высокую энергетическую эффективность плазменного напыления в целом.

Энергетическая эффективность плазменного напыления определяется, прежде всего, балансом мощности плазмотрона. Основной его статьей является нагрев плазмообразующего газа, в результате которого он получает тепловую и кинетическую энергию. Часть из этой энергии используется на распыление, ускорение и подогрев расплавленных напыляемых частиц. В зависимости от схемы напыления на нагрев плазмообразующего газа расходуется 60-85 % мощности дуги.

Уменьшение тепловых потерь в стенки разрядной камеры за счет излучения столба дуги и теплоотдачи от нагретого газа, а также от теплоотвода в опорных пятнах дуги, обеспечит максимальный тепловой КПД плазмотрона при заданном

уровне выходной среднemasсовой температуры потока (или энтальпии).

Второй статьей энергетической эффективности плазменного напыления является эффективность нагрева и разгона частиц напыляемого порошка. Поиски путей повышения эффективности нагрева порошков в плазмотронах для нанесения покрытий ведутся на протяжении многих лет. К настоящему времени разработаны конструкции плазмотронов, обладающих тепловой эффективностью близкой или даже несколько более высокой по сравнению с эффективностью процесса напыления проволокой (в данном случае проволока является анодом). К сожалению, эти конструкции достаточно сложны и поэтому имеют ограниченные области применения [1].

Для интенсификации процессов тепло- и массообмена между плазменным потоком и напыляемым материалом применяются многоструйные плазмотроны с несколькими струями плазмы. В 1967 г. был разработан стержневой трёхдуговой распылитель (авторское свидет. № 288490), работающий на аргоне от установки УПУ-3Д. Керамический стержень расплавлялся тремя сходящимися плазменными струями, что напоминало струи из мундштука газопламенной горелки при прутковом распылении.

Макетный образец показал значительно большую производительность по сравнению с газопламенным напылением при высоком качестве покрытия, однако промышленный плазмотрон не был создан из-за распространения шнуровых материалов и более экономичного газопламенного напыления [1]. Здесь надо иметь ввиду тот факт, что распыление горючими газами применялось в основном для металлизации больших поверхностей, для защиты от износа и коррозии и только легкоплавкими порошками (в связи со сравнительно малой температурой горения ацетилен-кислородной смеси).

За рубежом в 2007 г. фирмой Mettech's была создана система Axial III™, сходная по конструкции с плазмотроном, описанным выше, но имеющая отличительные признаки, заключающиеся в том, что плазмотрон имеет конечное сопло, которое вмещает в себя три довольно протяженных отдельных сходящихся канала, а анодная привязка дуг осуществляется уступами, расположенными до этого сопла. Плазменные струи в данной конструкции на значительном расстоянии не контактируют с напыляемым материалом, что на наш взгляд неэффективно для тугоплавких материалов, так как приводит к повышенным тепловым потерям в стенки и к вынужденной необходимости увеличения мощности плазмотрона. Данный факт можно заметить, если посмотреть технологические параметры для этого плазмот-

рона – при общей мощности до 150 кВт, расход охлаждающей воды через его рубашку охлаждения составляет почти 3 м³/ч при давлении до 0,3 МПа.

Наибольшей эффективности можно достигнуть, вводя частицы тугоплавкого порошка в столб дугового разряда. При этом КПД нагрева возрастает с 4 до 20 %. Для плазмотронов линейной схемы такой ввод затруднен из-за большой подвижности прианодной области разряда. Физическая картина взаимодействия твердой частицы со столбом дугового разряда в настоящее время недостаточно ясна. Однако наблюдения показывают, что в случае ввода порошка в дугу около катода частицы движутся не по оси сопла и плазменного потока, а располагаются между центральной частью потока и стенками канала сопла [2]. Это происходит в наиболее высокоэнтальпийной области плазмы, что улучшает нагрев частиц порошка. Последнее особенно существенно для маломощных плазменных потоков. При подаче порошка через одно отверстие, он занимает только часть высокоэнтальпийной зоны плазменной струи. Дальнейшее повышение эффективности процесса распыления может быть достигнуто путем более равномерного заполнения поперечного сечения плазменной струи порошком [2].

Известно, что на выходе из плазмотрона линейной схемы поле температур плазменной струи неравномерно, а пульсации мощности, давления и температуры достигают десятков процентов [3]. Устранение данного недостатка может быть осуществлено за счет использования модульного принципа в конструкции плазмотрона из нескольких микроплазмотронов, имеющих общую камеру смешения, которая позволит существенно улучшить кинематические и динамические характеристики потока, а также обеспечить хорошее перемешивание напыляемого материала с плазменным потоком, что увеличивает теплоотдачу в порошок. Использование модульных плазмотронов с камерой смешения – эффективный путь к созданию плазменных технологических установок практически любой мощности. Помимо удобного ввода сырья в высокотемпературную зону эта схема позволяет достаточно просто регулировать мощность плазмотрона и производительность напыления.

На рисунке 1 показана схема микроплазмотрона с межэлектродной вставкой (нейтродом).

Данные модули, с высокими тепловым и общим КПД процесса у каждого, в необходимом количестве, соединяются с общей камерой смешения и образуют модульный плазмотрон. Схема совмещения модулей показана на рисунке 2.

Очевидно, что значительное удлинение дуги, которое дает больше воз-

возможностей повышения теплового КПД, достижимо при использовании межэлектродных вставок [3], что, однако, увеличивает потери на излучение и конвекцию в канале.

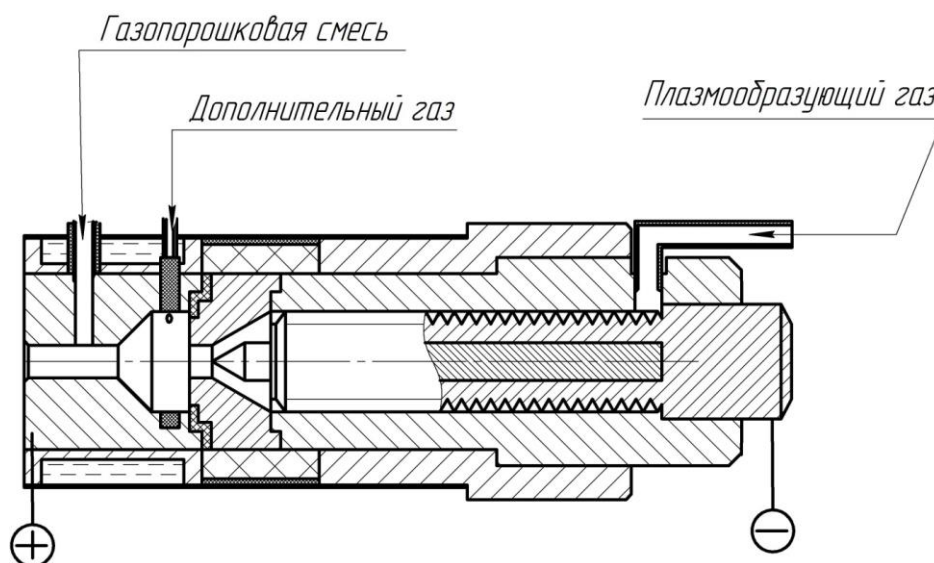


Рисунок 1 – Схема микроплазмотрона

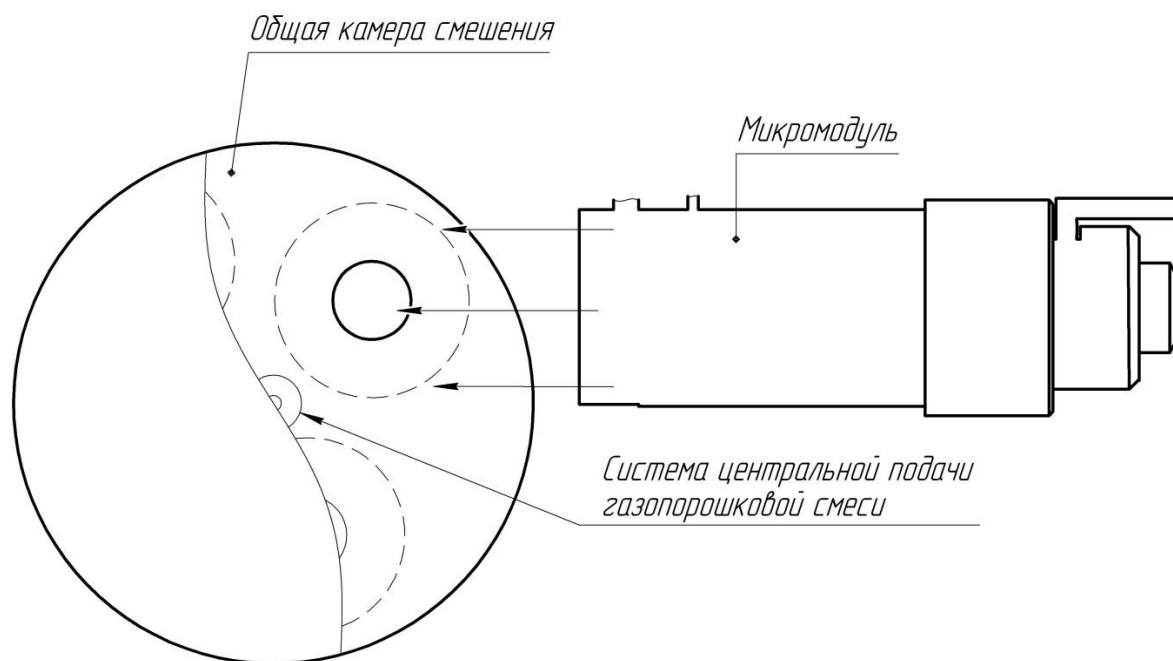


Рисунок 2 – Схема совмещения модулей с камерой смешения

Для устранения конвективных потерь предлагается использование системы заградительного охлаждения вдувом газа в межсекционные зазоры в межэлектродных вставках модульного плазмотрона.

Катод микромодуля, как один из вариантов, возможно изготовить из лан-

танированного вольфрама с защитным пусковым электродом – нейтродом, для обеспечения работы катода на окислительных газах. Применение вольфрама связано с его высоким ресурсом и относительно небольшой стоимостью. В качестве дополнительного плазмообразующего газа целесообразно использовать воздух (ввиду его доступности и дешевизны), а аргон в качестве защитного газа для катода, или смеси азота, аргона и пропана для увеличения среднетемпературной температуры в потоке и уменьшения эрозии анода [4].

Опираясь на вышеизложенные факты, можно составить схему модульного плазмотрона, на которую подана заявка на изобретение, представленного на рисунке 3.

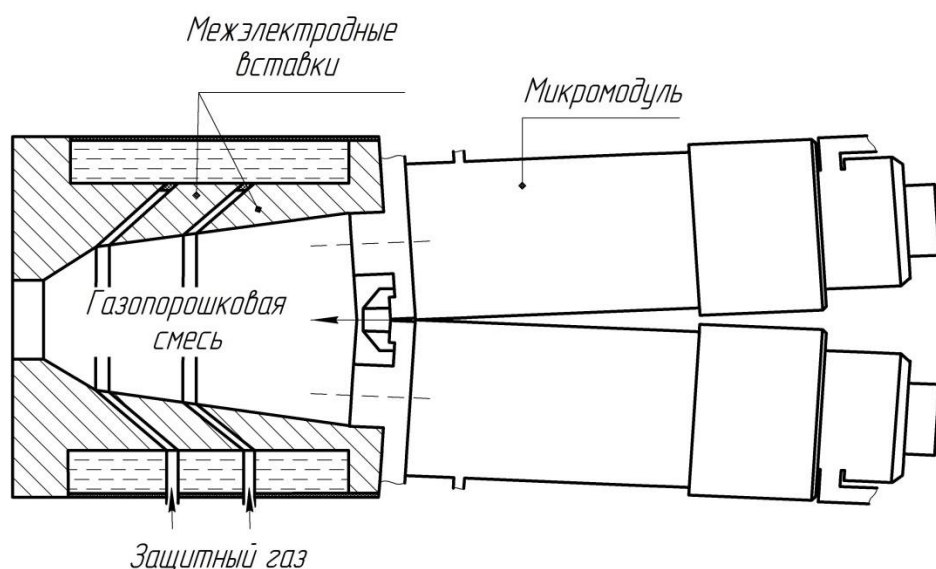


Рисунок 3 – Схема высокоэффективного модульного плазмотрона

В данном случае для распыления в плазменном потоке, применяется осевая подача материала, способствующая повышению тепловой эффективности процесса плазменного напыления и увеличению коэффициента использования материала.

Схема плазмотрона отражает выводы, сделанные на основе информационно-аналитических исследований, а также вышеуказанные оптимальные конструктивные и технологические параметры новой схемы высокоэффективного микроплазмотрона, включающие индивидуальный ввод порошка, рекуперативный ввод газа, возможность использования лантанированного вольфрамового катода на окислительных газах.

Библиографический список

1 Балдаев, Л. Х. Газотермическое напыление [Текст] / Л. Х. Балдаев. – М. : Маркет ДС, 2007. – 344 с.

2 Кудинов, В. В. Нанесение покрытий плазмой [Текст] / В. В. Кудинов, П. Ю. Пекшев, В. Е. Белащенко. – М. : Наука, 1990. – 408 с.

3 Чередниченко, В. С. Плазменные электротехнологические установки [Текст] : учебник для вузов / В. С. Чередниченко, А. С. Аньшаков, М. Г. Кузьмин. – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2011. – 602 с.

4 Петров, С. В. Плазменное газоздушное напыление [Текст] : Монография / С. В. Петров, И. Н. Карп. – Киев, 1993 г.