

УДК 621.793.74

К ВОПРОСУ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ
МИКРОПЛАЗМОТРОНА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

А. М. Кадырметов, А. С. Пустовалов, Е. В. Снятков, К. А. Меняйлов
(ФГБОУ ВПО ВГЛТА)

На поверхностях деталей машин в различных отраслях промышленности, транспортной, сельскохозяйственной, лесной, строительно-дорожной и др. техники используются различные защитные и функциональные покрытия. К прогрессивным методам получения таких покрытий относится широко используемое плазменное напыление, являющееся одним из наиболее универсальных методов и позволяющее наносить наиболее широкую номенклатуру материалов на различные детали. Повышению тепловой эффективности плазменного напыления посвящено множество исследований. Существенным недостатком данной технологии до сих пор является низкий тепловой и общий КПД процесса, составляющий всего 3-8 %, что представляет актуальную проблему плазменного напыления.

В большинстве технологических процессов плазменной обработки материалов чаще всего применяют электродуговые линейные плазмотроны, которые по сравнению с плазмотронами других схем обладают простотой конструкции, сравнительно большим ресурсом работы электродов, возможностью регулирования мощности разряда не только изменением силы тока дуги, но и за счет изменения напряжения на дуге.

Целью данной статьи является обоснование оптимальных конструктивных и технологических параметров новой схемы высокоэффективного микроплазмотрона.

Для того, чтобы обеспечить заданный режим напыления и одновременно увеличить тепловую эффективность, целесообразно сделать несколько предположений по конструкции эффективного микроплазмотрона и происходящих в нем процессов.

Предполагается конструктивно осуществить развитие и универсализацию технологии плазменного напыления путем создания модульного плазмотрона, включающего несколько объединенных микроплазмотронов, с высокими тепловым и общим КПД процесса, а также изменение схемы подачи порошка в плазмотрон. В качестве плазмообразующих газов целесообразно использовать

воздух, смеси азота, аргона и пропана [1], причем катод плазмотрона изготавливать из лантанированного вольфрама, а для его защиты от окислительной рабочей среды применять аргон и оснастить пусковой межэлектродной вставкой. Применение вольфрама связано с его высоким ресурсом при частых пусках плазмотрона и относительно небольшой стоимостью, по сравнению с циркониевыми или гафниевыми электродами.

Одно из главных требований к плазмотрону – необходимость нагрева газа до высокой температуры с высокой эффективностью. Здесь под эффективностью понимается малая величина тепловых потерь в стенки разрядной камеры, в опорных пятнах дуги, за счет излучения столба дуги и нагретого газа, т.е. высокий КПД преобразования электрической энергии в тепловую энергию плазменного потока. Это обеспечивает заданный уровень выходной среднетемпературной температуры потока (или энтальпии) при максимальном тепловом КПД всего устройства (считая, что электрический КПД близок к единице). Это, в свою очередь, дает возможность реализовать наибольшее тепловложение в напыляемый материал.

Рассмотрим предпосылки создания одного из модулей высокоэффективного плазмотрона и возможности минимизации тепловых потерь.

Известно, что тепловые потери в канале плазмотрона на начальном участке дуги при небольших давлениях (до 500 кПа) и малых токах определяются только лишь излучением, при этом доля лучистого переноса энергии в общем энергетическом балансе дуги пренебрежимо мала. Это указывает на целесообразность применения малых токов дуги, так как с ростом тока тепловые потери на излучение растут, и многоатомных газов (так как лучистые потери увеличиваются при использовании одноатомных газов для высоких температур), что также уменьшает величину эрозии электродов за счет уменьшения теплового потока в электроды, а значит, повышает ресурс плазмотрона и обеспечивает более стабильные характеристики плазменной струи.

Однако ни ток, ни напряжение дуги нельзя задавать произвольно, так как, во-первых, их произведение определяет требуемую мощность дуги, во-вторых, они связаны друг с другом вольт-амперными характеристиками и, в-третьих, напряжение на дуге при прочих равных условиях пропорционально ее длине. Поэтому желание уменьшить ток дуги при сохранении ее мощности влечет за собой необходимость удлинения ее столба вместе с выходным каналом. Очевидно, что значительное удлинение дуги, которое дает больше возможностей

повышения теплового КПД, достижимо при использовании межэлектродных вставок [2], что в свою очередь увеличивает потери на излучение и конвекцию в канале. Для устранения конвективных потерь предлагается использование системы заградительного охлаждения вдувом газа в межсекционные зазоры в межэлектродных вставках после начального участка дуги, в котором тепловой слой дуги не контактирует со стенками плазмотрона.

Обеспечить оптимальное значение температуры плазмы в столбе, а с ней и его тепловые потери можно также выбором плазмообразующего газа, если технология, для которой предназначен плазмотрон, и условия его эксплуатации позволяют такой выбор. Очевидно, газ, обладающий высокой удельной теплоемкостью, имеет данную энтальпию при меньшей температуре, чем газ с низкой удельной теплоемкостью, и более предпочтителен в качестве плазмообразующего. Как правило, при использовании самофлюсующихся порошков металлов и керамических материалов применим осушенный воздух с добавлением пропана, а также азот, смесь аргона с азотом, аргона с пропаном или водородом, при этом значительно увеличивается теплопроводность смеси, повышается напряжение на дуге и увеличивается теплоотвод от газа в порошок, что и учитывается при конструировании модуля [3].

Для дальнейшего увеличения теплового КПД следует осуществить рекуперацию тепла, полученного стенками микроплазмотрона, которое там присутствует в основном из-за потерь в приэлектродных пятнах дуги. Для этого предполагается пропускать газ перед подачей в рабочую камеру через каналы охлаждения катодного узла, и тем самым охлаждать этот узел, одновременно подогревая газ. Тепловой режим анодного узла, в силу поступления мощного теплового потока в его стенки, необходимо стабилизировать путем охлаждения стенок водой.

Следующим шагом управления эффективности плазмотрона является оптимизация места ввода порошка в микромодуль. Как правило, все легкоплавкие порошки подаются под срез сопла плазмотрона радиально к оси или под некоторым углом к плазменному потоку. Сложность напыления тугоплавких металлов, и особенно керамических материалов, при таких способах подачи заключается в малом времени нахождения частиц в высокотемпературной зоне и, как следствие, в непроплавлении частиц порошка. Поэтому данные материалы должны подаваться в доанодную зону плазмотрона с целью увеличения времени нахождения частиц в высокотемпературном потоке и обеспечения высокого

качества покрытий. Целесообразным местом ввода порошка для одного микро модуля может быть ввод его в межэлектродную вставку с уступом, как это сделано в микроплазматроне, представленном в работе [4-7]. Это позволяет обеспечить ввод порошка в дугу с малой радиальной составляющей скорости, что необходимо для предотвращения налипания порошка на стенки канала межэлектродной вставки и анода. На рисунке показан модернизированный вариант микро модуля на основании изложенного обоснования.

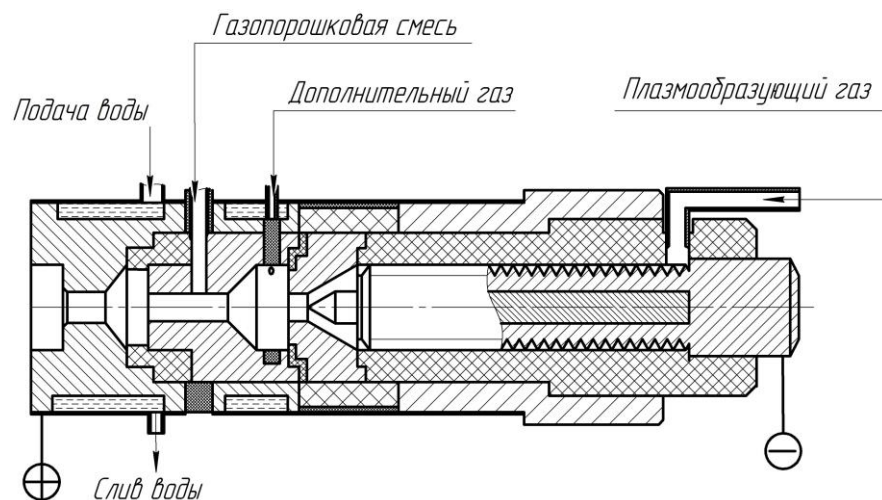


Рисунок – Схема микро модуля

Данное расположение места ввода порошка в микро модуле позволяет напыление несколькими материалами на подложку одновременно с помощью разных микро модулей, что дает возможность создавать композитные покрытия и различные структуры, а при использовании одного микроплазматрона – напылять покрытия на детали малого размера и тонкостенные изделия, требующие малого теплоподвода в них.

Реализация конструктивно-технологических решений в данном модуле отражает выводы, сделанные на основе информационно-аналитических исследований, а также выбор параметров, обеспечивающих оптимальность новой схемы высокоэффективного микроплазматрона, включающей ввод порошка в межэлектродную вставку, рекуперативный ввод плазмообразующего газа, возможность использования лантанированного вольфрамового катода на окислительных газах.

Дальнейшее совершенствование микроплазматрона может быть обеспечено исследованиями по обоснованию и выбору новой объединённой схемы из

нескольких модулей с возможностью введения различных материалов для повышения тепловой эффективности плазменного напыления.

Библиографический список

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

2 Кручинин, А. М. Плазменные промышленные установки. Промышленные плазмотроны [Текст] / А. М. Кручинин, В. П. Цишевский. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 104 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 Дюмин, М. И. Численное моделирование динамики нагрева порошковых материалов в технологическом микроплазмотроне [Текст] / М. И. Дюмин Н. П. Козлов, В. И. Суслов // Вестник МГТУ им Н. Э. Баумана – 2003. – №3 – С. 3-11.

5 Кадырметов, А. М. Перспективы модуляции электрических параметров при плазменном нанесении покрытий / А. М. Кадырметов, В. Н. Бухтояров, А. С. Пустовалов, А. А. Фильченко // Воронежский научно-технический вестник. – 2013. - №4(6) режим доступа: http://vestnikvglta.ru/index/arkhiv_nomerov/0-19.

6 Кадырметов, А. М. Манипуляторы для нанесения и упрочнения покрытий газотермическими методами / А. М. Кадырметов, В. Н. Бухтояров, А. Ф. Мальцев, Е.В. Снятков, И. Е. Поляков, А. В. Макаренко // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте : межвузовский сборник научных трудов / под ред. В. И. Посметьева ; ВГЛТА. – Воронеж, 2010. – Вып. 5. – С. 190-195.

7 Кадырметов, А. М. Установка плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модулятором электрических параметров / А. М. Кадырметов, Д. И. Станчев, В. Н. Бухтояров, Е.В. Снятков, А. Ф. Мальцев, А. В. Макаренко // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте : межвузовский сборник научных трудов / под ред. В. И. Посметьева ; ВГЛТА. – Воронеж, 2010. – Вып. 5. – С. 236-250.