

## СЕКЦИЯ 4

# ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.9.048.7+621.78

А. В. Алифанов, профессор, доктор технических наук, В. Н. Алехнович, кандидат технических наук,  
И. А. Романчук, кандидат физико-математических наук, О. А. Толкачева  
Государственное научное учреждение «Физико-технический институт НАН Беларуси», Минск

### РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПЛАЗМОТРОНА НА ПОСТОЯННО-ИМПУЛЬСНОМ НАПРЯЖЕНИИ ДЛЯ НАПЛАВКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Введение.** Для осуществления процесса плазменной наплавки используют оборудование мощностью от единиц до десятка киловатт [1—3]. Основная гамма промышленных установок имеет мощность 20—60 кВт. С их помощью можно напылять порошки тугоплавкого материала: молибдена, вольфрама, нихрома. Данные покрытия используют в качестве промежуточного подслоя, являются антикоррозионностойкими и жаростойкими. На промышленных установках мощностью десятки киловатт можно осуществлять напыление керамических материалов: оксиды, бориды, нитриды, карбиды металлов.

Температура плавления карбидов металлов значительно выше температуры плавления металла. Температура их размягчения превышает 3 500°C и обладает высокой стойкостью к окислению, жаростойкостью. Особенно большой жаростойкостью обладают покрытия карбида кремния. Широкое распространение для наплавки получили сплавы на основе никеля, хрома, кобальта, содержащие добавки бора и кремния. Плазменная наплавка данных материалов (самофлюсующиеся сплавы) позволяет получить покрытия без пор и раковин, обладает высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, в том числе стойкость к окислению при высокой температуре. В зависимости от химического состава данные самофлюсующие материалы обладают различными значениями твердости, ударной вязкости и могут быть рекомендованы для различного использования. Для плазменной наплавки самофлюсующиеся сплавы чаще всего применяют в виде порошковых материалов, разделенные по фракциям в зависимости от диаметра частиц. Для их нанесения достаточно иметь оборудование плазменной наплавки мощностью 3—6 кВт.

Стоимость оборудования для плазменной наплавки мощностью 3—6 кВт в десятки раз дешевле и доступнее, чем оборудования мощностью 40—60 кВт.

**Основная часть.** Разработка велась на базе Физико-технического института НАН Беларуси (лаборатория объемных гетерогенных систем). При выполнении работы был взят ориентир на разработку дешевых надежных, высокоэффективных плазмотрона, источника питания и питателя порошкового материала для широкого круга потребителей в целях упрочнения и восстановления изношенных деталей.

Постоянно-импульсный режим работы плазмотрона позволяет наряду с повышением качества наплавки создать условия, способствующие интенсификации скорости диффузии легирующих элементов вглубь упрочняемой детали. Возможность использования в широком диапазоне значений длительности и амплитуды импульсной составляющей позволяет обеспечить стабильную работу на минимальном токе, с одной стороны, а с другой — обеспечить высокую адгезию наплавляемого покрытия, сведение к минимуму опасности проплавления тонкостенных упрочняемых поверхностей и термических поводок.

Значения частоты следования и длительности импульсной составляющей устанавливаются оператором.

Численные значения соотношения постоянной и импульсной составляющей будут определяться оператором для каждой конкретной детали.

Современные мощные полевые транзисторы, работающие в ключевом режиме, позволяют коммутировать и получать на выходе регулируемые импульсные напряжения до 1 200 В и токи в сотни ампер. Сами источники питания могут быть как трансформаторные, так и инверторные.

Для плазменной наплавки порошковых материалов была разработана и изготовлена конструкция плазмотрона для наплавки износостойких порошковых материалов на постоянно-импульсном напряжении. В разрабатываемом плазмотроне электрическая изоляция между анодом и катодом должна выдерживать импульсное напряжение 600 В, так как наличие высоковольтного поджига в плазмотроне также требует усиленной изоляции между анодом и катодом. Важно, что конструкция плазмотрона будет состоять из отдельных деталей, пол-

ностью разбираемых, с возможностью замены любой прокладки или изоляционной вставки: корпуса плазматрона, анода, изготовленного из меди, центрирующей изоляционной вставки, изготовленной из текстолита (фторопласта), катододержателя, изготовленного из латуни, катода — из лантанированного вольфрама диаметром 4 мм, задней крышки плазматрона с системой подачи плазмообразующего газа, системой подачи упрочняющего порошка на наружный срез отверстия анода и уплотнительных прокладок из высокотемпературных силиконовых резин. Анод и катодный узел разработанного плазматрона имеют водяное охлаждение и уплотнения по наружным поверхностям, соединенные последовательно.

В существующих плазматронах часто для герметизации полостей с водой используют кольцевые резиновые прокладки, установленные в специальных канавках, изготовленных на наружных цилиндрических поверхностях. В разработанной конструкции для повышения надежности герметизации уплотнительные прокладки устанавливаются на торцевых поверхностях, образующих последовательные цепочки и сжимаемые при окончательной сборке плазматрона одновременно, что обеспечивает герметичность конструкции в целом.

Для защиты изолятора от излучения дуги внутри плазматрона между анодом и катодным узлом на катод одета трубка из высокотемпературного керамического материала — окись циркония. Важным моментом в разрабатываемой конструкции плазматрона, предназначенного для наплавки износостойких порошковых материалов, является узел подачи упрочняющего порошка в плазменную струю. Использование при плазменном нанесении покрытий порошковых материалов экономически выгоднее, чем использование проволок, так как изготовление проволоки из большинства износостойких материалов, имеющих высокую твердость и хрупкость, дорого и сложно.

На практике из любого напыляемого материала можно изготовить порошок. Размер частиц упрочняющего порошка выбирается исходя из характеристик плазматрона, теплофизических свойств напыляемого металла (температуры плавления напыляемого металла, удельной теплоемкости, плотности). Применение мелкодисперсного порошка позволяет получать покрытие большей плотности — без пор. Выбирая дисперсность порошка, необходимо учитывать, что мелкодисперсный порошок имеет большую поверхность, а значит, и наличие большого количества окислов на поверхности частиц, которые при нанесении перейдут в материал покрытия. При нанесении плазменных покрытий необходимо применять порошки одного размера, так как разброс частиц по размеру приведет к нарушению однородности покрытия из-за различия степени их расплавления и скорости движения в плазменной струе.

Под действием газотермических сил и сил инерции порошок смешивается с плазмой, нагревается и ускоряется в ней. Чтобы зафиксировать длину дуги и тем самым стабилизировать режим генерации плазмы, сопло на выходе имеет незначительное расширение. Для повышения стабилизации дуги в разрабатываемом плазматроне осуществлена тангенциальная подача газа в районе анодного отверстия. Представим внешний вид разработанного плазматрона в собранном виде (рисунок 1).

**Заключение.** В Физико-техническом институте НАН Беларуси разработана и изготовлена конструкция плазматрона для наплавки износостойких порошковых материалов на постоянно-импульсном напряжении. Особенностью данной конструкции является то, что плазматрон состоит из полностью разбираемых деталей с возможностью замены любой прокладки или изоляционной вставки, что позволит осуществить разборку и сборку плазматрона в процессе ремонтных работ без ухудшения его качества. Применение для питания плазматрона постоянно-импульсного напряжения позволяет обеспечить стабильную работу плазматрона на минимальном рабочем токе, позволяющем свести к минимуму опасность проплавления упрочняемых тонкостенных поверхностей и термических поводок, получить высокое качество наплавленного слоя и хорошую адгезию. Использование предлагаемой конструкции плазматрона и технологии наплавки позволяет создать условия, способствующие интенсификации диффузии легирующих элементов в упрочняемую поверхность. Данная работа выполняется благодаря поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.



Рисунок 1 — Внешний вид разработанного плазматрона

#### Список цитируемых источников

1. Хасуй, А. Техника напыления / А. Хасуй. — М. : Машиностроение, 1975. — 288 с.
2. Даутов, Г. Ю. Плазматроны со стабилизированными электрическими дугами / Г. Ю. Даутов, В. Л. Дзюба, И. Н. Карп. — Киев : Наук. думка, 1984. — 168 с.
3. Донской, А. В. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении / А. В. Донской, В. С. Клубникин. — Л. : Машиностроение, 1979. — 221 с.