

УДК 621.9048.7+621.78

**В. Н. Алехнович, А. В. Алифанов, А. М. Милукова, О. А. Толкачева**Государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси»,  
ул. Купревича, 10, 220141 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 352 71 81, alifanov\_aav@mail.ru

## РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВОГО ПИТАТЕЛЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕГО ОСУЩЕСТВЛЯТЬ РАБОТУ НАПЛАВОЧНОГО ПЛАЗМОТРОНА В ПОСТОЯННО-ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Разработана конструкция порошкового питателя, с помощью которого подача к плазматрону наносимого на изделие высокопрочного порошка осуществляется в постоянном и импульсном режимах. Это обеспечивает высокое качество наплавки, а также предотвращает проплавление тонкостенных упрочняемых изделий и возникновение термических поводов.

**Ключевые слова:** наплавочный плазматрон; порошковый питатель; постоянно-импульсный режим.

Рис. 4. Библиогр.: 4 назв.

**V. N. Alehnovich, A. V. Alifanov, A. M. Miliukova, O. A. Tolkachova**Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,  
10 Kuprevich St., 220141, Minsk, Belarus, +375 (29) 352 71 81, alifanov\_aav@mail.ru

## DEVELOPMENT OF POWDER FEEDER, ALLOWING THE OPERATION OF THE SURFACE PLASMATRON IN CONSTANT-PULSE MODE

The design of the powder supply device has been developed. It promotes, with which the supply of high-strength powder deposited on the product to the plasmatron is carried out in constant and pulsed modes. It ensures high quality of surfacing, and also prevents penetration of thin-walled hardened products and the occurrence of thermal leash.

**Keywords:** surface plasmatron; powder feeder; constant-pulse mode.

Fig. 4. Ref.: 4 titles.

**Введение.** Плазменная наплавка высокопрочных порошковых материалов широко используется для упрочняющей обработки деталей машин и механизмов, работающих в условиях интенсивного трения. На соответствующих предприятиях обычно применяют высококачественные и достаточно дорогие плазматроны зарубежного производства. К недостаткам этих плазматронов относится невозможность замены какой-либо внутренней детали в случае выхода ее из строя, так как зарубежные плазматроны выполнены неразборными. В лаборатории объемных гетерогенных систем Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси разработан плазматрон, который не уступает зарубежным аналогам по эксплуатационными характеристикам, но допускает возможность замены вышедших из строя деталей. Это позволит значительно продлить срок службы плазматрона. Кроме того, в комплекте с плазматроном разработан оригинальный порошковый питатель, который позволяет осуществлять постоянно-импульсную подачу упрочняющего порошка к плазматрону, благодаря чему уменьшается термическая нагрузка на упрочняемую деталь. Это сводит к минимуму деформационные коробления, возникающие при упрочняющей высокотемпературной обработке, и уменьшает риск проплавления тонкостенных деталей.

В данной статье рассмотрены особенности конструкции разработанного порошкового питателя и принцип его работы в процессе наплавки.

**Основная часть.** Использование при плазменном нанесении покрытий порошковых материалов экономически выгоднее, чем использование проволок, так как из многих износостойких материалов, имеющих высокую твердость и хрупкость, изготовить проволоку дорого и сложно.

На практике из любого напыляемого материала можно изготовить порошок. Размер частиц упрочняющего порошка выбирается исходя из характеристик плазмотрона, теплофизических свойств напыляемого материала (температуры плавления, удельной теплоемкости, плотности). Применение мелкодисперсного порошка позволяет получать покрытие большой плотности (практически 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 покрытия 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. Важным моментом в разрабатываемой конструкции плазмотрона, предназначенного для наплавки износостойких порошковых материалов, является выбор места подачи упрочняющего порошка в плазменную струю.

Учитывая вышесказанное и рассмотрев схемы мест введения мелкодисперсного порошка в плазменную струю (рисунок 1, а—з), примем вариант з (подача упрочняющего порошка на наружный срез отверстия анода) [1—3].

Под действием газотермических сил и сил инерции порошок смешивается с плазмой, нагревается и ускоряется в ней. При этом необходимо выбрать и зафиксировать длину дуги и тем самым стабилизировать режим генерации плазмы.

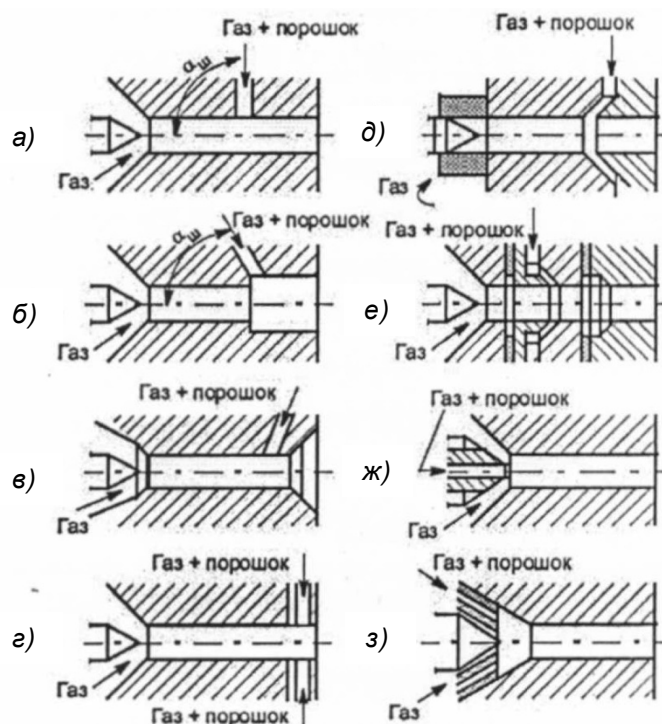


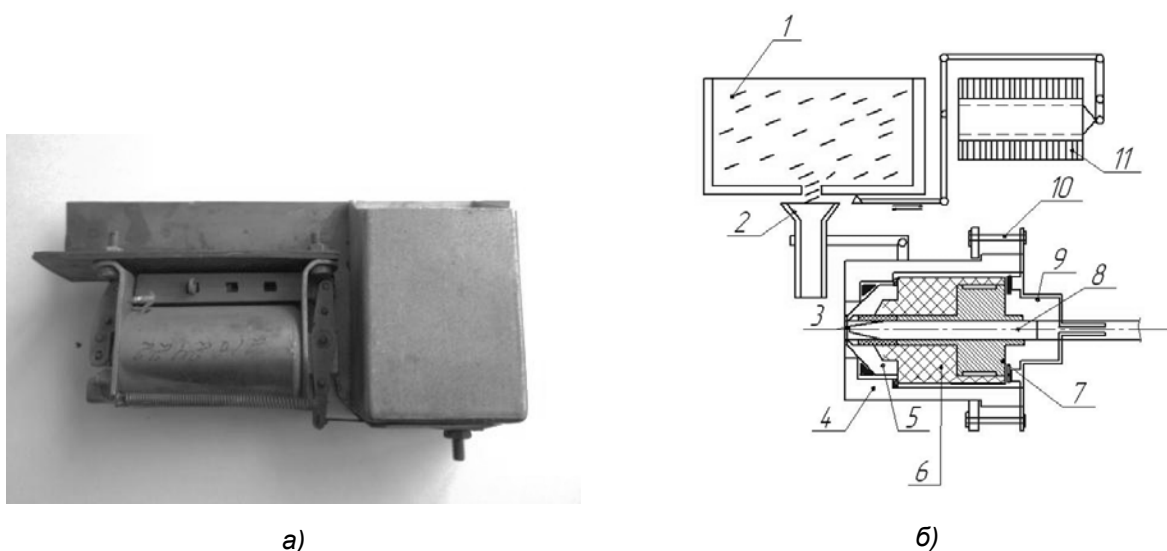
Рисунок 1. — Варианты схем ввода порошка в плазменную струю

В данной работе место подачи порошка в плазменную струю выбрано за наружным срезом анодного сопла, что позволяет упростить конструкцию предлагаемого плазмотрона и увеличить время нахождения частиц в плазме при наиболее высокой температуре. Частицы напыляемого материала в момент ввода их в плазменную струю нагреваются и перемещаются в направлении потока. Степень нагрева и скорость частиц порошка зависят от тепловых и газодинамических характеристик плазменной струи, а также от размера, формы и материала частиц порошка. Состояние частиц в плазменной струе, степень их нагрева и расплавления определяли по изменению формы частиц. С этой целью частицы распыляли на холодную металлическую поверхность и с помощью оптического микроскопа изучали изменение формы частиц. По деформации частиц при ударе о холодную поверхность металла можно судить о степени их расплавления. Использование предлагаемой конструкции позволит устанавливать необходимые режимы работы плазмотрона (ток дуги и расход плазмообразующего газа), позволяющие осуществить расплавление частиц необходимого размера с определенными теплофизическими свойствами.

Рассмотрим конструкцию порошкового питателя, позволяющего осуществлять подачу к плазмотрону наносимого на изделие порошка в постоянном и импульсном режимах (рисунок 2).

Упрощенный принцип действия плазмотрона (см. рисунок 2) следующий: наносимый упрочняющий порошок из питателя 1 по специальной трубке 2 подается к анодному соплу 3, расплавляется и поступает на упрочняемую поверхность изделия. В отличие от существующих конструкций, предлагаемый плазмотрон может быть разобран и собран благодаря съемной прижимной крышке 9, которая с помощью болтов 10 крепится к корпусу 4 плазмотрона.

В случае традиционной подачи порошка в разветвленные каналы анодного сопла плазмотрона процесс импульсно-периодической подачи осуществить невозможно. Экспериментально установлено, что температура аргонно-плазменной струи на срезе анодного отверстия достигает 10 000...11 000 °С. По мере увеличения расстояния от среза анодного сопла плазмотрона температура аргонно-плазменной струи уменьшается. Так, на расстоянии 20...30 мм от сопла температура уменьшается до 6 000...7 000 °С. Поэтому для гарантированного расплавления порошкового материала было решено подавать порошок в струю по трубке непосредственно за анодным отверстием сопла.



а — порошковый питатель; б — схема плазмотрона: 1 — порошковый питатель; 2 — трубка для подачи порошка; 3 — анодное сопло плазмотрона; 4 — корпус; 5 — анод; 6 — изолятор; 7 — катододержатель; 8 — катод; 9 — прижимная крышка; 10 — крепежный болт; 11 — вибратор

**Рисунок 2. — Внешний вид (а) и схема плазмотрона в сборе с питателем (б)**

На рисунке 3 схематически показан второй вариант питателя с вибратором.

Модернизированный узел представляет собой емкость 1, содержащую порошок 2, дозирующий стержень 3, связанный креплением 6 с электромагнитной катушкой 4, находящейся в постоянном магнитном поле, образованном магнитом 5. Под действием переменного напряжения, подводимого к электромагнитной катушке, дозирующий стержень 3 совершает вертикальное возвратно-поступательное движение. Амплитуда и частота колебаний устанавливаются путем изменения силы тока и частоты питающего напряжения.

Длительность и частота подачи порций порошка управляется автоматически посредством специальной схемы управления или оператором в ручном режиме.

Для предотвращения слипания напыляемого порошка в бункере питателя в обеих конструкциях питателей к корпусу бункера с порошком присоединен малогабаритный вибратор, состоящий из малогабаритного коллекторного электродвигателя постоянного тока с укрепленным на валу несбалансированным диском. В зависимости от скорости вращения вала электродвигателя соответствующее усилие прикладывается к бункеру.

На рисунке 4 показано изменение скорости высыпания порошка из бункера при изменении скорости вращения вала электродвигателя вибратора ( $m$  — количество высыпаемого порошка из бункера, г;  $n_1, n_2, n_3$  — скорость 200, 400, 800 об./мин соответственно).

При скорости вращения вала электродвигателя вибратора от 200 об./мин до 400 об./мин порошок из бункера высыпается более интенсивно. При скорости вращения 800 об./мин амплитуда вибрации и, соответственно, количество высыпаемого порошка уменьшается.

Постоянно-импульсный режим работы плазмотрона предполагает нагрев упрочняемой поверхности детали до 0,7...0,75 % температуры плавления металла при постоянной составляющей основной дуги плазмотрона. При необходимости осуществления процесса наплавки оператор включает подачу импульсной составляющей блока питания основной дуги, а также импульсную подачу порции упрочняющего порошка питателем.

Импульсное кратковременное увеличение мощности плазмотрона и одновременная подача порции упрочняющего порошка (2...4 с) позволяет осуществить качественную наплавку, но при этом исключить процесс сквозного проплавления наплавляемой поверхности за счет отвода тепла в основную массу детали.

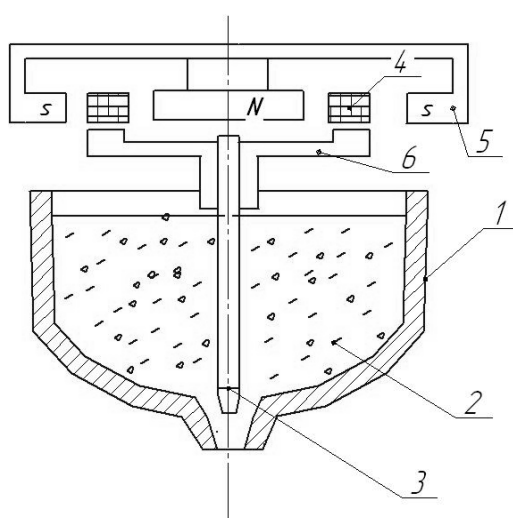


Рисунок 3. — Модернизированный узел питателя с дозирующим вибрирующим электродом

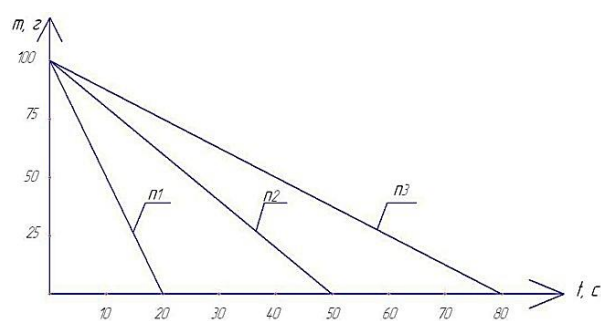


Рисунок 4. — График скорости высыпания порошка

**Заключение.** Экспериментально установлено, что температура аргонно-плазменной струи на срезе анодного отверстия достигает 10 000...11 000 °С. По мере увеличения расстояния от среза анодного сопла плазмотрона температура струи снижается. Например, на расстоянии 20...30 мм от сопла температура уменьшается до 6 000...7 000 °С. В связи с этим для гарантированного расплавления порошкового материала решено подавать порошок в аргонно-плазменную струю непосредственно за анодным отверстием сопла, где температура достигает значений 10 000...11 000 °С. Для повышения качества наносимых покрытий в разработанном порошковом питателе имеется дозирующий стержень, который под воздействием переменного напряжения совершает возвратно-поступательное движение, благодаря чему можно управлять количеством подаваемого порошка в зону наплавки. Таким образом, предлагаемые конструкции питателя позволяют подавать порошок в зону расплавления или в постоянном или импульсном режимах в зависимости от поставленных задач.

#### Список цитируемых источников

1. Нанесение покрытий плазмой / В. В. Кудинов [и др.]. — М., 1990. — 244 с.
2. Хасуи, А. Наплавка и напыление / А. Хасуи, О. Моригаки ; под ред. В. С. Степанина, Н. Г. Шестеркина. — М. : Машиностроение, 1985. — 240 с.
3. Плазменное напыление [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://weldzone.info/oborudovanie/machines/95-plasma-welding>. — Дата доступа: 12.10.2017.
4. Плазменная наплавка износостойких порошковых материалов на рабочие поверхности стальных деталей / А. В. Алифанов [и др.] // Вестн. БарГУ. Сер. Технические науки. — 2018. — Вып. 6. — С. 39—44.

Данная работа выполнена при поддержке БР ФФИ в рамках задания Т17-008.

Поступил в редакцию 03.05.2019