

УДК.537.523.5

## **Оптимизация процесса запуска паровихревого плазмотрона**

**Б.И. Михайлов**

*Институт теоретической и прикладной механики  
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск*

Email:mikhailov@itam.nsc.ru

Предлагается новый оптимальный способ запуска паровихревых плазмотронов, который полностью снимает опасность конденсации водяного пара в дуговой камере и все связанные с ней нежелательные последствия.

**Ключевые слова:** паровихревой плазмотрон, запуск, водяной пар, пусковой воздух, трубчатый парогенератор, гидродинамические пульсации, демпфер, прогрев, пароводяной режим.

В статье рассмотрена одна из самых ответственных операций в работе паровихревого плазмотрона — операция запуска. Предложенный запуск выгодно отличается от существующих способов запуска отсутствием при его исполнении электрофизических, гидродинамических и конденсационных пульсаций в электродуговой камере паровихревого плазмотрона. Стабильно осуществленный запуск плазмотрона гарантирует его последующую успешную работу на технологической линии.

Запуск паровихревого плазмотрона включает в себя три последовательных операции:

- 1) поджиг электрической дуги;
- 2) электродуговой прогрев конструкции плазмотрона с использованием в качестве плазмообразующего газа воздуха;
- 3) плавную замену в работающем плазмотроне воздуха водяным паром.

При запуске обычных газовихревых плазмотронов осуществляется только одна операция — поджиг электрической дуги.

Это различие объясняется тем, что подавать в начально холодную электродуговую камеру паровихревого плазмотрона водяной пар нельзя, т. к. он моментально в ней сконденсируется, что приведет к появлению конденсационных и электрических пульсаций, от действия которых плазмотрон придет в негодность. Чтобы этого избежать, следует поджиг дуги в паровом плазмотроне производить с использованием какого-либо неконденсируемого газа, например воздуха, а затем заменять его во время работы плазмотрона сухим перегретым водяным паром. Делать это надо тоже определенным образом. В ранее использовавшихся способах

запуска паровихревых плазмотронов третья из указанных операций производилась по-разному, например, подачей пара в ту же вихревую камеру, в которую подавался и холодный пусковой воздух или в особую параллельно расположенную камеру. Но в обоих случаях при смешении пара с холодным пусковым воздухом образовывался конденсат, приводящий к нежелательным пульсациям напряжения и тока дуги в плазмотроне и резкому снижению ресурса его работы.

Использовался еще один способ [1], при котором пусковой воздух подогревался в специальном воздухоподогревателе. Но он требовал наличия специального воздухоподогревателя и сложной системы коммутации.

Автором разработан способ запуска паровихревых плазмотронов, не требующий дополнительного воздухоподогревателя, а обходящийся только одним трубчатым парогенератором, в котором источником тепла служит джоулево тепло, выделяемое в стенке трубчатого змеевика при протекании по нему электрического тока. Суть метода заключается в следующем. Парогенератор (см. рис.) в начале запуска используется только для подогрева пускового воздуха без подачи в него воды. После прогрева работающего на воздухе плазмотрона в парогенератор путем открытия водяного вентиля 7 начинает подаваться вода, которая, испаряясь, разбавляет собой поток пускового воздуха. По мере увеличения расхода воды до рабочего значения расход воздуха уменьшается до нуля. Процесс перехода длится 2–3 минуты и происходит совершенно без пульсаций. Обратный клапан 2 и демпфер 4 гасят гидродинамические пульсации, происходящие в парогенерирующей трубе парогенератора [2].

Такой способ, помимо стабилизации запуска, делает его проще и дешевле.

Итак, стабилизированный запуск паровихревого плазмотрона производится по следующему сценарию:

А. В неработающий парогенератор поступает при открытом вентиле 1 заданный расход воздуха. Пройдя через обратный клапан 2, трубчатый змеевик 3 и демпфер 4, он попадает в электродуговую камеру плазмотрона 5.

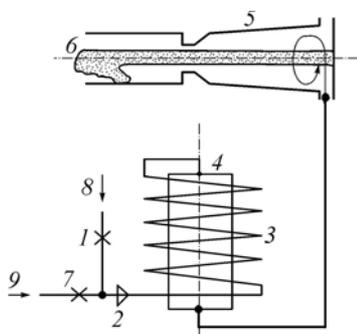
В. На парогенератор подается электропитание и воздух в нем нагревается, попадая теперь в плазмотрон с температурой  $+ (150 \div 300 \text{ } ^\circ\text{C})$ . Включается охлаждение плазмотрона.

С. С помощью осциллятора в плазмотроне поджигается электрическая дуга 6, которая прогревает внутренние стенки дуговой камеры до температуры  $t_{\text{ст}} > t_{\text{нас}}$ .

Естественно, что данный паровихревой плазмотрон изготовлен с соблюдением всех известных принципов: «горячей стенки», «конфузорности» и «демпфирования» [3, 4].

Прогрев длится 2–3 мин.

Д. После прогрева плавно открывается водяной вентиль 7, а воздушный 1 — плавно закрывается.



Образующаяся смесь «вода–воздух» поступает в змеевик парогенератора (см. рис.). Вода, испаряясь, нагревается вместе с воздухом до требуемой температуры  $+ (150 \div 300 \text{ } ^\circ\text{C})$  и поступает в плазмотрон без каких-либо конденсаций и пульсаций.

Рис. Схема запуска.

1 — вентиль воздушный, 2 — обратный клапан, 3 — змеевик, 4 — демпфер, 5 — плазмотрон, 6 — электрическая дуга, 7 — вентиль водяной, 8 — подвод воздуха, 9 — подвод воды.

Процесс смены режима с воздушного на пароводяной занимает 1–2 минуты. На этом стабилизированный процесс запуска паровихревого плазмотрона завершается. Далее корректируются режимные параметры: ток, напряжение, расходы охлаждающей воды, расход и температура водяного пара и т. д., и плазмотрон продолжает работать на заданную технологию.

Гидродинамические пульсации в парогенерирующих трубах исследовались автором в работе [2]. Они возникают при кризисе кипения, когда центральный поток воды оказывается окруженным потоком пара, количество которого непрерывно увеличивается. Истекая через зазор между водой и стенкой трубы со значительно большей, чем вода, скоростью, он силами трения тянет ее за собой. В какой-то момент времени часть водяного потока отрывается и движется с паром в виде жидкостного снаряда, продолжая и далее нагреваться. В процессе этого нагрева температура его оказывается выше температуры кипения воды и ее состояние становится термодинамически неустойчивым. Выход из него происходит взрывообразно. Процесс периодически повторяется. В работе [3] получена зависимость периода этих пульсаций от режимных параметров процесса:

$$\tau_0 = 46 \frac{d^{1,5}}{G^{0,72} q^{0,36}}, \text{ с,}$$

где:  $d$  — внутренний диаметр трубы в см,  $q$  — плотность теплового потока от стенки в Вт/см<sup>2</sup>,  $G$  — расход воды в г/с.

Эти пульсации легко устраняются с помощью демпфера и обратного клапана. Таким образом:

1. Идея смешения холодного воздуха с парогенераторной водой до парогенератора оказалась очень плодотворной и полностью решила проблему запуска паровихревого плазмотрона, сделав его совершенно стабильным и надежным.

2. Разработанный способ запуска оказался самым оптимальным из всех ранее используемых, т. к. является наименее затратным и наиболее квалифицированным.

Изложенный метод апробирован в ряде плазмохимических технологий, в частности, при утилизации некондиционных пестицидов в Краснодарском крае в 2006 г., и в ряде других технологических процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георгиев И.Б., Михайлов Б.И. Газификация угля в плазме водяного пара // Химия высоких энергий. 1991. Т. 25, № 4. С. 76–80.
2. Михайлов Б.И. Исследование пульсаций в парогенерирующих трубках // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. 1985. № 10, вып. 2. С. 43–47.
3. Михайлов Б.И. Условия стабильной работы паровихревого плазмотрона // Ref. IV Krajowej Konf. Naukowo-technicznej pt. «Zastosowanie — Niscotemperaturowej Plazmy w Premysle» — Czestochowa, Kokotek, 1979. S. 79–82.
4. Михайлов Б.И. Электродуговые генераторы пароводяной плазмы. Ч. 1 // Теплофизика и аэромеханика. 2002. Т. 9, № 4. С. 597–612.

*Статья поступила в редакцию 26 мая 2011 г.*