

УДК 537.527

## ПАРОВОДЯНОЙ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

*Аньшаков А.С., Урбах Э.К., Радько С.И., Урбах А.Э., Фалеев В.А.*

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск*

В ряде промышленных технологий для переработки и утилизации техногенных отходов, газификации твердых топлив низкотемпературная плазма водяного пара является не только теплоносителем, но и активным реагентом в физико-химических реакциях. Благодаря своим уникальным свойствам по энтальпии, экологичности, широкой доступности пароводяная плазма перспективна в технологических процессах металлургии, энергетики, машиностроения, плазмохимии.

К числу немаловажных достоинств пароводяной плазмы следует отнести отсутствие вредных окислов азота при работе плазмотрона на водяном паре.

На рис. 1 приведены данные по энтальпии различных газов от температуры (заимствовано из [1]). Видно, что энтальпия водяной плазмы превосходит воздушную, аргоновую, азотную и кислородную плазменные состояния и выше её располагается только водородная плазма.

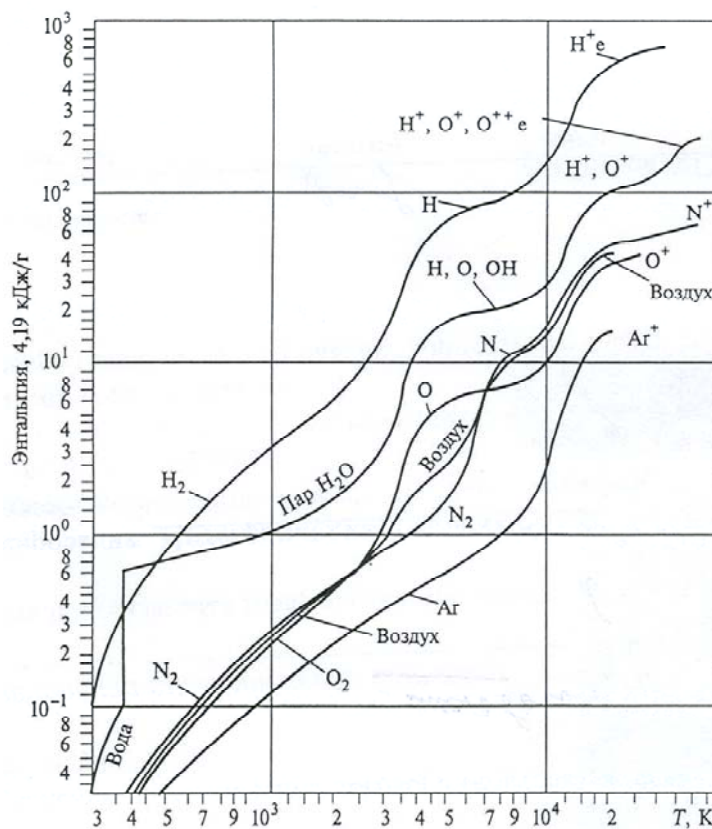


Рис. 1. Энтальпия различных плазмообразующих сред в зависимости от температуры.

На сегодняшний день стационарно работающие плазмотроны на водяном паре обязательно включают в конструкцию термоэмиссионный вольфрамовый катод [1], для работы которого необходима защитная среда в виде аргона или чистого азота, загрязняющих паровую плазму. Кроме того, эти газы достаточно дорогие. В этой связи переход на конструкцию генератора водяной плазмы с медными трубчатыми электродами является актуальной задачей.

Основу исследуемого однокамерного плазмотрона составляют два полых медных цилиндрических электрода ступенчатой геометрии, разделенных изолятором (рис. 2).

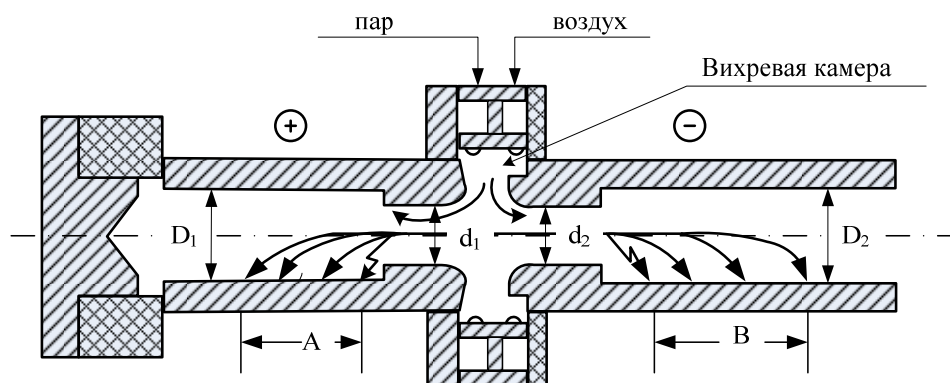


Рис. 2. Принципиальная схема пароводяного плазмотрона, схема течения газа и динамика дуги в разрядной камере.

Внутренний электрод служит анодом (диаметр до уступа  $d_1 = 20 \cdot 10^{-3}$  м), выходной электрод – катодом (диаметр до уступа  $d_2 = 16 \cdot 10^{-3}$  м). Соотношения  $D_1/d_1$  и  $D_2/d_2$  составляли 1,5–1,8, а длины  $l_1$  и  $l_2$  изменялись в процессе экспериментов. Кольцо закрутки, имеющее два ряда тангенциальных отверстий, расположено в термостойком изоляторе. Через один ряд в плазмотрон на стадии запуска поступает подогретый до  $160^\circ\text{C}$  воздух, через другой – водяной пар с температурой  $250 - 300^\circ\text{C}$ .

Чтобы исключить конденсацию пара на охлаждаемых поверхностях электродов, необходимо поддерживать температуру внутренних стенок на уровне  $120 - 130^\circ\text{C}$ . Достигается это косвенным охлаждением медных электродов путем применения трубы из нержавеющей стали на всей длине анода и на начальном участке катода до уступа. Участок выходного электрода за уступом охлаждается непосредственно водой.

Толщина стенки стальной трубы рассчитывалась для двухслойной стенки по методике [2] при заданном коэффициенте теплоотдачи от охлаждаемой поверхности электрода к потоку воды. Расчет проводился для реальных тепловых потоков от дугового разряда в стенки электродов.

В проведенных экспериментах плазмотрон запускался на воздухе, затем осуществлялся поэтапный переход к водяному пару: расход пара увеличивался, а расход воздуха снижали.

Визуальными наблюдениями установлены следы пребывания опорных пятен дуги и зоны разрушения электродов А и В. При этом пульсации тока дуги достигали 15–20% от номинального.

Средняя по длине дуги напряженность поля составила 18–20 В/см. Эта величина соответствует экспериментальным данным по напряженности электрического поля дуги в водяном паре и защитой термокатода инертным газом [3]. Учитывая, что плотность водяного пара ниже плотности воздуха при одинаковых температурах, поступающий с воздухом пар располагается в приосевой области канала плазмотрона и дуга горит преимущественно в паре. О сепарации газов с разными плотностями в вихревом потоке водяного пара неоднократно упоминается в литературе.

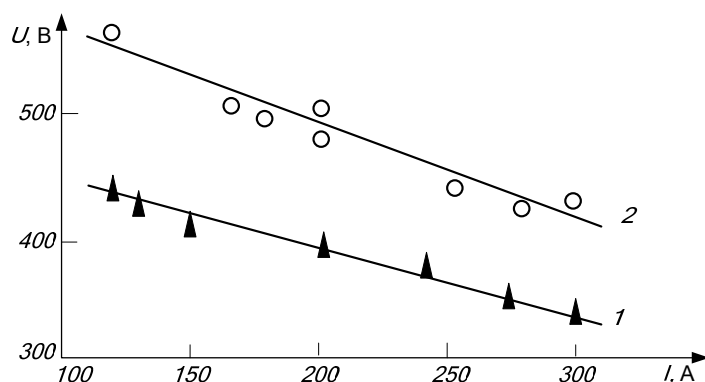


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики дуги.  $G = 4,1 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

На рис. 3 для сравнения приведены вольт-амперные характеристики дуги плазмотрона при работе на воздухе (кривая 1) и на паре (кривая 2). Судя по следам выработки электродов при работе плазмотрона на воздухе, смеси воздуха с паром и на паре длина дуги при одинаковом токе практически не меняется. Следовательно, повышение напряжения на дуге при переходе с воздуха на пар обусловлено только тем, что дуга горит в смеси водорода с кислородом. На чистом водороде напряженность электрического поля выше и составляет 30 В/см и более.

Измерения тепловых потоков в электроды калориметрическим методом показали, что основные потери тепла приходятся на выходной электрод-катод (рис. 4). Отсюда следует, что оптимизацией геометрических размеров катодного узла можно добиться заметного увеличения теплового КПД плазмотрона.

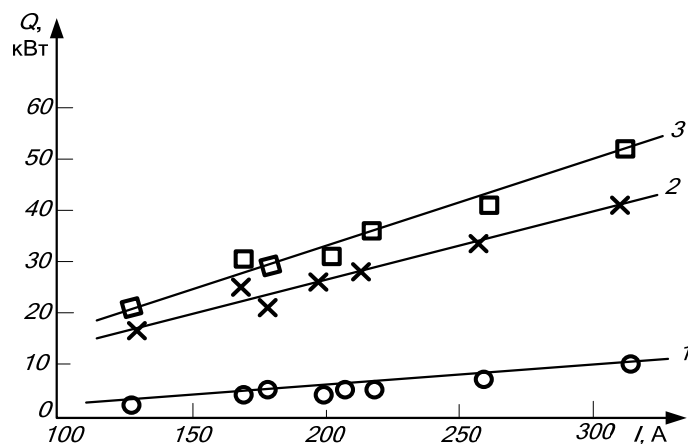


Рис. 4. Зависимость потерь тепла в электроды от тока дуги.  $G = 4,1 \cdot 10^{-3}$  кг/с; 1 – анод, 2 – катод, 3 – суммарные тепловые потоки

Таким образом, показана работоспособность конструктивной схемы плазмотрона с медными трубчатыми электродами для генерации пароводяной плазмы. Полученные энергетические характеристики отражают особенности горения дугового разряда в водяном паре.

### **Литература**

1. Генерация низкотемпературной плазмы и плазменные технологии: Проблемы и перспективы / Г.Ю. Даутов, Б.А. Урюков и др. – Новосибирск: Наука, 2004. – С.105 – 145.
2. Свенчанский А.Д. Электрические промышленные печи. – М.: Энергия, 1975. – 380 с.
3. Жуков М.Ф., Засыпкин И.М. и др. Электродуговые генераторы термической плазмы. – Новосибирск: Наука, 1999. – 712 с.