

УДК 533.9

## ИЗУЧЕНИЕ ГОРЕНИЯ ДУГИ В ПОТОКЕ ГАЗОВ

**А.И. Веремейчик, М.И. Сазонов**

Брестский государственный технический университет, г. Брест,  
Беларусь, e-mail: vai\_mrtm@bstu.by

Электрическая дуга является безынерционным эффективным высококонцентрированным источником нагрева и широко используется в различных технологических процессах [1]. Для изучения особенностей горения дуги в потоке газа и использования ее для получения различных модификаций углерода проведены исследования энергетических характеристик дуги.

Проблема повышения напряженности электрического поля дуги и снижение больших энергетических потерь, определяемых главным образом конвективным теплообменом между газом и стенкой электроразрядной камеры, успешно решается с использованием интенсивного вдува газа в одно из сечений электроразрядной камеры.

Следует отметить, что в электроразрядной камере плазмотрона напряженность электрического поля вдоль дуги постоянна на начальном участке канала, на переходном участке она монотонно возрастает, а на участке развитого турбулентного течения величина ее в несколько раз выше, чем на первом. Для двух последних участков следует говорить о «технической» напряженности или напряженности вдоль канала, поскольку на этих участках дуга сильно деформирована в пространстве и нестабильна. Напряжение дуги определяется соотношением названных участков. Поэтому при создании генераторов низкотемпературной плазмы большой интерес представляет выяснение факторов, влияющих на сокращение длины начального участка. Поскольку в секционированном канале можно в любом сечении вводить рабочий газ в электродуговую камеру плазмотрона, рассмотрим его влияние на протяженность начального участка.

Эксперименты проводились на плазмотроне с межэлектродной вставкой (МЭВ). Характерное распределение напряженности электрического поля дуги приведено на рис. 1.

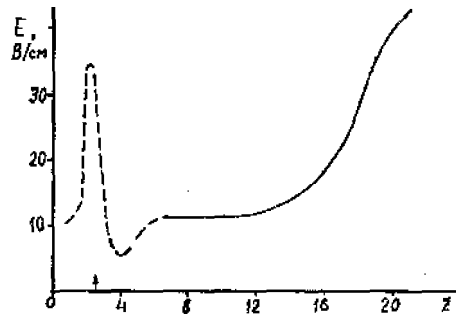


Рис. 1. Распределение напряженности электрического поля дуги вдоль оси канала при спутном вдуве.  $d = 2$  см,  $\bar{a} = 21,5$ ,  $I = 100$  А,  $G = 30$  г/с,  $g_i = 0,5$  г/с,  $G_0 + g_T = 15$  г/с,  $\bar{z}_T = 3,2$ ,  $m_T = 1,2$

Установлено, что при отсутствии интенсивного вдува напряженность электрического поля  $E$  до сечения  $\bar{z} = 11-12$  практически постоянна вдоль дуги и равна  $E_H = 11,5$  Вт/см. Далее начинается нелинейный рост напряженности. Поскольку полная длина межэлектродной вставки в проведенных экспериментах относительно невелика ( $\bar{a} = 21,5$ ), то участок с развитым турбулентным течением газа, где  $E_T = 41...42$  Вт/см, еще не достигается; лишь в конце канала наблюдается тенденция к выходу кривой напряженности на уровень, характерный для дуги в развитом турбулентном потоке газа. В зоне интенсивного спутного вдува имеет место всплеск напряженности, величина которого, как установлено, растет с увеличением параметра вдува  $m_T$ . За подъемом следует спад напряженности до величин  $5...6$  Вт/см, лежащих ниже уровня  $E$  на начальном участке. Далее по потоку наблюдается постепенное возрастание напряженности электрического поля на уровень, характерный для начального участка дуги.

Влияние интенсивного спутного вдува, организованного в других сечениях начального участка канала ( $\bar{z}_T = 10,6$  и  $12,6$ ), на

напряженность электрического поля иллюстрируют кривые, приведенные на рис. 2. Для удобства рассмотрения кривые 2 и 3 на этом рисунке смещены по ординате на 10 и 30 В/см соответственно. Проведенные эксперименты показывают, что интенсивный вдув, организованный в любом сечении на начальном участке дуги, оказывает такое же воздействие на напряженность электрического поля, как и вдув вблизи от входа в канал (кривая 3 на рис. 2). Интенсивный вдув в конце начального (кривая 2 на рис. 2) или на переходном участке практически не влияет на напряженность электрического поля дуги.

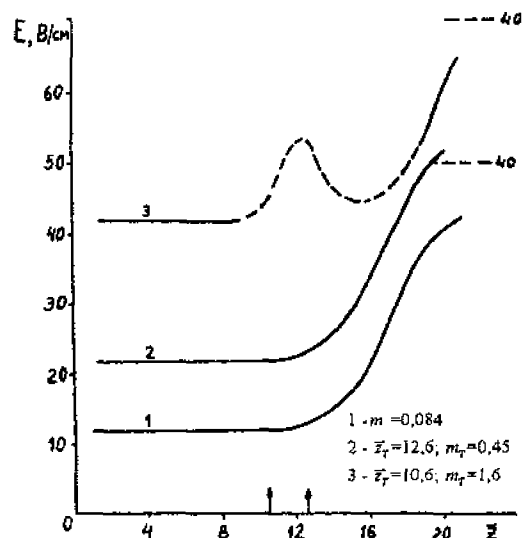


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля вдоль дуги при интенсивном спутном вдуве в различных сечениях канала.  
 $d = 2 \text{ см}, \bar{a} = 21,5, I = 120 \text{ А}, G = 30 \text{ г/с}, g_i = 0,5 \text{ г/с}, G_0 + g_T = 15 \text{ г/с}$

Полученные результаты показали, что интенсивный спутный вдув оказывает лишь локальное воздействие на напряженность электрического поля дуги. Связано это, вероятно, со слабым смещением основного и вдуваемого потоков. Если же вводить газ в зазоры между секциями МЭВ [2] под углом  $30^\circ$  к оси плазмотрона, то при подаче газа с

сопутствующей закруткой возможно существенное увеличение длины начального участка по сравнению со случаем, когда закрутка не используется.

Для эффективной интенсификации массообмена двух потоков необходимо осуществлять интенсивный вдув с тангенциальной закруткой, противоположной по отношению к основному закрученному потоку. В случае интенсивного встречного вдува газа в любом сечении на начальном участке дуги наблюдается значительное увеличение напряжения на дуге. Наибольший прирост напряжения дуги и соответственно мощности, вкладываемой в дугу, вызывает встречный вдув с  $m_T = 1$  вблизи от входа в канал ( $\bar{z}_T = 2,5$ ).

Рассмотрим влияние встречного вдува на распределение напряженности электрического поля дуги (рис. 3). Для  $m_T = m$ , длина начального участка составляет  $\approx 12$  калибров ( $E_H = 12,5$  Вт/см). С ростом  $m_T$  величина  $\bar{z}_H$  сокращается и стремится к величине  $\bar{z}_T$  (кривые 2 и 3). Протяженность переходного участка остается примерно постоянной в диапазоне изменения  $m_T$  от 0 до 1 и составляет около 8 калибров. За ним следует участок развитого турбулентного сечения с постоянной величиной  $E_T = 41-42$  Вт/см; длина этого участка возрастает с увеличением  $m_T$  до 1. Поскольку напряженность на последнем участке канала характерна для дуги, горящей в развитом турбулентном потоке, можно заключить, что встречный вдув с  $m_T \leq 1$ , организованный на начальном участке дуги, приводит к отрыву потока от стенки, более раннему его смыканию на оси канала и интенсивной турбулизации потока. При  $m_T > 1$  в сечении вдува появляется всплеск напряженности. За всплеском следует спад напряженности; далее она монотонно возрастает и лишь в конце канала приближается к величине  $E_T$ . Полное напряжение дуги при  $m_T > 1$  также снижается.

Проведенные исследования показали, что напряженность электрического поля дуги для различных газов определяется не только силой тока, родом, расходом и давлением газа, но и

рядом других факторов, характеризующих взаимодействие дуги с внешней средой с дополнительной подачей газа. Одним из таких факторов является характер течения газа и его взаимодействие с вдуваемым газом.

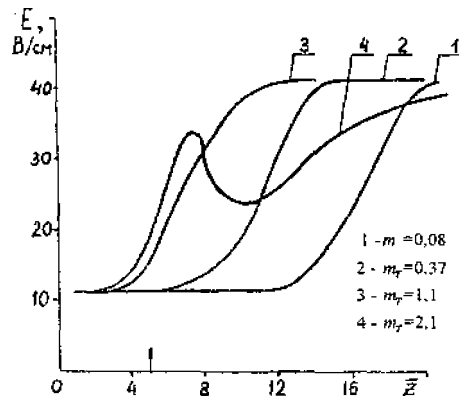


Рис. 3. Распределение напряженности электрического поля вдоль дуги при встречном вдуве.  $d = 2$  см,  $\bar{a} = 21,5$ ,  $I = 120$  А,  $\bar{z}_T = 5$ ,  $G = 30$  г/с,  $g_i = 0,5$  г/с,  $G_0 + g_T = 15$  г/с

Таким образом, путем введения реагентов с вдуваемым газом в различных сечениях потока газа, в котором горит дуга, и дополнительной подачи газа со слупной или встречной закруткой можно реализовать заданное время и интенсивность взаимодействия реагентов и соответствующим последующим резким охлаждением потока газа оптимизировать процессы получения углеродных модификаций.

#### Литература

1. Жуков, М.Ф. Прикладная динамика термической плазмы / М.Ф. Жуков, А.С. Коротеев, Б.А. Урюков.— Новосибирск: Наука СО АН СССР, 1975.— 298 с.
2. Лукашов, В.П. Некоторые особенности характеристик плазматрона с распределенным вдувом / В.П. Лукашов, Б.А. Поздняков // Некоторые задачи гидродинамики и теплообмена.— Новосибирск, 1976.— С. 231–237.