

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОГО ПЛАМЕНИ ПРИ ГАЗОПЛАМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

В. Н. КОРЖ, д-р техн. наук, Ю. С. ПОПИЛЬ, канд. техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Рассмотрено влияние состава и характера течения горючей смеси на изменение тепловой мощности пламени при использовании водородно-кислородного пламени, полученного сжиганием смеси, производимой электролизно-водяными генераторами. Определена тепловая мощность пламени, получаемого при сжигании чистой водородно-кислородной смеси и смеси с добавками углеводородных соединений.

Ключевые слова: газопламенная обработка, водородно-кислородное пламя, углеводородные соединения, струя, ламинарное течение, турбулентное течение, тепловая мощность пламени

При газопламенной обработке металла используется водородно-кислородное пламя (ВКП), полученное при сжигании водородно-кислородной смеси (ВКС), которая вырабатывается электролизно-водяными генераторами (ЭВГ). В технической литературе [1–3] достаточно широко представлены теплофизические характеристики ВКП, полученного при сжигании горючей смеси с разным соотношением кислорода к водороду в смеси. Информация для использования ВКП, вырабатываемой ЭВГ, практически отсутствует.

Целью настоящей работы было определение возможности регулирования тепловых характеристик ВКП.

Известно [2, 4], что изменения полной тепловой мощности пламени можно осуществить путем изменения расхода и состава газовой смеси. Учитывая, что ВКС имеет постоянный состав с отношением кислорода к водороду $\beta = V_{O_2}/V_{H_2} = 0,5$, регулирование тепловой мощности возможно только путем изменения расхода смеси. При этом пламя носит окислительный характер.

Регулирование характера горения от окислительного до нормального или науглероживающего для ВКС возможно путем насыщения ее парами углеводородов в результате прохождения газа через жидкие углеводороды (бензин, спирт и др.) через специальное устройство — барботер [5]. При этом изменяется состав продуктов горения и соответственно тепловая мощность пламени, а также расход смеси. Известно, что при изменении состава продуктов горения изменяются геометрические размеры факела, характер течения и структура продуктов горения, а также максимальная

температура пламени и ее распределение по длине факела [6].

Возможность регулирования тепловой мощности пламени определяли с помощью горелки «ЭВРО-ДЖЕТ X S-7» со стандартным набором сменных мунштуков диаметром 1,6; 2,0; 2,2 мм и электролизно-водяного генератора А1803. Исследования проводили для трех наиболее распространенных при газопламенной обработке с использованием ЭВГ газовых смесей: ВКС, ВКС с добавками 5,5 % паров бензина ($C_{7,07}H_{15}$) и ВКС с добавками 16 % паров этилового спирта (C_2H_5OH).

Полную тепловую мощность продуктов горения при сжигании 1 м^3 ВКС определяли как

$$q_n = Q_{H_2} V_{H_2}, \quad (1)$$

где Q_{H_2} — низшая теплотворная способность водорода МДж; V_{H_2} — расход водорода, м^3 .

Полная тепловая мощность пламени при сжигании 1 м^3 ВКС составляет

$$q_n = 0,67 \cdot 10,08 = 6,75 \text{ МДж/м}^3, \quad (2)$$

где $0,67 \text{ м}^3$ — объем водорода при соотношении $O_2/H_2 = 0,5$ в 1 м^3 ВКС; $10,08 \text{ МДж}$ — теплотворная способность 1 м^3 водорода.

Полная тепловая мощность продуктов горения при сжигании смеси 1 м^3 ВКС + 5,5 % паров бензина составляет

$$q_n = Q_{H_2} V_{H_2} + Q_{C_{7,07}H_{15}} V_{C_{7,07}H_{15}} = 17,1454 \text{ МДж/м}^3, \quad (3)$$

где $Q_{C_{7,07}H_{15}}$ — низшая теплотворная способность бензина; $V_{C_{7,07}H_{15}}$ — объем бензина в смеси.

Полная тепловая мощность продуктов горения при сжигании смеси 1 м^3 ВКС + 16 % паров спирта составляет

$$q_n = Q_{H_2} V_{H_2} + Q_{C_2H_5OH} V_{C_2H_5OH} = 14,70 \text{ МДж/м}^3, \quad (4)$$



где $Q_{C_2H_5OH}$ — низшая теплотворная способность этилового спирта; $V_{C_2H_5OH}$ — объем этилового спирта в смеси.

Известно [6], что для каждого сопла горелки в зависимости от расхода смеси возможен ламинарный или турбулентный характер истечения струи продуктов горения пламени. От характера истечения зависит распределение температур и скоростей газового потока по длине факела.

В таблице представлено изменение тепловой мощности в зависимости от характера течения струи продуктов горения и расхода газовой смеси, обеспечивающих стабильное горение пламени.

Результаты исследований тепловой мощности при горении ВКП показали, что добавление в ВКС 5,5 % паров бензина повышает полную тепловую мощность пламени в границах ламинарного характера течения приблизительно в 2,6, при турбулентном в 2,8 раза по сравнению с пламенем при сжигании чистой ВКС. При добавлении в ВКС 16 % паров этилового спирта полная тепловая мощность пламени соответственно увеличивается в 2,7 и 2,4 раза.

Полученные выше закономерности подтверждены исследованиями эффективной тепловой мощности в высокотемпературной зоне факела (на конце ядра) при нагреве образцов, что моделирует процессы нагрева при сварке, пайке и предвари-

тельном подогреве при резке металла, и эффективности нагрева образцов, размещаемых в разных участках по длине зоны догорания факела пламени, применительно к нагреву материала (порошков) при газопламенном нанесении покрытий.

Эффективную тепловую мощность пламени q определяли количеством теплоты, вводимой пламенем в металл за единицу времени. Эффективность нагрева металла газовым пламенем оценивали эффективным КПД $\eta_{\text{н}}$, представляющим собой отношение эффективной мощности пламени q , определяемой калориметрированием, к полной тепловой мощности пламени $q_{\text{п}}$, рассчитанной по нижней теплотворности горючего [2, 7]:

$$\eta_{\text{н}} = \frac{q}{q_{\text{п}}} \quad (5)$$

Для определения эффективной тепловой мощности пламени для разных характеров течения и состава ВКС использовали метод калориметрирования на экспериментальной установке с водяным калориметром.

Эффективность нагрева пламенем, полученным при сжигании смеси, производимой ЭВГ при разных расходах и составах горючей смеси, определяли при нагреве медной пластины размером $3 \times 350 \times 150$ мм и массой 0,95 кг. Время нагрева пластины фиксировалось. Количество жидкости в калориметре 20 л (вода дистиллированная). Температуру в калориметре измеряли термометром Бекмана (точность измерения $\pm 0,01$ °С).

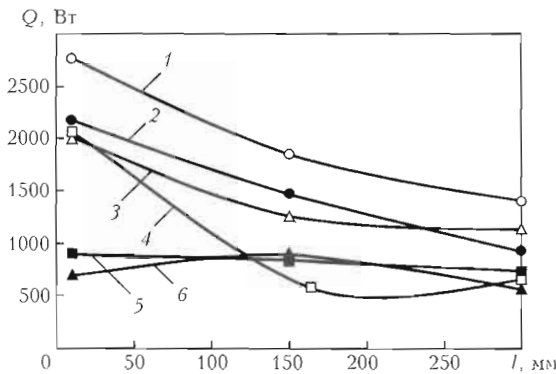
Эффективность нагрева газовым пламенем определяли из условия теплового баланса

$$q_{\text{эф}} t = Q_{\text{к}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{тс}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{а}}, \quad (6)$$

где $q_{\text{эф}}$ — эффективная тепловая мощность факела пламени, Вт; t — время нагрева, с; $Q_{\text{к}}$ — теплота, которую поглотила калориметрическая жидкость, Дж; $Q_{\text{м}}$ — теплота, которую поглотили металлические части калориметра, Дж; $Q_{\text{тс}}$ — изменение теплосодержания металла пластины за время нагрева газовым пламенем, Дж; $Q_{\text{п}}$ — теплота, которая теряется с парообразованием при погружении нагретой пластины в воду калориметра, Дж; $Q_{\text{а}}$ — теплота, рассеянная в атмосферу вследствие конвективной и радиационной теплопередачи с поверхности пластины при нагреве и переносе пластины в калориметр, Дж.

Тепловая мощность пламени в зависимости от состава смеси и характера течения продуктов горения

Горючая смесь и характер ее течения	Диаметр отверстия сопла горелки, мм	Расход газовой смеси, м ³ /ч		Полная тепловая мощность пламени $q_{\text{п}}$, МДж/м ³	
		мин	макс	мин	макс
ВКС, ламинарный	1,6	0,3	0,6	2,025	4,05
	2	0,4	0,62	2,7	4,185
	2,2	0,4	0,7	2,7	4,725
ВКС, турбулентный	1,6	0,6	0,76	4,05	5,13
	2	0,62	0,82	4,185	5,535
	2,2	0,7	1,1	4,725	7,425
ВКС + бензин, ламинарный	1,6	0,2	0,4	3,428	6,856
	2	0,3	0,52	5,142	8,9128
	2,2	0,31	0,72	5,3134	12,3408
ВКС + бензин, турбулентный	1,6	0,4	0,78	6,856	13,3692
	2	0,52	0,9	8,9128	15,426
	2,2	0,72	1,22	12,3408	20,9108
ВКС + спирт, ламинарный	1,6	0,4	0,6	5,88	8,82
	2	0,42	0,78	6,174	11,466
	2,2	0,52	0,9	7,644	13,23
ВКС + спирт, турбулентный	1,6	0,6	0,92	8,82	13,524
	2	0,78	1,18	11,466	17,346
	2,2	0,9	1,25	13,23	18,375



Эффективность нагрева образца пламенем в зависимости от расстояния его от среза сопла горелки (диаметр 2,0 мм), состава горючей смеси и характера течения продуктов горения: 1, 2 — соответственно ВКС + 5,5 % бензина, турбулентный и ламинарный поток; 3, 6 — соответственно ВКС + 16 % спирта, турбулентный поток и ламинарный; 4, 5 — ВКС соответственно турбулентный и ламинарный поток

После подстановки значений и преобразования уравнения (6) расчет проводили по формуле

$$q_{эф} = \frac{(c_v m_{ж} + c_m m_m + c_{ст} m)(T_{кон} - T_{нач} + Q_p)}{t - \frac{\alpha}{c_p}(l^2 + 2lt_p)} \quad (7)$$

где c_v — теплоемкость калориметрической жидкости (вода дистиллированная), Дж/(кг·К); $m_{ж}$ — объем калориметрической жидкости, л; c_m — теплоемкость металлических (латунь) частей калориметра (384,9 Дж/(кг·К)); m_m — масса металлических частей калориметра, кг; $c_{ст}$ — теплоемкость металла пластины, которая взаимодействовала с тепловым потоком, Дж/(кг·К); m — масса металлической пластины, которую нагревают, кг; $T_{кон}$, $T_{нач}$ — соответственно температура пластины после и перед нагревом, °С; α — коэффициент полной поверхностной теплоотдачи, Вт/(м²·К); c_p — объемная теплоемкость металла пластины, Дж/(кг·К); t_p — время переноса пластины в калориметр, с.

Полученные экспериментальные данные эффективности нагрева образца в зависимости от его положения по длине факела пламени представлены на рисунке. Время фиксированного нагрева пластины $t = 15$ с. Эффективность нагрева пластины по длине газового факела продуктами горения чистой ВКС при ламинарном характере течения практически не изменяется. При турбулентном характере течения продуктов горения происходит резкое уменьшение эффективности нагрева.

Эффективность нагрева образцов при нагреве факелом пламени, полученным при сжигании сме-

си ВКС с добавками паров углеводородных соединений при различных характерах течения продуктов горения, больше, чем при использовании чистой ВКС.

Повышение эффективности нагрева при введении в ВКС паров углеводородных соединений объясняется увеличением количества углерода в факеле пламени. Преобразование углерода в оксид углерода происходит с выделением дополнительного количества теплоты.

Выводы

1. Полная тепловая мощность водородно-кислородного пламени при сжигании смеси объемом 1 м³ составляет 6,75 МДж. Регулирование тепловой мощности ВКП при постоянных расходах газовой смеси возможно путем добавок в смесь углеводородных соединений. Так, при добавлении в смесь 5,5 % паров бензина тепловая мощность при сжигании 1 м³ смеси составляет 17,1454 МДж, что почти в 2,7 раза больше по сравнению с пламенем чистой ВКС. При добавлении в ВКС 16 % паров этилового спирта, при сжигании того же объема горючей смеси тепловая мощность составляет 14,70 МДж.

2. В зоне догорания пламени эффективность нагрева пластин продуктами горения водородно-кислородного пламени, полученного при сжигании смеси, производимой ЭВГ, существенно повышается при сжигании смеси ВКС + пары бензина и в меньшей мере смеси ВКС + пары этилового спирта по сравнению с чистым водородно-кислородным пламенем.

1. Некрасов Ю. И. Газы-заменители ацетилену. — М.: Машиностроение, 1974. — 43 с.
2. Глиманенко Д. Л., Евсеев Г. Б. Газовая сварка и резка металлов. — М.: Машгиз, 1954. — 532 с.
3. Применение газов-заменителей ацетилену при газопламенной обработке металлов / Под ред. И. А. Антонова. — М.: Машиностроение, 1964. — 150 с.
4. Доник Г. А. Исследование мощности источников тепла при резке природным газом низкоуглеродистой стали // Свароч. пр-во. — 1974. — № 11. — С. 10–11.
5. Корж В. Н. Регулирование характера горения горючей газовой смеси добавкой жидких углеводородных соединений // Автомат. сварка. — 1983. — № 11. — С. 65–66, 69.
6. Корж В. Н., Попиль Ю. С. Влияние углеводородных добавок на структуру водородно-кислородного пламени и распределение температуры по длине факела // Там же. — 2004. — № 11. — С. 36–40.
7. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.
8. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Наука, 1972. — 720 с.

The effect of the composition and character of flow of a fuel mixture on variations in thermal power of the flame is considered for a case of using the hydrogen-oxygen flame formed as a result of combustion of a mixture produced by electrolytic water generators. Thermal power of the flame produced in combustion of a pure hydrogen-oxygen mixture and mixture with additions of hydrocarbon compounds has been determined.

Поступила в редакцию 06.11.2007