

Ionization and excitation phenomena of radicals in hydrocarbon flames burning in counterflow jets

Liudmyla Bartashevskya

Dnipro University of Technology, Dnipro

Anna Podliatska

Dnipro University of Technology, Dnipro

Maxim Tkachenko

Dnipro University of Technology, Dnipro

Abstract. *The paper presents the results of a study of hydrocarbon flames, burning on counter-currents, over a wide range pressure and for various flames.*

Keywords: *ionization, excitation phenomena, flame.*

Явище іонізації та збудження радикалів вуглецево- водневих полум'їв, що горять на зустрічних струменях

Людмила Барташевська

НТУ "Дніпровська політехніка", м. Дніпро

Анна Подляцька

НТУ "Дніпровська політехніка", м. Дніпро

Максим Ткаченко

НТУ "Дніпровська політехніка", м. Дніпро

Анотація. *У роботі наведені результати досліджень вуглецево-водневих полум'їв, що горять на зустрічних струменях, в широкому діапазоні тисків та для різних полум'їв.*

Ключові слова: *іонізація, збудження, полум'я.*

Процесу іонізації в полум'ях присвячено багато робіт, але в більшості з них досліджувалися електричні властивості полум'їв з попередньо змішаними горючими сумішами.

Нами проводились досліді полум'я на зустрічних струменях в інтервалі тисків від 40 до 120 мм рт. ст. Досліджувались полум'я, які утворювались при подачі ацетилену, метану, пропан-бутану з одного боку та повітря і кисню з іншого боку. Крізь нижній пальник подавали паливо, крізь верхній – окиснювач.

Для характеристики складу полум'я на зустрічних струменях була введена величина K , яка названа за аналогією з попередньо змішаними полум'ями еквівалентним відношенням.

$$K = \frac{\left(\frac{\text{витрата палива}}{\text{витрата окиснювача}} \right)_{\text{діючий}}}{\left(\frac{\text{витрата палива}}{\text{витрата окиснювача}} \right)_{\text{стехіометрич}}} \quad (1)$$

Для повітряних сумішей величина K змінюється від 0,9 до 1,4. У випадку, коли $K \geq 1,2$ зі сторони подачі палива спостерігається сильне світіння жовто-червоного кольору, а на паливному пальнику відкладається значна кількість сажі. Природа цього світіння пов'язана з присутністю розжарених частинок вуглецю. За жовто-червоним можна спостерігати зелене, а потім блакитне світіння.

Більшість вимірювань методом струму насичення були проведені з вуглецево-повітряними полум'ями. Датчиками струму насичення були електроди з площею поверхні $S=0,007 \text{ см}^2$, температура газів полум'я вимірювалась платина-платинородієвою термопарою.

На рис. 1. наведені криві залежності швидкості іонізації та температури газів полум'я, створеного зустрічними струменями ацетилену та повітря при тиску $p=65 \text{ мм рт. ст.}$, від відстані між горілками.

Як видно з рисунку максимальні значення швидкості іонізації та температури приходяться на світлішу зону полум'я і монотонно зменшуються по обидві сторони від цієї зони.

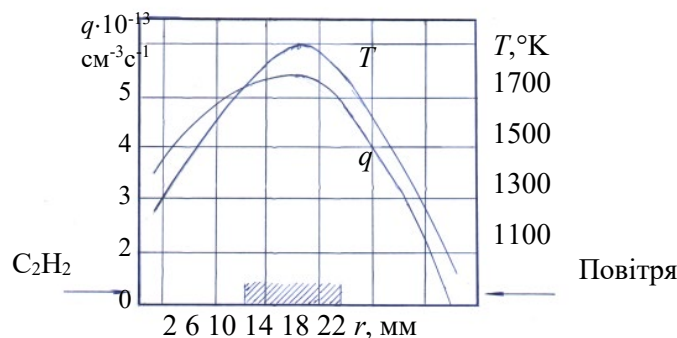


Рис. 1. Криві залежності швидкості іонізації q і температури полум'я T від відстані між горілками в ацетилено-повітряному полум'ї. $K=1,1$, $p=65 \text{ мм рт. ст.}$

Примітка: заштрихована ділянка визначає зону полум'я, що світиться.

Крива $T=T(l)$ майже симетрична відносно осі, яка проходить крізь центр зони, що світиться, і перпендикулярна до потоку. У той самий час крива залежності $q=q(l)$ не має такої симетрії. Зі сторони подачі палива швидкість іонізації має більші значення, ніж зі сторони подачі окиснювача. При цьому температура газів в обох областях майже однакові. Цей результат свідчить про нетермічну природу іонізації у такому полум'ї.

Так як максимальна іонізація спостерігається в зоні полум'я, що світиться, то можна припустити, що іони утворюються завдяки хеміоіонізації.

Досліди з пропаном, пропан-бутаном суттєво не змінюють залежності $q=q(l)$ й $T=T(l)$.

Результати дослідів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Максимальні значення швидкості іонізації $q_{\max}$ та температури газів полум'я T при різних K і p .

Полум'я	p , мм рт. ст.	K	$q \cdot 10^{-14}$, $\text{см}^3 \text{с}^{-1}$	$T_{\max}$, К
Метан-повітря	60	1,1	0,49	1830
	75		0,53	1840
	95		0,51	1820
Пропан-бутан-повітря	75	1,06	0,58	1850
Ацетилен-повітря	65	1,4	0,54	1900
	75		0,7	2010
Метан-кисень	75	0,9	6,4	-
Пропан-бутан-кисень	75	1	7,8	

Аналіз таблиці показує, що в інтервалі тисків, що досліджуються, нема визначеної залежності максимальної швидкості іонізації $q_{\max}$ від тиску p для метан-повітряних полум'їв. А серед дослідження вуглецево-повітряних полум'їв найбільша швидкість іонізації має полум'я ацетилен-повітря. Швидкість іонізації в вуглецево-кисневих полум'ях на порядок більша швидкість іонізації у тих полум'ях, в яких кисень замінено повітрям.

Знайдені значення швидкості іонізації є достатньо високими. Якщо припустити, що коефіцієнт рекомбінації в розглянутих полум'ях такий, як і в плоскому полум'ї з попередньо складеною сумішшю ($\alpha=2 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 \text{с}^{-1}$), то усталену концентрацію іонів можна визначити за формулою

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}} \quad (2)$$

Для полум'їв, що досліджуються, $n=(2 \div 9) \text{ см}^{-3}$. Якщо пояснювати утворення іонів термічною іонізацією, то розрахунок з використанням формули Саха [1] показує, що концентрація іонів $n=10^{10} \text{ см}^{-3}$ може бути створена в плазмі полум'я при умові, що потенціал іонізації молекул газів полум'я складає 6,8 В. Але добре відомо, що в реакційній зоні полум'я нема таких молекул або атомів, у яких був би такий низький потенціал іонізації при достатньо високій концентрації частинок ($N=10^{18} \text{ см}^{-3}$).

Тому можна стверджувати, що термічна іонізація суттєвої ролі в утворенні іонів у вуглецево-водневих полум'ях, створених на зустрічних струменях, немає. А головну роль в утворенні іонів у таких полум'ях відіграє хеміоіонізація.

Список використаних джерел

1. Lawton J., Weinberg F.J. Maximum ion currents from flames and the maximum practical effects of applied electric fields // Proc. Roy. Soc. – 1964. – V. A277, № 1371. – P. 468 – 497.