

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОНИЗАЦИИ ЗА УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗОНДОВ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ*

П. А. Власов¹, Д. И. Михайлов², В. Н. Смирнов³, О. Б. Рябиков⁴, Г. Л. Агафонов⁵,
И. Л. Панкратьева⁶, В. А. Полянский⁶

Аннотация: Химическая ионизация — это процесс образования заряженных частиц в результате выделения энергии в химических реакциях между нейтральными компонентами при образовании химических связей в новом соединении с относительно низким потенциалом ионизации. Химическая ионизация чаще всего наблюдается в процессах горения углеводородов в пламенах и их окисления за фронтом ударной волны. Для экспериментального измерения процессов ионизации широко используются электрические зонды. В данной работе проведены эксперименты на ударной трубе в отраженных ударных волнах по регистрации электрических токов на цилиндрические зонды с электрически изолированной и неизолированной поверхностью, которые находились под отрицательным (–9 В) или положительным (+9 В) потенциалом относительно заземленных стенок ударной трубы. В этих экспериментах регистрировались соответственно токи смещения и суммарные полные токи на цилиндрические зонды. Одновременно регистрировались сигналы хемилюминесцентного излучения электронно-возбужденных радикалов OH^* ($\lambda = 308 \text{ нм}$). Основной целью работы было экспериментальное измерение (1) токов смещения на цилиндрические зонды, на которые были поданы положительный или отрицательный потенциалы при окислении ацетилена, (2) суммарного тока и тока смещения на цилиндрический зонд под отрицательным потенциалом (–9 В) при пиролизе и окислении ацетилена и (3) подтверждение корреляции времен достижения максимумов токов смещения и сигналов хемилюминесцентного излучения электронно-возбужденных радикалов OH^* .

Ключевые слова: химическая ионизация; пиролиз и окисление углеводородов; электрические зонды; токи смещения; хемилюминесцентное излучение; электронно-возбужденные гидроксильные радикалы; задержки воспламенения

DOI: 10.30826/CE20130303

Литература

1. *Calcote H. F.* Mechanisms for the formation of ions in flames // *Combust. Flame*, 1957. Vol. 1. No. 3. P. 385–403.
2. *Schofield K.* The enigmatic mechanism of the flame ionization detector: Its overlooked implications for fossil fuel combustion modeling // *Prog. Energ. Combust.*, 2008. Vol. 34. P. 330–350.
3. *Lawton J., Weinberg F. J.* Electrical aspects of combustion. — Clarendon Press, 1969. 355 p.
4. *Lewis B., Elbe G.* Combustion, flames and explosions of gases. — 3rd ed. — Academic Press Inc., 1987. 731 p.
5. *Brown R. C., Eraslan A. N.* Simulation of ionic structure in lean and close-to-stoichiometric acetylene flames // *Combust. Flame*, 1988. Vol. 73. No. 1. P. 1–21.
6. *Chen B., Wang H., Wang Zh., Han J., Alqaity A., Wang H., Hansen N., Sarathy S.* Ion chemistry in premixed rich methane flames // *Combust. Flame*, 2019. Vol. 202. P. 208–218.
7. *Cobine J. D.* The Collected works of Irving Langmuir. — New York, NY, USA: Pergamon Press, 1961–1962.
8. *Langmuir I.* Oscillations in ionized gases // *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 1928. Vol. 14. No. 8. P. 627–637.
9. *Чан П., Тэлбот Л., Турян К.* Электрические зонды в неподвижной и движущейся плазме (теория и при-

* Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук, тема ФИЦ ХФ РАН 0082-2019-0014 (Номер государственной регистрации АААА-А20-120020590084-9).

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», iz@chph.ras.ru

²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, vns1951@yandex.ru

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, zaslonko@chph.ras.ru

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, agafonov@chph.ras.ru

⁵Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, mihalych2006@mail.ru

⁶МГУ им. М. В. Ломоносова; Научно-исследовательский институт механики, ilpan@imec.msu.ru

- менение) / Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. 201 с. (Chung P. M., Talbot L., Touryan K. J. Electric probes in stationary and flowing plasmas: Theory and application. — Berlin—Heidelberg—New York: Springer-Verlag, 1975. 150 p.)
10. Agafonov G. L., Smirnov V. N., Vlasov P. A. Shock tube and modeling study of soot formation during the pyrolysis and oxidation of a number of aliphatic and aromatic hydrocarbons // P. Combust. Inst., 2011. Vol. 33. P. 625–632.
 11. Агафонов Г. Л., Билера И. В., Власов П. А., Колбановский Ю. А., Смирнов В. Н., Тереза А. М. Образование сажи при пиролизе и окислении ацетилена и этилена в ударных волнах // Кинетика и катализ, 2015. Т. 56. № 1. С. 15–35.
 12. Schneider K. P., Park C. Shock tube study of ionization rates of NaCl-contaminated argon // Phys. Fluid., 1975. Vol. 18. No 8. P. 969–981.
 13. Gaydon A. G., Hurlle I. R. The shock tube in high-temperature chemical physics. — London: Chapman and Hall, 1963. 307 p.
 14. Алексеев Б. В., Котельников В. А. Зондовый метод диагностики плазмы. — М.: Энергоатомиздат, 1988. 240 с.
 15. Vlasov P. A. Probe methods of diagnostics of chemically reacting dense plasma // Plasma diagnostics / Eds. A. A. Ovsyannikov, M. F. Zhukov. — Cambridge International Science Publishing, CISP. 2000. Ch. 12. P. 299–337.
 16. Calcote H. F., King I. R. Studies of ionization in flames by means of Langmuir probes. P. Combust. Inst., 1955. Vol. 5. P. 423–434.
 17. King I. R., Calcote H. F. Effect of probe size on ion concentration measurement in flames // J. Chem. Phys., 1955. Vol. 23. P. 2203–2204.
 18. Aravin G. S., Karasevich Yu. K., Vlasov P. A., Pankrat'eva I. L., Polyanskii V. A. Use of electric probes for studying the parameters of a dense unsteady plasma with chemical reaction // 15th Conference (International) on Phenomena in Ionized Gases Proceedings. — Minsk, 1981. P. 957–959.
 19. Власов П. А., Карасевич Ю. К., Панкратьева И. Л., Полянский В. А. Методы исследования кинетики ионизации в ударных волнах // Физико-химическая кинетика в газовой динамике, 2008. Т. 6. С. 1–32. www.chemphys.edu.ru/pdf/2008-12-25-001.pdf.
 20. Vlasov P. A., Zhiltsova I. V., Smirnov V. N., Tereza A. M., Agafonov G. L., Mikhailov D. I. Chemical ionization of n-hexane, acetylene, and methane behind reflected shock waves // Combust. Sci. Technol., 2018. Vol. 190. No 1. P. 57–81.
 21. Власов П. А., Михайлов Д. И., Панкратьева И. Л., Полянский В. А. Зондовая диагностика хемиионизационных процессов в углеводородных высокотемпературных газовых смесях // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа, 2020. Т. 55. № 6. С. 17–24.

Поступила в редакцию 12.08.2020