

ПЕРЕХОД ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ В ПОЛУОГРАНИЧЕННОЙ ПЛОСКОЙ ЩЕЛЕВОЙ КАМЕРЕ СГОРАНИЯ С РАЗДЕЛЬНОЙ ПОДАЧЕЙ ЭТИЛЕНА И КИСЛОРОДА ПРИ ОДНОТОЧЕЧНОМ И ДВУХТОЧЕЧНОМ ЗАЖИГАНИИ*

Т. И. Эйвазова¹, И. О. Шамшин², В. С. Иванов³, В. С. Аксёнов⁴, С. М. Фролов⁵

Аннотация: Экспериментально определены условия мягкого инициирования детонации в вертикальном плоском полуограниченном слое стехиометрической этиленокислородной смеси конечной толщины. Точечное зажигание слоя производится одиночным разрядником или двумя разрядниками, разнесенными по высоте. Под мягким инициированием детонации подразумевается переход горения в детонацию (ПГД). Процесс распространения пламени/детонации фиксируется высокоскоростными черно-белой и цветной видеокамерами. Зажигание смеси одиночным разрядником приводит к тому, что по мере увеличения высоты слоя горючей смеси вероятность ПГД монотонно увеличивается от 0 до 1 и всегда имеется критическое значение высоты слоя, при котором эта вероятность имеет промежуточное значение между 0 и 1. В проведенных экспериментах критическая высота слоя составила 80–100 мм. Одновременное зажигание смеси двумя разрядниками может привести как к замедлению, так и к ускорению ПГД. Сравнение цветных и черно-белых изображений процесса ПГД показывает, что формы фронта пламени и детонационной волны в обоих случаях совпадают, однако цветное изображение позволяет получить дополнительную информацию по цвету (температуре) пламени, а черно-белое изображение с большим динамическим диапазоном лучше отображает структуру фронта пламени и детонационной волны. Полученные результаты могут быть использованы при разработке способов безопасного и надежного запуска непрерывно-детонационных двигателей (НДД), при котором требуется тщательное управление временем заполнения камеры сгорания двигателя горючим и окислителем, а также временем зажигания образующейся смеси.

Ключевые слова: непрерывно-детонационный двигатель; щелевая камера сгорания; переход горения в детонацию; этиленокислородная смесь; минимальная высота слоя горючей смеси

DOI: 10.30826/CE24170304

EDN: XGKYKM

Литература

1. *Bykovskii F. A., Zhdan S. A., Vedernikov E. F.* Continuous spin detonations // *J. Propul. Power*, 2006. Vol. 22. P. 1204–1216.
2. *Rankin B. A., Fotia M. L., Naples A. G., Stevens C. A., Hoke J. L., Kaemming T. A., Theuerkauf S. W., Schauer F. R.* Overview of performance, application, and analysis of rotating detonation engine technologies // *J. Propul. Power*, 2016. Vol. 33. No. 1. P. 1–13. doi: 10.2514/1.B36303.
3. *Zhou R., Wu D., Wang J.-P.* Progress of continuously rotating detonation engines // *Chinese J. Aeronaut.*, 2016. Vol. 29. No. 1. P. 15–29. doi: 10.1016/j.cja.2015.12.006.
4. *Anand V., Gutmark E.* Rotating detonation combustors and their similarities to rocket instabilities // *Prog. Energ. Combust.*, 2019. Vol. 73. P. 182–234.
5. *Wang G., Liu W., Liu S., et al.* Experimental verification of cylindrical air-breathing continuous rotating detonation engine fueled by non-premixed ethylene // *Acta Astronaut.*, 2021. Vol. 189. P. 722–732.
6. *Heister S. D., Smallwood J., Harroun A., Dille K., Martinez A., Ballintyn N.* Rotating detonation combustion for advanced liquid propellant space engines // *Aerospace*, 2022. Vol. 9. P. 581. doi: 10.3390/aerospace9100581.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования (государственный контракт № 075-15-2024-543 от 24 апреля 2024 г.).

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», tanya.eyvazova@mail.ru

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

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, ivanov.vls@gmail.com

⁴Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», v.aksenov@mail.ru

⁵Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», smfrol@chph.ras.ru

7. *Shamshin I. O., Ivanov V. S., Aksenov V. S., Gusev P. A., Frolov S. M.* Experimental study of the initial stage of the operation process in detonation rocket and air-breathing engines // *Advances in detonation research* / Ed. S. M. Frolov. — Moscow: TORUS PRESS, 2022. P. 17–20. doi: 10.30826/ICPCD13A07.
8. *Шамшин И. О., Иванов В. С., Аксёнов В. С., Гусев П. А., Фролов С. М.* Начальная стадия рабочего процесса в непрерывно-детонационном двигателе // *Горение и взрыв*, 2022. Т. 15. № 4. С. 67–78. doi: 10.30826/CE22150407.
9. *Шамшин И. О., Иванов В. С., Аксёнов В. С., Гусев П. А., Авдеев К. А., Фролов С. М.* Распространение пламени и переход горения в детонацию в полуограниченной плоской щелевой камере сгорания с отдельной подачей этилена и кислорода // *Горение и взрыв*, 2023. Т. 16. № 4. С. 38–65. doi: 10.30826/CE23160405.
10. *Shamshin I. O., Ivanov V. S., Aksenov V. S., Gusev P. A., Frolov S. M.* Deflagration-to-detonation transition in a semi-confined slit combustor filled with nitrogen diluted ethylene–oxygen mixture // *Energies*, 2023. Vol. 16. P. 1098. doi: 10.3390/en16031098.
11. *Shamshin I. O., Ivanov V. S., Aksenov V. S., Gusev P. A., Avdeev K. A., Frolov S. M.* Mild detonation initiation in rotating detonation engines: An experimental study of the deflagration-to-detonation transition in a semi-confined flat slit combustor with separate supplies of fuel and oxidizer // *Aerospace*, 2023. Vol. 10. P. 988. doi: 10.3390/aerospace10120988.
12. *Ivanov V. S., Shamshin I. O., Frolov S. M.* Computational study of deflagration-to-detonation transition in a semi-confined slit combustor // *Energies*, 2023. Vol. 16. P. 7028. doi: 10.3390/en16207028.
13. *Шамшин И. О., Иванов В. С., Аксёнов В. С., Гусев П. А., Фролов С. М., Внучков Д. А., Звезгинцев В. И., Лукашевич С. В., Наливайченко Д. Г.* Переход горения в детонацию в полуограниченном щелевом зазоре: эксперимент и расчет // *Процессы горения и детонации в перспективных энерготехнологиях* / Под ред. Д. М. Марковича, О. В. Шарыпова. — Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2023. С. 364–386.
14. *Шамшин И. О., Иванов В. С., Аксёнов В. С., Гусев П. А., Фролов С. М.* Переход горения в детонацию в полуограниченной щелевой камере сгорания с отдельной подачей горючего и окислителя // *Переходные режимы горения и детонация* / Под ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2024. С. 51–58. doi: 10.30826/ICPCD14A09.

Поступила в редакцию 23.05.2024