

ПЕРЕХОД К ДЕТОНАЦИИ В СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ ПЛАМЕНАХ*

А. Д. Киверин¹, И. С. Яковенко²

Аннотация: Представлены результаты расчетно-теоретического анализа процесса перехода к детонации при развитии горения в неограниченном объеме. Продемонстрировано, что в высокоактивных газобразных смесях газодинамические механизмы, ответственные за развитие неустойчивости свободно распространяющегося пламени и его ускорение, способны обеспечить формирование детонационной волны. Так, в ходе развития фронта пламени на его поверхности рождаются и растут коротковолновые возмущения. При этом на линейной стадии их роста формируются расходящиеся волны давления, и на определенном этапе развития процесса происходит взаимная интенсификация горения на фронте и волн давления, что можно отнести к механизму термоакустической неустойчивости. В результате, создаются условия для генерации детонационной волны, распространяющейся по смеси.

Ключевые слова: свободно распространяющееся пламя; ускорение пламени; переход горения в детонацию

DOI: 10.30826/CE20130105

Литература

1. *Silvestrini M., Genova B., Parisi G., Trujillo F. L.* Flame acceleration and DDT run-up distance for smooth and obstacles filled tubes // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2008. Vol. 21. No. 5. P. 555–562.
2. *Зельдович Я. Б., Розловский А. И.* Об условиях возникновения неустойчивости нормального горения // *Докл. Акад. наук СССР*, 1947. Т. LVII. № 4. С. 365–368.
3. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Теоретическая физика. Гидродинамика. — 3-е изд., испр. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 736 с.
4. *Гостинцев Ю. А., Истратов А. Г., Шуленин Ю. В.* Авто-модельный режим распространения свободного турбулентного пламени в перемешанных газовых смесях // *Физика горения и взрыва*, 1988. Т. 5. С. 63–70.
5. *Lieberman M. A., Ivanov M. F., Peil O. E., Valiev D. M., Eriksson L.-E.* 2004. Self-acceleration and fractal structure of outward freely propagating flames // *Phys. Fluids*, 2004. Vol. 16. P. 2476.
6. *Pan K.-L., Fursenko R.* Characteristics of cylindrical flame acceleration in outward expansion // *Phys. Fluids*, 2008. Vol. 20. P. 094107.
7. *Jomaas G., Law C.* Surface morphology and self-acceleration of expanding spherical flames. AIAA Paper No. 2009-1185, 2009.
8. *Golub V. V., Korobov A. E., Mikushkin A. Y., Solntsev O. I., Volodin V. V.* Acceleration of hydrogen/air flames in a cylindrical envelope // *Int. J. Hydrogen Energ.*, 2017. Vol. 42. No. 17. P. 12724–12734.
9. *Jomaas G., Law C. K., Bechtold J. K.* On transition to cellularity in expanding spherical flames // *J. Fluid Mech.*, 2007. Vol. 58. P. 1–26.
10. *Chaudhuri S., Wu F., Zhu D., Law C.* Flame speed and self-similar propagation of expanding turbulent premixed flames // *Phys. Rev. Lett.*, 2012. Vol. 108. No. 4. P. 44503.
11. *Kagan L., Sivashinsky G.* Transition to detonation of an expanding spherical flame // *Combust. Flame*, 2017. Vol. 175. P. 307–311.
12. *Sivashinsky G. I.* Some developments in premixed combustion modeling // *P. Combust. Inst.*, 2002. Vol. 29. P. 1737–1761.
13. *Akkerman V., Chaudhuri S., Law C. K.* Accelerative propagation and explosion triggering by expanding turbulent premixed flames // *Phys. Rev. E*, 2013. Vol. 87. P. 023008.
14. *Akkerman V., Law C. K.* Effect of acoustic coupling on power-law flame acceleration in spherical confinement // *Phys. Fluids*, 2013. Vol. 25. P. 013602.
15. *Poludnenko A. Y., Gardiner T. A., Oran E. S.* Spontaneous transition of turbulent flames to detonations in unconfined media // *Phys. Rev. Lett.*, 2011. Vol. 107. P. 054501.
16. *Frolov S. M., Ivanov V. S., Basara B., Suffa M.* Numerical simulation of flame propagation and localized preflame autoignition in enclosures // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2013. Vol. 26. No. 2. P. 302–309.
17. *Bykov V., Kiverin A., Koksharov A., Yakovenko I.* Analysis of transient combustion with the use of contemporary CFD techniques // *Comput. Fluids*, 2019. Vol. 194. P. 104310.

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М. В. Ломоносова и с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН.

¹Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, alexeykiverin@gmail.com

²Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, yakovenko.ivan@bk.ru

18. Головизнин В. М., Зайцев М. А., Карабасов С. А., Короткин И. А. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов. — М.: Изд-во Московского ун-та, 2013. 472 с.
19. Keromnes A., Metcalfe W. K., Heufer K. A., Donohoe N., Das A. K., Sung C.-J., Herzler J., Naumann C., Griebel P., Mathieu O., Krejci M. C., Petersen E. L., Pitz W. J., Curran H. J. An experimental and detailed chemical kinetic modeling study of hydrogen and syngas mixture oxidation at elevated pressures // *Combust. Flame*, 2013. Vol. 160, No. 6. P. 995–1011.
20. Nicoud F., Poinsot T. Thermoacoustic instabilities: Should the Rayleigh criterion be extended to include entropy changes? // *Combust. Flame*, 2005. Vol. 142. No. 1. P. 153–159.
21. Yu R., X.-S. Bai, V. Vychkov. Fractal flame structure due to the hydrodynamic Darrieus–Landau instability // *Phys. Rev. E*, 2015. Vol. 92. P. 063028.
22. Bauwens C. R. L., Bergthorson J. M., Dorofeev S. B. Modeling the formation and growth of instabilities during spherical flame propagation // *P. Combust. Inst.*, 2019. Vol. 37. No. 3. P. 3669–3676.
23. Куликовский А. Г., Пащенко Н. Т. Устойчивость фронта пламени в расходящемся потоке // *Тр. МИАН*, 2013. Т. 281. С. 55–67.

Поступила в редакцию 25.11.2019