

ДЕТОНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ПОЛИПРОПИЛЕНА*

С. М. Фролов¹, В. И. Звегинцев², В. С. Аксёнов³, И. В. Билера⁴, М. В. Казаченко⁵,
И. О. Шамшин⁶, П. А. Гусев⁷, М. С. Белоцерковская⁸, Е. В. Коверзанова⁹

Аннотация: Впервые рассмотрена возможность использования продуктов газификации/пиролиза твердых горючих в перспективных прямоточных воздушно-реактивных двигателях (ПВРД), работающих на детонационном горении. Предложен новый способ определения детонационной способности горючего: на основании измеренных значений длины и/или времени перехода горения в детонацию (ПГД) в эталонной импульсно-детонационной трубе. В качестве твердого горючего выбран гранулированный полипропилен. Спроектирован, изготовлен и испытан газогенератор для получения продуктов пиролиза полипропилена при температуре разложения от 650 до 800 °С. Хроматографический анализ продуктов показал, что они в основном состоят из пропилена C_3H_6 , изобутена *iso*- C_4H_8 , этана C_2H_6 , метана CH_4 , этилена C_2H_4 и пропана C_3H_8 . Проведены эксперименты по изучению ПГД в воздушных смесях горячих продуктов пиролиза полипропилена. Показано, что в смесях с воздухом, несколько обогащенных горючим (с коэффициентом избытка воздуха $0,73 \leq \alpha \leq 0,90$), при нормальном давлении и повышенной начальной температуре (60–90 °С) продукты пиролиза полипропилена обладают детонационной способностью, близкой к детонационной способности сжиженного углеводородного газа (СУГ) марки ПБА — пропан-бутан автомобильный — в стехиометрической смеси с воздухом при нормальных условиях.

Ключевые слова: детонационная способность; эталонная импульсно-детонационная труба; гранулированный полипропилен; продукты пиролиза; топливно-воздушная смесь; переход горения в детонацию

DOI: 10.30826/CE18110406

Литература

1. Зельдович Я. Б. Об энергетическом использовании детонационного горения // ЖТФ, 1940. Т. 10. Вып. 17. С. 1455–1461.
 2. Frolov S. M., Aksenov V. S., Ivanov V. S. Experimental proof of Zel'dovich cycle efficiency gain over cycle with constant pressure combustion for hydrogen–oxygen fuel mixture // Int. J. Hydrogen Energ., 2015. Vol. 40. Iss. 21. P. 6970–6975.
 3. Zvuloni R., Gany A., Levy Y. Geometric effects on the combustion in solid fuel ramjets // J. Propulsion, 1989. Vol. 5. No. 1. P. 32–37.
 4. Ben-Yakar A., Natan B., Gany A. Investigation of a solid fuel scramjet combustor // J. Propul. Power, 1998. Vol. 14. No. 4. P. 447–455.
 5. Cohen-Zur A., Natan B. Experimental investigation of a supersonic combustion solid fuel ramjet // J. Propul. Power, 1998. Vol. 14. No. 6. P. 880–889.
 6. Lee Tae-Ho. Inlet air temperature effects on the performance of the solid fuel ramjet // J. Thermophys. Heat T., 2006. Vol. 20. No. 4. P. 937–939.
 7. Wang L., Wu Z., Chi H., Liu C., Tao H., Wang Q. Nu-
- *Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 18-08-00076а).
- ¹Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»; Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, smfrol@chph.ras.ru
- ²Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, zvegin@itam.nsc.ru
- ³Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», v.aksenov@mail.ru
- ⁴Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева Российской академии наук, bilera@ips.ac.ru
- ⁵Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), maks71997@gmail.com
- ⁶Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, igor_shamshin@mail.ru
- ⁷Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, gusevpa@yandex.ru
- ⁸Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук; Институт автоматизации проектирования Российской академии наук, _bc@mail.ru
- ⁹Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук; Институт биохимической физики им. Н. М. Эммануэля Российской академии наук, koverlana@list.ru

- merical and experimental study on the solid-fuel scramjet combustor // *J. Propul. Power*, 2014. Vol. 31. No. 2. P. 685–693.
8. Lv Z., Xia Z. X., Liu B., Liu Y. C. Experimental and numerical investigation of a solid-fuel rocket scramjet combustor // *J. Propul. Power*, 2015. No. 1. P. 6.
 9. Внучков Д. А., Звезгинцев В. И., Лукашевич С. В., Наливайченко Д. Г. Методика определения характеристик горения твердого топлива в высокоскоростном потоке воздуха // *Горение и взрыв*, 2017. Т. 10. № 4. С. 51–56.
 10. Hadar I., Gany A. Fuel regression mechanism in a solid fuel ramjet // *Propell. Explos. Pyrot.*, 1992. Vol. 17. P. 70–76.
 11. Ben-Arosh R., Natan B., Spiegler E., Gany A. Fuel–air mixing in solid fuel scramjet combustors // *Int. J. Turbo Jet Eng.*, 1998. Vol. 15. Iss. 3. P. 223–234.
 12. Pei X., Wu Z., Wei Z., Liu J. Numerical investigation on internal regressing shapes of solid-fuel scramjet combustor // *J. Propul. Power*, 2013. Vol. 29. No. 5. P. 1041–1051.
 13. Wang L., Wu Z., Chi H., Liu C., Tao H., Wang Q. Numerical and experimental study on the solid-fuel scramjet combustor // *J. Propul. Power*, 2014. Vol. 31. No. 2., P. 685–693.
 14. Pei X., Hou L. Numerical investigation on cavity structure of solid-fuel scramjet combustor // *Acta Astronaut.*, 2014. Vol. 105. No. 2. P. 463–475.
 15. Аулченко С. М., Звезгинцев В. И. Использование экспериментально полученных характеристик горения твердого топлива для расчета газотермодинамических процессов в камере сгорания // *Горение и взрыв*, 2017. Т. 10. № 4. С. 57–62.
 16. Walton P., Veyssiere B., Khasainov B. A., Daniau E. Influence of carbon particles in suspension on the propulsive performance of hydrogen–air mixtures in detonative mode // *Application of detonation to propulsion* / Eds. G. Roy, S. Frolov, J. Shepherd. — Moscow: TORUS PRESS, 2004. P. 198–204.
 17. Veyssiere B., Khasainov B. A., Walton P., Mellas B., Daniau E. Performance of propellant decomposition products as fuel in an airbreathing PDE // *Shock Waves*, 2006. Vol. 16. P. 149–156.
 18. Фролов С. М., Аксенов В. С., Басевич В. Я. Иницирование гетерогенной детонации в трубах с витками и спиралью Щелкина // *Теплофизика высоких температур*, 2006. Т. 44. № 2. С. 285–292.
 19. Frolov S. M. Initiation of strong reactive shocks and detonation by traveling ignition pulses // *J. Loss Prevent. Proc.*, 2006. Vol. 19. Iss. 2–3. P. 238–244.
 20. Фролов С. М., Аксенов В. С., Дубровский А. В., Зангиев А. Э., Иванов В. С., Медведев С. Н., Шамшин И. О. Хемиионизационная и акустическая диагностика рабочего процесса в непрерывно-детонационных и импульсно-детонационных камерах сгорания // *Докл. РАН*, 2015. Т. 465. № 1. С. 62–67.

Поступила в редакцию 19.10.18