

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ПИРОТЕХНИЧЕСКОЙ СМЕСИ ПЕРХЛОРАТА КАЛИЯ С КРАСНОЙ КРОВЯНОЙ СОЛЮ

Е. С. Варламов¹, В. И. Колесов², Е. С. Манахова³, А. О. Чепурной⁴

Аннотация: Получена и исследована пиротехническая смесь (ПС) перхлората калия (ПХК) и гексацианоферрата (III) калия, определен состав смеси и дисперсность ее компонентов. Определена теплота сгорания данной смеси, а также ее чувствительность к удару и электрической искре. Смесь демонстрирует чувствительность к удару и электрическому разряду на уровне стифната свинца. Проведены экспериментальные исследования процесса ее воспламенения лазерным излучением 405 и 450 нм длительностью от 0,5 до 1000 мс. Были определены продолжительность воспламеняющего импульса и временная задержка инициирования, оценена минимальная энергия воспламенения в зависимости от интенсивности излучения в диапазоне от 20 до 1600 Вт/см². Обнаружено заметное снижение энергии воспламенения по сравнению с инфракрасным (ИК) излучением, что объясняется фотохимическим экзотермическим распадом красной кровяной соли (ККС).

Ключевые слова: смесь перхлорат калия – красная кровяная соль; энергетические характеристики; лазерное инициирование

DOI: 10.30826/CE24170211

EDN: CTBYPW

Литература

1. Буркина Р. С., Морозова Е. Ю., Ципилев В. П. Инициирование реакционно-способного вещества потоком излучения при его поглощении оптическими неоднородностями вещества // Физика горения и взрыва, 2011. Т. 47. № 5. С. 95–105. EDN: OOFRAJ.
2. Каленский А. В., Газенаур Н. В., Звеков А. А., Никитин А. П. Критические условия инициирования реакции в тэне при лазерном нагреве светопоглощающих наночастиц // Физика горения и взрыва, 2017. Т. 53. № 2. С. 107–117. doi: 10.15372/FGV20170213. EDN: YGFXBZ.
3. Таржанов В. И., Сдобнов В. И., Зинченко А. Д., Погребов А. И. Лазерное инициирование низкоплотных смесей тэна с металлическими добавками // Физика горения и взрыва, 2017. Т. 53. № 2. С. 118–125. doi: 10.15372/FGV20170214. EDN: YGFXCJ.
4. Szimhardt N., Wurzenberger M. H. H., Zeisel L., Gruhne M. S., Lommel M., Klapotke T. M., Stierstorfer J. 1-Aminotriazole transition-metal complexes as laser-ignitable and lead-free primary explosives // Chem. — Eur. J., 2019. Vol. 25. No. 8. P. 1963–1974. doi: 10.1002/chem.201803372.
5. Алибаев А. Ф., Ассовский И. Г., Дмитриенко Д. Б., Кузнецов Г. П., Мелик-Гайказов Г. В. Определение времени задержки взрыва при лазерном инициировании энергоемких соединений // Горение и взрыв, 2021. Т. 14. № 1. С. 77–82. doi: 10.30826/CE21140109.
6. Ассовский И. Г., Дмитриенко Д. Б., Кузнецов Г. П., Мелик-Гайказов Г. В., Синдицкий В. П. Лазерное инициирование энергоемких материалов // Горение и взрыв, 2022. Т. 15. № 4: С. 87–93. doi: 10.30826/CE22150409.
7. Fang X., Ahmad S. R. Laser ignition of an optically sensitised secondary explosive by a diode laser // Cent. Eur. J. Energ. Mat., 2016. Vol. 13. P. 103–115. doi: 10.22211/cejem/64966.
8. Fang X., Sharma M., Stennett C., Gill P. P. Optical sensitisation of energetic crystals with gold nanoparticles for laser ignition // Combust. Flame, 2018. Vol. 183. P. 15–21. doi: 10.1016/j.combust-flame.2017.05.002.
9. Konovalov A. N., Yudin N. V., Kolesov V. I., Ul'yanov V. A. Increasing the heating efficiency and ignition rate of certain secondary explosives with absorbing particles under continuous infrared laser radiation // Combust. Flame, 2019. Vol. 205. P. 407–414. doi: 10.1016/j.combustflame.2019.04.026.
10. Дмитриев А. К., Колесов В. И., Коновалов А. Н., Тюрина В. С., Ульянов В. А., Юдин Н. В. Нагрев и воспламенение пиротехнических композиций лазерным излучением ближнего инфракрасного диапазона // Горение и взрыв, 2018. Т. 11. № 3. С. 103–109.
11. Кириленко В. Г., Гришин Л. И., Долгобородов А. Ю., Бражников М. А. Лазерное инициирование нанотермитов Al/CuO и Al/Bi₂O₃ // Горение и взрыв, 2020. Т. 13. № 1: С. 145–155. doi: 10.30826/CE20130115.
12. Kolesov V. I., Konovalov A. N., Manakhova E. S., Ul'yanov V. A., Yudin N. V. Time delay of initiation of

¹Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, varlamov.zhen@gmail.com

²Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, kolesov2116@mail.ru

³Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, manakhova.e.s@muctr.ru

⁴Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, chepurnoi.a.o@muctr.ru

- some primary explosives and initiating mixtures when exposed to continuous IR laser radiation // *Propell. Explos. Pyrot.*, 2020. Vol. 45. No. 11. P. 1745–1754. doi: 10.1002/prep.202000128.
13. *Fronabarger J. W.* Igniter composition comprising a perchlorate and potassium hexacyano cobaltate II. Patent US3793100A, 1974.
 14. *Абдурязков В. Н., Усталов Д. С., Мешков М. А. и др.* Твёрдотопливный заряд для микродвигателей. Патент RU2605482C2, 2015.
 15. *Чепурной А. О., Егоршев В. Ю.* Исследование горения мелкодисперсных смесей цианокомплексов железа с неорганическими окислителями // *Успехи в химии и химической технологии*, 2016. Т. 30. № 8. С. 64–67.
 16. *Фогельзанг А. Е., Синдицкий В. П., Серушкин В. В., Егоршев В. Ю., Щупин Ю. К., Тропынин В. А.* FLAME: База данных по горению энергетических материалов, 1995–1998.
 17. *Egorshv V. Y., Sinditskii V. P., Yartsev K. K.* Combustion of high-density CuO/Al nanothermites at elevated pressures // *Autumn Seminar (International) on Propellants, Explosives and Pyrotechnics Proceedings*. — Chengdu, China, 2013. Vol. 10. P. 287–290.
 18. *Белов Г. В.* REAL — программный комплекс для моделирования равновесных состояний термодинамических систем при повышенных значениях температуры и давления. — М., 1983–2007. 23 с.
 19. *Багал Л. И.* Химия и технология инициирующих взрывчатых веществ. — М.: Машиностроение, 1975. 455 с.
 20. *Engineering design handbook*. — Explosives ser. Properties of explosives of military interest. — U.S. Government Printing Office, 1971. Vol. 706. P. 177.
 21. *Кнунянц И. Л.* Химическая энциклопедия: В 5 т. // *Советская энциклопедия* / Под ред. И. Л. Кнунянц. — М.: Сов. энцикл., 1990. Т. 2. 671 с.
 22. *Печенюк С. И., Домонов Д. П., Гостева А. Н.* Термическое разложение катионных, анионных и двойных комплексных соединений 3d-металлов // *Российский химический ж.*, 2020. Т. 64. № 1. С. 45–69. doi: 10.6060/rscj.2020641.6.
 23. *Kunrath, J. I., Müller C. S., Frank E.* Thermal decomposition of potassium hexacyanoferrate (II) trihydrate // *J. Therm. Anal. Calorim.*, 1978. Vol. 14. No. 3. P. 253–264. doi: 10.1007/bf01915163.
 24. *Chen H., Xin X., Niu J., Dai A., Tail P., Wang X., Zhang Y.* // *Chem. J. Chinese U.*, 1988. Vol. 4. P. 8.
 25. *Рабинович В. А., Хавин З. Я.* Краткий химический справочник. — 2-е изд. — Л.: Химия, 1978. 316 с.
 26. *Шелудяк Е. Ю., Кашпоров Л. Я., Малинин Л. А., Цалков В. Н.* Теплофизические свойства компонентов горючих систем. Справочник / Под. ред. Н. А. Силина. — М.: НПО Информ ТЭИ, 1992. 184 с.

Поступила в редакцию 19.01.2024