

НЕОБЫЧНОЕ ПОВЕДЕНИЕ БИМОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛОВ CL-20 В ТЕПЛОВОЙ ВОЛНЕ*

В. П. Синдицкий¹, А. Н. Чёрный², С. Ю. Юрова³, Д. В. Дашко⁴, Т. К. Гончаров⁵,
А. А. Козлов⁶, Н. И. Шишов⁷

Аннотация: Изучены закономерности горения, структура пламени и термическое разложение бимолекулярных кристаллов (БМК) гексанитрогексаазоизовюрцитана (CL-20) с трис[1,2,5]оксадиазоло[3,4-b:3',4'-d:3'',4''-f]азепин-7-амином (ATFAz) в молярном соотношении 1 : 2. Обнаружено, что введение в состав бимолекулярных кристаллов CL-20 более летучего и более термостойкого компонента ATFAz приводит к неожиданным результатам: во-первых, термостойкий компонент снижает термическую стабильность CL-20, а во-вторых, даже разбавление вдвое практически не изменяет скорости горения композиции. Причиной необычных результатов является аморфное состояние CL-20, в котором нитрамин остается после испарения второго компонента в тепловой волне. Высказанное предположение подтверждено моделированием горения БМК CL-20 в широком интервале давлений.

Ключевые слова: бимолекулярные кристаллы; гексанитрогексаазоизовюрцитан; трис[1,2,5]оксадиазоло[3,4-b:3',4'-d:3'',4''-f]азепин-7-амин; термический распад; горение; температурные профили; механизм горения

DOI: 10.30826/CE18110314

Литература

1. Qiao N., Li M., Schlindwein W., Malek N., Davies A., Trappitt G. Pharmaceutical co-crystals: An overview // *Int. J. Pharm.*, 2011. Vol. 419. No. 1-2. P. 1–11.
2. Sekhon B. S. Co-crystals of agrochemical actives // *Int. J. Agr. Sci.*, 2015. Vol. 5. No. 3. P. 472–475.
3. Bolton O., Matzger A. J. Improved stability and smart-material functionality realized in an energetic cocrystal // *Angew. Chem. Int. Edit.*, 2011. Vol. 50. No. 38. P. 8960–8963.
4. Millar D. I., Maynard-Casely H. E., Allan D. R., Cumming A. S., Lennie A. R., Mackay A. J., Oswald I. D. H., Tang C. C., Pulham C. R. Crystal engineering of energetic materials: Co-crystals of CL-20 // *Cryst. Eng. Commun.*, 2012. Vol. 14. No. 10. P. 3742–3749.
5. Алдошин С. М., Лемперт Д. Б., Гончаров Т. К., Казаков А. И., Согласнова С. И., Дорофеев Е. М., Плишкин Н. А. Энергетические возможности смесевых твердых ракетных топлив на основе бимолекулярных кристаллов, содержащих CL-20 // *Изв. РАН. Сер. хим.*, 2016. № 8. С. 2018–2024.
6. Алдошин С. М., Алиев З. Г., Гончаров Т. К., Корчагин Д. В., Милехин Ю. М., Шишов Н. И. Новый конформер 2,4,6,8,10,12-гексанитро-2,4,6,8,10,12-гексаазоизовюрцитана (CL-20). Кристаллическая и молекулярная структура сольвата CL-20 с триацетатом глицерина // *Изв. РАН. Сер. хим.*, 2011. № 7. С. 1372–1378.
7. Bolton O., Simke L. R., Pagoria P. F., Matzger A. J. High power explosive with good sensitivity: A 2 : 1 cocrystal of CL-20:HMX // *Cryst. Growth Des.*, 2012. Vol. 12. No. 9. P. 4311–4314.
8. Yang Z., Li H., Zhou X., Zhang C., Huang H., Li J., Nie F. Characterization and properties of a novel energetic–energetic cocrystal explosive composed of HNIW and BTF // *Cryst. Growth Des.*, 2012. Vol. 12. No. 11. P. 5155–5158.
9. Гончаров Т. К., Алиев З. Г., Алдошин С. М., Дашко Д. В., Васильева А. А., Шишов Н. И., Милехин Ю. М. Получение, структура и основные свойства бимолекулярных кристаллов CL-20–DNP и CL-20–DNG // *Изв. РАН. Сер. хим.*, 2015. № 2. С. 366–374.
10. Gao B., Wang D., Zhang J., et al. Facile, continuous and large-scale synthesis of CL-20/HMX nano co-crystals with high-performance by ultrasonic spray-assisted electrostatic adsorption method // *J. Mater. Chem. A*, 2014. Vol. 2. No. 47. P. 19969–19974.
11. Sinditskii V. P., Chernyi A. N., Yurova S. Yu., Vasileva A. A., Dashko D. V., Astrat'ev A. A. Thermal decomposition and

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-29-01026).

¹ Российский химико-технологического университет имени Д. И. Менделеева, vps@rctu.ru

² Российский химико-технологического университет имени Д. И. Менделеева, som86@mail.ru

³ Российский химико-технологического университет имени Д. И. Менделеева, mystps@gmail.com

⁴ СКТБ «Технолог», ddv65@bk.ru

⁵ Институт проблем химической физики Российской академии наук, tel@icp.ac.ru

⁶ Федеральный центр двойных технологий «Союз», koand1@mail.ru

⁷ Федеральный центр двойных технологий «Союз», fcfdt@monnet.ru

- combustion of cocrystals of CL-20 and linear nitramines // RSC Adv, 2016. Vol. 84. No. 6. P. 81386–81393.
12. Алиев З. Г., Гончаров Т. К., Дашко Д. В., Игнатьева Е. Л., Васильева А. А., Шишов Н. И., Корчагин Д. В., Милёхин Ю. М., Алдошин С. М. Полиморфизм бимолекулярных кристаллов CL-20 с трис[1,2,5]оксадиазоло[3,4-b:3',4'-d:3'',4''-f]азепин-7-амином // Изв. РАН, Сер. хим., 2017. № 4. С. 694–701.
 13. Синдицкий В. П., Егоршев В. Ю., Березин М. В., Серушкин В. В., Милехин Ю. М., Гусев С. А., Матвеев А. А. Закономерности и механизм горения высокоэнергетического каркасного нитрамина гексанитрогексааизовюрцитана // Хим. физика, 2003. Т. 22. № 7. С. 69–74.
 14. Turcotte R., Vachon M., Kwok Q. S., Wang R., Jones D. E. Thermal study of HNIW (CL-20) // Thermochim. Acta, 2005. Vol. 433. No. 1. P. 105–115.
 15. Kissinger H. E. Reaction kinetics in differential thermal analysis // Anal. Chem., 1957. Vol. 29. No. 11. P. 1702–1706.
 16. Корсунский Б. Л., Неделько В. В., Чуканов Н. В., Ларинова Т. С., Фольк Ф. Кинетика термического разложения гексанитрогексааизовюрцитана // Изв. РАН, Сер. хим., 2000. Т. 49. № 5. С. 812–818.
 17. Зельдович Я. Б. Теория горения порохов и взрывчатых веществ // Ж. exper. и теор. физики, 1942. Т. 12. № 11-12. С. 498–524.

Поступила в редакцию 01.02.18