

## ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКИХ МАТЕРИАЛОВ\*

И. Г. Ассовский<sup>1</sup>, Д. Б. Дмитриенко<sup>2</sup>, Г. П. Кузнецов<sup>3</sup>, Г. В. Мелик-Гайказов<sup>4</sup>, В. П. Синдицкий<sup>5</sup>

**Аннотация:** Целью работы является краткий обзор теоретических и экспериментальных исследований механизма лазерного инициирования (ЛИ) энергоемких материалов (ЭМ), выполненных за последние годы в лаборатории физики горения твердых топлив ФИЦ ХФ РАН. Теоретический анализ проводится в рамках нерезонансного (теплого) воздействия светового излучения на ЭМ. Определенное внимание уделяется особенностям инициирования металлизированных взрывчатых веществ (ВВ) коротким лазерным импульсом малой энергии. Анализируются физические и химические факторы в процессе ЛИ, в том числе влияния формы и размера металлических включений. Рассматривается влияние диаметра светового луча, а также размера и природы оптических неоднородностей. Демонстрируются особенности влияния перечисленных факторов в зависимости от длительности лазерного импульса и плотности светового потока. Впервые демонстрируется возможность прямого ЛИ детонации открытого вторичного взрывчатого материала.

**Ключевые слова:** энергоемкие материалы; лазерное инициирование; металлические включения; оптические неоднородности; плотность светового потока

DOI: 10.30826/CE22150409

EDN: POTWGC

## Литература

1. Похил П. Ф. О механизме горения бездымных порохов // Физика взрыва. — М.: ИХФ АН СССР, 1953. № 2. С. 181–212.
2. Бриш А. А., Галеев И. А., Зайцев Б. Н., Сбитнев Е. А., Татаринцев Л. В. О механизме инициирования конденсированных ВВ излучением ОКГ // Физика горения и взрыва, 1969. Т. 5. № 4. С. 475–480.
3. Walker F. E., Wasley R. J. Critical energy for shock initiation of heterogeneous explosives // Explosivstoffe, 1969. Vol. 17. No. 1. P. 9–14.
4. Карabanov Ю. Ф., Боболев В. К. Зажигание инициирующих ВВ импульсом лазерного излучения // Докл. Акад. наук СССР, 1981. Т. 256. № 5. С. 1152–1155.
5. Ассовский И. Г. Физика горения и внутренняя баллистика. — М.: Наука, 2005. 358 с.
6. Harkoma M. Confinement in the diode laser ignition of energetic materials. — Tampere University of Technology, 2010. D.Sc. Thesis. 111 p.
7. Ассовский И. Г., Козында В. В. О снижении энергии лазерного инициирования энергоемких материалов // Докл. Акад. наук, 2012. Т. 442. № 6. С. 771–775.
8. Assovskiy I. G., Kozynza V. V., Tur I. V. On interaction of short laser pulse with heterogeneous energetic material // Physics of extreme states of matter / Ed. V. E. Fortov. — М.: ИИТ RAS, 2013. P. 52–53.
9. 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.
10. Pantoya M., Granier J. The effect of slow heating rates on the reaction mechanisms of nano and micron composite thermite reactions // J. Therm. Anal. Calorim., 2006. Vol. 85. P. 37–43.
11. Wang J., Hu A., Persic J., Wen J. Z., Norman Zhou Y. Thermal stability and reaction properties of passivated Al/CuO nano-thermite // J. Phys. Chem. Solids, 2011. Vol. 72. No. 6. P. 620–625. doi: 10.1016/j.jpcs.2011.02.006.
12. Petre C. F., Chamberland D., Ringuette T., Ringuette S., Paradis S., Stowe R. Low-power laser ignition of aluminum/metal oxide nanothermites // Int. J. Energetic Materials Chemical Propulsion, 2014, Vol. 13. No. 6. P. 479–494. doi: 10.1615/IntJEnergeticMaterialsChemProp.2014011402.
13. Колесов В. И., Патрикеев Д. И. Горение нанотермитов в вакууме // Горение и взрыв, 2017. Т. 10. № 1. С. 69–72.
14. Долгобородов А. Ю., Кириленко В. Г., Стрелецкий А. Н., Колбанев И. В., Шевченко А. А., Янковский Б. Д., Ананьев С. Ю., Вальяно Г. Е. Механоактивированный тер-

\*Работа выполнена за счет субсидии, выделенной ФИЦ ХФ РАН на выполнение государственного задания Минобрнауки 49.23, тема 0082-2018-0004, номер государственной регистрации АААА-А18-118031590088-8.

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН), Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», assov@chph.ras.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, daniildinoz@yandex.ru

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, kuznetsov-47@bk.ru

<sup>4</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, marsh@chph.ras.ru

<sup>5</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, vps@rctu.ru

- митный состав Al/CuO // Горение и взрыв, 2018. Т. 11. № 3. С. 117–124.
15. Кириленко В. Г., Гришин Л. И., Долгобородов А. Ю., Бражников М. А. Лазерное инициирование нанотермитов Al/CuO и Al/Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // Горение и взрыв, 2020. Т. 13. № 1. С. 145–155.
  16. Wang Cheng, Xu Jian-bing, Shen Yun, Wang Yue-ting, Yang Teng-long, Zhang Ze-hua, Li Fu-wei, Shen Ruiqi, Ye Ying-hua. Thermodynamics and performance of Al/CuO nanothermite with different storage time // Defence Technology, 2021. Vol. 17. Iss. 3. P. 741–747.
  17. Assovskiy I. G., Melik-Gaikazov G. V., Kuznetsov G. P. Direct laser initiation of open secondary explosives // J. Phys. Conf. Ser., 2015. Vol. 653. Article 012014. doi:10.1088/1742-6596/653/1/012014.
  18. Kon'kova T. S., Matyushin Yu. N., Sinditskiy V. P., Fogelzang A. E. Thermodynamics of coordination Co(II), Ni(II), Zn, and Cd compounds with carbohydrazide // Chem. Phys. Reports, 1995. Vol. 14. No. 6. P. 865–870.
  19. Sinditskii V. P., Serushkin V. V. Design and combustion behavior of explosive coordination compounds // Defense Science J., 1996. Vol. 46. No. 5. P. 371–383.
  20. Sinditskii V. P., Fogelzang A. E. Energetic materials based on coordination compounds // Mendeleev Chemistry J., 1997. Vol. 41. No. 4. P. 74–80.

Поступила в редакцию 05.05.2022