

## РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ В ЗОНЕ РЕАКЦИИ ТЕРМИТНОЙ СМЕСИ\*

Б. Д. Янковский<sup>1</sup>, П. А. Арсёнов<sup>2</sup>, А. Ю. Долгобородов<sup>3</sup>, Г. С. Вакорина<sup>4</sup>

**Аннотация:** Проведено исследование электрических проявлений при распространении горения в линейных зарядах из пористой механоактивированной смеси микронных и наноразмерных порошков алюминия и оксида меди. Для инициирования реакции использовалось электроискровое инициирование. Проведены эксперименты с контролем генерации электрических зарядов в электрическом поле до 5 кВ/м в локальных областях зоны реакции. Обнаружено формирование волны зоны проводимости в канале протекания реакции с зарядовым содержанием от 1 до 20 мКл. На основании полученных данных определены значения электропроводности в диапазоне 1000–6000 См/м. При уменьшении зондирующего электрического поля до 1 кВ/м продолжительность существования зоны проводимости сокращается с ~ 2000 до ~ 500 мкс. Диапазон изменения значений электропроводности одинаков для нано- и микроразмерных смесей. Полученные данные показали независимость значений электропроводности от энергии искрового инициирования. Проведен контроль оптического излучения в локальных областях зоны реакции. При горении микроразмерных смесей фазовые скорости фронтов зон проводимости и оптического излучения коррелируют друг с другом в диапазоне значений 30–80 м/с. При горении наноразмерных смесей фазовые скорости аналогичных зон составляют 150–300 м/с.

**Ключевые слова:** электрические заряды; термитные составы; электроискровое инициирование; волна горения

DOI: 10.30826/CE25180411

EDN: QBPFMI

### Литература

1. Energetic nanomaterials. Synthesis, characterization, and application / Eds. V. E. Zarko, A. A. Gromov. — Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2016. 392 p.
2. Сандарам Д., Янг В., Зарко В. Е. Горение частиц алюминия (обзор) // Физика горения и взрыва, 2015. Т. 51. № 2. С. 37–63.
3. Барзыкин В. В. Тепловые режимы экзотермических реакций (избранные труды). — Черноголовка: ИСМАН, 2004. С. 312.
4. Streletsii A. N., Sivak M. V., Dolgoborodov A. Yu. Nature of high reactivity of metal/solid oxidizer nanocomposites prepared by mechanoactivation: A review // J. Mater. Sci., 2017. Vol. 52. No. 20. P. 11810–11825.
5. Tichtchenko E., Estève A., Rossi C. Modeling the self-propagation reaction in heterogeneous and dense media: Application to Al/CuO thermite // Combust. Flame, 2021. Vol. 228. P. 173–183. doi: 10.1016/j.combustflame.2021.01.040.
6. Baijot V., Mehdi D.-R., Rossi C., Estève A. A multi-phase micro-kinetic model for simulating aluminum based thermite reactions // Combust. Flame, 2017. Vol. 180. P. 10–19.
7. Tichtchenko E., Folliet V., Simonin O., et al. Combustion model for thermite materials integrating explicit and coupled treatment of condensed and gas phase kinetics // P. Combust. Inst., 2023. Vol. 39. Iss. 3. P. 3637–3645. doi: 10.1016/j.proci.2022.08.117.
8. Мельников М. Я., Пергушев В. И., Вайнштейн Ю. А. Химия электронно-возбужденных интермедиатов (радикалы, ион-радикалы, возбужденные состояния координационных соединений). Матричные эффекты и молекулярная организация процессов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2: Химия, 2005. Т. 46. № 3. С. 168–200.
9. Бугаенко Л. Т., Кузьмин М. Г., Полак Л. С. Химия высоких энергий. — М.: Химия, 1988. 368 с.
10. Возбужденные частицы в химической кинетике / Под ред. К. Бамфорда, К. Типпера; пер. с англ. под ред. А. А. Борисова. — М.: Мир, 1973. 320 с. (Comprehensive chemical kinetics / Eds. C. H. Bamford, C. F. H. Tipper. — Amsterdam — London — New York: Elsevier Publishing Co., 1969. Vol. 3. 300 p.)
11. Долгобородов А. Ю., Бородин Т. И., Кириленко В. Г., Янковский Б. Д., Вальяно Г. Е., Стрелецкий А. Н., Воробьева Г. А. Развитие метода механоактивации тер-

\* Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственное задание № 075-00269-25-00).

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, yiy2004@mail.ru

<sup>2</sup>Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, necrostrike@gmail.com

<sup>3</sup>Объединенный институт высоких температур Российской академии наук; Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, aldol@ihed.ras.ru

<sup>4</sup>Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, vakorinags@ihed.ras.ru

- митных смесей // Горение и взрыв, 2024. Т. 17. № 1. С. 105–117. doi: 10.30826/CE24170109. EDN: PKPVZM.
12. *Стеньгач В. В.* Зависимость электрической прочности прессованных порошков от коэффициента заполнения и диэлектрической проницаемости кристаллов // ПМТФ, 1975. № 2. С. 159–161.
13. *Янковский Б. Д., Арсёнов П. А., Долгобородов А. Ю., Вакорина Г. С., Вальяно Г. Е.* Особенности зажигания термитной смеси Al/CuO электрическим разрядом // Горение и взрыв, 2023. Т. 16. № 2. С. 86–95. doi: 10.30826/CE23160208. EDN: IXXOBV.
14. *Смирнов Б. М.* Введение в физику плазмы. — 2-е изд. — М.: Наука, 1982. 224 с.
15. *Dolgorodov A. Yu., Yankovsky B. D., Kirilenko V. G., Streletsky A. N., Ananyev S. Yu., Kolbanev I. V., Vorobyeva G. A., Shevchenko A. A.* Initiation and combustion of mechanoactivated mixtures of aluminum and copper oxide // Advanced Materials Technologies, 2018. No. 3. P. 45–48. doi: 10.17277/amt.2018.03.pp.045-048.

*Поступила в редакцию 21.01.2025*

*После доработки 09.04.2025*

*Принята к публикации 02.06.2025*