

ГОРЕНИЕ СМЕСЕВОГО ТИТАНСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА*

О. Г. Глотов¹, Н. С. Белоусова², И. В. Сорокин³, Г. С. Суродин⁴

Аннотация: Горение частиц титана в воздухе привлекает внимание исследователей в связи с идеей использования диоксида титана в форме аэрозоля, состоящего из частиц нанометрового диапазона размеров, для дезактивации локальных загрязнений атмосферного воздуха. Возможная реализация этой идеи — разработка пиротехнического генератора TiO_2 — требует проведения исследований горения титаносодержащих топлив. В данной работе исследовано влияние размера и морфологии исходного порошка титана и массовой доли титана в топливе на скорость горения и характеристики агломерации титана при горении в составе смесевых топлив. Приводятся данные о конденсированных продуктах горения (КПГ) топлив в воздухе при давлении 0,1 МПа, в азоте при 0,35 МПа, в аргоне на уровнях 2, 4 и 8 МПа. Показано, что предпочтительно использовать титановый порошок возможно меньшего размера, а массовую долю титана в топливе принять равной 24%. В частицах КПГ выявлено высокое содержание кислорода, что позволяет надеяться на достаточно полное превращение титана в оксид.

Ключевые слова: частицы титана; горение; фрагментация; конденсированные продукты горения; дисперсный диоксид титана; топливо с титаном

DOI: 10.30826/CE25180209

EDN: IURWDF

Литература

1. Глотов О. Г. Воспламенение и горение частиц титана. Экспериментальные методы исследования и результаты // Успехи физических наук, 2019. Т. 189. № 2. С. 135–171.
2. Weiser V., Neutz J., Eisenreich N., Roth E., Schneider H., Kelzenberg S. Development and characterization of pyrotechnic compositions as counter measures against toxic clouds // Energetic Materials: Performance and Safety. 36th Annual Conference (International) of ICT & 32nd Pyrotechnics Seminar (International) Proceedings. — Karlsruhe, Germany, 2005. P. 102–1–102–12.
3. Сакович Г. В., Ворожцов Б. И., Кудряшова О. Б., Ворожцов А. Б., Павленко А. А., Архипов В. А., Муравлев Е. В., Ахмадеев И. Р., Ишматов А. Н., Титов С. С. Применение ВЭМ для генерации субмикронного аэрозоля // Фундаментальные и прикладные проблемы технической химии. — Новосибирск: Наука, 2011. С. 194–211.
4. Гаенко О. И., Коныхов И. Е., Муравлев Е. В., Кудряшова О. Б., Титов С. С. Распыление дезактивирующих аэрозолей с помощью энергии ВЭМ // Всеросс. конф. «Физика взрыва: теория, эксперимент, приложения»: тезисы докладов. — Новосибирск: Сибирское отделение РАН, Ин-т гидродинамики, 2023. С. 221. doi: 10.53954/9785604990025_221.
5. Захаренко В. С., Хромова С. А. О возможности использования твердого аэрозоля, получаемого сжиганием в воздухе микрочастиц титана, в ликвидации последствий техногенных катастроф // Экологическая химия, 2006. Т. 15. № 4. С. 226–234.
6. Захаренко В. С., Пармон В. Н., Хромова С. А. Химические и оптические свойства диоксида титана, полученного горением в воздухе микрочастиц титана // Оптика атмосферы и океана, 2007. Т. 20. № 6. С. 531–536.
7. Glotov O. G., Zarko V. E. Formation of nanosized products in combustion of metal particles // Energetic nanomaterials: Synthesis, characterization, and application. — Elsevier, 2016. P. 285–321.

*Исследование проводится при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект РНФ № 24-29-00474). Итогом выполнения проекта должен быть вывод о том, возможна ли реализация идеи уничтожения загрязнений воздуха с помощью пиротехнического генератора TiO_2 .

¹Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный технический университет, glotov@kinetics.nsc.ru

²Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук; Новосибирский государственный технический университет, nata.bel@kinetics.nsc.ru

³Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, sorokin@kinetics.nsc.ru

⁴Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, surodin@kinetics.nsc.ru

8. Глотов О. Г., Сурудин Г. С., Бакланов А. М. Горение сферических титановых агломератов в воздухе. III. Движение агломератов и влияние скорости обдува на наноразмерные продукты горения и время сгорания // Физика горения и взрыва, 2019. Т. 55. № 1. С. 49–62.
9. Захаров Р. С., Глотов О. Г. Характеристики горения пиротехнических композиций с порошкообразным титаном // Вестник НГУ. Серия: Физика, 2007. Т. 2. № 3. С. 32–40.
10. Седов Л. И. Механика сплошной среды. — М.: Наука, 1970. Т. 2. 568 с.
11. Карасёв В. В., Онищук А. А., Хромова С. А., Глотов О. Г., Зарко В. Е., Пилюгина Е. А., Тсай Ч. Ц. Образование наночастиц оксида металла при горении частиц титана и алюминия // Физика горения и взрыва, 2006. Т. 42. № 6. С. 33–47.
12. Глотов О. Г., Белоусова Н. С., Сурудин Г. С. Горение крупных монолитных частиц титана в воздухе. I. Экспериментальные методики, времена горения и режимы фрагментации // Физика горения и взрыва, 2021. Т. 57. № 6. С. 20–31. doi: 10.15372/FGV20210603.
13. Глотов О. Г., Белоусова Н. С., Сурудин Г. С. Горение крупных монолитных частиц титана в воздухе. II. Характеристики конденсированных продуктов горения // Физика горения и взрыва, 2022. Т. 58. № 6. С. 51–65. doi: 10.1134/S0010508222060053.
14. Ершов Э. А., Камбалин С. А., Карасев В. В., Пашенко С. Э. Отбор аэрозолей для электронно-зондового анализа вакуумным отборником // Заводская лаборатория, 1992. Т. 58. № 6. С. 31–34.
15. Глотов О. Г., Зырянов В. Я. Конденсированные продукты горения алюминизированных топлив. I. Методика исследования эволюции частиц дисперсной фазы // Физика горения и взрыва, 1995. Т. 31. № 1. С. 74–80.
16. Karasev V. V., Onischuk A. A., Glotov O. G., Baklanov A. M., Maryasov A. G., Zarko V. E., Panfilov V. N., Levykin A. I., Sabelfeld K. K. Formation of charged aggregates of Al_2O_3 nanoparticles by combustion of aluminum droplets in air // Combust. Flame, 2004. Vol. 138. P. 40–54.
17. Gonzalez D., Nasibulin A. G., Baklanov A. M., Shandakov S. D., Brown D. P., Queipo P., Kauppinen E. I. A new thermophoretic precipitator for collection of nanometer-sized aerosol particles // Aerosol Sci. Tech., 2005. Vol. 39. No. 11. P. 1064–1071.
18. Валиулин С. В., Бакланов А. М., Дубцов С. Н., Митроченко В. Г., Моисеенко П. П., Онищук А. А. Диффузионный спектрометр аэрозоля для измерения распределения по размерам и концентрации нано- и субмикронных частиц // Приборы и техника эксперимента, 2019. № 1. С. 145–146.
19. Белоусова Н. С., Глотов О. Г., Сорокин И. В. Горение смесевых топлив с титаном // Прикладная механика и техническая физика, 2023. Т. 64. № 1. С. 22–26. doi: 10.15372/PMTF202215111.
20. Glotov O. G., Belousova N. S., Sorokin I. V., Surodin G. S. Combustion of porous titanium particles in air and in composite propellants // Sci. Technol. Energ. Ma., 2024. Vol. 85. No. 1. P. 1–5. doi: 10.34571/stem.85.1.1.
21. Архипов В. А., Горбенко Т. И., Жуков А. С., Пестерев А. В. Влияние хлорида олова на скорость горения гетерогенных конденсированных систем // Химическая физика и мезоскопия, 2011. Т. 13. № 4. С. 463–469.
22. Кижняев В. Н., Голобокова Т. В., Покатилов Ф. А., Верещагин Л. И., Эстрин Я. И. Синтез энергоёмких триазол- и тетразолсодержащих олигомеров и полимеров (обзор) // Химия гетероциклических соединений, 2017. Т. 53. № 6/7. С. 682–692.
23. Мельница планетарная АГО-2. Разработки. Приборы и аппараты. <http://www.solid.nsc.ru/developments/equipments/ago2/>.
24. Буланов В. Я., Кватер Л. И., Долгаль Т. В., Угольников Т. А., Акименко В. Б. Диагностика металлических порошков. — М.: Наука, 1983. 278 с.
25. Сферические порошки титана и титановых сплавов. ООО Нормин — производство металлических и керамических порошков. <https://normin.ru/products/Spherical-titanium-rus.pdf>.
26. Korotkikh A. G., Glotov O. G., Arkhipov V. A., Zarko V. E., Kiskin A. B. Effect of iron and boron ultrafine powders on combustion of aluminized solid propellants // Combust. Flame, 2017. Vol. 178. P. 195–204.
27. Куценогий К. П. Изучение физико-химических характеристик мощного аэрозольного облака: Дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск: ИХКиГ, 1970. 144 с.
28. Градус Л. Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии. — М.: Химия, 1979. 232 с.
29. Глотов О. Г., Белоусова Н. С. Влияние добавок-модификаторов на характеристики горения модельных смесевых алюминизированных топлив // Хим. физика, 2025. Т. 44. № 1. С. 63–76.
30. Петрянов И. В., Козлов В. И., Басманов П. И., Огородников Б. И. Волокнистые фильтрующие материалы ФП. — М.: Знание, 1968. 68 с.
31. Глотов О. Г. Конденсированные продукты горения алюминизированных топлив. II. Эволюция частиц при удалении от поверхности горения // Физика горения и взрыва, 2000. Т. 36. № 4. С. 161–172.
32. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешности результатов измерений. — Л.: Энергоатомиздат, 1985. 246 с.
33. Тейлор Д. Введение в теорию ошибок / Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. 272 с. (Taylor J. R. An introduction to error analysis. — 2nd ed. — Sausalito: University Science Books, 1982. 253 p.)

34. OriginPro, Version 2020b. Northampton, MA, USA: OriginLab Corp.
35. *Афифи А., Эйзен С.* Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. 488 с. (*Afifi A. A., Azen S. P.* Statistical analysis: A computer-oriented approach. — New York, NY, USA: Academic Press, 1979. 442 p.)
36. *Каченюк М. Н., Гилёв В. Г., Сметкин А. А.* Влияние механоактивации на смеси для синтеза карбосилицида титана // Новые огнеупоры, 2018. № 5. С. 34–38. doi: 10.17073/1683-4518-2018-5-34-38.
37. *Глотов О. Г.* Горение сферических титановых агломератов в воздухе. II. Результаты // Физика горения и взрыва, 2013. Т. 49. № 3. С. 58–71.

Поступила в редакцию 27.08.2024

После доработки 20.01.2025

Принята к публикации 04.02.2025