

## ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ КАПЛИ АЛЮМИНИЯ В СМЕСЯХ КИСЛОРОДА С АРГОНОМ И ГЕЛИЕМ

Г. П. Кузнецов<sup>1</sup>, А. Г. Истратов<sup>2</sup>, В. И. Колесников-Свинарёв<sup>2</sup>, И. Г. Ассовский<sup>3</sup>

**Аннотация:** Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований механизма и закономерностей формирования конденсированных продуктов при горении одиночной свободной капли алюминия в кислородных смесях с инертным разбавителем: аргоном или гелием. Эксперименты проведены с использованием установки с падающей камерой сгорания, которая обеспечивает сферически-симметричные контролируемые условия теплообмена частицы с окружающей средой. В экспериментах определялось количество оксида алюминия, накопленного на поверхности сгоревшей частицы, а также время горения. Получен неожиданный результат: при сгорании в смесях кислорода с гелием накопление оксида на сгоревшей частице отсутствует во всем исследованном интервале давлений окисляющего газа. Представлены оценки влияния инертного разбавителя на коэффициент диффузии кислорода к поверхности капли алюминия. Полученные оценки используются для объяснения экспериментальных результатов.

**Ключевые слова:** алюминий; кислород; аргон; гелий; горение; горение алюминия; горение капли; продукты горения; время горения

**DOI:** 10.30826/CE18110211

### Литература

1. *Малинин В. И., Бульбович Р. В., Бербек А. М.* Перспективы создания двигательных установок космических летательных аппаратов на металлических горючих и взвешенных окислителях // Перспективные материалы и технологии для ракетно-космической техники / Под ред. А. А. Берлина, И. Г. Ассовского. — Космический вызов XXI века сер. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. Т. 3. С. 401–406.
2. *Егоров А. Г.* Организация рабочего процесса в камерах сгорания двигательных и энергетических установок нового поколения // Перспективные материалы и технологии для ракетно-космической техники / Под ред. А. А. Берлина, И. Г. Ассовского. — Космический вызов XXI века сер. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007. Т. 3. С. 412–421.
3. *Кузнецов Г. П., Колесников-Свинарёв В. И., Ассовский И. Г.* Влияние инертного газа разбавителя на горение капли алюминия при пониженной гравитации // Перспективные технологии, материалы и приборы для космических исследований и земных приложений. — М.: ИХФ РАН, 2017. С. 54–57.
4. *Ассовский И. Г., Стрелецкий А. Н., Колесников-Свинарёв В. И., Кузнецов Г. П.* Образование нанокompозитов при горении алюминия в двуокиси углерода // Перспективные материалы и технологии: Нанокompозиты / Под ред. А. А. Берлина, И. Г. Ассовского. — Космический вызов XXI века сер. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2005. Т. 2. С. 69–78.
5. *Кузнецов Г. П., Ассовский И. Г., Колесников-Свинарёв В. И.* Горение алюминия в азоте. Влияние давления на морфологию продуктов // Горение и взрыв, 2009. Вып. 2. С. 55–57.
6. *Assovskiy I. G., Kuznetsov G. P., Kolesnikov-Svinarev V. I.* Gravity effect on product of aluminium combustion // Elgra News. Bulletin of the European Low Gravity Research Association No. 28, September 2013. P. 150.
7. *Кузнецов Г. П., Колесников-Свинарёв В. И., Ассовский И. Г.* О горении алюминия, бора и их композиций в кислородсодержащих средах // Горение и взрыв, 2017. Вып. 2. С. 111–114.
8. *Похил П. Ф., Беляев А. Ф., Фролов Ю. В., Логачев В. С., Коротков А. И.* Горение порошкообразных металлов в активных средах. — М.: Наука, 1972. 149 с.
9. Новый справочник химика и технолога. Электродные процессы. Химическая кинетика и диффузия. Коллоидная химия / Под ред. С. А. Симановой. — СПб.: ММИУ, 2004. 842 с.
10. *Гремячкин В. М., Истратов А. Г., Лейпунский О. И.* Модель горения мелких капель металла // Физика горения и взрыва, 1975. Т. 11. № 3. С. 366–373.

Поступила в редакцию 01.02.18

<sup>1</sup>Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, kuznetsov-47@bk.ru

<sup>2</sup>Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук

<sup>3</sup>Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, assov@chph.ras.ru

# INFLUENCE OF INERT GAS DILUENT ON ALUMINUM DROPLET COMBUSTION IN OXYGEN MIXTURES

G. P. Kuznetsov, A. G. Istratov, V. I. Kolesnikov-Svinarev, and I. G. Assovskiy

N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation

**Abstract:** The paper presents the results of experimental and theoretical studies of condensed products formation during combustion of single free droplets of aluminum in mixtures of oxygen with inert diluent: argon or helium. The experiments were carried out using the installation with the falling combustion chamber, allowing studies of combustion of a single free particle in controlled spherically symmetrical heat and mass exchange of a burning particle with the environment. In the experiments, the amount of oxide accumulated on the surface of the burned particle and the burning time have been determined. An unexpected result has been obtained upon combustion in the mixtures of oxygen with helium: the oxide accumulation was not detected in the investigated range of pressure.

**Keywords:** aluminum droplets; oxygen; argon; helium; combustion; aluminum combustion; combustion products; burning time

**DOI:** 10.30826/CE18110211

## References

1. Malinin, V. I., R. V. Bulbovich, and A. M. Berbek. 2007. An outlook of creating space vehicle engines fed by metallic fuel and extraterrestrial oxidizer. *Novel materials and technologies for space rockets and space development*. Eds. A. Berlin and I. Assovskiy. Space challenges in XXI century ser. Moscow: TORUS PRESS. 3:401–406.
2. Egorov, A. G. 2007. Burning process in combustion chambers of new generation engines and powerplants. *Novel materials and technologies for space rockets and space development*. Eds. A. Berlin and I. Assovskiy. Space challenges in XXI century ser. Moscow: TORUS PRESS. 3:412–421.
3. Kuznetsov, G. P., V. I. Kolesnikov-Svinarev, and I. G. Assovskiy. 2017. Vliyanie inertnogo gaza razbavatelya na gorenie kapli alyuminiya pri ponizhennoy gravitatsii [Influence of an inert gas of a diluent on the combustion of an aluminum drop at a reduced gravity]. *Perspektivnye tekhnologii, materialy i pribory dlya kosmicheskikh issledovaniy i zemnykh prilozheniy* [Perspective technologies, materials, and instruments for space research and Earth applications]. Moscow: IChPh RAS. P. 54–57.
4. Assovskiy, I. G., A. N. Streletskiy, V. I. Kolesnikov-Svinarev, and G. P. Kuznetsov. 2005. Nanocomposites synthesis in aluminum combustion in carbon dioxide. *Novel materials and technologies: Nanocomposites*. Eds. A. Berlin and I. Assovskiy. Space challenges in XXI century ser. Moscow: TORUS PRESS. 2:69–78.
5. Kuznetsov, G. P., I. G. Assovskiy, and V. I. Kolesnikov-Svinarev. 2009. Gorenje alyuminiya v azote. Vliyanie davleniya na morfologiyu produktov [Burning of aluminum in nitrogen. Influence of pressure on the morphology of products]. *Goren. Vzryv (Mosk.) — Combustion and Explosion* 2:55–57.
6. Assovskiy, I. G., G. P. Kuznetsov, and V. I. Kolesnikov-Svinarev. September 2013. Gravity effect on product of aluminium combustion. *Elgra News. Bulletin of the European Low Gravity Research Association*. 28:150.
7. Kuznetsov, G. P., V. I. Kolesnikov-Svinarev, and I. G. Assovskiy. 2017. O gorenii alyuminiya, bora i ikh kompozitsiy v kislorodsoderzhashchikh sredakh [On combustion of aluminum, boron, and their compositions in oxygen-containing environments]. *Goren. Vzryv (Mosk.) — Combustion and Explosion* 10(2):111–114.
8. Pokhil, P. F., A. F. Belyaev, Yu. V. Frolov, V. S. Logachev, and A. I. Korotkov. 1972. *Gorenje poroshkoobraznykh metallov v aktivnykh sredakh* [Combustion of powdered metals in active media]. Moscow: Nauka. 149 p.
9. Simanova, S. A., ed. 2004. *Novyy spravochnik khimika i tekhnologa. Elektrodnye protsessy. Khimicheskaya kinetika i diffuziya. Kolloidnaya khimiya* [A new handbook of chemist and technologist. Electrode processes. Chemical kinetics and diffusion. Colloid chemistry]. SPb.: MMIV. 842 p.
10. Gremyachkin, V. M., A. G. Istratov, and O. I. Leipunskii. 1975. Model for the combustion of metal droplets. *Combust. Expl. Shock Waves* 11(3):313–318.

Received February 1, 2018

## Contributors

**Kuznetsov Gennadiy P.** (b. 1947) — Candidate of Science in physics and mathematics, senior research scientist, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation; kuznetsov-47@bk.ru

**Istratov Anatoliy G.** (1935–2014) — Candidate of Science in physics and mathematics, senior research scientist, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation

**Kolesnikov-Svinarev Vladimir I.** (b. 1923) — Candidate of Science in physics and mathematics, senior research scientist, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation

**Assovskiy Igor G.** (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, head of laboratory; N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation; professor, National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 31 Kashirskoe Sh., Moscow 115409, Russian Federation; assov@chph.ras.ru