

# ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , $\text{FeSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ И $\text{CuSO}_4$ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ ГОРЕНИЯ ПОРОШКА МАГНИЯ НА ВОЗДУХЕ\*

В. Г. Крупкин<sup>1</sup>, Г. Н. Мохин<sup>2</sup>

**Аннотация:** Проведено исследование особенностей горения на воздухе цилиндрических образцов из порошка магния насыпной плотности с различными добавками — безводной сернокислой медью, оксидом железа и кристаллогидратами  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Показано, что введение в состав порошка магния добавки в количестве более 2%(вес.) приводит к режиму горения образца при характерной температуре  $\sim 1100^\circ\text{C}$ . Степень превращения магния в остатке после сгорания в этом режиме близка к 100%. Конкретный состав добавки и ее количество существенно не влияют на характер временной зависимости температуры образца при его горении. Остаток после сгорания образцов в воздухе состоит из смеси оксида и нитрида магния. Соотношение между массой исходного образца и массой остатка после его сгорания позволяет оценить состав остатка. Полученные результаты объясняются появлением в зоне прогрева при распространении пламени по образцу горячих очагов, вызванных реакцией добавки с магнием, дополнительным разогревом этими очагами образца и выходом режима горения на плато с температурой  $\sim 1100^\circ\text{C}$ , соответствующей температуре кипения магния в частицах исходного порошка. Испарение магния в этом режиме стабилизирует процесс его горения.

**Ключевые слова:** горение металлов; порошок магния; кристаллогидраты; безводный сульфат меди

**DOI:** 10.30826/CE20130410

## Литература

1. Шмелев В. М., Крупкин В. Г. Термоэлектрические преобразователи энергии в устройствах закрытого типа // Горение и взрыв, 2019. Т. 12. №4. С. 127–137. doi: 10.30826/CE19120414.
2. Шмелев В. М., Крупкин В. Г., Николаев В. М., Финяков С. В. Предельные условия горения порошка магния в азот-кислородной смеси // Горение и взрыв, 2019. Т. 12. №2. С. 85–91. doi: 10.30826/CE19120211.
3. Крупкин В. Г., Шмелев В. М., Николаев В. М., Финяков С. В. Кислородный индекс порошка магния. // Хим. физика, 2019. Т. 38. №8. С. 24–30. doi: 10.1134/S0207401X19080077.
4. Николаев В. М., Шмелев В. М. Заряды на основе порошков металла для термоэлектрического генератора закрытого типа // Горение и взрыв, 2020. Т. 13. №1. С. 105–113. doi: 10.30826/CE20130110.
5. Gromov A. A., Pautova Y. I., Lider A. M., Korotkikh A. G., Teipel U., Chaplina E. V., Sigfusson T. I. Interaction of powdery Al, Zr and Ti with atmospheric nitrogen and subsequent nitride formation under the metal powder combustion in air // Powder Technology, 2011. Vol. 214. P. 229–236. doi: 10.1016/j.powtec.2011.08.014.
6. Крупкин В. Г., Шмелев В. М. Горение порошка магния с добавками оксида железа на воздухе // Хим. физика, 2020. Т. 39. №12. С. 53–59. doi: 10.31857/S0207401X20120079.
7. Деревяга М. Е., Стесик Л. Н., Федорин Э. А. Режимы горения магния // Физика горения и взрыва, 1978. Т. 14. №5. С. 3–10.
8. Dreizin E. L., Berman C. H., Vicenzi E. P. Condensed-phase modifications in magnesium particle combustion in air // Combust. Flame, 2000. Vol. 122. P. 30–42.
9. Feng Y.-Ch., Xia Zh.-X., Huang L.-Y., Ma L.-K., Yang D.-L. Экспериментальное исследование характеристик воспламенения и горения одиночных частиц магния в воздухе // Физика горения и взрыва, 2019. Т. 55. №2. С. 97–107. doi: 10.15372/FGV20190210.
10. Bickley R. I., Gregg S. J. Nitridation of magnesium in the temperature range  $400\text{--}650^\circ$  // J. Chem. Soc. A, 1966. P. 1849–1854. doi: 10.1039/j19660001849.
11. Chunmiaoa Y., Lifua Y., Chang L., Gang L., Shengjuna Z. Thermal analysis of magnesium reactions with nitrogen/oxygen gas mixtures // J. Hazard. Mater., 2013. Vol. 260. P. 707–714.

Поступила в редакцию 14.11.2020

\* Работа выполнена в 2019 г. за счет субсидии, выделенной ФИЦ ХФ РАН на выполнение Государственного задания по теме 44.8 «Фундаментальные исследования процессов превращения энергоёмких материалов и разработка научных основ управления этими процессами» (Номер государственной регистрации АААА-А21-121011990037-8).

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, krupkin49@mail.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, mokhin@gmail.com