

УДК 629.7.036.22

Обоснование рационального химического состава порошкообразного металлического горючего для среднего двигателя, функционирующего в углеродсодержащей окислительной среде

Валиуллин Динар Альбертович^(*)
Святушенко Виктория Валерьевна

dinar242002@gmail.com
svyatushenko@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведен анализ возможностей применения порошкообразных металлических горючих в средних прямоточных реактивных двигателях, работающих в условиях атмосфер планет с избытком диоксида углерода: Марса и Венеры. Рассмотрена потенциальная возможность взаимодействия металла с атмосферным окислителем. Показано, что наиболее предпочтительными характеристиками обладает магний.

Ключевые слова: реактивный двигатель, прямоточный, диоксид углерода, атмосфера, порошкообразное горючее, магний

Введение. Развитие прямоточных реактивных двигателей, использующих нестандартные окислительные среды, представляет собой одно из перспективных направлений современной ракетно-космической техники. Особый интерес вызывает возможность применения средних прямоточных реактивных двигателей (СПРД) для исследования поверхностей планет, атмосфера которых содержит избыток диоксида углерода: Марса и Венеры [1, 2]. В таких условиях применение традиционных углеводородных топлив не представляется возможным. Поэтому в качестве перспективных горючих рассматриваются порошкообразные металлические горючие (ПМГ) [3].

Методы и материалы; результаты. Целью работы является анализ экспериментальных и теоретических данных, посвященных рассмотрению вопросов горения порошкообразных металлов в углеродсодержащих средах, исследованию термохимических характеристик и кинетики взаимодействия частиц ПМГ, а также данные о воспламенении и теплотворной способности горючих в бескислородных смесях [4–7].

Анализ показал, что процессы горения магния в среде диоксида углерода подробно изучены и характеризуются высокой скоростью протекания и значительным тепловыделением даже при ограниченном содержании окислителя. Отмечено, что зажигание порошка магния возможно при концентрациях CO_2 свыше 10 % с выраженным сокращением времени индукционного периода при росте давления.

Рассмотрение алюминия показало, что процесс взаимодействия с CO_2 сопровождается образованием плотной оксидной пленки Al_2O_3 , резко снижающей скорость горения, что ограничивает полноту сгорания и снижает эффек-

тивность тепловыделения. Аналогичные ограничения характерны для порошков бора, обладающих крайне высокой теоретической теплотой сгорания, но склонных к образованию тугоплавких оксидных слоев B_2O_3 , препятствующих доступу окислителя. Литий проявляет высокую химическую активность, однако его взаимодействие с углекислым газом сопровождается поглощением тепла, вследствие чего эффективность процесса оказывается ниже ожидаемой.

Заключение. Сопоставление приведенных данных позволяет выделить магний как наиболее рациональное ПМГ для применения в СПРД, использующих диоксид углерода в качестве окислителя. Он сочетает умеренную температуру воспламенения, высокую плотность энергии реакции, простоту технологического обращения и доступность сырья.

Список источников

- [1] Miller T.F., Paul M.V., Oleson S.R. Combustion-based power source for Venus surface missions. *Acta Astronautica*, 2016, no. 127, pp. 197–208.
<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.65.006>
- [2] Mengzhe L. et al. Application and performance estimation of Mg/CO₂ engine on Mars. *Acta Astronautica*, 2021, vol. 192. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2021.12.032>
- [3] Goroshin S., Higgins A., Lee J. Powdered magnesium-carbon dioxide propulsion concepts for Mars missions. *35th Joint Propulsion Conference and Exhibit*, 1999, art. no. 2408, <https://doi.org/10.2514/6.1999-2408>
- [4] Xu W. et al. Effect of mixing section configurations on combustion efficiency of Mg-CO₂ Martian ramjet. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2023, vol. 36, no. 4, pp. 165–173, <https://doi.org/10.1016/j.cja.2022.12.002>
- [5] Yuasa S., Isoda H. Ignition and combustion of metals in a carbon dioxide stream. *Symposium (International) on Combustion*, 1989, vol. 22, no. 1, pp. 1635–1641.
[https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(89\)80175-4](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(89)80175-4)
- [6] Rossi S., Dreizin E.L., Law C.K. Combustion of aluminum particles in carbon dioxide. *Combustion science and technology*, 2001, vol. 164, no. 1, pp. 209–237.
<https://doi.org/10.1080/00102200108952170>
- [7] Демидов С.С., Малинин В.И., Бульбович Р.В. Ракетный двигатель на порошкообразном алюминиевом горючем и углекислом газе в качестве окислителя. *Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника*, 2014, № 36, с. 1–12.