

ГОРЕНИЕ ЗАРЯДОВ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ИСКРИВЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ*

С. А. Рашковский¹

Аннотация: Рассмотрено горение гомогенных конденсированных энергетических материалов (КЭМ) с искривленной поверхностью горения. Получены и решены дифференциальные уравнения, описывающие форму поверхности горения с учетом зависимости скорости горения от кривизны поверхности горения для плоских и цилиндрических образцов. Для плоского образца решение получено в аналитическом виде. Показано, что существует критическая кривизна поверхности горения, выше которой стационарное горение становится невозможным, и происходит погасание. Полученные результаты показывают, что зависимость скорости горения от кривизны поверхности горения должна учитываться при определении скорости горения в бомбе постоянного давления. По этой причине при пересчете скорости горения испытуемого образца и ее зависимости от давления на горение заряда с плоской поверхностью должен учитываться эффект кривизны поверхности горения.

Ключевые слова: конденсированные энергетические материалы; скорость горения; кривизна поверхности горения; критический диаметр

Литература

1. Гусаченко Л. К., Зарко В. Е., Зырянов В. Я., Бобрышев В. П. Моделирование процессов горения твердых топлив. — Новосибирск: Наука, 1985. 181 с.
2. Мержанов А. Г., Хайкин Б. И. Теория волн горения в гомогенных средах. — Черногоровка: ИСМАН, 1992. 161 с.
3. Вишневский И. Я., Денисюк А. П., Фогельзанг А. Е. Критические условия горения баллиститных порохов // Физика горения и взрыва, 1979. Т. 15. № 1. С. 12–18.
4. Маршаков В. Н., Истратов А. Г., Пучков В. М. Неодномерный фронт горения составов на основе нитроклетчатки и нитроглицерина // Физика горения и взрыва, 2003. № 4. С. 100–106.
5. Маршаков В. Н., Истратов А. Г. Критический диаметр и поперечные волны при горении порохов // Физика горения и взрыва, 2007. № 2. Т. 43. С. 72–78.
6. Маршаков В. Н., Колесников-Свинарев В. И., Финяков С. В. О критическом диаметре и очаговом горении баллиститного пороха // Хим. физика, 2009. Т. 28. № 2. С. 30–36.
7. Маршаков В. Н., Мелик-Гайказов Г. В. Очагово-ячеистая структура волны горения перхлората аммония // Хим. физика, 2009. Т. 28. № 12. С. 45–51.
8. Нестационарное распространение пламени / Под ред. Дж. Г. Маркштейна; пер с англ. — М.: Мир, 1968. 437 с. (Nonsteady flame propagation / Ed. G. H. Markstein. — Oxford: Pergamon Press, 1964. 328 p.)
9. Рашковский С. А. Влияние кривизны поверхности горения конденсированных энергетических материалов на их скорость горения // Физика горения и взрыва, 2011. Т. 47. № 6. С. 80–90.
10. Rashkovskiy S. A., Milyokhin Y. M., Fedorychev A. V. Combustion of solid propellants with energetic binders // Chemical rocket propulsion. — Springer International Publishing, 2017. P. 383–401. doi: 10.1007/978-3-319-27748-6_16.

Поступила в редакцию 12.01.18

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант РФФИ № 18-08-01454).

¹ Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Российской академии наук; Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, rash@ipmnet.ru

COMBUSTION OF GRAINS OF CONDENSED ENERGETIC MATERIALS WITH A CURVED BURNING SURFACE

S. A. Rashkovskiy^{1,2}

¹Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences, 101-1 Vernadskogo Prosp., Moscow 119526, Russian Federation

²N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation

Abstract: Combustion of homogeneous condensed energetic materials with a curved burning surface is considered. Differential equations describing the shapes of the burning surface are derived and solved, taking into account the dependence of the burning rate on the curvature of the burning surface for planar and cylindrical grains. For a planar grain, the solution is obtained in an analytical form. It is shown that there is a critical curvature of the burning surface above which the stationary combustion becomes impossible and extinction occurs. The results show that the dependence of the burning rate on the curvature of the burning surface should be taken into account when determining the burning rate in a constant-pressure bomb. For this reason, when recalculating the burning rate of a test sample and its pressure dependence on the combustion of the grain with a planar burning surface, the effect of the curvature of the burning surface must be taken into account.

Keywords: condensed energetic materials; burning rate; curvature of the burning surface; critical diameter

Acknowledgments

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR grant No. 18-08-01454).

References

1. Gusachenko, L. K., V. E. Zarko, V. Ya. Zyryanov, and V. P. Bobryshev. 1985. *Modelirovanie protsessov goreniya tverdykh topliv* [Modeling of combustion of solid propellants]. Novosibirsk: Nauka. 181 p.
2. Merzhanov, A. G., and B. I. Khaikin. 1992. *Teoriya voln goreniya v gomogennykh sredakh* [Theory of combustion waves in homogeneous media]. Chernogolovka: Institute of Structural Macrokinetics. 161 p.
3. Vishnivetskii, I. Ya., A. P. Denisjuk, and A. E. Fogel'zang. 1979. Critical conditions of ballistic powder combustion. *Combust. Explo. Shock Waves* 15(1):8–13.
4. Marshakov, V. N., A. G. Istratov, and V. M. Puchkov. 2003. Combustion-front non-one-dimensionality in single and double-base propellants. *Combust. Explo. Shock Waves* 39(4):452–457.
5. Marshakov, V. N., and A. G. Istratov. 2007. Critical diameter and transverse waves of powder combustion. *Combust. Explo. Shock Waves* 43(2):188–193.
6. Marshakov, V. N., V. I. Kolesnikov-Svinarev, and S. V. Finyakov. 2009. On the critical diameter and hotspot combustion of a double-base propellant. *Russ. J. Phys. Chem. B* 31(1):85–90.
7. Marshakov, V. N., and G. V. Melik-Gaikazov. 2009. Cellular hotspot-type structure of the combustion wave of perchlorate ammonium. *Russ. J. Phys. Chem. B* 3(6):957–962.
8. Markstein, G. H., ed. 1964. *Nonsteady flame propagation*. Oxford: Pergamon Press. 328 p.
9. Rashkovskii, S. A. 2011. Effect of the curvature of the burning surface of condensed energetic materials on the burning rate. *Combust. Explo. Shock Waves* 47(6):687–696.
10. Rashkovskiy, S. A., Y. M. Milyokhin, and A. V. Fedorychev. 2017. Combustion of solid propellants with energetic binders. *Chemical rocket propulsion*. Springer International Publishing. 383-401 doi: 10.1007/978-3-319-27748-6_16.

Received January 12, 2018

Contributor

Rashkovskiy Sergey A. (b. 1957) — Doctor of Science in physics and mathematics, leading research scientist, Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences, 101-1 Vernadskogo Prosp., Moscow 119526, Russian Federation; leading research scientist, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, 4 Kosygin Str., Moscow 119991, Russian Federation; rash@ipmnet.ru