

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ ОКТОГЕНА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ*

Е. К. Косарева¹, К. А. Моногаров², И. В. Кучуров³, М. Н. Жарков⁴, Р. В. Гайнутдинов⁵, С. Г. Злотин⁶, А. Н. Пивкина⁷, Н. В. Муравьев⁸

Аннотация: Работа посвящена изучению физико-химических свойств поверхности покрытых полимерами частиц октогена с целью понимания наблюдаемого изменения макроскопических свойств (снижения чувствительности к механическим воздействиям и улучшения сыпучести). Методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) проведено сравнительное исследование топографии, распределения сил адгезии и электрического потенциала образцов, модифицированных полиметилакрилатом (ПМА), этилцеллюлозой (ЭЦ) и перфторполимером (ПФП). Установлено, что при покрытии частиц октогена полимерами в количестве 1–3 % (масс.) шероховатость поверхности возрастает, что противоречит ожидаемому образованию сплошного слоя полимера на поверхности частиц. Глобулы, вероятно, локализируются на дефектах поверхности, снижая механическую чувствительность октогена. Измерение сил адгезии показало, что при увеличении содержания полимера сила адгезии также возрастает, поскольку увеличивается количество локализованных на поверхности глобул. Электрический потенциал на поверхности частиц, покрытых ЭЦ и ПМА, существенно снижается при повышении содержания полимера, а для частиц, покрытых ПФП, напротив, возрастает. Найденные различия, вероятно, являются причиной значительного повышения сыпучести порошков частиц октогена, покрытых полимерами ЭЦ и ПМА. Кроме того, для частиц октогена, покрытых ПМА и ЭЦ, обнаружено существенное снижение чувствительности к удару и трению.

Ключевые слова: атомно-силовая микроскопия (АСМ); сканирующая зондовая микроскопия; октоген; полимерное покрытие; сыпучесть; чувствительность к механическим воздействиям

DOI: 10.30826/CE20130113

Литература

1. *Kubota N.* Propellants and explosives: Thermochemical aspects of combustion. — Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007. 518 p.
2. *Орлова Е. Ю., Орлова Н. А., Жилин В. Ф.* Октоген — термостойкое взрывчатое вещество. — М.: Недра, 1975. 128 с.
3. STANAG 4489. Explosives, impact sensitivity tests. — Brussels: NATO, 1999. 26 p.
4. STANAG 4487. Explosives, friction sensitivity tests. — Brussels: NATO, 2002.
5. *Klapotke, T. M.* Chemistry of high-energy materials. — Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG., 2012. 257 p.
6. *An Ch., Wang J., Xu W.* Preparation and properties of HMX coated with a composite of TNT/Energetic material // Propell. Explos. Pyrot., 2010. Vol. 35. P. 365–372. doi: 10.1002/prep.200900060.
7. *Сироткин Л. Б., Куценко Г. В., Охрименко Э. Ф.* Способ модификации поверхности октогена полиакрилатом. Патент России № 2429215 С1, 2011.
8. *Стряпунина Т. А., Трахтенберг С. И., Сироткин Л. Б.* Способ модификации октогена. Патент России № 2451650 С1, 2012.

*Работы по исследованию поверхности частиц проводились в рамках Госзадания 0082-2018-0002, АААА-А18-118031490034-6 (ИХФ РАН); работы по нанесению полимерных пленок на поверхность частиц выполнялись при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-29-06023).

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет); Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, catherine.kos@yandex.ru

²Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, kostyk3d@mail.ru

³Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук, kuchurov@mail.ru

⁴Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук, m.n.zharkov@gmail.com

⁵Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, rgaaynutdinov@gmail.com

⁶Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук, mzlotin@ioc.ac.ru

⁷Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, alla-pivkina@mail.ru

⁸Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, muravyev.nikita@ya.ru

9. Ma Zh., Gao B., Wu P. Facile, continuous and large-scale production of coreshell HMX/TATB composites with superior mechanical properties by a spray-drying process // RSC Adv., 2015. Vol. 5. P. 21042–21049. doi: 10.1039/c4ra16527f.
10. Shi X., Wang J., Li X. Preparation and properties of HMX/nitrocellulose nanocomposites // J. Propul. Power, 2015. Vol. 31. No. 2. P. 757. doi: 10.2514/1.B35491.
11. Wang J., Ye B., An Ch. Preparation and properties of surface-coated HMX with viton and graphene oxide // J. Energ. Mater., 2016. Vol. 34. No. 3. P. 235–245. doi: 10.1080/07370652.2015.1053016.
12. Ji W., Li X., Wang J. Preparation and characterization of the solid spherical HMX/F2602 by the suspension spray-drying method // J. Energ. Mater., 2016. Vol. 34. No. 4. P. 357–367. doi: 10.1080/07370652.2015.1095813.
13. Ye B. Y., An W., Wang Y. Formation and properties of HMX-based microspheres via spray drying // RSC Adv., 2017. Vol. 7. No. 56. P. 35411–35416. doi: 10.1039/c7ra02737k.
14. Jia X., Hou C., Tan Y. Fabrication and characterization of PMMA/HMX-based microcapsules via *in situ* polymerization // Cent. Eur. J. Energ. Mat., 2017. Vol. 14. No. 3. P. 559–572. doi: 10.22211/cejem/70455
15. Chen T., Jiang W., Du P. Facile preparation of 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocane/glycidylazide polymer energetic nanocomposites with enhanced thermolysis activity and low impact sensitivity // RSC Adv., 2017. Vol. 7. P. 5957–5965. doi: 10.1039/c6ra27780b.
16. Ощепкова И. Ф., Трахтенберг С. И., Хименко Л. Л. 2013. Способ модификации октогена. Патент России № 2471757 С1, 2013.
17. Nandi A. K., Ghosh M., Sutar V. B. Surface coating of cyclotetramethylenetetranitramine (HMX) crystals with the insensitive high explosive 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene (TATB) // Cent. Eur. J. Energ. Mat., 2012. Vol. 9. No. 2. P. 119–130.
18. ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару. — М.: Изд-во стандартов, 1988. 15 с.
19. Jiba Z., Focke W. W., Kalombo L., Madito M. J. Coating processes towards selective laser sintering of energetic material composites // Defence Technology, 2019. Vol. 16. No. 2. P. 316–324. doi: 10.1016/j.dt.2019.05.013.
20. Кучуров И. В., Жарков М. Н., Добрынин О. С. Флегматизация энергетических материалов полимерными пленками в сверхкритических условиях // Боеприпасы, 2018. Т. 1. С. 18–24.
21. Dobrynin O. S., Zharkov M. N., Kuchurov I. V., Muravyev N. V., Meerov D. B., Kosareva E. K., Pivkina A. N., Zlotin S. G. Phlegmatization of energetic materials with polymer films in supercritical conditions // 20th Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials Proceedings. — Pardubice, 2019. P. 269–276.
22. АСМ спектроскопия. <https://www.ntmtd-si.ru/resources/spm-principles/afm-spectroscopies>.
23. ГОСТ 25139-39. Пластмассы. Метод определения сыпучести. — М.: Изд-во стандартов, 1994. 8 с.
24. ГОСТ 20899-9. Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла). — Минск: Изд-во стандартов, 2001. 10 с.

Поступила в редакцию 04.12.2019