

## СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

УДК 662.215

## О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ФУРАЗАНО-1,2,3,4-ТЕТРАЗИН-1,3-ДИОКСИДА К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В. А. Теселкин

Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН, 119991 Москва, vat@polymer.chph.ras.ru

Приведены результаты исследования механической чувствительности фуразано-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксида. Измерено критическое давление инициирования взрыва, и проанализирована чувствительность этого вещества в сравнении с инициирующими и вторичными ВВ.

Ключевые слова: чувствительность, критическое давление инициирования взрыва, фуразано-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксид.

Для повышения эксплуатационных характеристик взрывчатых веществ (ВВ) и ракетных топлив в последние годы рассматривается возможность использования высокоэнтальпийных полиазотистых соединений, и в частности фуразано-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксида (ФТДО). Плотность этого вещества  $1.85 \text{ г/см}^3$  [1]; расчетное значение энтальпии его образования согласно [2] составляет  $1010 \pm 26 \text{ ккал/кг}$ , что практически совпадает со значением  $995 \text{ ккал/кг}$ , использованным в работе [1]. ФТДО представляет интерес не только как высокоэнергетическая добавка для увеличения удельного импульса ракетных топлив, но и как компонент энергоемких пластификаторов топливных составов [3].

Для организации безопасной работы с ФТДО необходимо знать его чувствительность к механическим воздействиям. Однако в литературе такие сведения отсутствуют, а информация о взрывчатых характеристиках ограничивается лишь констатацией факта высокой чувствительности вещества.

В настоящем сообщении представлены результаты экспериментального исследования процессов инициирования ФТДО при механических воздействиях, проведено сравнение критических параметров инициирования взрыва с таковыми для распространенных твердых ВВ.

В опытах использовался ФТДО, синтезированный в ИОХ им. Н. Д. Зелинского РАН

[4]. Эксперименты показали, что вещество исключительно чувствительно к удару. Так, при ударе по прессованному заряду ФТДО (высота заряда  $0.17 \text{ мм}$ , относительная плотность  $95 \%$ ) на копре К-44-II (масса груза  $10 \text{ кг}$ , высота сбрасывания  $25 \text{ см}$ ) в зоне удара зафиксирована детонация вещества. При осмотре роликов после опыта обнаружены их деформация и частичное разрушение, появление трещин на торцевых и боковых поверхностях пуансонов. Была также разрушена обмотка тензодатчика, с помощью которого измерялось давление в заряде во время удара (опыты проводились с использованием метода критических напряжений [5]).

Ввиду высокой чувствительности вещества, дальнейшие эксперименты были продолжены с использованием метода разрушающейся оболочки [6]. Этот метод был разработан специально для исследования процессов возбуждения взрыва инициирующих и высокочувствительных ВВ. Метод заключается в определении критического давления возбуждения взрыва ( $p_{cr}$ ) ВВ как граничного давления, выше которого все разрушения при статическом нагружении системы образец + оболочка сопровождаются взрывом. Разрушение образца при этом происходит вследствие разрушения оболочки.

Измеренное методом разрушающейся оболочки критическое давление инициирования

Критические давления инициирования взрыва ВВ (метод разрушающейся оболочки)

ВВ	$p_{cr}$ , ГПа
Октоген	$1.00 \pm 0.03$ [6]
Тэн	$0.93 \pm 0.03$ [6]
БТНЭН*	$0.79 \pm 0.02$ [7]
Азид свинца	$0.38 \pm 0.03$ [6]
ФТДО	$0.37 \pm 0.02$
Гремучая ртуть	$0.20 \pm 0.01$ [6]

\*БТНЭН — бис(2,2,2,-тринитроэтил)нитрамин.



Фотография разрушенной части пуансона после взрыва навески ФТДО (масса навески 20 мг, диаметр пуансона 5 мм)

взрыва ФТДО составило  $0.37 \pm 0.02$  ГПа. Это давление совпадает с таковым для азид свинца (см. таблицу), что свидетельствует о высокой чувствительности ФТДО. Для сравнения в таблице приведены полученные ранее данные [6, 7] по инициированию некоторых вторичных и инициирующих ВВ.

В некоторых случаях взрывчатое разложение ФТДО происходило в режиме детонации, как и при ударе, и сопровождалось разрушением периферийных частей пуансонов, примыкающих к заряду. На приведенной фотографии показан пуансон, торцевая часть которо-

го разрушена при взрыве, что свидетельствует об ускоренном характере развития взрывчатого превращения из очага взрыва и указывает на высокую детонационную способность вещества.

Таким образом, в результате проведенных исследований впервые измерено критическое давление инициирования взрыва ФТДО. С точки зрения возбуждения взрыва это вещество имеет существенно более высокую чувствительность по сравнению с известными вторичными ВВ и находится на уровне таких инициирующих ВВ, как азид свинца, что необходимо учитывать при производстве ФТДО и практическом обращении с ним. Следует иметь в виду, что критическое давление возбуждения взрыва является одной из характеристик чувствительности ВВ. Считается, что чем оно ниже, тем выше чувствительность вещества к механическим воздействиям. Оценка чувствительности только по критическому давлению возбуждения взрыва является неполной. Для полной оценки чувствительности [5] необходимо знание критических условий как возбуждения взрыва, так и его распространения в режиме нормальной детонации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лемперт Д. Б., Нечипоренко Г. Н., Согласнова С. И. Зависимость удельного импульса композиций ракетных топлив, содержащих окислители на базе атомов С, N и O, от энтальпии образования и элементарного состава окислителя // Хим. физика. — 2004. — Т. 23, № 5. — С. 75–81.
2. Киселев В. Г., Грицан Н. П., Зарко В. Е., Калмыков П. И., Шандаков В. А. Расчет энтальпии образования [1,2,5]оксадиазоло[3,4-е][1,2,3,4]-тетразин-4,6-ди-N-диоксида с использованием современных многоуровневых квантово-химических методик // Физика горения и взрыва. — 2007. — Т. 43, № 5. — С. 77–81.
3. Калмыков П. И., Бурцев Ю. А., Кузнецова Н. П., Константинов В. В. Исследование фазового состояния и особенностей формирования структуры эвтектических сплавов на основе ДФ-2 // Материалы III всерос. конф. «Энергетические конденсированные системы», Черноголовка. — М.: Янус-К, 2004. — С. 64–66.
4. Churakov A. M., Joffe S. L., Tartakovskii V. A. Synthesis of [1,2,5]oxadiazolo[3,4-e][1,2,3,4] tetrazine 4,6-di-N-oxide // Mend. Comm. — 1995. — N 6. — P. 227–228.
5. Афанасьев Г. Т., Боболев В. К. Иницирование твердых ВВ ударом. — М.: Наука, 1968.

6. **Щетинин В. Г.** Оценка механической чувствительности твердых взрывчатых веществ по методу разрушающейся оболочки // Физика горения и взрыва. — 1999. — Т. 35, № 5. — С. 116–121.
7. **Щетинин В. Г., Теселкин В. А., Жигач А. Н. и др.** Влияние структуры и физико-химических свойств поверхности алюминиевых частиц на чувствительность взрывчатых композиций // Тр. междунар. конф. «III Харитоновские тематические научные чтения». — Саров: ВНИИЭФ, 2002. — С. 34–38.

*Поступила в редакцию 9/VII 2009 г.*

---