

КРИТЕРИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПО ДАННЫМ МАЛОУГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ В ЗОНЕ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ДЕТОНАЦИИ

Б. П. Толочко¹, А. П. Чернышев¹, К. А. Тен², И. А. Рубцов²

¹Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт гидродинамики имени М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, Россия

По данным малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР) системы наночастицы (НЧ) – взрывчатое вещество (ВВ) на начальных стадиях прохождения детонационной волны можно восстановить уравнение состояния (УС) ВВ. Сформулированы критерии получения УС ВВ из данных МУРР. Критерии основаны на использовании контраста МУРР между электронными плотностями продуктов детонации и наночастиц в приближении Гинье для определения интенсивности МУРР:

$$I(q) = I_e N V^2 (\Delta\rho)^2 \exp\left(-\frac{q^2 R_g^2}{2}\right), \quad (1)$$

где N – количество наночастиц, V – средний объем наночастицы, $\Delta\rho = \rho - \rho_0$ – контраст рентгеновских лучей, который пропорционален разнице в электронной плотности между частицей (ρ) и ее ближайшим окружением (ρ_0), а R_g – радиус инерции, I_e – интенсивность рассеяния по Томсону. В соответствии с уравнением, экспоненциальный множитель, зависящий от q , определяется исключительно размером и формой частиц (через радиус инерции, R_g), в то время как масштабирование, обусловленное прохождением детонационной волны, связано с одним из трех факторов: N , V и $\Delta\rho$.

Система октоген-алюминий достаточно хорошо изучена [1, 2]. Показано, что скорость детонации во всех случаях при добавлении наноалюминия снижается.

Закон сохранения массы запишем в виде [3]:

$$\delta = \frac{D}{(D-u)k}, \quad (2)$$

здесь $\delta = \rho/\rho_0$, ρ и ρ_0 – текущая плотность и плотность вещества при нормальных условиях соответственно; $k = \rho_0/\rho_{00}$, здесь ρ_{00} – максимальная плотность вещества при нормальных условиях; D – скорость детонационной волны. В работе [4] подгонкой по методу наименьших квадратов к экспериментальным данным было получено соотношение

$$D = 5,281(14) + 1,306(17)u_s. \quad (3)$$

Решение системы уравнений (2)–(3) позволяет рассчитать D и u_s . Затем, воспользовавшись уравнением Гюгонио

$$E_\Gamma - E_0 = (p_\Gamma + p_0) \frac{k\delta - 1}{2\rho_0\delta} \quad (4)$$

и законом сохранения импульса

$$p_\Gamma = p_0 + \rho_0 D u \frac{1}{k} \quad (5)$$

можно найти давление и энергию на фронте ударной волны. Здесь p – давление, E – удельная внутренняя энергия.

Осталось связать контраст и степени сжатия октогена и алюминия δ_1 и δ_2 на фронте ударной волны:

$$\rho_2 - \rho_1 = \delta_2 \rho_{20} - \delta_1 \rho_{10}. \quad (6)$$

Для этого можно воспользоваться уравнениями состояния октогена и алюминия, например в форме JWL. Имея два калорических уравнения состояния $p_{1\Gamma} = p_{1\Gamma}(\delta_1, E_1)$ и $p_{2\Gamma} = p_{2\Gamma}(\delta_2, E_2)$ для октогена и алюминия соответственно, и используя соотношение (6) можно рассчитать $p_{1\Gamma}$, p_2 и ρ_1 .

Литература

1. **Гоголя, М. Ф.** Взрывные характеристики алюминизированных нанокompозитов на основе октогена [Текст] / М. Ф. Гоголя, М. Н. Махов, М. А. Бражников и др. // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44, № 2. – С. 85–100.
 2. **Жигач, А. Н.** Нанокompозиты алюминий/октоген: синтез, микроструктура и горение [Текст] / А. Н. Жигач, И. О. Лейпунский, А. Н. Пивкина и др. // Физика горения и взрыва. – 2015. – Т. 51, № 1. – С. 117–124.
 3. **Гордеев, Д. Г.** Полуэмпирическое состояние металлов. Уравнение состояния алюминия [Текст] / Д. Г. Гордеев, Л. Ф. Гударенко, М. В. Жерноклетов и др. // Физика горения и взрыва. – 2008. – Т. 44, № 2. – С. 61–75.
 4. **Zhang, J.** Equation of state remeasurements for aluminum and copper under low-impact loading [Text] / J. Zhang, L. Zhao, R. Zhang et al. // AIP Advances. – 2023. – Vol. 13. – P. 045202. doi: 10.1063/5.0142851.
-