

## Detonation mechanism of organic high explosives and production of nanocarbon

Nataliya Satonkina<sup>\*,\*\*</sup>, Vladimir Anisichkin<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>\*\*</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

E-mail : [snp@hydro.nsc.ru](mailto:snp@hydro.nsc.ru)

**Abstract** Condensation of carbon during the detonation of condensed explosives using two methods of analysis - the method of labeled atoms and the method of electrical conductivity - is considered.

A correlation between the electrical conductivity of the detonation front and the carbon content in the explosive was discovered. The typical graph of conductivity at the detonation of condensed high explosives (HE) is shown in Fig. 1. The value of conductivity increases up to the maximum  $\sigma_{\max}$  during several tens of nanoseconds, then it rapidly decreases to the point marked as  $\sigma_{CJ}$ , which corresponds to Chapman–Jouguet point (CJP), and the region of slowly varying conductivity in the Taylor wave. The figure shows the end of the chemical reaction zone defined by a crossing of straight lines.

The maximum electrical conductivity is reached within the reaction zone. This allows to justify the mechanism of detonation decomposition of explosives in the part associated with carbon: the release of free carbon in the early stages of detonation occurs with the formation of dense and elongated electrically conducting structures. This process involves almost all of the carbon. Then, some of the carbon is oxidized, which leads to a drop in electrical conductivity.

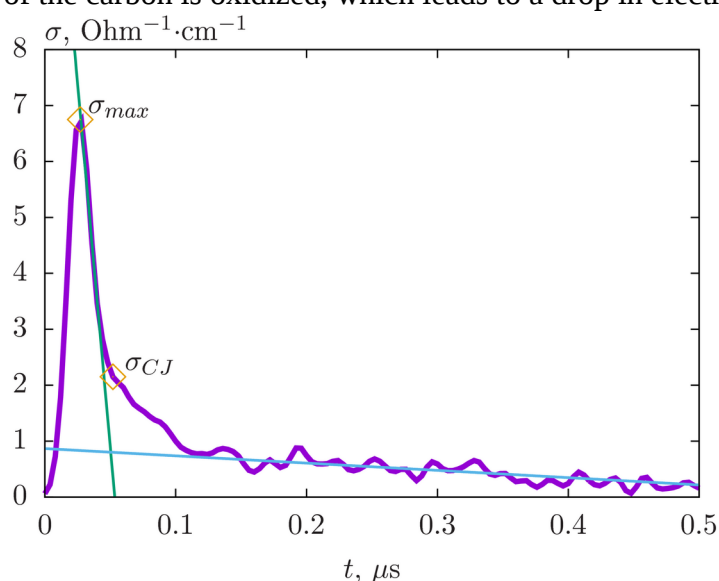


Fig. 1. Profile of electrical conductivity at detonation of HMX,  $\sigma_{\max}$  —maximum conductivity,  $\sigma_{CJ}$  —electrical conductivity in Chapman–Jouguet point. The figure shows the end of the chemical reaction zone defined by a crossing of straight lines.

The diamond content in the detonation products of chemically different explosives can be different. The process can be explained through experiments with carbon isotopes  $^{13}\text{C}$  in the explosives (Fig. 2).

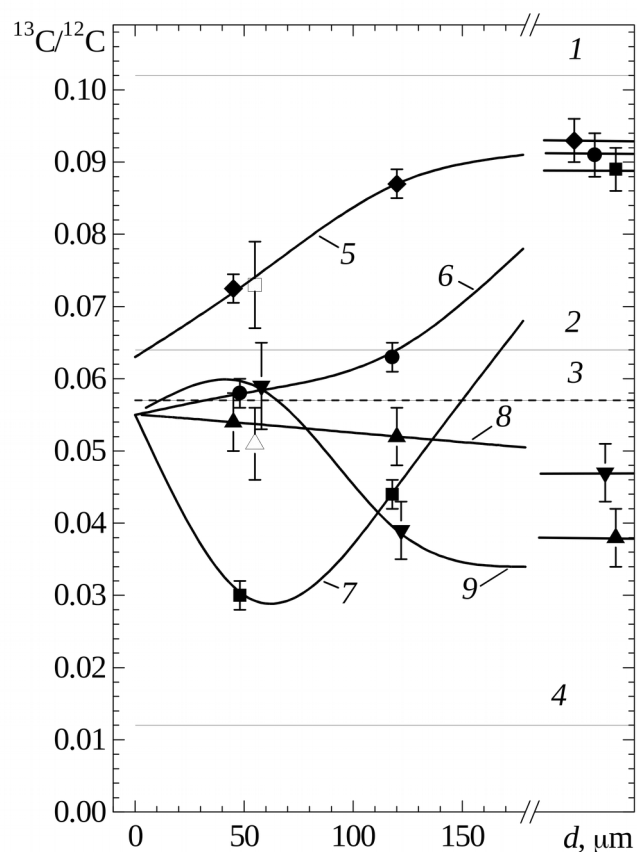


Fig. 2. Isotope ratio in the charge components and detonation products as a function of the average particle size of RDX (HMX). Charge components: (1) TNT, (2) TNT + RDX (HMX) mixture, (3) charge no 1 as a whole (with a booster and a detonator), and (4) RDX (HMX). Detonation products: (◆) diamond phase of carbon (line 5), (●) free carbon as a whole (line 6), (■) non-diamond phase of carbon (line 7), (▲) CO (line 8), (▼) CO<sub>2</sub> (line 9), (□) ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), and (Δ) methane (CH<sub>4</sub>).

The conclusion is the following. Firstly, there is a decomposition of high explosives in the initial stages into methane and the diamond. Then, hydrogen oxidation of methane occurs, with the release of additional carbon in the non-diamond phase and after that all carbon particles coalesce into dense structures. In the subsequent stages, partial oxidation of carbon from the surface layers of the structures occurs.

Thus, carbon is released mostly at the initial stages of detonation decomposition, on the contrary to, for example, the well-known kinetic mechanism proposed by *S.M. Tarver*.

1. N. P. Satonkina, Journal of Applied Physics. V. 118, p. 245901 (2015). doi: 10.1063/1.4938192.

2. N. P. Satonkina, Combustion, Explosives and Shock Waves. V. 52, p. 488 (2016). doi: 10.15372/FGV20160413

3. V.F. Anisichkin, Russian Journal of Physical Chemistry B. V. 10, p. 451 (2016). doi: 10.1134/S1990793116030155.

# Механизм детонации органических конденсированных взрывчатых веществ и производство наноуглерода

Anisichkin<sup>1</sup> V. F., Satonkina<sup>1,2</sup> N. P.

<sup>1</sup>Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

snp@hydro.nsc.ru

**Abstract** Рассмотрена конденсация углерода при детонации конденсированных взрывчатых веществ с использованием двух методов анализа – метода меченых атомов и метода электропроводности.

Ранее [1,2] при анализе экспериментальных данных по электропроводности при детонации конденсированных ВВ была получена корреляция величины электропроводности и содержания углерода. Причем максимум электропроводности достигается внутри зоны химической реакции. Это дает основание предложить следующую модель кинетики, связанную с углеродом: за фронтом происходит конденсация углерода с образованием протяженных структур с параллельным разрушением исходных молекул, в этом процессе участвует практически весь углерод, далее происходит окисление углерода с краев структуры, что ведет к истончению и разрушению сквозных сеток. В такой модели алмаз является остатком структур после окончания химических реакций, а не выделяется в результате них.

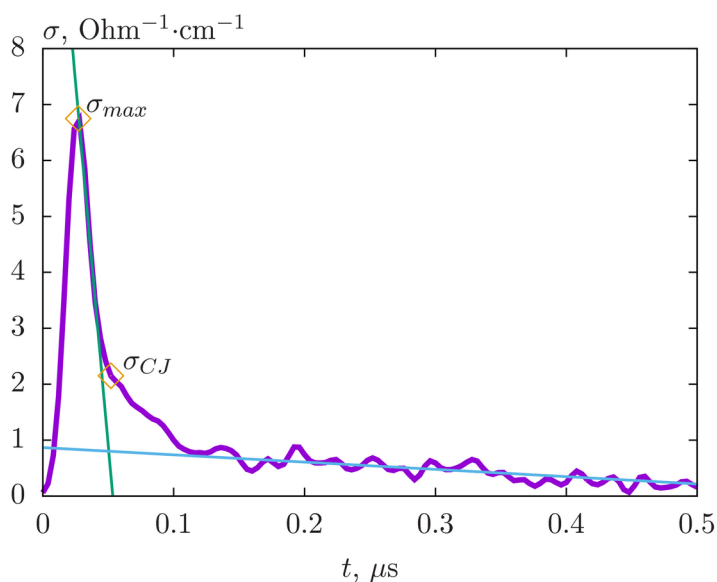


Fig. 1. Профиль электропроводности при детонации октогена,  $\sigma_{max}$  — максимум электропроводности,  $\sigma_{CJ}$  — электропроводность в точке Чепмена-Жуге. На рисунке приведен способ определения длительности области высокой электропроводности.

При детонации органических ВВ и смесей с инертным наполнителем с ВВ формируется алмазная углеродная фаза [3]. Количество и содержание алмазов в продуктах детонации могут отличаться от полученных при разрушении таких веществ в УВ при начальных условиях метана и свободного углерода в алмазной фазе, окисление водорода в метане с выделением углерода в неалмазной фазе. Такой механизм детонации и разрушение в УВ органических веществ также объясняется результатами экспериментов с изотопическим

углеродом в структуре молекулы ВВ, когда меченые атомы распределены нерегулярно по отношению к молекулам в продуктах.

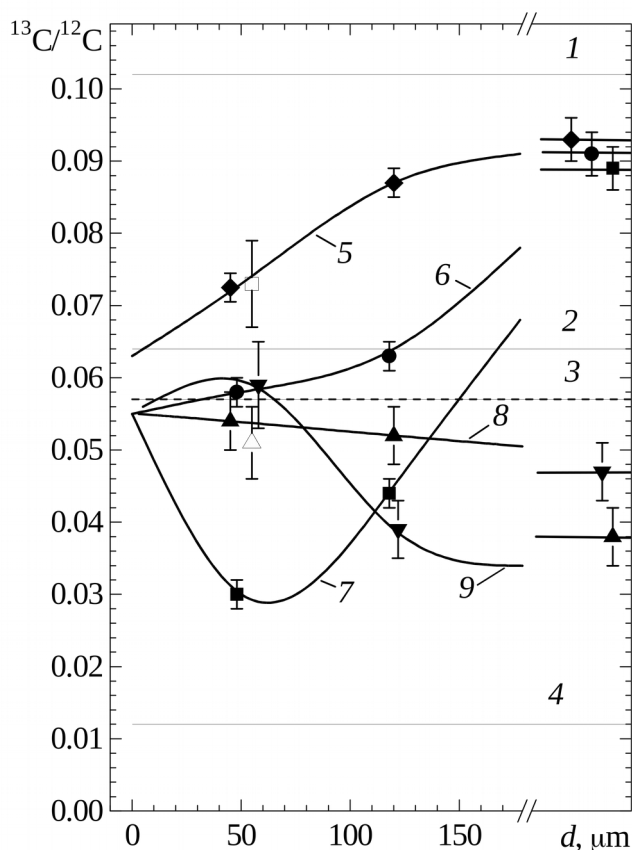


Fig. 2. Зависимость изотопных отношений в компонентах зарядов и в продуктах детонации в зависимости от средних размеров частиц гексогена (октогена). Компоненты зарядов: (1) TNT, (2) TNT + RDX (HMX) смесь, (3) заряд по 1 в целом (с бустером и детонатором), (4) RDX (HMX). Продукты детонации: (◆) алмазная фаза углерода (линия 5), (●) свободный углерод в целом (линия 6), (■) не алмазная форма углерода (линия 7), (▲) CO (линия 8), (▼) CO<sub>2</sub> (линия 9), (□) этилен (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), и (△) метан (CH<sub>4</sub>).

Гипотеза о механизме разрушения ВВ вида C<sub>a</sub>H<sub>b</sub>N<sub>c</sub>O<sub>d</sub> схожа с механизмом, обсуждаемым здесь, и структурные особенности молекул ВВ частично сохраняются. Поэтому главный вывод, что свободный углерод выделяется не только на последней стадии разрушения молекулы ВВ, как в хорошо известной кинетике Тарвера, но в течение всего процесса, в зависимости от изменяющегося давления, температуры и состава среды.

1. N. P. Satonkina, Journal of Applied Physics. V. 118, p. 245901 (2015). doi: 10.1063/1.4938192.

2. N. P. Satonkina, Combustion, Explosives and Shock Waves. V. 52, p. 488 (2016). doi: 10.15372/FGV20160413

3. V.F. Anisichkin, Russian Journal of Physical Chemistry B. V. 10, p. 451 (2016). doi: 10.1134/S1990793116030155.