

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ БЮРО «ТЕХНОЛОГ»  
(ФГУП «СКТБ «Технолог»)

192077, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ  
Рыбацкое, тер. Усть-Славянка, пр-кт Советский, д.33, литера А  
Тел.: (812) 244-73-73 (812) 700-23-10 факс: (812) 700-36-37  
Электронная почта: info@sktb-technolog.ru  
ИНН 7811000580 / КПП 781101001

В диссертационный совет  
24.1.150.01 при  
ФГБУН Институте химической  
кинетики и горения  
им. В.В. Воеводского СО РАН

630090, г. Новосибирск,  
ул. Институтская, д.3

*06.10.2023 № 3689/036*

### Отзыв

на автореферат диссертационной работы Анисичкина Владимира Федоровича «Механизм детонационного и ударно-волнового разложения органических веществ с образованием наноалмаза», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Несмотря на более чем столетнюю историю изучения процессов детонации конденсированных взрывчатых веществ установить даже приблизительный механизм реакций, идущих в зоне Химических реакций (ЗХР), не удалось. Причин, в основном, три – сверхкраткое существование ЗХР (менее 1 мкс), сверхвысокое давление (20 – 35 ГПа) и ее малая протяженность (~1 мм).

У Соискателя в фокусе изучения процессов детонации мощных взрывчатых веществ (ВВ) (по его терминологии – энергонасыщенных материалов – ЭМ) с отрицательным кислородным балансом находится механизм выделения углерода, содержащий детонационный наноалмаз (ДНА). Таким образом, актуальность темы состоит в разработке теории быстропротекающих окислительно-восстановительных процессов за фронтом ударной волны с получением наноалмаза.

Целью работы, по существу, является то же, что и формулировка актуальности, а вот задачи поставлены и достигнуты следующие: изучена зависимость состава продуктов взрыва (ПВ) и наполнителей в ВВ от параметров детонации и химического состава исходных веществ; методами «меченых» атомов (углерода) экспериментально

установлено распределение этих атомов в исходных ВВ в продуктах детонации; расчетными методами предложена трансформация промежуточных продуктов детонации, содержащих атомы углерода, от исходного состава ЭМ до конечных продуктов взрыва.

Научной новизной работы является замена части атомов углерода  $^{12}\text{C}$  на  $^{13}\text{C}$  в метильной группе 2,4,6-тринитротолуола (ТНТ) и в кольце гексогена с последующим подрывом заряда и установлением возможной последовательности детонационных и физико-химических превращений конденсированных продуктов детонации; предложена модель детонационного разложения ЭМ и ударно-волнового превращения инертных органических веществ в соответствии с полученными экспериментальными данными по составу углерод-содержащих продуктов взрыва; предложена модель и механизм расчета алмазных наночастиц во фронте детонации объединением в твердом кристаллическом состоянии.

Теоретическая значимость работы определяется существенным развитием теории и практики детонационных процессов и при высоких скоростях нагружения веществ в УВ (ударной волне).

Практическая значимость работы заключается в повышении точности прогноза детонационных характеристик синтезируемых ЭМ (ВВ) и смесей ЭМ, что позволяет оптимизировать составы применяемых ЭМ (ВВ), в том числе с добавками, для технологии производства ДНА и других наноматериалов.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований апробированы на многочисленных (16) международных и российских научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 27 статей, учитываемых ВАК, входящих в базы W&S и Scopus.

По данным Соискателя алмазная фаза образуется на начальных стадиях детонационного разложения ЭМ, когда микрообъемы смесевых ЭМ еще существенно не перемешались; алмазные частицы во фронте детонации растут, в основном, за счет их объединения.

В главе 2 Соискателем приведены результаты экспериментов с введенным в состав молекул тротила изотопом  $^{13}\text{C}$ , точнее в метильную группу части молекул (58 %

метильных групп содержали  $^{13}\text{C}$ ). Это позволило выяснить – равноправны ли в реакциях в ЗХР атомы углерода метильной группы и бензольного кольца молекул. Соискателем было установлено, что наноалмаз образуется, в основном, из углерода тротила.

В главе 3 представлены данные по составу продуктов взрыва и по распределению «меченых» атомов углерода в конденсированных и газообразных продуктах взрыва.

По собственным результатам и в сопоставлении с работами других авторов (Козырев и др., 1992 г., 2005 г.) было показано, что ~14% алмазной фазы образуется из углерода гексогена, а ~86% - из углерода тротила (для ТГ 40/60). В то же время из метильной группы молекул ТНТ в алмазную фазу переходят 27% атомов, а из бензольного кольца – 34% атомов углерода. Остальные 66% атомов углерода метильной группы и около 60% атомов бензольного кольца переходят в газообразные продукты детонации. Таким образом, в алмазную фазу в большей степени переходят атомы углерода бензольного кольца молекул ТНТ, а в газообразные продукты – углерод метильной группы.

Представленная Соискателем схема образования алмаза и неалмазного углерода (из  $\text{CН}_4$ ) не является бесспорной, есть и другие схемы, но, конечно, также имеет право на существование. Как считает Соискатель, исходное ВВ, при достаточной мощности инициирующей УВ, разлагается на метан и свободный углерод в алмазной фазе, а затем метан окисляется до углерода в неалмазной фазе и воду на более поздней стадии, неалмазный углерод оседает на уже образовавшиеся ДНА. Представленная схема упрощает сложный процесс детонационного разложения ВВ, но зато просто объясняет проходящие при детонации процессы, делая их понятными.

В таблице №4 приведены очень оптимистические значения выхода ДНА путем взрывного обжаривания невзрывчатых органических веществ.

В главе 5 рассчитаны давление и температура среды за фронтом УВ в ЭМ (ВВ), оценена скорость изменения параметров среды при ударном сжатии и их влияние на образование и рост наноалмазов, данные достаточно убедительны. Подтверждена зависимость размера частиц ДНА от температуры синтеза. Показано, что не существует частиц ДНА с размерами менее 2,5 нм.

По результатам работы Соискателем сделаны следующие выводы:

1. Разложение молекул ЭМ в инициирующей ударной волне идет с переходом углерода в метан и свободный углерод. Доля алмазной фазы в свободном углероде возрастает с ростом мощности ЭМ.

2. Окисление водорода метана приводит к выделению освобожденного углерода и образованию неалмазной фазы.

3. Происходит формирование конгломератов из углеродных частиц.

4. Наблюдается частичное окисление углеродных конгломератов с поверхности.

5. Дополнительные реакции с участием углерода в зависимости от изменения температуры и давления продуктов детонации.

К числу недостатков работы следует отнести:

1. Таблицы 2 и 3 переусложнены для полного и быстрого понимания;

2. Слишком подробно приведены достаточно простые расчеты по изотопному составу продуктов взрыва;

3. Наглядная схема на рис. 7 не очень наглядная, также переусложнена.

Имеющиеся недостатки в автореферате не принципиальны и не уменьшают значимость работы.

Считаю, что диссертационная работа Анисичкина Владимира Федоровича отвечает всем требованиям ВАК, представленным к докторским диссертациям, в том числе отвечает критериям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (в действующей редакции), а ее автор Анисичкин Владимир Федорович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Начальник научно-исследовательской  
лаборатории

В.Ю. Долматова

Федеральное Государственное Унитарное Предприятие



Долматов В.Ю.

