

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**доктора физико-математических наук А.Ю. Долгобородова
на диссертационную работу Анисичкина Владимира Федоровича
«Механизм детонационного и ударно-волнового разложения
органических веществ с образованием наноалмаза»**

представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Диссертационная работа В.Ф. Анисичкина посвящена исследованию механизма образования наноразмерного алмаза при детонации и ударном сжатии конденсированных веществ. В диссертации приведены результаты экспериментальных исследований и теоретического анализа процесса, рассмотрены имеющиеся данные, предложены и обоснованы механизмы образования и роста углеродных наночастиц в продуктах разложения органических веществ.

Актуальность работы определяется необходимостью получения достоверной информации о механизмах детонационного разложения энергетических материалов (ЭМ), о характере и последовательности протекающих химических реакций, составе промежуточных и конечных продуктов для разработки новых более эффективных и безопасных в технологиях использования ЭМ, в том числе для развития новых методов ударно-волнового синтеза наноматериалов, а также при разработке теории высокоинтенсивных, быстрых химических превращений.

Основная цель диссертации в установлении механизма детонационного превращения органических ЭМ на основе имеющихся и впервые полученных в работе экспериментальных данных.

Диссертация состоит из введения, 5-и глав, заключения, списка публикаций Автора по теме работы, списка использованной литературы и приложений. Объем работы: 194 страницы, 6 Таблиц, 43 Рисунок. Библиография включает 206 наименований.

Во введении проводится обзор современного состояния проблемы, обоснованы актуальность работы, цели и задачи исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость диссертации, приведены

выносимые на защиту положения, сведения о личном вкладе соискателя, данные об апробации работы и благодарности.

В первой главе содержится описание экспериментальных методов, приведены полученные результаты по образованию свободного углерода при детонации ЭМ и ударно-волновом разложении органических веществ. На основании анализа проведенных исследований сделаны выводы о том, что алмазная фаза углерода образуется на начальных стадиях детонационного разложения ЭМ. При этом алмазные частицы во фронте детонации растут, в основном, за счет объединения.

Во второй главе приведено описание опытов по изучению состава продуктов детонации смесей тротила с гексогеном и октогеном. При этом в состав метильной группы молекул тротила был введен изотоп углерода ^{13}C . Приведены результаты измерений распределений углерода ^{13}C по конденсированным и газообразным продуктам взрыва. Сделан вывод, что алмаз образуется, в основном, из углерода тротила и до существенного перемешивания компонентов смесевых ЭМ. Обсуждаются возможные сценарии смешения и взаимодействия различных компонентов ЭМ в процессе детонации.

В третьей главе приведены результаты численного анализа полученных экспериментальных данных о составе продуктов взрыва и о распределении атомов изотопа углерода ^{13}C по конденсированным и газообразным продуктам взрыва органических ЭМ. Сделан вывод, что в мелкозернистых смесевых составах углерод компонентов ЭМ практически полностью перемешивается до начала реакций окисления углерода. Но при этом выделение атомов углерода, образующих алмазную фазу, происходит, в основном, до перемешивания углерода компонентов ЭМ и окисления даже в мелкозернистых ЭМ, и зависит от детонационных характеристик и химического состава компонента ЭМ.

В четвертой главе предложена модель детонационного и ударно-волнового разложения углеродосодержащих материалов, согласованная с результатами экспериментов и расчетов. Получено объяснение существенного различия содержания алмазной фазы в свободном углероде продуктов детонационного разложения ЭМ и ударно-волнового разложения невзрывчатых органических соединений с различным относительным содержанием водорода; получено объяснение результатов экспериментов с

изотопами углерода в составе молекул ЭМ, когда изотопная «метка» ^{13}C оказывается неравномерно распределённой по различным молекулам продуктов взрыва. Обоснована последовательность основных стадий детонационного разложения индивидуальных ЭМ и смесей типа тротил/гексоген или тротил/октоген.

В пятой главе рассмотрен механизм роста алмазных частиц при детонации. Предложены схемы расчета давления и температуры среды за фронтом инициирующей ударной волны в ЭМ, оцениваются скорость изменения параметров среды при ударном сжатии и их влияние на образование и рост алмазных частиц. Из сравнения известных и рассчитанных параметров среды с фазовой диаграммой углерода делается вывод о росте алмазных частиц, в основном, в твердом кристаллическом состоянии во фронте детонации, обосновывается механизм такого роста. Приведены примеры практического применения полученных результатов.

В Заключении обобщены и изложены основные полученные результаты, обозначены направления дальнейшего развития исследований. Отмечается, что сочетание метода «меченых» атомов и образование алмазной фазы, как своеобразной метки времени, показало уникальную информативность в изучении процессов детонации и ударно-волнового разложения веществ.

В Приложениях приведены расшифровки аббревиатур, условных обозначений и другие вспомогательные материалы.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне с использованием современных экспериментальных методов и обоснованных теоретических подходов, что позволяет сделать заключение о надежности и достоверности полученных результатов. В работе получен ряд **новых научных результатов, имеющих теоретическую и практическую значимость**: впервые с применением «меченых» атомов углерода получены экспериментальные данные о процессах и последовательности детонационного превращения органических ЭМ; предложена модель детонационного разложения ЭМ в согласии с экспериментальным данным по составу углеродосодержащих продуктов взрыва; предложен механизм роста алмазных частиц во фронте детонации за счет объединения в твердом кристаллическом состоянии.

Результаты работы получили свое отражение в достаточном количестве публикаций в российских и зарубежных изданиях из перечня ВАК,

докладывались на ряде международных и российских конференций. Результаты, полученные в работе, безусловно, являются новыми, интересными и имеют важное научное и прикладное значение.

По тексту диссертации есть ряд замечаний:

1. В заключении на стр. 151 указано, что на первой стадии детонационного разложения происходит "Разложение молекул ЭМ в инициирующей ударной волне с переходом углерода в метан и свободный углерод. Образование алмазной фазы, причем доля алмазной фазы в свободном углероде возрастает с ростом мощности ЭМ." В общем случае независимо от содержания элементов и кислородного баланса данное утверждение неверно. Данный вывод сделан на основе анализа данных по образованию алмаза в продуктах взрыва тротила и его смесей с гексогеном и октогеном, однако для взрывчатых веществ с низким содержанием водорода или безводородных ВВ образование метана невозможно.

2. В таблице 4.1 стр.101 и таблице 4 автореферата ошибка в цифрах, выход алмазной фазы для 4-х соединений больше общего количества углерода.

3. Имеются повторы. Список публикаций автора приведен как во введении (стр. 17-19), так и в конце диссертации (стр. 153-155). Схема последовательности разложения ВВ по Тарверу приведена вначале на стр. 9, а потом на стр. 149.

4. Замечания по оформлению текста. Имеется ряд опечаток, в основном это ошибки в написании слов: например, стр. 24 "октогеа" - нужно "октогена"; стр. 97 "графит" - нужно "графит"; стр. 99 "можно подучить важные сведения" - нужно "можно получить важные сведения" и т.д.

Однако в целом, указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки работы.

Автореферат диссертации правильно отражает основные результаты работы.

Считаю, что диссертационная работа «Механизм детонационного и ударно-волнового разложения органических веществ с образованием наноалмаза» соответствует требованиям, предъявляемым 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 ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

Долгобородов Александр Юрьевич



Доктор физико-математических наук

специальность 01.04.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Зав. лабораторией ударно-волновых воздействий

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН)

125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

тел. 8(495)4832295, e-mail: aldol@ihed.ras.ru

10 октября 2023 г.

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись зав. лабораторией ударно-волновых воздействий ОИВТ РАН

д.ф.-м.н. Долгобородова А.Ю.

ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь ОИВТ РАН

д.ф.-м.н.



А. Д. Киверин

10 октября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Объединенный институт высоких температур (ОИВТ РАН)

125412, г. Москва, ул. Ижорская, д.13, стр.2

тел. 8(495)4844433, e-mail: alexeykiverin@gmail.com