

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

В диссертации Анисичкина Владимира Федоровича исследуется кинетика детонационного разложения энергетических материалов с формированием алмазной фазы. Исследована эффективность выхода алмазной фазы от химического состава исходных материалов и от параметров нагружения. В результате анализа полученных экспериментальных данных и проведенных теоретических расчетов предложена последовательность основных стадий детонационного разложения мощных органических ЭМ. Полученные результаты являются фундаментальной основой для более глубокого понимания хода сверхбыстрых превращений веществ при высоких давлениях и температурах и при больших градиентах давлений и массовых скоростей в ударных волнах. Развитые в работе подходы могут быть использованы для оптимизации технологии производства детонационных наноалмазов.

Научная новизна работы состоит в развитии представления о процессах и последовательности детонационного превращения органических ЭМ, в том числе с образованием НА; создании модели детонационного разложения ЭМ и ударно-волнового превращения инертных органических веществ, соответствующей экспериментальным данным по составу углеродосодержащих продуктов взрыва; определении механизма роста алмазных частиц во фронте детонации.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в развитии теории превращений веществ и кинетики быстрых химических реакций при высоких давлениях и температурах, и при больших градиентах давлений и массовых скоростей в ударных волнах. Полученные результаты могут быть использованы для повышения точности прогноза детонационных характеристик синтезируемых ЭМ, смесей разных ЭМ и оптимизации составов ЭМ, применяемых для производства детонационных наноалмазов и других наноматериалов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных апробированных методов измерений, проведением калибровочных измерений, анализом погрешностей и воспроизводимостью полученных экспериментальных результатов.

Основные научные результаты, включенные в диссертацию и выносимые на защиту, получены соискателем лично. Автор принимал непосредственное участие в проведении экспериментальных исследований, анализе экспериментальных данных, подготовке публикаций по результатам исследований.

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследований, определена научная новизна работы и представлены основные положения, выносимые на защиту. В первой главе представлено описание экспериментальных работ и полученные результаты по образованию свободного углерода при детонационном разложении ЭМ и при ударно-волновом разложении органических веществ. Показано что алмазная фаза образуется на начальных стадиях детонационного разложения ЭМ, алмазные частицы во фронте детонации растут, в основном, за счет объединения. Во второй главе приведены постановки опытов с введенным в состав молекул тротила изотопом углерода ^{13}C и результаты измерений распределений углерода ^{13}C по конденсированным и газообразным продуктам взрыва. Обсуждаются возможные сценарии смешения и взаимодействия различных компонентов ЭМ в процессе детонации.

Предположено, что алмаз образуется, в основном, из углерода тротила и до существенного перемешивания компонентов ЭМ. В третьей главе выполнен численный анализ приведенных в предыдущих Главах экспериментальных данных по составу продуктов взрыва органических ЭМ и по распределению «меченых» атомов углерода по конденсированным и газообразным продуктам взрыва. Определено, что на процессы детонации и образования алмазной фазы существенно влияет перемешивание компонентов ЭМ. Четвертая глава посвящена построению и обоснованию модели детонационного и ударно-волнового разложения углеродосодержащих материалов, адекватной полученным опытным и расчетным данным. В результате предложена модель обосновывающая: существенное различие содержания алмазной фазы в свободном углероде продуктов детонационного разложения ЭМ и ударно-волнового разложения невзрывчатых органических соединений с различным относительным содержанием водорода; результаты экспериментов с изотопами углерода в составе молекул ЭМ, когда «метка» оказывается неравномерно распределённой по различным молекулам продуктов взрыва; пропорциональность электропроводности детонационного фронта полному содержанию углерода в молекулах ЭМ. В пятой главе рассчитываются давление и температура среды за фронтом инициирующей УВ в ЭМ, оцениваются скорость изменения параметров среды при ударном сжатии и их влияние на образование и рост алмазных частиц. Предлагается и обосновывается механизм роста алмазных наночастиц за счет твердофазной коалесценции. В заключении диссертации обобщены и сформулированы основные результаты работы, обозначены направления дальнейшего развития исследований.

Публикации. Основные научные результаты работы изложены в 19 статьях, опубликованных в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 194 страниц, включая рисунки и список цитируемой литературы.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В диссертации присутствует не значительное количество опечаток.
2. Оформление рисунков не соответствует требованиям ГОСТ, присутствуют английские надписи.
3. Два рисунка повторяются, Схема 1 из Введения идентична Схеме А в Заключении, рисунок 1.1 идентичен рисунку 5.9.
4. В истории указано что «...Работы, результаты которых изложены в диссертации и выносятся на защиту, проводились с 1989 г...», однако в списке опубликованных работ по теме диссертации работы начинаются с 1980г.
5. В распределениях полученных методом малоуглового рассеяния по оси ординат откладываются значения N либо $D(V)$ либо $D(d)$ либо $D(N)$, при этом не обсуждается разница этих обозначений и на что нормируется распределение (полное количество или максимум).
6. «...С выделением углерода к «фоновой» не углеродной проводимости детонационного фронта начинает прибавляться углеродная проводимость, зависящая от объемной концентрации углеродных конгломератов. Поэтому максимальная электропроводность детонационного фронта должна линейно зависеть от полного содержания углерода в составе ЭМ и быть разной для ЭМ с разным содержанием углерода...» Утверждение о линейности зависимости не очевидно и требует подтверждений.
7. В работе рассматриваются только структурные параметры алмазной фазы, и не уделяется внимания другим углеродным формам, таким как графитоподобные наночастицы и аморфный углерод. Представление о структуре и массовой доле которых помогло бы лучше объяснить кинетику фазовых превращений.

8. Основой экспериментальных данных о структуре наночастиц являются данные: просвечивающий электронной микроскопии – метод является локальным, требует определенной подготовки образцов и на основании этих данных некорректно судить о составе материала в целом; распределения наночастиц по размерам, полученные методом малоуглового рассеяния – данный сигнал является функцией размера, формы и фазового состава наночастиц, интерпретация сигнала не однозначна. В работе есть ссылки на данные РФА, но не представлено ни одного графика, которые могли бы подтвердить наличие только алмазной фазы или показать согласование функции распределения по размерам. Особенно это было бы наглядно при анализе размеров монокристаллической фазы и обсуждении механизмов коагуляции наночастиц.

Несмотря на сделанные замечания, в целом диссертационная работа Анисичкина Владимира Федоровича «МЕХАНИЗМ ДЕТОНАЦИОННОГО И УДАРНО-ВОЛНОВОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ОБРАЗОВАНИЕМ НАНОАЛМАЗА», представляет законченное исследование по одному из актуальных направлений современной физики экстремальных состояний вещества - исследованию динамики химических превращений при детонации энергетических материалов.

Таким образом, диссертация Анисичкина Владимира Федоровича «МЕХАНИЗМ ДЕТОНАЦИОННОГО И УДАРНО-ВОЛНОВОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ОБРАЗОВАНИЕМ НАНОАЛМАЗА» соответствует критериям, установленным п.п. 9 – 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции)), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности, а её автор, по своей квалификации и по результатам проведенного исследования заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-

