

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Ананьева Сергея Юрьевича** «**Физико-химические превращения углеродных наноструктур и реакционно-способных смесей при ударно-волновых воздействиях**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Актуальность диссертационной работы Ананьева С.Ю. определяется существенным научным и практическим интересом к разработке новых композиционных материалов упрочненных углеродными наноструктурами, а также к получению энергетических материалов с повышенными характеристиками энерговыделения. Актуальность проблемы подтверждается тем, что в последние годы такие исследования поддерживаются финансированием от многих организаций и фондов, в том числе: the US Defense Threat Reduction Agency, the Office of Naval Research, Johns Hopkins University, the US High Performance Computing and Modernization Office, the U.S. Department of Energy (Lawrence Livermore National Laboratory), the Army Research Laboratory, the Air Force Office of Scientific Research, Air Force Research Laboratory, the Army Research Office, the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada, Hong Kong Research Grants Council, NSAF. Из публикаций в зарубежной печати известно, что последние два десятилетия в мире проводятся интенсивные научные исследования и практические работы по созданию новых механоактивированных энергетических композитов с целью создания боеприпасов повышенного могущества. Усиление поражающего действия боеприпасов предполагается добиться путем включения в их конструкцию механоактивированных энергетических композитов. Наряду с этим механоактивированные энергетические композиты находят применение в мирной области, там, где требуются мощные локализованные источники тепла, выделение которого не сопровождается существенным расширением

продуктов реакции. Они рассматриваются как щадящие энергетическую среду энергетические источники, наноразмерные источники энергии для биоагентов в медицине, нагревательные элементы в виде нанофольги, применяются в нефтедобыче для повышения нефтедачи. В диссертации получены новые экспериментальные данные необходимые как для построения новых физических моделей для описания физико-химических превращений веществ при ударном сжатии, так и для разработки методов получения новых материалов с заданными свойствами.

Научная новизна и значимость работы. В работе впервые получены экспериментальные данные по структурной устойчивости трех типов углеродных нанотрубок при ударном сжатии в диапазоне давлений от 14 до 98 ГПа. Найдены условия взрывного нагружения смесей никеля и алюминия в ампулах сохранения, при которых реакция $Ni+Al$ протекает практически полностью. Определены параметры ударно-волнового инициирования реакции и разлета продуктов в механоактивированных термитных смесях Al с оксидами металлов. Полученные результаты несомненно будут востребованы при расчетно-теоретическом моделировании сложных процессов при ударно-волновых импульсных воздействиях

Практическая ценность диссертации. Данные о пределах прочности углеродных нанотрубок необходимы при создании композиционных конструкций для защиты от высокоскоростных элементов. Ударно-волновой синтез интерметаллида $NiAl$ может оказаться полезным для получения материала с ультрамелкозернистой структурой с повышенными прочностными свойствами. Механоактивированные термитные составы с повышенными скоростями энерговыделения высоким могут быть использованы при разработке различных боеприпасов и боевых частей для усиления их поражающего действия или новых зажигательных составов.

Полученные результаты обладают **достоверностью**, что определяется использованием современных и хорошо апробированных экспериментальных методик лазерной интерферометрии с наносекундным временным

разрешением, оптической пирометрии и высокоскоростной фоторегистрации. Методики отличаются высоким уровнем разработки и позволили получить надежные экспериментальные данные.

Структура и содержание работы

Диссертация Ананьева С.Ю. на 113 страницах состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 86 наименований. В начале каждой главы описаны методики, которые использовались автором в работе. Каждая глава завершается промежуточными выводами, сделанными на основе приведенных в этой главе результатов.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цели и задачи работы, обоснована научная новизна и практическая значимость результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена экспериментальному исследованию устойчивости углеродных нанотрубок к ударно-волновым воздействиям. Экспериментально подтверждена зависимость между предельным давлением разрушения нанотрубок и их диаметром, предсказанная ранее теоретически и наблюдавшаяся в экспериментах со статическим давлением. Найдены пороговые давления структурной устойчивости двустенных и одностенных нанотрубок. Обнаружено, что разрушение нанотрубок в ударной волне начинается при давлениях 20-30 ГПа, что существенно ниже, чем при статическом нагружении. Показано, что введение нанотрубок приводит к более чем двукратному увеличению прочности керамических композитов на основе SiC при квазистатическом нагружении.

Во второй главе экспериментально исследовано реагирование смесей никеля и алюминия в ударных волнах. Найдены условия, при которых реакция $Ni+Al \rightarrow NiAl$ протекает практически полностью в цилиндрических ампулах сохранения. Проведена серия опытов по механической активации эквиатомного состава стехиометрической смеси Al/Ni в двух типах активаторов. Исследована возможность протекания реакции Ni-Al в

микросекундном диапазоне с помощью проведения экспериментов по ударно-волновому нагружению образцов активированной смеси плоскими ударниками.

В третьей главе представлены результаты исследования различных комбинаций механоактивированных смесей типа «окислитель-горючее». Изучены также реакционно-способные смеси алюминия с оксидами металлов, в которых при условии предварительной механической активации наблюдались режимы взрывного горения (несколько сотен м/с). Для механоактивированных составов Al с CuO проведены эксперименты по определению температуры воспламенения, изучена динамика и структура потока при ударно-волновом инициировании, измерены яркостная температура продуктов и скорость горения в цилиндрических каналах.

Следует отметить наиболее существенные результаты, полученные соискателем:

1. Найдены пороговое давление структурной устойчивости ДУНТ и ОУНТ при ударно-волновых воздействиях. Показано, что введение УНТ увеличивает прочность керамики при квазистатическом нагружении более, чем в два раза.
3. Найдены условия взрывного нагружения ампул сохранения, при которых реакция Ni-Al протекает практически полностью с образованием интерметаллида NiAl с небольшим количеством Al₃Ni₅ (< 5 %).
4. Изучена динамика ударно-волнового и электроискрового инициирования реакции в механоактивированных термитных смесях Al с оксидами металлов. Определены оптимальные условия повышения реакционной способности смесей Al с Ni, Al с CuO в механохимических активаторах.

Результаты работы прошли достаточную апробацию, докладывались и обсуждались на различных всероссийских и международных конференциях. По результатам работы опубликованы 7 статей в научных журналах из списка ВАК.

По диссертационной работе можно сделать следующие замечания:

1. На стр.48 в подразделе 2.1 на рисунке 2.2 приведены расчетные зависимости давления на поверхности стенок ампул сохранения. Отсутствует описание того, каким методом и в каких предположениях сделан расчет.

2. На стр.67 в подразделе 2.2 не сделана попытка аналитически оценить вклад в разогрев системы химических реакций и процесса сжатия пористого образца из наночастиц.

3. В таблице 3.3 приведены оценки потерь энергии в плотных материалах по измерениям деформации стальной преграды. При этом в тексте диссертации отсутствуют формулы, по которым эти оценки сделаны.

4. При описании струйного течения в разделе 3.1 представлен малоинформативный рисунок 3.4, за которым следует подробное описание отсутствующих на рисунке особенностей этого течения. Вероятно, это описание сделано на основе каких-то других рисунков, не приведенных в тексте диссертации.

Кроме того в работе обнаружено несколько опечаток, и присутствует объективный недостаток математической сложности.

Вместе с тем данные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации Ананьева С.Ю. и не снижают значимости результатов и основных выводов диссертации.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Ананьева Сергея Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне. В работе получен ряд новых актуальных результатов, выводы диссертации, сделанные на основе анализа полученных экспериментальных данных, являются обоснованными и не вызывают сомнений. Библиография, приведенная в диссертации, отражает современный уровень проблемы. Полученные в работе Ананьева С.Ю. научные результаты получили достаточную апробацию, неоднократно докладывались и обсуждались на Международных и Всероссийских научных конференциях.

Опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации.

Автореферат диссертации дает полное представление о проделанной работе, содержит в кратком виде полученные в процессе исследования результаты, основные положения и выводы диссертации.

Диссертационная работа «Физико-химические превращения углеродных наноструктур и реакционно-способных смесей при ударно-волновых воздействиях» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 30.07.2014), а ее автор Ананьев Сергей Юрьевич заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

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

Официальный оппонент:
кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник,
доцент кафедры 4 "Химическая физика" НИЯУ МИФИ,
Тел.+7(495) 788-56-99, доб. 9831. E-mail: VAShargatov@mephi.ru

Шаргатов Владимир Анатольевич
« 10 » декабря 2018 г.

В. Шаргатов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31
Тел.: +7 (495) 788-5699, .: +7 (499) 32477-77 info@mephi.ru



Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ
А.А. Абатурова
А.А. Абатурова