

ОТЗЫВ

Официального оппонента кандидата технических наук **А.Е. Сычева**
на диссертационную работу **Гришина Леонида Игоревича**
**«Импульсное инициирование нанотермитов на основе смесей алюминия
с оксидами металлов»**

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

Актуальность работы

В настоящее время активно проводятся работы по разработкам новых энергетических материалов на основе наноразмерных компонентов, позволяющих получать составы с повышенными скоростями энерговыделения. Исследование процессов инициирования и распространения горения в таких системах является актуальной задачей как для понимания закономерностей высокоскоростного горения, так и для создания научных основ технологии создания новых составов для инициирующих и зажигательных устройств.

Целью диссертационной работы является установить основные закономерности лазерного и электроискрового инициирования и распространения процесса горения в термитных смесях алюминия с оксидами металлов с повышенной реакционной способностью, полученных с использованием метода предварительной механохимической активации и наноразмерными исходными компонентами.

Научная новизна работы

В диссертационной работе впервые получены результаты по исследованию процесса механохимической активации смеси оксида висмута с алюминием. Определены оптимальные условия активации, при которых достигаются наиболее высокие скорости горения. Впервые экспериментально измерены задержки воспламенения, минимальная энергия инициирования лазерным излучением и зависимости скорости горения и минимальной энергии лазерного импульса в широком диапазоне плотности нанотермитов (НТ) - Al/CuO, Al/Bi₂O₃, Al/MoO₃ и Al/NiO. Исследовано влияние светопоглощающих добавок на порог инициирования НТ. Впервые определены критические условия электроискрового инициирования механоактивированного состава Al/CuO.

Практическая значимость работы

Экспериментальные данные, изложенные в диссертации, могут быть использованы для разработки научных основ технологии получения создания новых

энергетических составов с повышенными скоростями энерговыделения для инициирующих и зажигательных устройств. Определены практически важные характеристики инициирования, такие как минимальная энергия и задержки воспламенения, зависимости скорости горения от компонентного состава и плотности.

Содержание диссертационной работы

Работа состоит из введения, 5-и глав, выводов, списка литературы и приложения.

Во Введении дается краткая оценка современного состояния исследований в области исследований нанотермитов, обоснование необходимости проведения работы. Обоснованы актуальность и новизна темы, ее практическая значимость, указаны области применения результатов работы, перечислены основные цели и задачи исследования.

В Главе 1 проведен обзор литературных данных по термитным смесям, а также способов получения наноразмерных смесей с высокими скоростями горения. Показано, что наряду с известными способами создания нанотермитов (динамической газофазной конденсации, электротермического синтеза, золь-гель и др.) наиболее производительными и дешевыми являются методы ультразвукового перемешивания исходных наноразмерных компонентов и предварительной механохимической активации в шаровых мельницах и атриторах.

Во Главе 2 приводятся характеристики исходных материалов и использованные методики. В качестве объектов экспериментального исследования были выбраны термитные смеси алюминия с окислителями, обладающие высоким экзотермическим эффектом реакции. Из окислителей использовались оксиды меди, молибдена и висмута. Максимальный тепловой эффект реакций Al с этими окислителями сравним или превосходит теплоту взрыва обычных бризантных ВВ. Описаны используемые методики приготовления наноразмерных реакционных смесей.

В Главе 3 приведены результаты исследования закономерностей механической активации оксида висмута и его смеси с алюминием. Совокупность данных по активации термитной смеси Al/Bi₂O₃ показала существенное повышение ее реакционной способности. Механическая активация смеси компонентов сопровождается взаимодействием между ними уже в процессе помола и приводит к резкому снижению температуры начала реакции при последующем прогреве. Определены оптимальные условия механической активации для получения состава с максимальной скоростью горения.

В Главе 4 приводятся результаты по инициированию зажигания нанотермитов на основе алюминия лазерным импульсом малогабаритного лазерного диода с максимальной мощностью до 8 Вт. Исследованы составы nAl/CuO,

$n\text{Al}/\text{Bi}_2\text{O}_3$, $n\text{Al}/\text{MoO}_3$ и $n\text{Al}/\text{NiO}$. В зависимости от пористости и состава композиций определены: время задержки зажигания, минимальная плотность энергии и скорость горения. Определены зависимости скорости горения и энергии инициирующего лазерного импульса от пористости исходных образцов. Показано, что с увеличением плотности скорость горения составов резко падает. Полученные результаты подтверждают ведущую роль механизма конвективного горения при низких плотностях образцов с плавным переходом к более медленному кондуктивному режиму распространения при снижении пористости образцов. Для образцов с пористостью более 80 % задержки инициирования варьировались от 1,0 до 2,7 мс, а плотности энергии от 0,36 до 1,60 Дж/см², что соответствует минимально необходимой энергии лазерного импульса от 1 до 7 мДж. Более чем в два раза снизились минимальные критические параметры инициирования для Al/CuO с добавкой 1% сажи, добавки графена и углеродных нанотрубок оказались неэффективными.

В Главе 5 приведены результаты исследования электроискрового инициирования нанотермитов. Основным объектом исследования был состав на основе механоактивированной смеси Al/CuO с весовым соотношением 19/81. В целом результаты показали перспективность предварительной механохимической активации для получения быстрогорящих термитных составов на основе алюминия и оксидов металлов для систем электроискрового инициирования. Наиболее высокая реакционная способность, скорость горения и температура продуктов получена для активированных смесей Al/CuO при дозе активации около 2 кДж/г. Определены зависимости периода индукции и скорости распространения фронта горения в зависимости от пористости смесей и амплитуды инициирующего импульса. При низком уровне тока инициирующего импульса наблюдался нестационарный пульсирующий режим горения. Результаты исследований в целом показали преобладающий характер фильтрационного механизма распространения горения в исследованных смесях. После выхода горения на свободную поверхность образца догорание смеси протекает в облаке диспергированных компонентов смеси и горячих продуктов с температурой свыше 3000 °К. Для надежного инициирования стационарного режима горения смеси необходима удельная энергия электрического импульса более 5 мДж/мм².

В заключительной части сформулированы основные Выводы работы.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность представленных в работе результатов обусловлена использованием современных экспериментальных методик и оригинальных подходов/приемов, а также воспроизводимостью полученных данных. Вновь полученные результаты согласуются как с известными ранее, так и с данными аналогичных исследований, ведущихся параллельно. Признание значимости результатов работы подтверждается

публикациями в рецензируемых высокорейтинговых журналах и высокими оценками на конференциях.

Замечания и рекомендации по работе

- 1 Не очень удачная структура диссертационной работы. Несмотря на то, что есть методическая Глава 2, в экспериментальных Главах 3-5 уделяется много места описанию методик проведения экспериментов, а также литературный обзор не в полной мере дает представление о достигнутых ранее результатах.
- 2 В работе определялась только яркостная температура продуктов. Определить значения истинной температуры не представляется возможным, поскольку нельзя оценить быстрое изменение излучающей способности продуктов с меняющимся в процессе реагирования составом. – А в какой момент проводилось измерение? Значит ли это, что все пост-процессы уже прошли? Это касается только метода оптической пирометрии?
- 3 На рис. 2.2, 2.3, 4.1, 5.1 с микроструктурами было бы полезно указать стрелками частицы Al, CuO, Bi_2O_3 и др.
- 4 На чем основано заключение “Результаты в целом показали преобладающий характер фильтрационного механизма распространения горения в исследованных смесях” – это утверждение появляется только в конце работы и в 4 выводе? Здесь надо бы в тексте работы привести результаты, доказывающие это заключение. Что фильтрует? Этот результат наблюдался только при горении Al/CuO?
- 5 На рис. 5.1 приведена фотография механоактивированной смеси конгломератов из плоских фрагментов частичек Al (~10 μm) с субмикронными частицами CuO, однако по фотографии трудно определить, где частицы Al, а где CuO.
- 6 3. Результаты по лазерному инициированию получены для целого ряда нанотермитов с различными окислителями, однако, для случая электроискрового инициирования приведены результаты только для смеси с оксидом меди CuO.

Сделанные замечания не снижают общее положительное впечатление о диссертационной работе, представляющей научно-квалификационную работу, выполненную на современном научно-техническом уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные положения диссертационной работы отражены в опубликованных работах. Непосредственно по теме диссертационной работы опубликованы 8 статей, 5 из которых в рецензируемых журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science, 3 в журнале из Перечня ВАК, а также в 13 тезисах докладов на международных и российских конференциях.

В целом диссертация оформлена достаточно хорошо, данные представлены в логической последовательности и хорошо проиллюстрированы. Название работы соответствует ее содержанию. Автореферат диссертации достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Гришина Леонида Игоревича «Импульсное инициирование нанотермитов на основе смесей алюминия с оксидами металлов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком научном уровне, в которой получены новые экспериментальные результаты по лазерному и электроискровому инициированию наноразмерных и механоактивированных смесей алюминия с оксидами меди, висмута и молибдена.

Научные положения и выводы, сформулированные автором, не вызывают сомнений. Результаты диссертационной работы оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью. Большая часть результатов отражена в публикациях и апробирована на профильных конференциях.

Диссертационная работа в полной мере соответствует паспорту специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, в том числе: п.7 «Закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчивость волн горения ...; связь химической и физической природы веществ и систем с их ... характеристиками термического разложения, горения...»; п.8 «... управление процессами горения и взрывчатого превращения»

Считаю, что диссертационная работа «Импульсное инициирование нанотермитов на основе смесей алюминия с оксидами металлов» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским 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, Гришин Леонид Игоревич, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент
Сычев Александр Евгеньевич
Кандидат технических наук

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

Заведующий лаборатории физического материаловедения,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской

академии наук, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна,
д.8.

Телефон: 8 (49652) 46-384

Электронная почта: sytshev@ism.ac.ru

25 ноября 2022 г.

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

Подпись заведующего лабораторией физического материаловедения,
к.т.н., А.Е. Сычева

ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь ИСМАН,
к.т.н.

25 ноября 2022 г.



Е.В. Петров