



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ И МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)

проспект академика Семенова, д. 1, г. Черноголовка,
г.о. Черноголовка, Московская обл., 142432
Тел.: +7(49652) 2-44-74
e-mail: office@icp.ac.ru; http://www.icp.ac.ru

ОКПО 02699837, ОГРН 1035006100502,
ИНН/КПП 5031007735/503101001

29.11.2022 №12108- Ц-11/1830

На № _____ от _____

ФГБУН Институт структурной
макрокинетики и проблем
материаловедения
им. А.Г.Мержанова

142232, г. Черноголовка,
ул. Академика Осипьяна, 8

Председателю
диссертационного совета
Д 24.1.124.01

член-корр. РАН Алымову М.И.

Отзыв ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и
медицинской химии РАН направляет Вам отзыв ведущей организации на
диссертационную работу Гришина Леонида Игоревича «Импульсное
иницирование нанотермитов на основе смесей алюмигия с оксидами
металлов», представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая
физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

И.о. директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН
Член-корр. РАН

И.В. Ломоносов

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. директора Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки Федеральный исследовательский
центр проблем химической физики и
медицинской химии
Российской академии наук
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.



Ломоносов И.В.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук» 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 темы диссертации

Нанотермиты – наноразмерные смеси горючих металлов и твердых окислителей, реагирующие с высоким объемным тепловым эффектом (до 20 кДж/см³), характерным для обычных термитных смесей, но при этом скорость энерговыделения при горении нанотермитов (около 1000 м/с) сравнима со скоростями детонации взрывчатых веществ. Эти свойства открыли совершенно новые области применения термитных составов в областях, где до сих пор это было невозможно. Нанотермиты уже показали свои преимущества в различных компактных исполнительных устройствах, где нужно получить импульсное энерговыделение, от воспламенителей и микротрастеров до медицинских шприцов микронных размеров. Активные исследования нанотермитов начались около 20 лет назад и широко проводятся в настоящее время, однако механизмы реакций наноразмерных реагентов до сих пор плохо изучены из-за их сверхбыстрого характера и сложности исследования как паровой фазы промежуточных продуктов реакций, так и химии конденсированного состояния. Теоретическое моделирование процессов при инициировании нанотермитов без получения новых экспериментальных данных пока невозможно.

В связи с вышеизложенным актуальность темы диссертации Гришина Л. И., посвящённой экспериментальному исследованию закономерностей лазерного и

электроискрового инициирования наноразмерных смесей алюминия с оксидами металлов не вызывает сомнения.

Актуальность работы подтверждается ее выполнением в рамках проекта по гранту на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Министерства науки и высшего образования РФ № 2020-1902-01-315 «Энергетика экстремальных состояний».

Структура и общее содержание диссертационной работы.

Работа состоит из введения, 5-и глав, выводов, списка литературы и приложения. Общий объем – 106 страниц. Список использованной литературы содержит 78 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обсуждена актуальность темы диссертации, определены цели и задачи исследований, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы, изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор научной литературы, посвященный свойствам термитных составов на основе смесей алюминия с твердыми оксидами. Анализ данных по способам получения нанотермитов показал, что наиболее перспективными способами с точки зрения производительности и стоимости являются способ ультразвукового перемешивания наноразмерных порошков компонентов и метод перемешивания и механоактивации в шаровых мельницах исходных микронных порошков.

Во второй главе подробно описаны все объекты исследования и используемые методики. В качестве объектов были выбраны термитные смеси алюминия с оксидами меди, молибдена и висмута, обладающие высоким экзотермическим эффектом реакции. Описаны методики приготовления наноразмерных смесей, а также методики измерения температуры воспламенения и яркостной температуры продуктов горения.

В третьей главе приведены результаты исследования механической активации оксида висмута и его смеси с алюминием. Механическая активация позволяет понизить температуру начала реакции. Определены оптимальные условия механической активации для получения состава с максимальной скоростью горения.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования инициирования нанотермитов Al/CuO, Al/Bi₂O₃, Al/MoO₃ и Al/NiO лазерным импульсом: измерены задержки воспламенения и минимальная энергия инициирования; определены зависимости скорости горения и энергии инициирующего лазерного импульса от пористости. Показано, что с увеличением плотности скорость горения НТ резко падает. Исследовано влияние светопоглощающих добавок на порог инициирования НТ. Более чем в два раза снизились минимальные критические параметры инициирования для Al/CuO добавкой 1% сажи. Показано, что скорость горения НТ Al/CuO в трубках возрастает с увеличением их длины; этот эффект может быть связан с существенным ростом давления в условиях затрудненного разлета продуктов реакции. Получены данные скоростной видеосъемки, подтверждающие очаговый механизм инициирования и струйный механизм горения исследованных НТ. Высокая скорость распространения

реакции (до 800 м/с) обеспечивается опережающим распространением горячих промежуточных продуктов со сверхзвуковыми скоростями (более 1600 м/с).

В пятой главе приведены результаты исследования электроискрового инициирования нанотермитов, которые 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 в целом показали преобладающий характер фильтрационного механизма распространения горения в исследованных смесях. После выхода горения на свободную поверхность 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 искры более 5 мДж/мм².

В заключительной части сформулированы основные выводы работы.

Научная новизна полученных результатов

Среди наиболее значимых результатов можно выделить следующие новые, результаты, полученные в 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 НТ Al/CuO, Al/Bi₂O₃, Al/MoO₃ и Al/NiO.
- Впервые определены критические условия электроискрового инициирования механоактивированного состава Al/CuO.

Практическая значимость работы

Экспериментальные результаты, полученные в работе, могут быть использованы для разработки новых систем лазерного и электроискрового инициирования различного назначения. Определены практически важные характеристики инициирующих составов: минимальная энергия и задержки инициирования, зависимости скорости горения от компонентного состава и плотности.

Достоверность представленных в работе результатов обеспечена за счет использования современных экспериментальных методов, а также воспроизводимостью полученных данных. Вновь полученные результаты согласуются как с известными ранее, так и с данными аналогичных зарубежных

исследований, проводимых параллельно. Признание значимости результатов работы подтверждается публикациями в рецензируемых журналах и высокими оценками на конференциях.

Замечания по диссертации и рекомендации

По тексту диссертации и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. В тексте диссертации имеется ряд опечаток, например: Стр. 53. В таблице 4.1 опечатка в значении задержки воспламенения состава Al/MoO₃; Стр. 55. Вместо (рис. 2а) нужно (рис. 4.2а); Стр. 59 –2 опечатки в предложении «Потери мощности излучения на стекле, закрывающем образец, составили 8,4%, атипичные сигналы, регистрируемые пирометром при горении НТ Al/CuO, представлены на рис. 5.» – «атипичные» сигналы, и вместо рис. 5 нужно рис. 4.5.
2. В работе представлены результаты видеосъемки высокоскоростного распространения реакции в нанотермитах, и сделан вывод, что этот режим обеспечивается опережающим распространением горячих промежуточных продуктов со сверхзвуковыми скоростями, однако данных о конкретном составе этих продуктов нет. Так, что вопрос о механизме высокоскоростного распространения горения в нанотермитах, остается открытым. Для прояснения этого механизма нужны дополнительные исследования.

Заключение

Перечисленные выше замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Гришина Л.И.

Выводы диссертации являются логичными и обоснованными достоверными экспериментальными данными. Автореферат соответствует представленной диссертационной работе и отражает ее содержание.

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в публикациях. По теме диссертационной работы опубликованы 8 статей, 5 в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science, и 3 в журнале, входящем из Перечень рецензируемых научных журналов ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций.

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

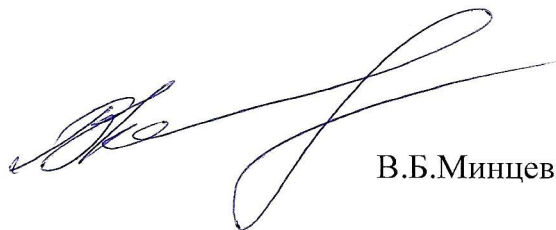
Диссертация Гришина Л.И. соответствует паспорту специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества, пункты: 7. «Закономерности и механизмы распространения, структура, параметры и устойчивость волн горения ...; связь химической и физической природы веществ и

систем с их ... характеристиками термического разложения, горения...»; 8. «... управление процессами горения и взрывчатого превращения»

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., а ее автор, Гришин Леонид Игоревич, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций соискателя, обсуждения доклада Гришина Л.И. на семинаре отдела экстремального состояния вещества ФИЦ ПХФ и МХ РАН (протокол № 11 от 25 ноября 2022 г.).

Председатель семинара,
чл.-корр. РАН



В.Б.Минцев

Секретарь семинара,
к.ф.-м.н.



А.В.Уткин

*Подписи В.Б. Минцева и А.В. Уткина
Удостоверен секретарь ФИЦ ПХФ и МХ РАН*



И.П. Гришин