

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Ермолаева Бориса Сергеевича

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 исследования

Диссертационная работа, представленная Гришиным Леонидом Игоревичем, посвящена исследованию закономерностей и механизмов воспламенения и горения термитных составов, включающих наноразмерные компоненты. В последние годы нанотермиты привлекает большой интерес исследователей, которые пытаются дать объяснение их высокой чувствительности к действующим тепловым и механическим воздействиям и высоким скоростям горения. Исследования подогреваются возможностями практического применения нанотермитов, которые открываются в различных областях, начиная с систем инициирования. Интерес к особенностям воспламенения и горения нанотермитов, а также потребность в разработке научных основ новых технологий получения составов с увеличенными скоростями энерговыделения при горении и детонации определяют актуальность темы исследований.

Основные результаты и достоинства работы

Диссертация Гришина Л.И. направлена на выяснение закономерностей лазерного и электроискрового инициирования и распространения процесса горения в термитных смесях алюминия с оксидами металлов, обладающих повышенной реакционной способностью за счет наноразмерных исходных компонентов или механохимической активации. Высокая активность нанотермитов и наноразмерных горючих материалов накладывает жесткие требования на соблюдение мер взрывобезопасности при проведении исследований. В этих условиях Гришину Л. И. удалось выполнить большой объем экспериментов по измерению задержек и критической энергии инициирования при лазерном и электроискровом воздействиях, а также температур и скоростей горения в зависимости от плотности смеси для

нескольких нанотермитных композиций. Полученные результаты можно рассматривать как научный задел, необходимый для создания новых материалов с повышенными скоростями энерговыделения, что является решением важной научной задачи в области физики горения.

Диссертация состоит из введения, 5 глав и выводов. Литературный обзор, приведенный в Главе 1, мне не понравился. У меня есть замечания по обзору, которые приводятся ниже.

В Главе 2 собраны сведения об исходных материалах, способах проверки размеров частиц и чистоты, а также представлены методики ультразвукового перемешивания нанопорошков термитных смесей с использованием растворителя и механоактивации термитных смесей в шаровых мельницах, которые применялись в диссертации. Здесь я бы отметил метод измерения температуры воспламенения при зажигании на горячей поверхности, который диссертант удачно использует для сравнительной оценки активности нанотермитов.

В третьей главе представлены результаты исследования механохимической активации оксида висмута и его смеси с алюминием. С использованием дифракционных, масс-спектроскопических, термогравиметрических и калориметрических измерений и микрофотографии показано, что в ходе механоактивации наряду с образованием наноразмерных структур проходят экзотермические реакции, приводящие к химическим изменениям исходных компонентов. Для получения составов с высокой активностью процесс активации необходимо оптимизировать по длительности стадий.

Четвертая глава посвящена иницированию нанотермитов лазерным импульсом миллисекундной длительности с плотностью мощности до 800 Вт/см^2 . Исследовались наноразмерные смеси алюминия с оксидами меди, висмута, молибдена и никеля. Определены критическая энергия иницирования и задержки воспламенения в зависимости от мощности импульса и пористости образцов. Здесь следует отметить ряд интересных результатов.

Так, для нанотермитов с оксидом меди обнаружен диапазон изменения мощности лазерного импульса, в котором наблюдается особо сильное влияние мощности импульса на критическую энергию иницирования. Демонстрируется опыт, когда воспламенение произошло после отключения лазера. Физически эффект связан с конкуренцией между нагревом и потерями тепла теплопроводностью, которая проявляет себя при определенном сочетании скорости лазерного нагрева и активности нанотермита.

Видеокадры лазерного инициирования образцов с высокой пористостью демонстрируют, что химическая реакция зарождается в очагах и затем распространяется по поверхности образца с помощью горящих струй.

Опыты по передаче горения через воздушный промежуток или промежуток, заполненный микросферами или ватой, показали, что волна горения нанотермита легко преодолевает эти препятствия. Примечательно, что в случае воздушного промежутка горение проскакивает его с почти вдвое увеличенной скоростью. При подходе к слою микросфер скорость волны горения падает почти вдвое, однако спустя некоторое время скорость горения восстанавливается. Эти опыты имеют прямое отношение к механизму горения нанотермитов, многие аспекты которого остаются неясными.

Пятая глава посвящена электроискровому инициированию механоактивированного нанотермита алюминий/оксид меди. Горение возбуждается при низкой энергии искры, однако возникающий процесс протекает в нестационарном режиме со значительным недогоранием. Для получения надежного стационарного горения энергию искры следует увеличить почти на порядок.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы.

Новизна и научно-практическое значение результатов работы

Все результаты, вынесенные диссертантом на защиту, являются новыми. Впервые продемонстрирована высокая активность механоактивированных смесей алюминия с оксидами меди и висмута по сравнению с термитами из наноконпонентов. Определены оптимальные условия активации и показано, что активация помимо образования наноструктур сопровождается экзотермическими превращениями, приводящими к химическим изменениям. Определены критические значения энергии и задержки воспламенения при лазерном и электроискровом инициировании нанотермитов. Получены данные по температуре горения и высокоскоростному распространению волны горения в нанотермитах в образцах различной пористости.

Результаты, полученные диссертантом, расширяют существующие представления об особенностях зажигания и горения нанотермитов, полученных двумя разными способами. Видео процессов лазерного инициирования и распространения волны горения через промежутки, заполненные воздухом или стеклосферами, являются экспериментами, которые будут востребованы для проверки разрабатываемой теории горения

нанотермитов. Критические энергии инициирования, задержки воспламенения и скорости волны горения в зависимости от пористости образцов могут быть использованы в качестве научной базы при разработке новых энергетических составов с повышенными скоростями энерговыделения для иницирующих и зажигательных устройств.

Замечания по диссертации

У меня есть два замечания по существу работы и несколько технических замечаний по оформлению текста.

1. Есть нарекания по литературному обзору. Хотя горению нанотермитов посвящено большое число публикаций, обзор оказался выборочным. Так, научные аспекты, относящиеся к особенностям механизмов химического взаимодействия, в обзоре вообще не затрагиваются. Акцент в обзоре сделан на возможности практических приложений нанотермитов. Обсуждение газодинамики горения нанотермитов ограничивается перечнем нескольких публикаций и общим утверждением об отсутствии полноценной теории быстрого горения нанотермитов. Анализ работ по зажиганию сводится к общим выводам, более подробные сведения приведены во введении 4-ой главы. В целом, данный литературный обзор слабо ориентирован на то, чтобы дать подробное представление о научной проблематике, сложившейся к настоящему времени в области зажигания и горения нанотермитов, и вывести из этой проблематики те цели и задачи, которые решаются в диссертации.

2. На стр. 62, обсуждая влияние пористости на скорость горения, диссертант отмечает сложную структуру высокопористых образцов нанотермитов, включающую пористые конгломераты, в просветы между которыми (макропоры) проникают горящие продукты. Там же диссертант пишет, что Для данных систем даже незначительное прессование разрушает “макропоры” в образце (см. рис. 4.2) и заметно снижает скорость горения. Но опыты проводились в широком диапазоне пористости. Остается непонятным, при каких пористостях сохраняется структура с конгломератами и какой пористости образцы могут реально предлагаться для использования в устройствах инициирования.

3. На стр. 32, 8-я строка снизу, приведен текст: Поскольку $\epsilon_0(\lambda, T) = 1$, то уравнение для связи излучения реальных тел с излучением АЧТ:

На этом текст обрывается, хотя далее, видимо, должно следовать уравнение.

4. На стр. 42 дан Рис. 3.3, на котором приведены 9 кривых разного назначения. Следует сделать рисунок более понятным и привести больше информации в подписи под рисунком, например, выделить номером серию кривых с потерей массы и перенести надписи на английском языке о вариантах исследуемых смесей.

5. На стр. 60 приведена Табл. 4.2. В ней в столбце пористости у ряда цифр стоят одна – две звездочки. Что они означают – не указано.

6. На стр. 61 приведен Рис. 4.7. В подписи к рисунку указаны 3 позиции, но на рисунке таких позиций всего 2.

Общая оценка диссертации и рекомендации

В целом диссертация, представленная Гришиным Л. И., производит хорошее впечатление. Выполнен большой объем исследований в трудных условиях, связанных с высокой активностью нанотермитов, и особенно, смесей, полученных механоактивацией. Проведены эксперименты по определению задержек и критической энергии инициирования при лазерном и электроискровом воздействиях, по измерению температур воспламенения и горения и скоростей горения в зависимости от плотности смеси для нескольких нанотермитных композиций. Полученные результаты можно рассматривать как научный задел, необходимый для создания новых материалов с повышенными скоростями энерговыделения, что является решением важной научной задачи в области физики горения.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы. Тема диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества. По теме диссертации опубликовано 21 печатная работа, в том числе 8 статей в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК и базы данных Web of Science и Scopus. Результаты исследования докладывались на многочисленных конференциях и хорошо известны научной общественности.

Автор диссертации продемонстрировал научную зрелость, умение разбираться в сложных научных проблемах и самостоятельно находить подходы к решению поставленных задач. Научная достоверность положений диссертации и ее выводов обусловлены большим объемом качественно проведенных экспериментов, использованием современного диагностического оборудования и аттестованных методик, сходимостью с

имеющимися литературными данными и строгой логикой научных рассуждений.

Данная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842), а ее автор, Гришин Леонид Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17 – химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент

Ермолаев Борис Сергеевич

Доктор физико-математических наук

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

28 ноября 2022 г.



Организация - место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Химической физики им. Н. Н. Семенова Российской академии наук, лаборатория взрывных процессов в конденсированных средах.

Должность: Ведущий научный сотрудник

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Косыгина, 4.

Телефон: 8(916)818-88-46

Адрес электронной почты: boris.ermolaev44@mail.ru

Web-сайт организации: <http://www.chph.ras.ru>

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

Подпись и сведения заверяю

Ученый секретарь ФИЦ ХФ РАН

к.ф.-м.н.

Ларичев Михаил Николаевич

28 ноября 2022 г.

