

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Серопяна Степана Арутюновича
«Исследование реакционных материалов систем $(\text{Ni-Al})-(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ и $(\text{W}-(\text{C}_2\text{F}_4)_n)-\text{Al}$: особенности упрочнения, воспламенения, горения и ударно-волнового инициирования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества»

Диссертационная работа С. А. Серопяна посвящена актуальной научно-технической задаче исследования реакционных материалов, сочетающих высокие конструкционные характеристики и реакционную способность при тепловом и ударно-волновом воздействии. Актуальность выбранного направления обусловлена необходимостью разработки новых и совершенствования существующих реакционных материалов, обладающих требуемыми прочностными характеристиками и способностью к интенсивному протеканию экзотермических реакций.

Целью работы является исследование металло-полимерных реакционных материалов с высокими прочностными и энергетическими характеристиками, а также создание на основе металлических реакционных материалов металло-интерметаллидного слоистого композита.

Для достижения поставленной цели автором исследовано влияние способов повышения прочностных характеристик на параметры горения систем $(\text{Ni-Al})-(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ и $(\text{W}-(\text{C}_2\text{F}_4)_n)-\text{Al}$, изучено влияние активирующих добавок, механической активации и дисперсности высокоплотного компонента на процессы воспламенения, горения и ударно-волнового инициирования системы $(\text{W}-(\text{C}_2\text{F}_4)_n)-\text{Al}$, а также разработаны схемы и режимы ударно-волнового нагружения для формирования металло-интерметаллидных слоистых композиционных материалов.

Работа характеризуется значительным объемом экспериментальных исследований и применением комплекса взаимодополняющих методов. В ходе выполнения исследования использовались термодинамические расчеты, различные способы подготовки и механической активации порошковых смесей, методы определения температуры воспламенения и скорости горения, испытания на трехточечный изгиб, ударно-волновое нагружение, рентгенофазовый анализ, оптическая и электронная микроскопия, энергодисперсионный анализ и измерение микротвердости.

Значительный интерес представляют результаты исследования реакционных материалов системы $(\text{Ni-Al})-(\text{C}_2\text{F}_4)_n$. Автором установлено существенное влияние содержания политетрафторэтилена на характеристики горения. Показано, что максимальная скорость горения, достигающая 100 мм/с, реализуется в эквимольной смеси Ni-Al при добавлении 1 мас. % $(\text{C}_2\text{F}_4)_n$, тогда как дальнейшее повышение содержания полимера приводит к снижению скорости горения вследствие газовыделения и нарушения теплопереноса.

Важным результатом работы является исследование возможностей повышения механической прочности реакционных материалов при сохранении их реакционной способности. Показано влияние относительной плотности, армирования и термической обработки на прочностные характеристики образцов. Применение послойного армирования непрерывными вольфрамовыми волокнами позволило повысить прочность на изгиб материала на основе эквимольной смеси Ni–Al с добавлением 1 мас. % $(C_2F_4)_n$ до 125 МПа. Полученный результат демонстрирует возможность существенного повышения конструкционных характеристик реакционных материалов.

Автором также установлено влияние термической обработки на прочность и реакционную способность системы Ni–Al. Показано, что повышение прочности сопровождается изменением температуры воспламенения, скорости горения и времени индукции, что свидетельствует о необходимости комплексного выбора режимов обработки при создании материалов с заданным сочетанием механических и реакционных характеристик.

Особого внимания заслуживают результаты исследования высокоплотной реакционной системы $(W-(C_2F_4)_n)-Al$. Показано существенное влияние механической активации и дисперсности вольфрама на процессы воспламенения и горения. Механическая активация позволяет реализовать самоподдерживающийся режим горения в составе с 5 мас. % Al, который при использовании микроразмерного вольфрама и обычного сухого смешивания не способен к самостоятельному распространению реакции.

Существенным результатом работы является установленное автором различие в механизмах инициирования реакции в зависимости от способа подготовки исходной порошковой смеси. Согласно представленным данным, в механоактивированных составах инициирование связывается с непосредственным твердофазным взаимодействием алюминия с вольфрамом с образованием алюминида вольфрама, тогда как в смесях, приготовленных сухим смешиванием, существенную роль играет взаимодействие продуктов разложения политетрафторэтилена с металлическими компонентами. Использование механической активации и наноразмерного вольфрама также способствует расширению концентрационных пределов ударно-волнового инициирования исследованной системы.

Интересными являются результаты изучения влияния параметров ударно-волнового нагружения на реакционную способность исследуемых материалов. Для системы $(Ni-Al)-(C_2F_4)_n$ показано, что увеличение скорости нагружения позволяет снизить минимальное содержание политетрафторэтилена, необходимое для устойчивого инициирования экзотермической реакции. На примере системы $(W-(C_2F_4)_n)-Al$ продемонстрировано также существенное влияние характера ударно-волнового нагружения на инициируемость реакционных составов.

Отдельный раздел работы посвящен разработке металло-интерметаллидных слоистых композиционных материалов системы

сталь/NiAl/сталь. Автором исследованы две технологические схемы: непосредственное формирование интерметаллидного слоя при ударно-волновом нагружении и двухстадийный подход, предусматривающий ударно-волновое нагружение с последующей термической обработкой. Проведенные исследования позволили установить особенности формирования структуры и фазового состава интерметаллидного слоя, а также продемонстрировать возможность регулирования его микротвердости и фазового состава путем изменения условий получения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в установлении закономерностей влияния армирования, термической обработки, механической активации, дисперсности компонентов и параметров ударно-волнового воздействия на прочность, воспламенение, горение и ударно-волновую иницируемость исследованных реакционных материалов.

Практическая значимость результатов определяется разработанными подходами к повышению прочности реакционных материалов при сохранении их реакционной способности, возможностью расширения концентрационных пределов ударно-волнового инициирования системы $(W-(C_2F_4)_n)-Al$ за счет механической активации и применения наноразмерного вольфрама, а также разработкой технологических подходов к получению слоистых металло-интерметаллидных композиционных материалов.

Результаты диссертационной работы прошли достаточную апробацию. По теме диссертации опубликовано 24 печатные работы, в том числе 10 статей в реферируемых научных журналах, входящих в Перечень ВАК и базы данных Web of Science и Scopus. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на российских и международных научных конференциях.

Автореферат в достаточной степени отражает основное содержание диссертационной работы, позволяет оценить объем проведенных исследований, научную новизну, достоверность и практическую значимость полученных результатов.

Вместе с общей положительной оценкой работы по материалам автореферата возникают следующие вопросы:

1. В работе сделан вывод о том, что механическая активация системы $(W-(C_2F_4)_n)-Al$ приводит к изменению механизма инициирования реакции: в механоактивированных составах инициирование связывается с прямым твердофазным взаимодействием алюминия с вольфрамом, тогда как при сухом смешивании существенную роль играют продукты разложения $(C_2F_4)_n$. Какие экспериментальные результаты позволяют наиболее однозначно разграничить указанные механизмы и исключить возможность их параллельного протекания на начальной стадии реакции?

2. Термическая обработка системы Ni–Al способствует существенному повышению ее прочностных характеристик, однако одновременно приводит к изменению температуры воспламенения и скорости горения. Какой режим термической обработки, по мнению автора, обеспечивает наиболее

рациональное сочетание механической прочности и реакционной способности материала и какой критерий следует использовать для выбора такого режима?

3. Для системы $(\text{Ni-Al})-(\text{C}_2\text{F}_4)_n$ установлены концентрационные границы ударно-волнового инициирования, зависящие от скорости нагружения. В какой степени определенные в работе границы следует рассматривать как характеристики непосредственно химического состава материала и насколько они могут изменяться при варьировании относительной плотности и пористости образца, его геометрии и схемы ударно-волнового нагружения?

Приведенные вопросы носят дискуссионный характер и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, ее научной новизны и практической значимости.

В целом, судя по материалам автореферата, диссертационная работа Серопяна С. А. является научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне, и соответствует требованиям пунктов 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертационной работы, Серопян Степан Арутюнович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – «Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества».

Автор отзыва дает согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета по защите диссертации Серопяна С.А., и их дальнейшую обработку.

Отзыв составлен 28 августа 2026 г.

Фадеев Андрей Андреевич



кандидат технических наук (1.3.9 – «Физика плазмы»),

ИМЕТ РАН, лаборатория плазменных процессов в металлургии и обработке материалов,

старший научный сотрудник

Тел.: 8 (499) 135-43-64, e-mail: fadeev@imet.ac.ru

Подпись Фадеева А.А. ЗАВЕРЯЮ

Ученый секретарь ИМЕТ РАН

к.т.н.



Фомина О.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук

Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 49, ИМЕТ РАН

Тел.: 8 (499) 135-87-01, e-mail: fomina@imet.ac.ru