АННОТАЦИЯ

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)
8D07103 – «Химическая технология взрывчатых веществ и пиротехнических средств»

КОРКЕМБАЙ ЖАНИБЕК
ПРОМОТИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ПЕРХЛОРАТА АММОНИЯ ДОБАВКАМИ Ti_3C_2(MXENE)

Общая характеристика работы.

В данной диссертационной работе рассмотрен синтез материала Ti_3C_2 (MXene)**,** выбранного в качестве катализатора, и исследование его физико-химических свойств. Синтезированные многослойные нанолисточки обладают большой удельной поверхностью и активными центрами, что позволяет использовать их в качестве катализатора. В ходе исследования был подготовлен композит Ti_3C_2(MXene)/аммоний перхлорат (АП)**,** термическое разложение которого охарактеризовано методами дифференциального термического анализа (ДТА) **и** термогравиметрического анализа (ТГ)**.** На основе полученных данных с применением графического метода Киссинджера рассчитаны такие кинетические параметры, как энергия активации и экспоненциальный коэффициент. Кроме того, изучено влияние катализатора Ti_3C_2 (MXene) и давления на процесс горения твёрдого ракетного топлива на основе аммоний перхлората, и научно обоснована эффективность катализатора.

Актуальность темы исследования.

Актуальность исследования заключается в использовании каталитических свойств карбидов титана Ti_3C_2 (MXene) для твердого ракетного топлива на основе аммоний перхлората. Это позволяет оптимизировать горение и повысить энерговыделение. Учитывая значение твердого топлива в космических перевозках, его совершенствование необходимо. Повышение активности катализаторов снижает негативные последствия продуктов горения. Особая структура двумерных карбидов титана Ti_3C_2 вызывает интерес, так как MXene может заменить оксиды переходных металлов. Аммоний перхлорат способен к самодефляции, поддерживая пламя при ~1400 К, и обладает уникальными характеристиками разложения при низких температурах под давлением. Эти свойства сделали его основным компонентом композитного топлива для космических двигателей, однако оптимизация горения всё ещё требует исследований. Современные высокоэнергетические двигатели включают окислитель (65–70%), металлическое топливо (10–20%), связующие (8–15%) и катализаторы скорости горения (2–5%). Обычно применяются аммоний перхлорат и алюминий. Использование катализатора Ti_3C_2 способствует созданию более мощных и скоростных ракетных двигателей.

Цель работы

Использование катализатора карбида титана (Ti_3C_2 (MXene)) позволяет оптимизировать процесс горения твердых ракетных топлив на основе аммоний перхлората, то есть повысить скорость горения, увеличить эффективность тепловыделения и контролировать характер образования продуктов реакции, что в итоге улучшает энергетические и эксплуатационные характеристики топливной системы.

Задачи работы.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- Охарактеризовать элементный состав и структурные особенности карбида титана Ti_3C_2 (MXene), использованного в качестве катализатора.
- Разработать составы, определяющие наиболее эффективную массовую долю карбида титана Ti_3C_2 (MXene), влияющего на термическое разложение аммоний перхлората, и провести их ДТА и ТГ анализ.
- На основе установленной массовой доли карбида титана Ti_3C_2 (MXene) сформировать состав твердого ракетного топлива на основе аммоний перхлората.
- В высоконапорном устройстве осуществить контроль процесса горения композитного твердого топлива и провести анализ по зарегистрированным данным.

Объекты исследования – Ti_3C_2 представляет собой композитный состав твердого ракетного топлива на основе Ti_3C_2 (MXene), ПА карбита титана, синтезированный путем добавления порошка Ti_3AlC_2(MAX) к плавиковой кислоте Ti_3C_2 (MXene),.

Предметом исследований – термический и кинетические параметры (физико-химические свойства) твердого ракетного топлива на основе ПА.

Методы исследования. Для решения задач, необходимых для достижения цели, были использованы следующие методы исследования: термогравиметрический анализ (ТГ), термический анализ дифференсии (ДТА), элементный анализ (ЭДРС), рентгенофазный анализ (РФА), оптический микроскоп, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ).

Научная новизна исследования.

- Синтезированный Ti_3C_2 (MXene) представляет собой многослойные нанопластинки с большой удельной поверхностью и активными центрами, что делает его пригодным для использования в качестве катализатора.
- В процессе термического разложения аммоний перхлората установлено, что массовая доля Ti_3C_2 (MXene) в 2% проявляет наибольшую каталитическую активность.
- При горении твердого ракетного топлива на основе аммоний перхлората Ti_3C_2 (MXene) во высокотемпературной области взаимодействует с продуктами термического разложения аммоний перхлората, образуя каталитически активные соединения TiO_2, TiC и TiN.

- В результате каталитической активности Ti_3C_2 (MXene) на стадиях термического разложения и горения скорость горения твердого топлива на основе аммоний перхлората возрастает, фиксируется повышение температуры.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. При участии плавиковой кислоты из фазы Ti_3AlC_2 (MAX) алюминий может быть удалён химической обработкой в виде соединения AlF_3. В результате структура карбида титана Ti_3C_2 (MXene) раскрывается послойно, образуя многослойные нанопластинки. Такая морфология значительно увеличивает удельную поверхность материала и количество активных центров.
2. Были подготовлены композитные образцы Ti_3C_2(MXene)/аммоний перхлорат (АП) с массовыми долями Ti_3C_2(MXene) 1%, 2%, 5% и 10%. По результатам дифференциального термического анализа (ДТА) и термогравиметрического анализа (ТГ) установлено, что оптимальная массовая доля Ti_3C_2(MXene), обеспечивающая термическое разложение, составляет 2%. При более высоких долях (5–10%) наблюдается агломерация частиц, то есть их слипание и неравномерный перенос тепла, что снижает каталитическую эффективность.
3. Используя пиковые значения кривых ДТА для чистого аммоний перхлората и композита 2% Ti_3C_2(MXene)/АП при скоростях нагрева 5°C/мин, 10°C/мин, 20°C/мин и 30°C/мин, методом графика Киссинджера была рассчитана энергия активации. В результате установлено, что на стадии высокотемпературного разложения (HTD) энергия активации снижается до 75 кДж·моль$^{-1}$. С каталитической точки зрения это показывает, что расширенная поверхность нанопластинок Ti_3C_2(MXene) облегчает адсорбцию реагирующих молекул и ускоряет перенос электронов.
4. При сжигании твёрдого топлива на основе аммоний перхлората с добавлением 0%, 2%, 3% и 5% карбида титана Ti_3C_2(MXene) в высоконапорной камере было отмечено, что смесь с 2% Ti_3C_2(MXene) обладает более высокой скоростью горения и зарегистрированной температурой по сравнению с другими составами. Это явление объясняется тем, что Ti_3C_2(MXene) в высокотемпературной области участвует в экзотермическом процессе, сохраняя исходную структуру и образуя каталитически активные соединения TiO_2, TiC и TiN.

Теоретическая значимость.

Данное исследование направлено на повышение эффективности горения композитного твердого ракетного топлива на основе аммоний перхлората путем модификации его термохимических и кинетических свойств катализатором Ti_3C_2 (MXene). Результаты позволяют глубже понять механизм горения твердых топливных систем и охарактеризовать протонный перенос и окислительно-восстановительные процессы на молекулярном уровне. Эти основы способствуют проектированию и оптимизации современных каталитических

систем. Практически полученные данные повышают эффективность твердых топлив для ракетных и энергетических установок, совершенствуют управление скоростью горения и тепловыделением, а также влияют на принятие технических решений при проектировании, производстве и безопасной эксплуатации ракетного топлива.

Практическая значимость.

Добавление катализатора карбида титана Ti_3C_2(MXene) в твёрдые ракетные топлива на основе аммоний перхлората положительно влияет на термическое разложение АП, ускоряет горение композиционного твёрдого топлива и обеспечивает выделение высокой температуры. Реализация данной работы способствует повышению скорости и мощности ракетных двигателей в области космических перевозок.

Личный вклад автора.

Данное исследование рассматривает проблему повышения эффективности процесса горения композитного твердого ракетного топлива на основе аммоний перхлората путем модификации его термохимических и кинетических характеристик катализатором Ti_3C_2 (MXene). Полученные результаты позволяют глубже понять механизм горения твердых топливных систем, охарактеризовать процессы протонного переноса и окислительно-восстановительные реакции на молекулярном уровне. Эти теоретические основы вносят вклад в проектирование и оптимизацию современных каталитических систем. С практической точки зрения, полученные данные дают возможность повысить эффективность твердых топлив, используемых в ракетных и энергетических установках, усовершенствовать управление скоростью горения и тепловыделением. Представленные результаты способствуют принятию важных технических решений при проектировании, производстве и безопасной эксплуатации ракетного топлива.

Публикации.

По результатам диссертационного исследования опубликовано всего 6 научных трудов, из них 2 статьи — в научных журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, 2 статьи — в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science, и ещё 2 статьи — в материалах международных и республиканских научных конференций.

В научном издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

1. Коркембай Ж., Тоштай К., Алипбаев, А., Атаманов М., & Мальчик, Ф. (2023). Влияние добавок Ti_3C_2(MXene) на разложение перхлората аммония . *Горение и плазмохимия*, *21*(4), 257–263. https://doi.org/10.18321/cpc21(4)257-263

2. Ж. Коркембай*, А.Н. Алипбаев, З.А. Мансуров. Процесс сгорания в присутствии твердотопливного катализатора Ti_3C_2(MXene) на основеперхлората аммония. Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ХАБАРШЫСЫ Vol. 149 No. 4 (2024) 67-78. DOI: https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-149-4-67-78

Издания, входящие в базы данных Scopus и Web of Science и имеющие ненулевой импакт-фактор.

1. Korkembay, Z., Auyelkhankyzy, M., Atamanov, M., Mansurov, Z., & Bykov, V. (2025). Mechanism of Catalytic Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate in the Presence of Ti3C2Tx. Eurasian Chemico-Technological Journal, 27(3), 173–179. https://doi.org/10.18321/ectj1664

2. Zh. Korkembay, K. Toshtay, M. Atamanov, F. Malchik, R. Amrousse, Y. Merkibayev, A. Z. Mansurov. Determination of the Catalytic Activity of the MXene in the Combustion of Amonium Perchlotrate //Journal of Engineering Physics and Thermophysics . Volume 97, pages 985–992, (2024). doi:10.1007/s10891-024-02968-1

Публикации на международных, республиканских конференциях и симпозиумах:

1. Zh. Korkembay F. Malchik1 , Z. A. Mansurov , V. V. Bykov.(2024) The catalytic effect of Ti_3C_2(MXene) on the thermal decomposition of ammonium perchlorate. “Combustion and plasma chemistry. Physics and chemistry of carbon and nano energetic materials” dedicated to the 95th anniversary of the birth of Professor G.I. Ksandopulo and to the memory of Academician of the Russian Academy of Science Professor Z.R. Ismagilov, pages 182–184

2. Zh. Korkembay, M. Atamanov, S. Tursynbek, Z.A. Mansurov.(2025) Combustion process in the presence of Ti_3C_2(MXene) as a solid fuel catalyst based on ammonium perchlorate (AP). Proceedings of the IX International Student Scientific and Practical Conference on«CHEMICAL PHYSICS AND NANOMATERIALS»,dedicated to the memory of three-time Hero of Socialist Labor,Corresponding Member K.I. Shchelkin. pages 133–135

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается научной обоснованностью и надежностью данных, полученных с использованием комплекса современных физико-химических методов. Исследования проводились в лабораториях Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», на научной базе РМК «Институт проблем горения», а также в лабораторных условиях «Карлсруэского технологического института» (Германия).