АННОТАЦИЯ

диссертационной работы на тему

«Плазмохимический синтез фуллеренов в дуговом разряде и их очистка от примесей»

представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07112 - «Наноматериалы и нанотехнологии»

Аймашева Жадыра Кенжебаевна

Общая характеристика работы. В диссертационной работе представлены экспериментальные результаты исследований по получению фуллеренов методом плазмохимического синтеза в дуговом разряде с оптимальными технологическими параметрами, их очистки от примесей, контролю их структуры, а также по влиянию полученных фуллеренов на параметры и характеристики пиротехнических композитов и трибологические свойства смазочных составов.

Актуальность исследования. С развитием нанотехнологий наноматериалы, особенно углеродные наноструктурированные материалы, становятся все более востребованными для различных практических применений и внедрения в различные отрасли промышленности. Эти материалы играют важную роль в медицине, электронике, энергетике, нефтегазовой промышленности, строительстве, аэрокосмической отрасли, машиностроении и других областях. Углеродные наноструктуры представляют собой перспективный класс материалов, обладающий совокупностью уникальных физико-химических характеристик — высокой механической прочностью, развитой поверхностью, электрической проводимостью и химической стабильностью. Эти свойства определяют широкий спектр их применений в современных наукоёмких технологиях.

В медицине углеродные наноматериалы используются при создании целевых систем доставки лекарств, высокочувствительных биосенсорных платформ и биосовместимых каркасов для тканевой инженерии. Их структурные особенности позволяют повышать точность диагностики и эффективность терапевтических вмешательств.

В электронике углеродные нанотрубки и графен служат основой для разработки миниатюрных и энергоэффективных электронных компонентов. На их основе создают нанотранзисторы, сенсоры и элементы гибкой электроники, что способствует развитию высокопроизводительных и компактных устройств.

В энергетике такие материалы применяются при разработке высокоэффективных солнечных элементов, аккумуляторов и суперконденсаторов. Благодаря высокой проводимости и большой удельной поверхности углеродные наноструктуры улучшают процессы накопления и преобразования энергии.

В строительных технологиях углеродные наноматериалы вводят в состав композитов для повышения их прочности, устойчивости к деформациям и улучшения теплопроводности. Это позволяет создавать материалы нового поколения с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Среди большого многообразия наноструктурированных углеродных материалов, особое место занимают фуллерены. Из анализа научных исследований и публикаций последних лет следует, что ученые по-прежнему уделяют большое внимание оптимизации технологий получения фуллеренов, изучению их физико-химических свойств и новым областям их применения. Это свидетельствует о сохраняющемся интересе к фуллеренам. Эти задачи играют ключевую роль как в фундаментальных исследованиях, направленных на понимание основных принципов нанотехнологии и наноматериаловедения, так и в прикладных областях, где потенциал фуллеренов может быть реализован для создания новых материалов и технологий. Развитие этих аспектов способствует дальнейшему прогрессу в области наноматериалов и нанотехнологий и открывает новые перспективы для инноваций и улучшения качества жизни.

На сегодняшний день существует множество методов для синтеза фуллеренов, включая лазерную абляцию, синтез из газовой фазы, электродуговое испарение графита, испарение электронным лучом и ионное пучковое распыление. Однако в процессе синтеза фуллеренов возникают различные проблемы, такие как низкокачественный и количественный выход продукции, а также необходимость очистки фуллеренов от примесей.

Одним из наиболее распространенных и эффективных методов получения фуллеренов является плазмохимический синтез с использованием высокотемпературных дуговых разрядов. Такой метод обеспечивает эффективное образование фуллеренов благодаря высокому уровню энергии, что способствует разложению углеродсодержащих материалов и образованию фуллереновой структуры. Кроме того, важным является то, что этот метод позволяет производить фуллерены в макроскопических количествах и при этом является более экономичным по сравнению с другими методами.

Таким образом, исследования направленные на повышение эффективности метода плазмохимического синтеза фуллеренов в высокотемпературном дуговом разряде, и на расширение областей их практического применения, являются актуальными и важными в области наноматериалов и нанотехнологий.

Целью диссертационноой работы является получение фуллеренов методом плазмохимического синтеза с оптимальными параметрами дугового разряда, их очистка от примесей, а также изучение влияния фуллеренов на параметры и характеристики пиротехнических композитов и трибологических смазочных составов.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи:**

- отработать и оптимизировать метод дугового разряда для плазмохимического синтеза фуллеренов и процесс термообработки, для

выхода в производственном количестве фуллереновой сажи; отработать метод очистки от примесей фуллереновых саж, полученных после дугового синтеза.

- изучить влияние фуллеренов на время горения, яркость пламени и характеристики выработки энергии путем введения их в пиротехнические композиты, состоящие из нитрата калия /алюминия/ древесного угля; выявить механизм влияния фуллеренов на кинетику горения пиротехнических систем за счет теплопроводимости фуллеренов.

- экспериментально изучить влияние фуллеренов на трибологические свойства смазочных составов; оценить эволюцию микрорельефа поверхностей подшипниковых стыков, степень повреждения поверхностей и эффективность фуллеренов в снижении износа.

Объектами исследования являются фуллерены и композиционные материалы на их основе, полученные методом плазмохимического дугового синтеза.

Предмет исследования – технологические условия процесса дугового синтеза для получения фуллереновой сажи в производственном количестве, параметры и характеристики пиротехнических композитов и смазочных составов, модифицированных фуллеренами.

Методы исследования. Для достижения цели диссертационной работы применялись разнообразные методы исследования. В частности, для анализа морфологических характеристик использовались сканирующий электронный микроскоп Quanta 3D 200i, FEI company, Hitachi TM4000 Plus, оптический микроскоп DM 6000M (Leica). Структурную характеризацию проводили с помощью спектроскопии комбинационного рассеяния света (Ntegra Spectra C3M, NT-MDT). Для измерения теплопроводности использовалась установка, основанная на методе стационарного теплового потока с устройством управления температурным режимом Lake Shore Model 336 Temperature.reduce factor.

Научная новизна исследования

1. Проведены комплексные исследования влияния параметров дугового разряда и предварительной термической обработки углеродного стержня для плазмохимического синтеза углеродных наноструктур. Установлены оптимальные технологические параметры плазмохимического синтеза для получения термодинамически устойчивых и сферически замкнутых фуллероновых структур.

2. Исследовано влияние фуллеренсодержащей сажи (ФС) на пиролитические параметры и характеристики гетерогенной системы KNO_3/Al/древесный уголь. Впервые показана возможность эффективного управления основными пиролитическими параметрами, такими как длительность стационарного диффузионного горения и интегральная световая отдача пламени, путем изменения концентрации ФС.

3. Изучено влияние фуллеренсодержащей сажи и наночастиц Al_2O_3 на трибологические свойства индустриальных смазочных материалов (ИСМ). Впервые установлено, что при совместном введении ФС и Al_2O_3 в ИСМ на поверхности деталей адсорбируется наноструктурированная трибоплёнка. В

результате этого происходит уменьшение площади контактного разрушения и наблюдается увеличение времени сохранения однородности микрорельефа поверхности при трении деталей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методом плазмохимического синтеза с оптимальными параметрами дугового разряда: рабочий газ – He, P = 300 Торр, U = 30 В и I = 300 А и предварительной термообработкой графитового стержня, возможно получение термодинамически стабильных сферически замкнутых фуллереновых структур. После химической очистки получается фуллереновая сажа из смеси C_{60} и C_{70} с выходом продукта до 18 % с повышенным содержанием фракции C_{70}.

2. Введение фуллеренсодержащей сажи с концентрацией от 5 до 15 мас. % в гетерогенную пиротехническую систему KNO_3/Al/древесный уголь увеличивает длительность стационарного диффузионного горения в 2,2 раза (с 5 до 11 с) и повышает интегральную световую отдачу пламени на 33 % вследствие высокой теплоаккумулирующей способности фуллереновых молекул, их каталитического влияния на кинетику термического разложения нитрата калия и дополнительного газовыделения CO_2 при контролируемом окислении фуллеренов,

3. Совместное введение фуллеренсодержащей сажи (в количестве 1 гр. мас.) и наночастиц Al_2O_3 (1 гр. мас. с размерами 32-190 нм) в индустриальные смазочные материалы приводит к формированию на поверхностях трения подшипников скольжения адсорбированной наноструктурированной трибоплёнки. В результате этого наблюдается уменьшение площади (зоны) контактного разрушения на ~20 % и сохранение однородности микрорельефа после 200 000 циклов при осевой нагрузке 980 Н и частоте вращения 750 об/мин.

Научно-практическая значимость исследования:

Полученные в работе результаты являются важными для развития физики фуллеренов, технологии их получения и практического применения. Установленные оптимальные технологические параметры плазмохимического синтеза фуллеренов с большим выходом конечного продута открывают перспективы внедрения такой технологии в промышленное производство. Установленные закономерности улучшения параметров и характеристик пиротехнических композитов и индустриальных смазочных материалов при их модифицировании фуллеренсодержащей сажей существенно расширит область практического применения фуллеренов.

Достоверность и обоснованость результатов исследования обусловлены использованием современной аппаратуры и методов исследования. Кроме того достоверность результатов подтвержается наличием публикаций в журнале дальнего зарубежья с высоким импакт фактором и в изданиях рекомендованных КОКСВНО МОН РК, а также в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Личный вклад автора. Все образцы, исследуемые в диссертационной работе, получены лично автором. Отработка методики и выбор параметров

анодирования проводились диссертантом самостоятельно. Исследование морфологии и фазового состава, а также элементный анализ и Рамановская спектроскопия синтезированных образцов были проведены совместно с исследовательской группой Национальной Нанотехнологической Лаборатории открытого типа КазНУ им. Аль-Фараби. Представленные результаты исследований в диссертационной работе, в частности, участие в создании экспериментальной установки по электродуговому синтезу фуллеренов, разработка метода синтеза фуллеренов с автоматической десорбцией графитовых стрежней на основе плазмохимического дугового разряда, эксперименты по дуговому синтезу фуллереновой сажи, отработка оптимальных режимов синтеза, экстракция фуллереновой фазы из фулеренсодержащей сажи, эксперименты по хроматографическому разделению фуллеренов, изучение свойств полученных образцов и анализ полученных данных были проведены автором. Эксперименты по определению влияние фуллеренов на трибологические свойства смазочных составов проводились при содействии руководителя лаборатории PhD Бахытулы Наурызбек, специальной лабораторной установки в Институте металлургии и обогащения Казахского Национального Исследовательского Технического университета им. К.И. Сатпаева. Постановка задач и обсуждение полученных экспериментальных результатов проводились совместно с научными консультантами.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ: 3 статьи в журналах из Перечня КОКСНВО МНВО РК для опубликования основных результатов диссертации на соискание степени PhD и 1 статья в журналах дальнего зарубежья с импакт-фактором, входящих в международный информационный ресурс Scopus; 8 работ в материалах Международных научных конференциях.

Апробация проведенных исследований.

Результаты, полученные при выполнении диссертационной работы, докладывались и обсуждались на следующих международных конференциях: международная научная конференция студентов и молодых учёных «GYLYM JANE BILIM - 2022» (2022 г., Астана, Казахстан); международной научной конференции «Interdisciplinary Science Studies» (2023г., Дублин, Ирландия); XXVII международная конференция «EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES & RESEARCH» (2022г., Германия).

Статьи, опубликованные в издании, входящем в международную научную базу данных Thomson Reuters и Scopus:

1.Aimasheva Zh., Coruh A., Ismailov D., Partizan G., Ibraimov M.K., Khaniyev B. Synthesis of Fullerenes by Electric Arc Discharge and their Applications in Pyrotechnic and Lubricants // ES Materials and Manufacturing. – 2025. – V. 28. – P. 1444. **[Q1, 91%]**

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан (КОКСНВО МНВО РК):

1. **Аймашева Ж**., Исмаилов Д.В., Оман З., Орынбай Б. Фуллереннің доғалық разрядтағы синтезі және оны қоспалардан тазарту // **ҚР ҰҒА баяндамалары**. – 2023. – №1. – Т.345. – С.96-10.

2. Аймашева Ж.К., Исмаилов Д.В., Ксенофонтов Д.А., Муратов М.М., Воробьева К.А. Применение наномикроматериалов в военном деле // **Научные труды ВИИРЭиС**. – 2024. – №4. – Т. 58. – С. 111-117.

3. Аймашева Ж.К., Исмаилов Д.В., Грищенко В.Ф., Stefano B., Партизан Г., Коштыбаев Т.Б. Микро және нано микро материалдардың пиротехникада қолданылуы // **ҚБТУ хабаршысы**. – 2024. – №2. – Т.69. – Б.229-237.

Публикации в сборниках тезисов международных конференций:

1. Аймашева Ж.К. Синтез фуллеренов методом дугового разряда // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». – 2022. – С.346.

2. Аймашева Ж.К. Фуллереннің доғалық разрядтағы плазмохимиялық синтезі және оны қоспалардан тазарту // «GYLYM JANE BILIM - 2022» студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция материалдары. – 2022. – Б.459-463.

3. Aimasheva Zh., Ismailov D.V. Synthesis of fullerenes by the electric arc discharge method // Proceedings of the scholarly abstract “European Academic Science and Research”. – 2022. - P.12.

4. Аймашева Ж. Көміртекті наноматериалдардың синтезі және оны қоспалардан тазарту // Жаһандық ғылым және инновация 2023: Орталық Азия, «Техникалық физика» сериясы. – 2023. – №1. – Т.19. – С.46-51.

5. Aimasheva Zh.K., Ismailov D.V. Synthesis of fullerenes by the electric arc discharge method // International Scientific Conference “Interdisciplinary Science Studies”. – 2023. – P. 5-7.

6. Аймашева Ж.К. Микро- наномикроматериалы в пиротехнике // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «ФАРАБИ ӘЛЕМІ». – 2023. – С.59.

7. Аймашева Ж.К. Доғалық разрядта синтезделген фуллерен күйесін мойынтіректерде қолдану // «ФАРАБИ ӘЛЕМІ» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференция материалдары. – 2024. – С.343-345.

8. Аймашева Ж.К., Исмаилов Д.В. Синтез нано- микроматериалов и их применение // Международный научно-исследовательский форум в честь 90-летия КазНУ им. аль-Фараби. – 2024. – С.81-83.

Связь темы диссертации с планами научных работ

Диссертационная работа выполнена в рамках грантового финансирования (ГФ) Научным комитетом Министерства науки и высшего образования (МНВО) Республики Казахстан № AP19678266.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа содержит перечень условных обозначений и сокращений, введение, основную часть из 3 разделов, заключение и список литературы. Работа представлена на 99 страницах, содержит 57 рисунков, 8 таблиц и 139 библиографических ссылок.