

ISSN 2091-5527

№ 2/2026

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал

**Композиционные материалы**

становятся термодинамически возможными при повышении температуры до 973–1073 К.

Анализ констант равновесия показал, что при температуре жидкого конвертерного шлака (около 1473 К) все рассматриваемые реакции имеют значения  $K > 1$ , что свидетельствует о смещении равновесия в сторону образования продуктов восстановления и высокой интенсивности процессов.

Кинетический анализ позволил установить, что лимитирующими стадиями являются реакции, связанные с диффузией оксида углерода в расплав шлака, что определяет общую скорость процесса. В то же время наличие в системе активных восстановителей (С и Fe) обеспечивает непрерывность протекания реакций за счёт последовательного образования СО и его дальнейшего участия в восстановлении оксидов.

Таким образом, клинкер выполняет роль комплексного восстановителя, обеспечивая как

прямое (металлотермическое и карботермическое), так и косвенное (через СО) восстановление оксидов металлов.

**Вывод.** Установлено, что восстановление оксидов металлов в системе «конвертерный шлак – клинкер» протекает по карботермическому, металлотермическому и газофазному механизмам. Показано, что наиболее термодинамически выгодными являются реакции с участием металлического железа и оксида углерода. Определено, что при температуре 1373–1473 К (1100–1200 °С) процессы восстановления характеризуются значениями константы равновесия  $K > 1$ , что свидетельствует о высокой интенсивности реакций. Выявлено, что лимитирующей стадией является диффузия СО в расплав шлака. Установлено, что клинкер является эффективным комплексным восстановителем, обеспечивающим высокую степень восстановления оксидов железа и меди.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Berdiyarov B.T., Xasanov A.S., Hojiyev Sh.T., Mutalibxonov S.S., Karimova Sh.K. Mis ishlab chiqarishning silikatli shlaklarini mahalliy tiklovchi moddalar bilan qayta ishlash jarayonining termodinamik imkoniyatlarini o'rganish // Материалы II-Республиканской научно-практической конференции с участием зарубежных ученых «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов», Ташкент, 19 января 2022. С. 432-434.

2. Мухаметджанова Ш.А., Ёкубов О.М., Хасанов А.С., Якубов М.М. Усовершенствование Обеднения конвертерных шлаков медного производства // Узбекский Химический Журнал, № 1, 2022. С. 30-34.

3. Якубов М.М. Исследование закономерностей взаимодействия многофазных композиционных материалов из отходов цветной металлургии и разработка на их основе безотходной энерго- и ресурсосберегающей технологии производства меди в АО «Алмалыкский ГМК» // Сб. тр. Межд. НТК «Новые композиционные материалы на основе местного и вторичного сырья». – Ташкент, 2011. – С. 15-21.

4. Хожиев Ш.Т., Исмаилов Ж.Б., Очилдиев К.Т., Шукуров М.С., Махмудова О.О. Анализ возможных химических реакций при обеднении медных шлаков // “Студенческий вестник”: научный журнал, № 6(104). Часть 4. Москва, Изд. «Интернаука», Февраль 2020 г. С. 38 – 41.

5. Sokhibjon T. Matkarimov, Sardor Q. Nosirkhudjayev, Qakhramon T. Ochildiyev, Oybek U. Nuraliyev, Begzod R. Karimdjonov. Technological Processes of Receiving Metals in The Conditions of Moderate Temperatures // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). Volume-8, Issue-12, October 2019. P. 1826-1829.

6. Berdiyarov B.T., Khojiyev Sh.T. Thermodynamic analysis of reduction of oxidized copper compounds in a slag phase // Kompozitsion materiallar. –Toshkent, 2021. – № 4. – С. 39 – 43.

УДК 678.7:543.422.4

#### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕТИЛМЕТАКРИЛАТА МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

<sup>1</sup>Марданова Ю.У., <sup>2</sup>Камалова Д.И., <sup>3</sup>Абед Н.С.

<sup>1,2</sup>Навоийский государственный университет, <sup>3</sup>ГУ “Фан ва тараккиёт”

**Аннотация.** В данной работе исследована структура полупроводниковых композиционных полимерных материалов на основе ПММА методом ИК-спектроскопии (FTIR). Основной целью является выявление взаимодействий между полимерной матрицей и наполнителями (графит, технический углерод, углеродные нанотрубки, ZnO), а также оценка их влияния на структурные и электрофизические свойства. Анализ спектров наполнителей позволил определить их функциональные группы и структурные особенности. Установлено, что основные группы ПММА сохраняются, однако наблюдаются смещения и изменения интенсивности полос, свидетельствующие о физико-химических взаимодействиях. Для образца HZ-23 показано преобладание межмолекулярных взаимодействий, формирование стабильной структуры и улучшение электрофизических свойств материала.

**Ключевые слова:** ПММА, композиция, ИК-спектроскопия, FTIR, полимер, наполнитель, графит, углерод, ZnO, функциональные группы, структура, свойства.

**Введение.** В настоящее время композиционные материалы на основе полимеров являются одним из приоритетных направлений современной науки и техники. Особый интерес представляют полупроводниковые полимерные композиции, обладающие широкими возможностями применения в электронике, сенсорных системах, устройствах накопления энергии и нанoeлектронике. Основными преимуществами таких материалов являются их малая масса, технологичность и возможность целенаправленного регулирования свойств. В связи с этим разработка новых функциональных композиций на основе полимерной матрицы и различных наполнителей является актуальной задачей.

Полиметилметакрилат (ПММА) относится к числу полимеров, характеризующихся высокой оптической прозрачностью, механической прочностью и химической стабильностью, что делает его перспективным материалом для создания композиционных систем. Введение проводящих и полупроводниковых наполнителей – графита, технического углерода, углеродных нанотрубок и оксида цинка (ZnO) – позволяет существенно улучшить электрические и диэлектрические свойства ПММА-композиций. При этом характер взаимодействия между компонентами является ключевым фактором, определяющим их конечные свойства.

Для исследования молекулярной и структурной организации композиционных материалов широко применяется метод ИК-спектроскопии. Данный метод позволяет идентифицировать функциональные группы, химические связи и их изменения, а также оценить физико-химические взаимодействия между компонентами. В настоящей работе структура композиционных материалов на основе ПММА исследуется с использованием данного метода с целью установления взаимосвязи между их структурными особенностями и электрофизическими свойствами.

**Материалы и методики.** В качестве полимерной матрицы в работе использовался ПММА, обладающий высокой прозрачностью, химической стойкостью и стабильными физико-механическими характеристиками. В качестве функциональных наполнителей применялись графит (Gr), технический углерод (CB), углеродные нанотрубки (CNT) и оксид цинка (ZnO), обеспечивающие формирование проводящих и полупроводниковых свойств композиции. Подбор состава и соотношения компонентов осуществлялся с учётом их

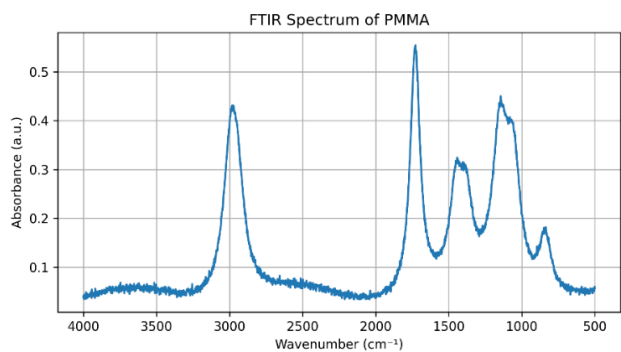
дисперсности, поверхностной активности и способности к образованию проводящей сети в полимерной матрице.

Получение композиционных материалов проводилось методом механического смешивания с последующей термической обработкой. На первом этапе наполнители подвергались диспергированию с целью предотвращения агломерации и обеспечения равномерного распределения в объёме полимера. Далее компоненты вводились в матрицу ПММА и тщательно перемешивались до получения однородной композиционной массы. Полученные смеси формовались в образцы и подвергались сушке при заданных температурных режимах для удаления остаточной влаги и стабилизации структуры.

Структурные исследования полученных материалов проводились методом инфракрасной спектроскопии. ИК-спектры регистрировались в диапазоне  $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ , что позволило идентифицировать характерные функциональные группы, химические связи и особенности межмолекулярных взаимодействий. Анализ спектров включал определение положения полос поглощения, их интенсивности и возможных смещений относительно эталонного спектра ПММА. Полученные данные использовались для оценки степени взаимодействия между матрицей и наполнителями, а также для выявления структурных изменений, возникающих в процессе формирования композиции.

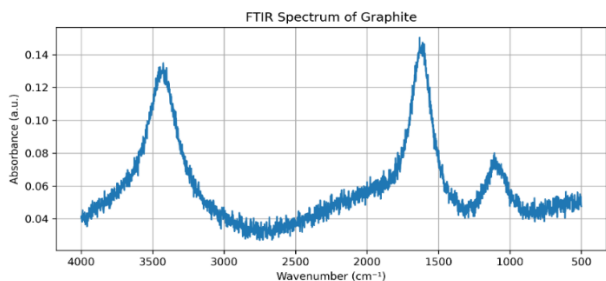
**Результаты и обсуждение.** В данной работе структура композиционных полимерных материалов на основе ПММА была исследована методом ИК-спектроскопии, что позволило детально проанализировать их молекулярную и структурную организацию. Установлено, что ИК-спектроскопия является эффективным инструментом для идентификации функциональных групп, химических связей и оценки физико-химических взаимодействий между компонентами композиции.

На начальном этапе был изучен ИК-спектр исходного ПММА, использованного в качестве эталона. В спектре чётко наблюдаются характерные полосы поглощения: интенсивная полоса в области около  $1730\text{ см}^{-1}$ , соответствующая карбонильной группе (C=O), полосы в диапазоне  $2950\text{--}3000\text{ см}^{-1}$ , обусловленные валентными колебаниями C–H, а также пики при  $1450$  и  $1380\text{ см}^{-1}$ , относящиеся к деформационным колебаниям  $\text{CH}_2$  и  $\text{CH}_3$  групп. Полосы в области  $1150\text{--}1200\text{ см}^{-1}$  соответствуют эфирным связям (C–O–C), что подтверждает сохранение молекулярной структуры полимера.



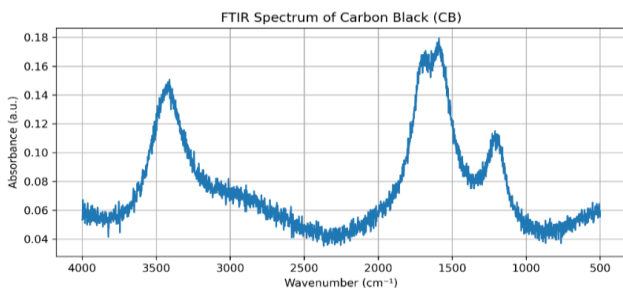
**Рисунок 1. ИК-спектр ПММА**

Дальнейший анализ ИК-спектров наполнителей Gr, СВ, CNT и ZnO показал наличие у них специфических функциональных групп. Для углеродсодержащих материалов характерны полосы в области 1500–1600 см<sup>-1</sup>, соответствующие ароматическим связям C=C, а также слабые полосы в области 1700–1720 см<sup>-1</sup> и около 3400 см<sup>-1</sup>, связанные с карбонильными и гидроксильными группами. Это указывает на наличие кислородсодержащих функциональных групп на поверхности частиц, играющих важную роль в формировании межфазного контакта.



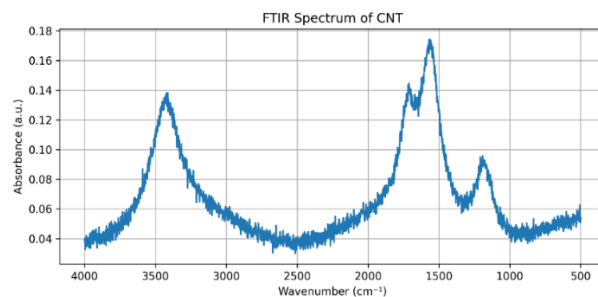
**Рисунок-2. ИК-спектр графита**

Анализ ИК-спектра СВ показал аналогичные особенности: наличие слабых полос, соответствующих кислородсодержащим группам, а также полос в области ароматических связей. Это подтверждает активную роль поверхности частиц в формировании структуры композиции.



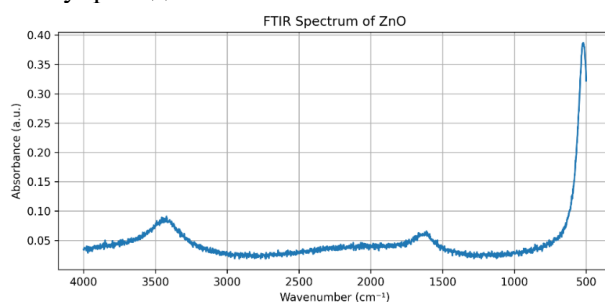
**Рисунок-3. ИК-спектр технического углерода**

ИК-спектр CNT характеризуется наличием полос в области 1550–1600 см<sup>-1</sup> (графитоподобные связи C=C), а также слабых полос около 1700 см<sup>-1</sup> и 3400 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует о частичной функционализации поверхности и наличии дефектных участков.



**Рисунок-4. FTIR-спектр углеродных нанотрубок**

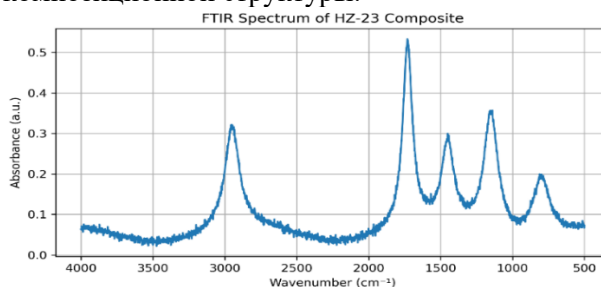
Для ZnO характерна интенсивная полоса в области 400–600 см<sup>-1</sup>, соответствующая колебаниям Zn–O, а также слабая полоса около 3400 см<sup>-1</sup>, связанная с адсорбированной влагой. Это подтверждает оксидную кристаллическую структуру материала и его роль как полупроводникового компонента.



**Рисунок-5. ИК-спектр ZnO**

В композиционных материалах на основе ПММА наблюдаются изменения в положении и интенсивности полос поглощения по сравнению с эталонным спектром. Смещение пиков и появление дополнительных полос свидетельствуют о наличии физико-химических взаимодействий между компонентами системы. При этом образование новых химических связей не зафиксировано, что указывает на преобладание межмолекулярных взаимодействий.

Особое внимание уделено анализу оптимального состава — образца HZ-23. В его ИК-спектре сохраняются основные полосы, характерные для ПММА, что подтверждает стабильность полимерной матрицы. Одновременно наблюдаются дополнительные особенности в области около 800 см<sup>-1</sup>, связанные с присутствием наполнителей, что свидетельствует о формировании единой композиционной структуры.



**Рисунок-6. ИК-спектр композиционного материала HZ-23**

- Очилдиев К.Т., Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.Т., Исмаилов Ж.Б., Нуралиев О.У., Акромов У.А., Чориев Х.И.** Термодинамический анализ процессов восстановления оксидов металлов конвертерного шлака клинкером ..... 172
- Марданова Ю.У., Камалова Д.И., Абед Н.С.** Исследование структуры полупроводниковых композиционных полимерных материалов на основе полиметилметакрилата методом ИК-спектроскопии..... 176
- Jalilov Sh.N., Karomatov S., Safarov A.R.** Mochevino-formaldegid smolasini kraxmal, melamin va PVX asosida modifikatsiyalab olingan yelimlovchi-bog'lovchilarning fizik-kimyoviy tahlil usullarini o'rganish..... 179

## 6. Проблемные обзоры

- Нормаматов А.М., Эркаев А.У., Эркаева Н.А., Шамаксудова Д.С. Бобокулов А.Н.** Сув тозалаш иншооти чўкиндисини комплекс қайта ишлаш ..... 181
- Абед Н.С., Негматов С.С., Сергиенко В.П., Бухаров С.Н., Косимов Ш.Б., Туляганова В.С., Шамсиева С.С., Эшқобилов О.Х., Джабаров Б.Т.** Влияние электропроводящих и полупроводниковых наполнителей на электризацию полимерных покрытий при трении с хлопком-сырцом ..... 185
- Mamirov A.M., Olimov L.O.** Granullangan kremniy nanozarralarini qarshilik vositasi bilan qizdirib biriktirish orqali kremniy sirtida metallokompozit omik kontaktlar hosil qilish muammolari va yechimlari ..... 188
- To'xtayev S.A., Amonov M.R., Axmedov M.M.** Neft-gaz sanoatida qo'llanilgan kompressor moylarini sorbentlar asosida tozalash ..... 191
- Рахимова М.Ш., Томилини Д.В.** Разработка коллекции женских жакетов сложных форм с учётом физико-механических свойств тканей ..... 194
- Ахмедов Р.Т.** Композиционные материалы в создании функциональных и декоративных меховых изделий ..... 199
- Ахмадалиев Ш.Ш.** Композицион материалларни деформациялашда кучланган-деформацияланган холат экспериментал тадқиқот усулларининг таҳлили ..... 202
- Очилдиев К.Т., Мухаметджанова Ш.А., Маткаримов С.Т., Исмаилов Ж.Б., Нуралиев О.У., Акромов У.А., Чориев Х.И.** Механизм взаимодействия конвертерного шлака и клинкера при восстановлении оксидов металлов ..... 204
- Ходжаева Д.Н., Рузиева Б.Ю., Негматов С.С., Абед Н.С.** Исследования состояния и анализ полимерных связующих применяемых в производстве древесно-пластиковых плитных материалов ..... 206
- Rahmonova M.S., Eshqobilov O.X.** Lok-bo'yoq materiallar va ularning tarkibidagi to'ldiruvchilarni xossalriga ta'siri ..... 209
- Дадаходжаев А.Т., Рахматов У.Н., Абдуллаева Д.К., Собитов О.С., Мусабаев Д.Т.** Ресурсоберегающая технология получения микроудобрения -гептагидрата сульфата цинка ..... 211
- Юсупов А.А., Райимкулов С.Х., Сайфуллаев Ж.Ж.** Методы формовки труб большого диаметра и перспективы расширения производственных мощностей трубного производства Узбекистана ..... 212
- Абдалимов Д.О., Тураходжаев Н.Дж., Чоршанбиев Ш.М., Таджиев Н.Х., Тўраев А.Н., Парпиев Р.А.** Бронза қотишмасидан заргарлик буюмларини куйиш усуллари, нуқсонлар ва уларни бартараф этиш ..... 215
- Jalilov Sh.N., Karomatov S., Safarov A.R.** Mochevino-formaldegid smolasini kraxmal, PVX, EPXG va melamin asosida modifikatsiyalab olingan yelimlovchi bog'lovchi kompozitsiyaning TGA/DTA hamda SEM tahlilini o'rganish ..... 218

## 7. Вести из лаборатории

- Косимова М.Н.** Опытнo-производственные испытания разработанных композиций при крашении хлопко-вискозных тканей ..... 221
- Негматов С.С., Анварова З.А., Султанов С.У.** Разработка технологического процесса и режимов получения ненаполненных композиций из ацетат целлюлозных композиций ..... 221
- Samadova L.Sh., Yakubov M.M., Yakubov O.M., Maksudxodjayeva M.S.** Mineral va texnogen xomashyoning qiyin boyitiluvchanligini eritish usuli orqali to'liq ochish imkoniyati ..... 223