

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

FERRİT KATALİZATORLARININ KARBON MONOOKSİDİN AŞAĞI TEMPERATURLU OKSİDLƏŞMƏSİ ÜÇÜN ZOL-GEL YANMA VƏ MİKRODALĞALI ŞÜALANMA İLƏ SİNTEZİ VƏ TƏDQIQI

İxtisas: 2316.01–Kimyəvi kinetika və kataliz

Elm sahəsi: Kimya

İddiaçı: **Günel Ramiz qızı Əzimova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun “Katalizatorların hazırlanması” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Sima Məmməd qızı Zülfüqarova

Elmi Məsləhətçi: kimya elmləri doktoru, akademik
Dilqəm Bəbir oğlu Tağıyev

Rəsmi opponentlər: kimya elmləri doktoru, professor
Eldar İsa oğlu Əhmədov

kimya elmləri doktoru, professor
Səfa İslam oğlu Abasov

kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Elvira Ənvərovna Hüseynova

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü,
kimya elmləri doktoru, professor
Məhəmməd Baba oğlu Babanlı

Dissertasiya şurasının elmi katibi: kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Ülviyyə Əhməd qızı Məmmədova

Elmi seminarın sədri: kimya elmləri doktoru, professor
Arif Cavanşir oğlu Əfəndi

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Karbon monooksid insan fəaliyyəti (nəqliyyat vasitələrinin, istilik elektrik stansiyalarının, kimya və metallurgiya sənayesi müəssisələrinin qaz tullantıları) və eləcə də təbii fəlakətlər (yanğınlar, vulkan püskürmələri) nəticəsində atmosfərə atılan təhlükəli və zəhərli maddələrdən biridir. Dəm qazı qandakı hemoqlobinlə oksigendən daha güclü və 200-300 dəfə sürətli birləşə bilir. Böyük şəhərlər üçün dəm qazının qatılığının maksimum icazə verilən həddən 20-30 dəfə çox olması xarakterikdir (CO üçün maksimum icazə verilən konsentrasiya $0,05 \text{ mq/m}^3$ təşkil edir). Atmosfer tullantılarından CO-nu zərərsizləşdirmənin bir neçə yolu məlumdur: CO-nun maye və bərk adsorbentlər tərəfindən sorbsiyası, yüksək temperaturlu yanma ilə CO-nun CO₂-yə çevrilməsi və CO-nun katalitik oksidləşdirilməsi. Hal-hazırda, nəcib metallar, keçid və qeyri-keçid metalların oksidləri, perovskitlər və şpinel quruluşlu çoxkomponentli sistemlər əsasında CO-nun CO₂-yə oksidləşməsi üçün çoxsaylı katalitik sistemlər məlumdur¹.

Karbon monooksid tullantılarının neytrallaşdırılması üçün nəqliyyatda və sənayedə istifadə olunan platin yarımqrupunun nəcib metalları əsasında hazırlanan katalizatorların yüksək katalitik aktivlik göstərməsi ilə yanaşı, baha və az tapılan metallar kimi çatışmayan cəhətləri də vardır. Nəticədə bu da onların geniş tətbiqinə mane olur. Karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsi üçün nəcib metallar (Pd, Pt, Au, Ag) əsasında katalitik sistemlərin dəyişkən valentli keçid metallar əsasında hazırlanan oksid katalizatorlar ilə əvəz olunması katalizatorların istehsalına sərf olunan xərclərin azalması və eyni zamanda reaksiyanın getməsi üçün enerji sərfiyyatının azalması nöqtəyi nəzərdən aktual məsələlərdən biridir.

Məlumdur ki, katalizatorların aktivliyi bir çox faktorlardan, o cümlədən onun kimyəvi tərkibi və quruluşundan, aktiv mərkəzlərin

¹ Soliman, N.K. Factors affecting CO oxidation reaction over nanosized materials: A review. // Journal of Materials Research and Technology, - 2019, 8 (2), - p. 2395-2407.

təbiətindən, katalizatorun səthindən, disperslikdən və katalizatorun strukturundakı defektlərin olmasından asılıdır. Bu faktorlar öz növbəsində katalizatorların alınma texnologiyası ilə müəyyən edilir. Buna görə də nanoölçülü, nanostrukturlu katalitik sistemlərin alınmasında müxtəlif texnologiyaların işlənilib hazırlanması kataliz sahəsində çalışan tədqiqatçıların daim diqqət mərkəzində olmuşdur.

Katalizatorların sintezi üçün perspektivli üsullardan biri ekzotermik reaksiyaların enerjisindən istifadə edən zol-gel avtoyanma üsuludur². Bu metodun əsas üstünlükləri az enerji sərfiyyatı, sintez müddətinin qısa olması, xüsusi avadanlıqlardan istifadəyə ehtiyacın olmaması və kimyəvi reaksiya enerjisindən istifadə etməklə prekursorların son məhsula bir mərhələli çevrilməsinin mümkünlüyünü qeyd etmək olar.

Son illərdə xammal və enerjiyə qənaət edən, ekoloji cəhətdən təhlükəsiz texnologiyaların yaradılması üçün mikrodalğalı şüalanmadan istifadə perspektivli istiqamətlərdən biri hesab olunur. Hal-hazırda mikrodalğalı şüalanma ilə intensivləşmə bir çox sənaye proseslərində istifadə edilir. Mikrodalğalı şüalanma ilə qızma yüksək sürəti və effektivliyi ilə seçilir.

Zol-gel yanma metodunun və mikrodalğalı texnologiyanın ümumi üstün cəhətləri olan az enerji sərfiyyatı və ekoloji təhlükəsizliyi nöqtəyi-nəzərindən onların birgə istifadəsi perspektivli görünür. Bu baxımdan zol-gel yanma üsulundan və mikrodalğalı texnologiyadan birgə istifadə etməklə karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsi üçün effektiv katalitik sistemlərin yaradılması aktual problem olub mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu eyni zamanda mühüm ekoloji problemin həll olmasına gətirib çıxarır.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Tədqiqatın obyektı karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsi üçün ferrit tərkibli katalitik sistemlər olmuşdur.

Tədqiqatın predmeti isə bu sistemlərin zol-gel yanma və mikrodalğalı texnologiya ilə birgə sintezi və göstərilən reaksiyada katalitik xassələrinin tədqiqi olmuşdur.

² Bhagwata, V.R. Sol-gel auto combustion synthesis and characterizations of cobalt ferrite nanoparticles: Different fuels approach / V.R.Bhagwata, V.H.Ashok, S.D.Morec [et al.] // Materials Science & Engineering, – 2019, 248, – p. 11438.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. İşin məqsədi zol-gel yanma və mikrodalğalı texnologiya ilə ferrit tərkibli katalizatorların hazırlanması və karbon monooksidin aşağı temperaturda oksidləşməsində aktivliyinin öyrənilməsidir.

Bu məqsədlə aşağıdakı məsələlərin yerinə yetirilməsi nəzərdə tutulmuşdur:

- Mis, kobalt, nikel və manqan ferritlərinin zol-gel və zol-gel mikrodalğalı yanma üsulları ilə sintezi;

- Ferrit katalizatorlarının müvafiq metal oksidlərindən bərk fazada mikrodalğalı sintezi;

- Müxtəlif üsullarla sintez edilmiş ferritlərin katalitik aktivliyinin karbon monooksidin aşağı temperaturda karbon dioksidə çevrilmə prosesinin öyrənilməsi;

- Üçkomponentli ferrit tərkibli katalitik sistemlərin zol-gel yanma üsulu ilə sintezi və karbon monooksidin karbon dioksidə konversiyasında tədqiqi;

- Sintez edilmiş katalitik sistemlərin müasir fiziki-kimyəvi analiz üsulları ilə xarakterizə edilməsi.

Tədqiqat metodları. Sintez edilmiş katalizatorların katalitik aktivliyi axın tipli qurğuda, məhsulların analizi qaz xromatoqrafi ilə tədqiq edilmişdir. Katalizatorların fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi müasir fiziki-kimyəvi analiz üsullarından rentgen-faza analizi (RFA), infraqırmızı spektroskopiya (İQS), derivatoqrafik analiz (TQA, DTA), elektron paramaqnit rezonansı (EPR), skanedici elektron mikroskopu (SEM), işığın dinamik səpilməsi (İDS), katalizatorun tərkibinin rentgen flüoresent analizi, xüsusi səthin təyininəndən istifadə etməklə həyata keçirilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:

- Termiki zol-gel və mikrodalğalı zol-gel yanma üsulları ilə sintez edilmiş Co, Ni, Cu, Mn ferritlərin karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyasında katalitik aktivliyinin müqayisəli tədqiqi;

- Zol-gel yanma üsulu və oksidlərdən bərk fazalı sintezlə alınan ferritlərin katalitik aktivliyinə mikrodalğalı termiki emalın təsiri;

- Zol-gel mikrodalğalı yanma metodu ilə karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyası üçün aktiv ferrit katalizatorlarının sintez şəraitinin müəyyənəşdirilməsi;

- Mikrodalğalı emal şəraitinin alınan ferritlərin xüsusi səthinə təsiri.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

- Ferrit tərkibli katalizatorlar zol-gel yanma və mikrodalğalı texnologiya ilə sintez edilmiş və onların aktivliyi karbon monooksidin oksidləşməsi reaksiyasında müqayisəli şəkildə tədqiq olunmuşdur;

- Karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşmə reaksiyası üçün ferrit tərkibli aktiv katalizatorların sintezində mikrodalğalı texnologiyanın zol-gel yanma üsuluna tətbiq şəraiti müəyyənəşdirilmişdir. Mikrodalğaların enerjisindən yalnız geli “alovlandırmaq” üçün istifadə etməklə alınmış ferrit tərkibli katalizatorların aktivliyi ənənəvi zol-gel yanma üsulu ilə alınan oxşar nümunələrin aktivliyi ilə nəinki müqayisə oluna bilir və hətta bir qədər üstün olur;

- Uzun müddətli mikrodalğalı şüalanma həm zol-gel yanma, həm də müvafiq oksidlərdən bərkfazlı sintezlə alınan ferritlərin xüsusi səthinin aşağı olmasına səbəb olur;

- Karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsi üçün zol-gel yanma və mikrodalğalı termiki emal üsulu ilə daha yaxşı aktivlik göstərən üç komponentli mis-manqan və kobalt-manqan ferrit tərkibli aktiv katalizatorlar işlənilib hazırlanmışdır.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İşin praktiki əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsi üçün zol-gel yanma üsulu və mikrodalğalı şüalanmadan istifadə etməklə ferrit tərkibli aktiv katalizatorların alınması işlənilib hazırlanmışdır. Bu üsulla katalizatorların sintezi uzunmüddətli əməliyyatlar və əlavə termiki emal tələb etmir ki, bu da prosesi enerjiyə qənaətli və iqtisadi cəhətdən sərfəli edir.

Aprobasiyası və tətbiqi.

Dissertasiya işinin nəticələri aşağıdakı respublika və beynəlxalq elmi konfranslarda məruzə edilmiş və müzakirə olunmuşdur:

- XXIX Российская молодежная научная конференция с международным участием, посвященная 150-летию Периодической таблицы химических элементов (Екатеринбург-2019);
- XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry (Saint Petersburg-2019);
- III International School-Conference Applied Nanotechnology and Nanotoxicology (ANT-2019) (Sochi-2019);
- «Перспективные технологии и материалы» материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Севастополь-2020);
- IV Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием - экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы (Улан-Удэ-2020);
- Научный Вестник СамГУ, Scientific Reports of Samarkand State University, Ilmiy Axborotnoma, Электронный Выпуск материалов Международной конференции SOL-GEL 2020 (Samarkand-2021);
- Материалы XXIV Всероссийской конференции молодых ученых-химиков с международным участием (Нижний Новгород-2021);
- V Всероссийская научная конференция «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов» (Иваново-2021);
- IV Российский конгресс по катализу, Роскатализ (Казань, Россия-2021);
- Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, IV Байкальский материаловедческий форум (Улан-Уде-2022);
- Modern Problems of Theoretical & Experimental Chemistry devoted to the 90th Anniversary of Academician Rafiga Aliyeva (Baku-2022);
- Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды. Сборник материалов IX Всероссийской конференции, посвященной 55-летию

Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова (Чебоксары-2022);

- XXIV Международная научно-практическая конференции студентов и молодых ученых. Химия и химическая технология в XXI веке (Томск-2023);
- Седьмая Международная конференция стран СНГ «Золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «золь-гель 2023 (Москва-2023);
- XXVII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков (с международным участием) (Нижний Новгород-2024).

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M. Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun “Katalizatorların hazırlanması” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş (10988 işarə), 4 fəsil (I fəsil – 56180 işarə, II fəsil – 26465 işarə, III fəsil – 38735 işarə, IV fəsil – 38553 işarə), nəticələr (3008 işarə) və 190 istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. 73 şəkil, 24 cədvəl və 2 sxem də daxil olmaqla işin ümumi həcmi 160 kompyuter çap vərəqi, 173929 işarədən ibarətdir.

Minnətdarlıq. Müəllif rentgenoqrafik tədqiqatların aparılmasında göstərdiyi köməyə görə fiziki-kimyəvi analiz şöbəsinə (AR ETN KQÜKİ) dərin minnətdarlığını bildirir.

Tədqiqatın dərc olunma dərəcəsi. Dissertasiya işinin mövzusu üzrə 25 elmi əsər dərc olunmuşdur. Onlardan 10 məqalə (6-sı beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə daxil olan) və 15 məruzənin tezisiidir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Müəllif dissertasiya işinə dair ədəbiyyat materiallarının toplanması və təhlilində, katalitik sistemlərin sintezində, onların katalitik aktivliklərinin təcrübədə yoxlanılmasında, maddələrin analizində, fiziki-kimyəvi analiz tədqiqatlarının aparılmasında bilavasitə iştirak etmişdir.

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, həll olunacaq məsələlər, tədqiqat metodları, elmi yeniliklər, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar və işin aprobeiasyası göstərilmişdir.

Birinci fəsildə karbon monooksidin karbon dioksidə oksidləşməsi üçün mövcud katalitik sistemlərə baxış keçirilmiş, dissertasiya işinin mövzusuna uyğun olaraq ferrit tərkibli katalizatorların zol-gel yanma metodu və mikrodalğalı texnologiya ilə sintezinə və karbon monooksidin katalitik oksidləşməsinə aid ədəbiyyat məlumatlarının təhlili aparılmış, dissertasiya işinin mövzusu formaləşdirilmişdir.

İkinci fəsildə zol-gel yanma və mikrodalğalı texnologiyadan istifadə etməklə ferrit tərkibli katalizatorların sintez üsulları, katalizator nümunələrinin fiziki-kimyəvi tədqiqi metodları və istifadə edilən avadanlıqlar haqqında məlumat verilmiş, CO-nun CO₂-yə oksidləşməsinin tədqiqi üçün axın tipli laboratoriya təcürbi qurğusunun təsviri və işləmə qaydası verilmişdir.

Üçüncü fəsildə zol-gel yanma və mikrodalğalı termiki emal metodu ilə alınmış ferritlərin fiziki-kimyəvi xassələri və karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyasında katalitik aktivliyi öyrənilmişdir.

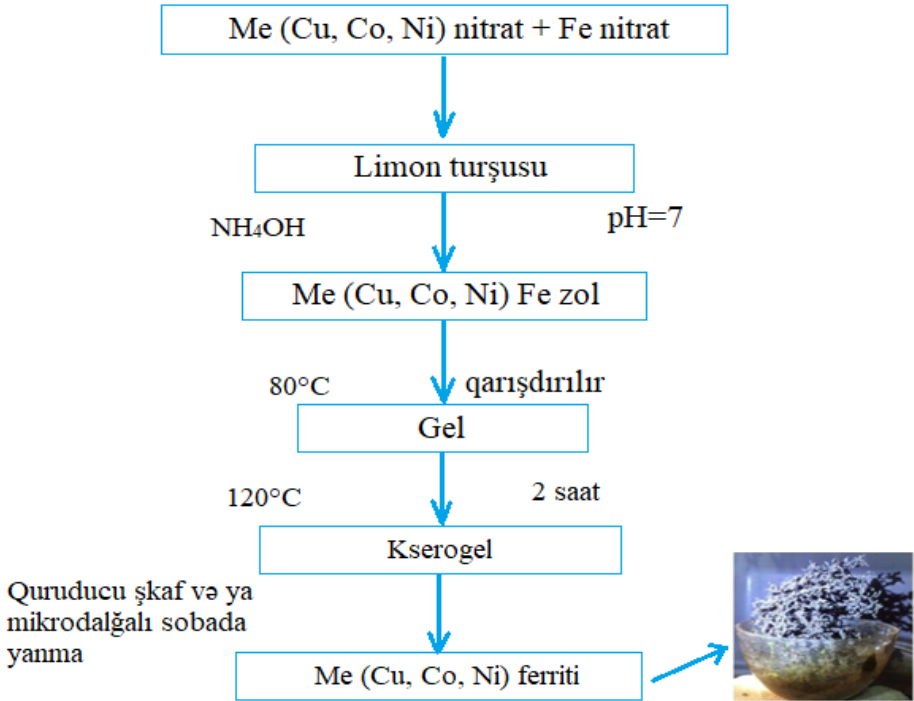
Dördüncü fəsildə karbon monooksidin karbon dioksidə aşağı temperaturda katalitik oksidləşmə reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsinə və prosesin kinetik modelinin tərtibinə aid yerinə yetirilmiş tədqiqatların nəticələri verilmişdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

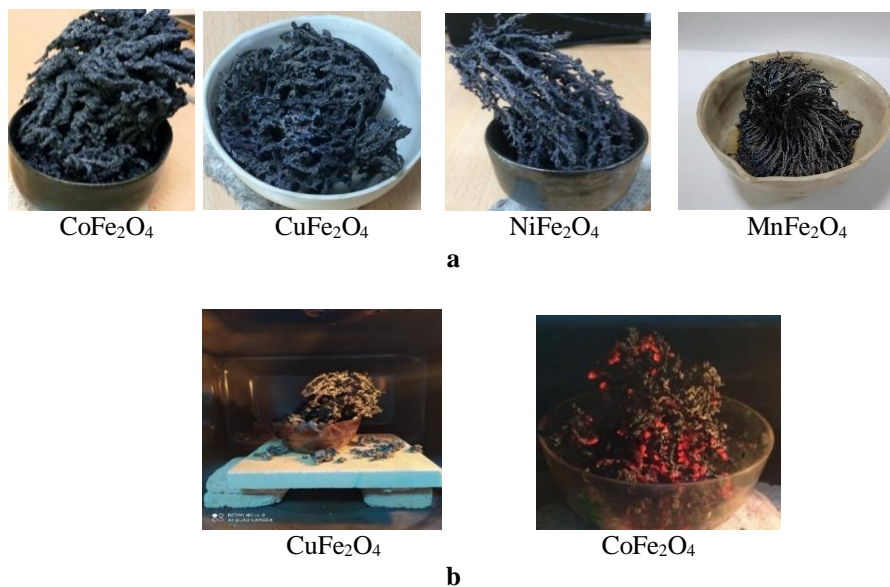
Ferritlərin zol-gel yanma və mikrodalğalı texnologiyadan istifadə ilə sintezi

Alınmış ilkin nəticələrə əsasən CuFe₂O₄, CoFe₂O₄ ferritləri karbon monooksidin karbon dioksidə oksidləşməsi reaksiyasında yüksək aktivlik nümayiş etdirmişlər. Metalların (Co, Cu, Ni, Mn) nitrat duzlarının və üzvi reagentlərin (limon turşusu, qlisin, karbamid) hesablanmış miqdarda (metalların və üzvi reagentlərin molyar nisbəti 1:2 götürülmüşdür) sulu məhlulları 1 saat müddətində

maqnit qarışdırıcıda qızdırılmaqla qarışdırılmış, ammoniyak məhlulu ilə məhlulun pH-ı 7-yə çatdırılmış, sonra o, qatılşana və gel əmələ gələnə qədər buxarlandırılmışdır. Gelin qurudulması və yanması quruducu şkafda və mikrodalğalı sobada aparılmışdır. Ferritlərin mikrodalğalı sintezində, gelin yanması üçün EM-G5593V (Panasonic) markalı, rezonatorunun həcmi 25 l, maqnetronun gücü 160-900 Vt, işçi tezliyi 2450 MHz olan mikrodalğalı sobadan istifadə edilmişdir. Sintez mərhələlərinin ardıcılığı aşağıdakı şəkil 1-də verilmişdir [17]. Şəkil 2 (a və b)-də sintez edilmiş bəzi nümunələrin fotosəkilləri göstərilmişdir [8].



Şəkil 1. Ferritlərin zol-gel yanma usulu ilə alınmasının sxemi [17]



Şəkil 2. Zol-gel yanma metodu (a) və mikrodalğalı sintez şəraitində (b) alınmış ferritlərin fotosəkilləri [8, 19]

Ferritlərin alınmasında mikrodalğalı texnologiyadan istifadə imkanlarını tədqiq etmək məqsədi ilə zol-gel yanma sintezi ilə yanaşı, yuxarıda adları çəkilən metalların oksidlərindən və dəmir oksiddən bərk fazalı sintez metodu ilə həmin metalların ferritləri sintez edilmişdir [9].

Məlum metodikaya əsaslanaraq dissertasiya işində kobalt, nikel və mis ferritlərinin bərk fazalı sintezi üçün başlanğıc maddələr olaraq nikel, kobalt, mis ikivalentli oksidlərindən (MeO) və dəmir (III) oksiddən istifadə olunmuşdur³.

Hər iki metodla alınan ferritləri bağlayıcı kimi alüminium oksidin hidrogeli ilə qarışdırılmış, qranula şəklinə salınmış və 500°C-də termiki emal edildikdən sonra istifadə olunmuşdur. Aktiv kütlənin miqdarı 1 qram götürülmüşdür.

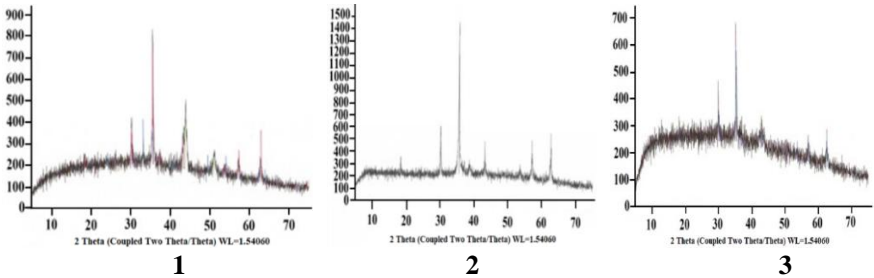
³ Litvishkov, Yu.N. Microwave synthesis of ferrites of Co, Ni, Cu, Zn ferrites / Yu.N.Litvishkov, S.M.Zulfugarova, Z.F.Aleskerova [et al.] // The Russian Journal of Applied Chemistry, - 2018, 91 (5), - p. 679-687

CO-nun oksidləşməsi açıq axın rejimində CO:hava=1:(3-5) mol nisbətində, 6000-12000 saat⁻¹ həcmi sürətdə kvars reaktorda aparılmışdır. Məhsulların analizi qaz xromatoqrafında yerinə yetirilmişdir. Qaz daşıyıcısı kimi helium istifadə olunmuşdur. Qazın axını dəqiqədə 15 ml sürətlə verilmişdir.

Zol-gel yanma metodu ilə alınan kobalt, mis, nikel və manqan ferritlərinin fiziki-kimyəvi tədqiqi

Ədəbiyyat materiallarına görə ferritlərin zol-gel yanma metodu ilə sintezində əksər hallarda kompleksmələğətirici və “yanacaq” kimi limon turşusu istifadə olunmuşdur. Buna görə də göstərilən ferritlər əsasən limon turşusundan istifadə edilməklə sintez edilmişdir. Şəkil 3-də metalların stexiometrik nisbətlərində sintez olunmuş ferrit nümunələrinin difraktoqrammaları verilmişdir. Rentgen faza analizinə əsasən nümunələrdə ferritlərlə yanaşı, az miqdarda metal oksidləri və hematit də vardır.

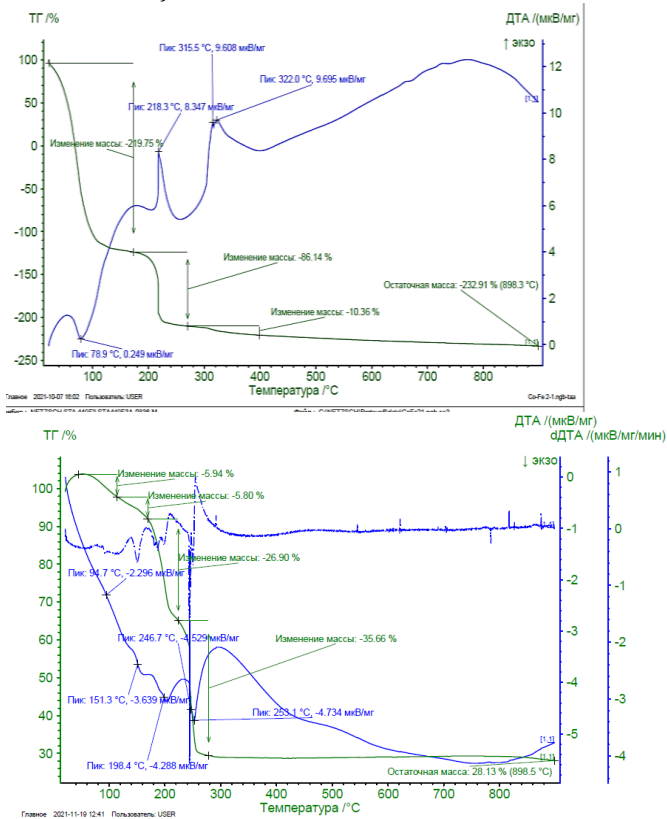
Difraktoqramlarda kubik şpinel quruluşa xas olan (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511) və (440) maksimumlar alınan ferrit nümunələrində müşahidə olunmuşdur.



Şəkil 3. Zol-gel yanma metodu ilə sintez edilmiş ferritlərin difraktoqramları: 1- NiFe₂O₄; 2-CuFe₂O₄; 3-CoFe₂O₄ [18]

Ferritlərin sintezində metalların nitratları və limon turşusundan alınan gel termiki emal olduğundan derivatoqrafik tədqiqatlar xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Derivatoqrafik tədqiqatları in-situ tədqiqat hesab etmək olar, çünki ferritin əmələ gəlməsi faktiki olaraq gəlin yanması zamanı, derivatoqrama çəkilən vaxt baş verir. Şəkil 4-

də kobalt və mis ferritin sintezi üçün hazırlanan gellərin yanmasının derivatoqramı verilmişdir.



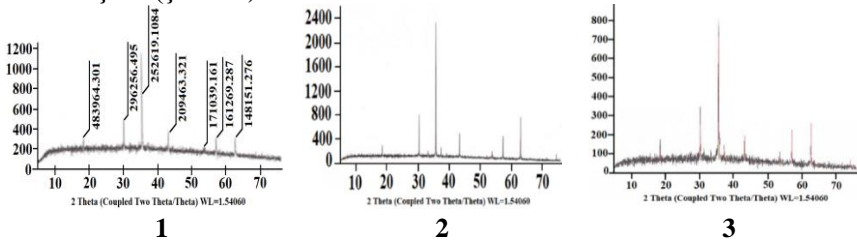
Şəkil 4. $[(Co(NO_3)_2+Fe(NO_3)_3+C_6H_8O_7)](1)$ və $[Cu(NO_3)_2 +Fe(NO_3)_3+CO(NH_2)_2]$ (2) gellərinin TQA-DTA analizi [22]

Derivatoqramlarda 180-200°C temperaturda görünən ekzotermik piklər yanma reaksiyasının baş verməsini göstərir. Gelin 500°C-yə qədər yanması zamanı artıq bütün çevrilmələr (ərimə, buxarlanma, ferritin əmələ gəlməsi) baş verir, bu temperaturdan yuxarı çəkinin azalması cüzdür [22].

Ferritlərin mikrodalğalı sintezi

Mikrodalğalı şüalanmanın enerjisindən istifadə etməklə ferritlərin həm oksidlərdən “keramika” üsulu ilə, həm də zol-gel yanma metodu ilə sintezində mikrodalğalı emal müddətinin böyük

əhəmiyyəti vardır. Mikrodalğalı emal zamanı temperaturun qalxmasını tənzimləmək mümkün olmadığından, sözsüz ki, emal müddəti sintez olunmuş ferritlərin katalitik xüsusiyyətlərinə təsir göstərəcəkdir. Metal oksidlərindən ferritlərin sintezi zamanı bərk fazalı reaksiyanın getməsi üçün yüksək temperatur tələb olunur. Zol-gel yanma metodunda ənənəvi termiki təsirdə olduğu kimi mikrodalğaların enerjisi geli alovlandırır. Sonra isə ekzotermik reaksiya öz axarıyla davam etdiyindən gel alışandan sonra şüalanmanın davam etdirilməsinə dair suallara aydınlıq gətirmək üçün həm metalların oksidlərindən “keramika” üsulu ilə, həm də zol-gel yanma metodu ilə mis, kobalt və nikel ferritləri sintez olunmuşdur. Hər iki metodda termiki emal mikrodalğalı sobada aparılmışdır. Oksidlərdən mikrodalğalı termiki emal ilə alınmış nümunələrin rentgen faza analizi ferritlərin əmələ gəlməsini göstərmişdir (şəkil 5).



Şəkil 5. Mikrodalğalı şüalanma ilə oksidlərindən bərk fazalı sintez yolu ilə alınan kobalt (1), nikel (2) və mis (3) ferritlərinin difraktoqramları [18]

Mikrodalğalı zol-gel ilə alınan ferritlərin fiziki-kimyəvi tədqiqi

Mikrodalğalı zol-gel metodu ilə ferritlərin sintezi müxtəlif variantlarda aparılmışdır:

- Gel bir neçə dəqiqə ərzində tamamilə yanaraq toz halına gələndə qədər mikrodalğalı sobada termiki emal olunmuşdur.
- Mikrodalğalı termiki emal gəlin alovlanma anında dayandırılır. Gəlin alovlanması üçün maqnetronun orta gücündə belə təxminən 10-15 saniyə kifayət edir. Bu halda mikrodalğaların enerjisindən yalnız gəlin alovlanması üçün istifadə edilmişdir.
- Gəlin quruducu şkafta yandırılması ilə alınan ferrit əlavə olaraq mikrodalğalı sobada termiki emal olunmuşdur [5].

Cədvəl 1

Zol-gel yanma və mikrodalğalı (m/d) emal ilə alınan nümunələrin faza tərkibi

Nümunə	Üzvi reagent	Hazırlanma metodu	Rentgen nəticələri
Cu-Fe=1:2	Limon turşusu	Zol-gel yanma	CuFe ₂ O ₄
Cu-Fe=1:2	Qlisin	Zol-gel yanma	CuFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃ , Cu
Cu-Fe=1:2	Qlisin	Zol-gel yanmadan sonra m/d* emal	CuFe ₂ O ₄ , CuFeO ₂
Cu-Fe=1:2	Karbamid	Zol-gel yanma	CuFe ₂ O ₄ , CuFeO ₂ , Fe ₂ O ₃
Ni-Fe=1:2	Limon turşusu	Zol-gel yanma	NiFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃
Ni-Fe=1:2	Limon turşusu	Zol-gel yanmadan sonra m/d emal	NiFe ₂ O ₄
Ni-Fe=1:2	Polietilenqlikol	Zol-gel yanmadan sonra m/d emal	NiFe ₂ O ₄
Ni-Fe=1:2	Limon turşusu+ Polietilenqlikol	Zol-gel yanma	NiFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃ , Ni
Ni-Fe=1:2	Limon turşusu+ Polietilenqlikol	Zol-gel yanmadan sonra m/d emal	NiFe ₂ O ₄
Mn-Fe=1:2	Limon turşusu	Zol-gel yanma	MnFe ₂ O ₄
Co-Fe=1:2	Limon turşusu	Zol-gel yanma	CoFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃
Co-Fe=1:2	Limon turşusu	Zol-gel yanmadan sonra m/d emal	CoFe ₂ O ₄ , Fe ₃ O ₄

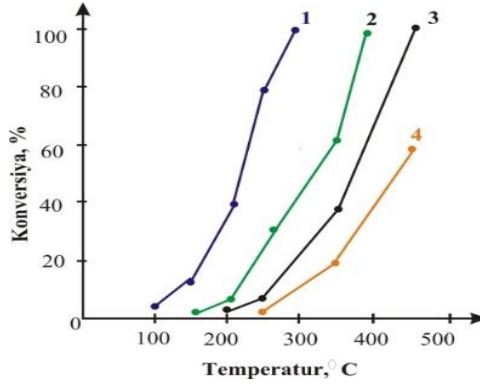
*m/d- mikrodalğalı emal

Cədvəl 1-də müxtəlif üzvi reagentlərdən istifadə etməklə zol-gel yanma və mikrodalğalı termiki emal metodu ilə alınan ferritlərin tərkibinə dair məlumatlar təqdim edilmişdir. Göründüyü kimi bütün hallarda kompleksmələgətirici və “yanacaq” kimi müxtəlif üzvi reagentlərin istifadəsindən asılı olmayaraq ilkin metalların stexiometrik (1:2) nisbətlərində birmənalı olaraq müvafiq ferritlər əmələ gəlmişdir.

Sintez olunmuş ferritlərin karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyasında katalitik aktivliyi.

Zol-gel yanma metodu ilə sintez edilmiş ferritlərin karbon monooksidin oksidləşməsində katalitik aktivliklərinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir. Katalizatorların aktivlikləri CO-nun tam

çevrilməsi, yəni 100% -li konversiyası ilə qiymətləndirilmişdir (şəkil 6).



Şəkil 6. Mis, kobalt, manqan və nikel ferritlərinin iştirakında karbon monooksidin çevrilməsinin temperaturdan asılılığı.

CO:hava=1:3 (mol). V=12000 saat⁻¹.

1. CuFe₂O₄; 2. CoFe₂O₄; 3. MnFe₂O₄; 4. NiFe₂O₄ [17]

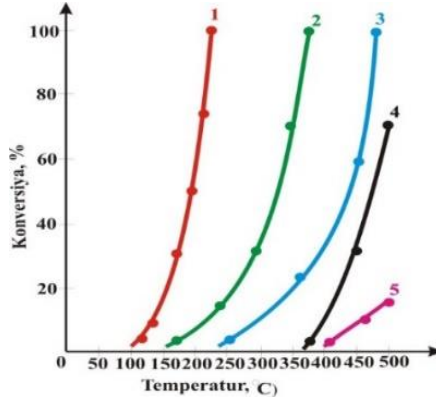
Şəkil 6-dan görüldüyü kimi sintez olunmuş ferritlər arasında mis ferrit karbon monooksidin dioksidə oksidləşməsində daha yüksək aktivlik göstərmişdir. Karbon monooksidin mis ferritin iştirakında tam çevrilməsi 270°C-də, kobalt ferritdə - 380°C və manqan ferritdə - 450°C-də baş verir. Nikel ferrit isə bu reaksiyada daha az aktivlik göstərmişdir. 450°C-də onun iştirakı ilə CO-nun çevrilməsi təxminən 60% təşkil edir.

Co-Fe sisteminin karbon monooksidin oksidləşməsi reaksiyasında katalitik aktivliyi

Sintez olunmuş ferritlərdə ferrit və oksid fazalarının onların katalitik aktivliyinə təsirini öyrənmək üçün Co:Fe=1:1, 1:2 və 2:1 nisbətlərdə iki komponentli kobalt-dəmir oksid sistemləri sintez edilmişdir [20]. Bu katalitik sistemlərin sintezində də mikrodalğalı texnologiyadan istifadə edilmişdir. Mikrodalğalı zol-gel sintezi yuxarıda qeyd olunan iki üsulla həyata keçirilmişdir:

- hazırlanan gəlin yanması tamamilə dayanana və toz halına gələncə qədər mikrodalğalı sobada termiki emal olunmuşdur.
- gəlin mikrodalğalı termiki emalı onun alovlanma anında dayandırılmışdır.

Metalların müxtəlif nisbətlərində fərqli metodlarla hazırlanmış Co-Fe sistemlərinin katalitik aktivlikləri karbon monooksidin dioksidə oksidləşmə reaksiyasında öyrənilmiş və nəticələr şəkil 7-də verilmişdir.



Şəkil 7. Müxtəlif üsullarla sintez edilən Co-Fe katalitik sistemində karbon monooksidin konversiyasının temperaturdan asılılığı: zol-gel yanma üsulu (1 - Co-Fe=2:1; 2 - Co-Fe=1:1; 3 - Co-Fe=1:2), mikrodalğalı yanma üsulu (4-Co-Fe=1:2); birbaşa oksidlərdən mikrodalğalı sintez (5 - Co-Fe=1:2) [22]

Şəkil 7-dən görüldüyü kimi, əksər nümunələrdə karbon monooksidin tam konversiyasına 350°C-dən yuxarı temperaturlarda nail olunur. Təkcə Co:Fe =2:1 nümunəsi istisnalıq təşkil edir. Onun iştirakı ilə CO-nun CO₂-yə 100%-li çevrilməsi 200°C temperaturda baş verir. Mikrodalğalı zol-gel yanma üsulu və oksidlərdən mikrodalğalı sintez ilə alınan nümunələrdə 500°C-də çevrilmə müvafiq olaraq 64% və 16% təşkil edir.

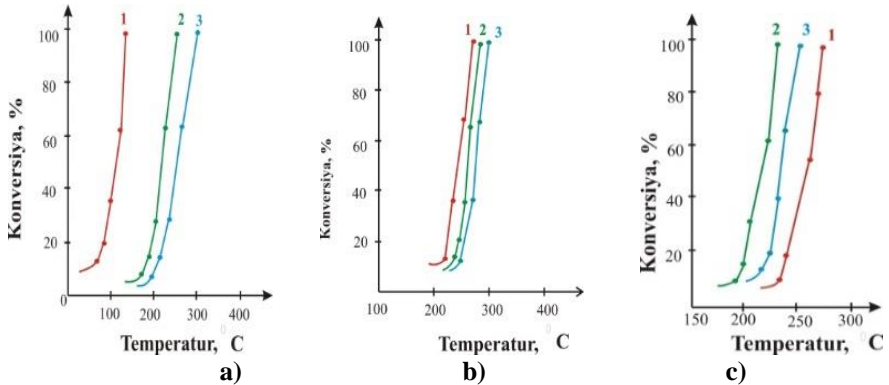
Mikrodalğalı sobada geli “alovlandırmaqla” alınan nümunələr adi zol-gel yanma üsulu ilə alınan nümunələrlə eyni aktivliyi nümayiş etdirir. Nümunələrin xüsusi səthi cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəl 2-ə əsasən nisbətən uzun müddət mikrodalğalı termiki emala məruz qalma, xüsusi səthin azalmasına səbəb olur ki, bu da katalitik aktivliyə təsir edir.

Sintez edilmiş Co-Fe katalizator nümunələrinin xüsusi səthinin qiymətləri [19]

Metalların nisbəti	Katalizatorların sintez üsulu	Xüsusi səth, m ² /q
Co-Fe=1:2	oksidlərdən bərk fazalı mikrodalğalı sintez	0.2
Co-Fe=1:2	mikrodalğalı zol-gel	1.8
Co-Fe=1:2	zol-gel yanma	12
Co-Fe=1:1	zol-gel yanma	26
Co-Fe=2:1	zol-gel yanma	28

Cu-Fe sisteminin karbon monooksidin oksidləşməsində katalitik aktivliyi

CO-nun CO₂-yə çevrilməsinin temperaturdan asılılığı müxtəlif üzvi reagentlərin iştirakı ilə alınmış Cu-Fe katalizatorların iştirakında öyrənilmişdir (şəkil 8). Üzvi reagent kimi qlisin, limon turşusu və karbamiddən istifadə etməklə zol-gel metodu ilə hazırlanmış dəmir-mis tərkibli oksid sistemlərinin katalitik aktivliyinin temperaturdan asılılıq xarakteri eynidir.

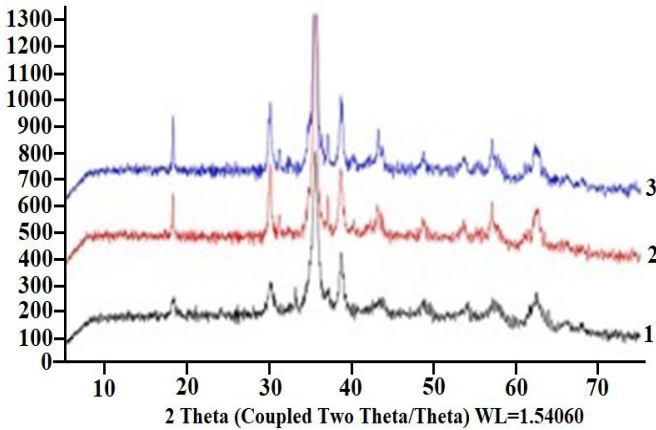


Şəkil 8. Karbamid (1), limon turşusu (2) və qlisinin (3) iştirakı ilə zol-gel yanma üsulu ilə sintez olunmuş Cu:Fe=1:1 (a), 1:2 (b), 2:1 (c) nisbətində dəmir-mis tərkibli oksid nümunələrində karbon monooksidin çevrilməsinin temperaturdan asılılığı. $V = 12000 \text{ saat}^{-1}$ [18]

Müxtəlif üzvi reagentlərdən istifadə etməklə sintez edilmiş nümunələrin xüsusi səthinin qiymətləri də fərqlidir. Karbamidlə hazırlanan nümunələrin xüsusi səthi 20,9-45 m²/q arasında dəyişdiyi

halda, limon turşusu və qlisinlə hazırlanan nümunələr üçün isə xüsusi səthi müvafiq olaraq 9-23 m²/q və 2,7-5,8 m²/q təşkil edir.

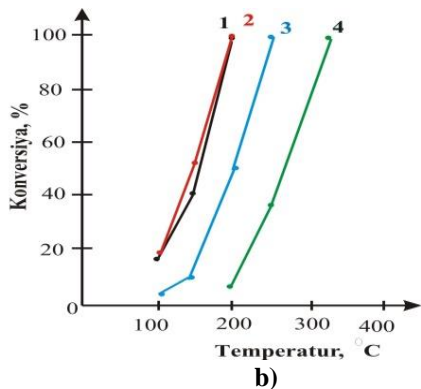
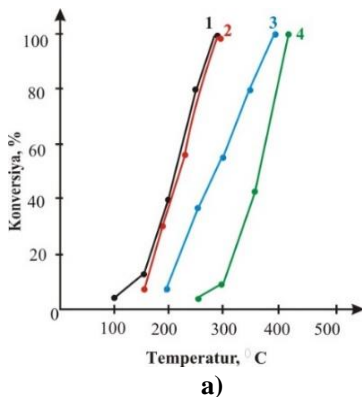
Şəkil 9-da karbamid, limon turşusu və qlisinin iştirakı ilə zol-gel yanma üsulu ilə alınan Cu:Fe=1:1 nisbətli nümunələrin difraktoqramları göstərilmişdir. Difraktoqramlarda mis ferrit və mis oksidin miqdarı təxminən 90% təşkil edir, lakin bütün nümunələrdə ferritin miqdarı mis oksiddən çoxdur. Karbamidlə yanma nəticəsində alınan nümunədə dəmir oksidin miqdarı çox azdır (3%), digər iki nümunədə müvafiq reflekslər kifayət qədər aydın görünür və qlisinin yanması ilə alınan nümunədə daha intensiv olur [18].



Şəkil 9. Karbamid (1), limon turşusu (2) və qlisinin (3) iştirakı ilə zol-gel yanma üsulu ilə alınan Cu:Fe=1:1 nisbətli nümunələrin difraktoqramları [18]

Mikrodalğalı termiki emal şəraitinin mis ferritin katalitik aktivliyinə təsiri

Şəkil 10-dan görünür ki, CO-nun oksidləşməsində mis ferritinin həm əhəmiyyəti, həm də mikrodalğalı sobada alovlandırmaqla zol-gel yanma üsulu ilə alınmış nümunələri daha aktivdir. Bu nümunələrdə CO-nun CO₂-yə tam çevrilməsi 180-250°C temperaturda baş verdiyi halda, mikrodalğalı sobada əlavə yanma və oksidlərdən mikrodalğalı bərk fazalı sintez yolu ilə alınan nümunələrdə tam çevrilmə 300°C-dən yüksək temperaturda baş verir.



Şəkil 10. Mikrodalğalı sobada alışdırılmaqla zol-gel yanma (1); Zol-gel yanma (2); Zol-gel yanma və əlavə mikrodalğalı emal (3); Mis oksidi və maqnetitdən mikrodalğalı bərk fazalı sintezlə alınan mis ferrit (4) nümunələrində CO-nun konversiyasının temperaturdan asılılığı: a) Cu:Fe=1:2, b) Cu:Fe=2:1. CO: hava=1:3 (mol), V= 12000 saat⁻¹ [5].

Adi zol-gel yanma və mikrodalğalı alovlanma metodu ilə alınan ferritlərin difraktoqramlarından kristallitlərin Şerrer tənliyi ilə tapılan ölçüləri olduqca yaxındır (30-35 nm). Eyni fikri onların xüsusi səthlərinin qiymətləri haqqında da söyləmək olar (Cədvəl 3).

Cədvəl 3

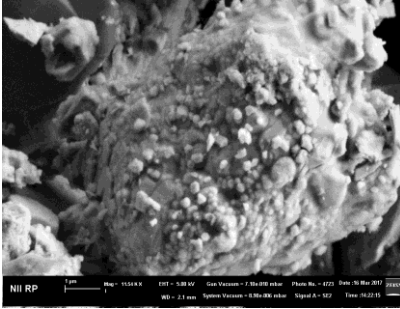
Zol-gel yanma və mikrodalğalı yanma ilə sintez edilmiş dəmir-mis tərkibli oksid nümunələrinin xüsusi səth sahələri [5]

Katalizator	Limon turşusu		Qlisin		Karbamid	
	z.g.*	z.g.-m.d.*	z.g.	z.g.-m.d.	z.g.	z.g.-m.d.
Cu:Fe=1:2	14.8	18	4	5.4	22.6	25.5
Cu:Fe=1:1	6	9	5.1	5.8	23.8	25
Cu:Fe=2:1	10.5	15.4	2.8	3.6	18.7	20.9

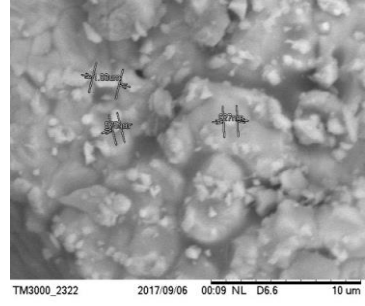
*z.g.-zol-gel yanma; *m.d.-mikrodalğalı emal

Zol-gel yanma metodu ilə alınan ferritlərin xüsusi səthinin qiyməti, əlavə mikrodalğalı termiki emaldan sonra azalır. Bu, mikrodalğalı şüalanmanın ferrit hissəcikləri tərəfindən udulması və onların aqreqasiyası hesabına baş verir [19].

Mikrodalğalı şüalanmadan istifadə etməklə oksidlərdən, zol-gel yanma və əlavə mikrodalğalı termiki emaldan sonra alınan mis ferrit nümunələrinin elektron mikrofotəşəkillərindən görünür ki, hər iki üsulla ölçüsü nanometrədən mikrometr intervalında dəyişən ferrit hissəcikləri alınır. Bundan başqa zol-gel yanma və əlavə mikrodalğalı emal olunan nümunədə bir qədər böyük aqreqatların səthində daha bircinsli nanohissəciklərin bərabər paylanması müşahidə olunur (şəkil 11).



a)



b)

Şəkil 11. Mis ferritin oksidlərdən (a) zol-gel yanma və əlavə mikrodalğalı emal ilə alınan (b) elektron mikrofotəşəkilləri

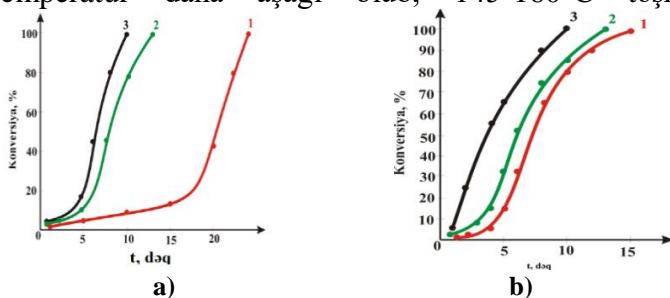
Üç komponentli ferrit tərkibli sistemlər

Tədqiq olunan ferritlər şpinel tipli binar oksid sistemləridir. Başqa ikili oksid sistemlərindən fərqli olaraq şpinellərin struktur dəyişiklikləri daha asan baş verə bilər, strukturda defektlər, hərəkətli oksigen və oksigen vakansiyaları mövcuddur.

Bu faktoru, eyni zamanda manqanın oksidləşmə katalizatorlarının əsas komponentlərindən biri olduğunu nəzərə alaraq, mis və kobalt ferritlərinə manqanı üçüncü metal kimi daxil edərək, zol-gel yanma və mikrodalğalı şüalanmadan istifadə edərək üçkomponentli sistemlər sintez olunmuş, onların katalitik xassələri öyrənilmişdir. Qeyd edək ki, ferritlərlə aldığımız nəticələrə əsaslanaraq üçkomponentli sistemlərin sintezində mikrodalğalı şüalanmadan gəlin yalnız alovlanmasında istifadə olunmuşdur [16].

Co-Mn-Fe oksid katalitik sistemləri

Zol-gel yanma üsulu ilə alınan üçkomponentli sistemlərin tərkibi daha mürəkkəbdir. Co-Mn-Fe (1:1:1) oksid sisteminin difraktoqramında CoFe_2O_4 , $\text{CoFe}_{0,8}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_4$, Mn_3O_4 , Fe_3O_4 fazalarının refleksləri müşahidə olunmuşdur. Co-Cu-Fe (1:1:1) oksid sisteminin difraktoqramında isə aşağıdakı fazaların reflekslərini görmək olar: CuFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , CoCu_2O_3 , CuO . Beləliklə, tədqiq olunan zol-gel yanma üsulu ilə alınan üç komponentli sistemlərdə mis, dəmir və manqan oksidlərindən əlavə, Co-Fe iki komponentli oksid sistemlərində olduğu kimi kobalt ferritin və mis ferritin əmələ gəlməsi müşahidə edilmişdir. Alınmış üçkomponentli oksid sistemlərin iştirakında karbon monooksidin konversiyasının zamandan asılılığının nəticələri şəkil 12-də verilmişdir. Şəkildən görünür ki, bu üçlü sistemlər karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsində daha aktivdir. Karbon monooksidin tam çevrilməsi üçün temperatur daha aşağı olub, $145\text{-}160^\circ\text{C}$ təşkil edir.



Şəkil 12. Müxtəlif temperaturlarda kobalt tərkibli üç komponentli oksid sistemlərində CO-nun çevrilmə dərəcəsinin zamandan asılılıqları: a) Co-Mn-Fe (1- 145°C , 2- 165°C , 3- 180°C); b) Co-Cu-Fe (1- 160°C , 2- 170°C , 3- 215°C) [22]

Cu-Mn-Fe oksid katalitik sistemləri

Cu:Mn:Fe üçlü sistemlərin CO-nun çevrilməsində aktivlik göstərməsi də maraqlıdır. Bunun üçün üç komponentli Cu:Mn:Fe oksid sistemlərin komponentlərinin 1:1:1, 2:1:1, 1:2:1 və 1:1:2 nisbətlərində zol-gel yanma metodu ilə sintez olunmuşdur.

Manqan və dəmirin (Mn_3O_4 və Fe_3O_4) ikiqat oksidləri ilə yanaşı, manqanın $\text{Mn}_{0,98}\text{Fe}_{2,02}\text{O}_4$ və misin CuFe_2O_4 ferritləri, mis manqanit CuMn_2O_4 , manqanla əvəz olunmuş mis ferritlər

($\text{Cu}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$, $\text{Cu}_{1.2}\text{Mn}_{1.8}\text{O}_4$, $\text{Mn}_{0.43}\text{Fe}_{2.57}\text{O}_4$) əmələ gəlir, bu alınan sistemlərə bərk məhlullar kimi baxıla bilər.

Zol-gel yanma ilə sintez etdiyimiz Cu-Mn-Fe katalizatorların iştirakında karbon monooksidin oksidləşməsinə dair təcrübələrin nəticələri göstərmişdir ki, CO-nun tam konversiyası 130-170°C temperatur intervalında baş verir (Cədvəl 4). Reaksiya başladıqdan ilk 3-5 dəqiqə ərzində konversiya kəskin şəkildə artmağa başlayır və növbəti 5 dəqiqə ərzində 100%-ə çatır. Göstərilən intervaldan bir qədər yuxarı temperaturlarda elə ilk dəqiqələrdən konversiyada kəskin artım müşahidə olunmuş və maksimum konversiya daha qısa müddətdə - 7-8 dəqiqə ərzində əldə edilmişdir. Zol-gel və mikrodalğalı alovlanma ilə sintez olunmuş nümunələrdə də oxşar mənzərə müşahidə olunur (Cədvəl 4).

Cədvəl 4

Temperatur göstəriciləri və Cu:Mn:Fe katalizatorlarında CO-nun oksidləşdirici konversiya reaksiyasının sürəti

Cu:Mn:Fe katalizatorunda komponentlərinin nisbəti	Xüsusi səth, m²/q	100%-li konversiya temperaturu, °C	100%-li konversiya vaxtı, dəq
1:1:1	19.5	170	9
1:2:1	12.4	155	10
1:1:2	13.5	130	7-8
2:1:1	19	145	8

Co-Mn, Cu-Mn, Co-Cu ikili oksid sistemləri

Tədqiq etdiyimiz dəmir tərkibli ikili və üçlü oksid sistemlərdə tərkibin əsas komponentlərini ferrosşpinellər və oksidlər təşkil edirlər. Keçid metalların şpinelləri (kobaltitlər, manqanitlər) karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşməsində yüksək aktivlik göstərir. Bunlardan ikili mis-manqan, kobalt-manqan sistemlərini qeyd etmək olar. Buna görə zol-gel yanma metodu ilə tərkibində dəmir olmayan ikili Co-Mn, Co-Cu və Co-Cr sistemlər sintez və tədqiq edilmişdir [24].

Co-Mn sistemində rentgen faza analizinə əsasən şpinel tipli binar oksid – kobalt manqanit CoMn_2O_4 ilə yanaşı, kobalt və manqan

oksidləri də alınır, Co-Cu(1:1) sistemində yalnız Co_3O_4 , CuO, Cu_2O oksidləri, Co-Cr sistemində isə Co_2CrO_4 əmələ gəlir.

Co-Mn və Cu-Mn sistemlərində metalların nisbəti 1:1 olanda, hər iki metalın oksidi müşahidə olunur. Cu:Mn=2:1 sistemin difraktoqramında isə yalnız mis oksidin reflekslərini görmək olur.

Cədvəl 5-də bu katalizatorların iştirakında CO-nun oksidləşmə reaksiyasının temperatur və zaman göstəriciləri verilmişdir.

Mis-manqan 1:1 və 2:1 oksid sistemlərində karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyasını daha aşağı temperaturda aparmaq mümkündür.

Cədvəl 5

Tərkibində kobalt olan ikili oksid katalizatorlarının iştirakında CO-nun tam konversiyasını təmin edən temperatur və zaman göstəriciləri

Katalizator	100%-li konversiya temperaturu, °C	CO-nun 100%-li konversiya vaxtı, dəq
Co-Mn=1:1	200	9
Co-Mn=2:1	180	10
Co-Cu=1:1	150	8-9
Co-Cr=2:1	145	11
Cu-Mn=1:1	120	12-13
Cu-Mn=2:1	135	6-7

Ferritlərin daşıyıcı üzərində bərk fazalı mikrodalğalı sintezinin mümkünlüyünün tədqiqi

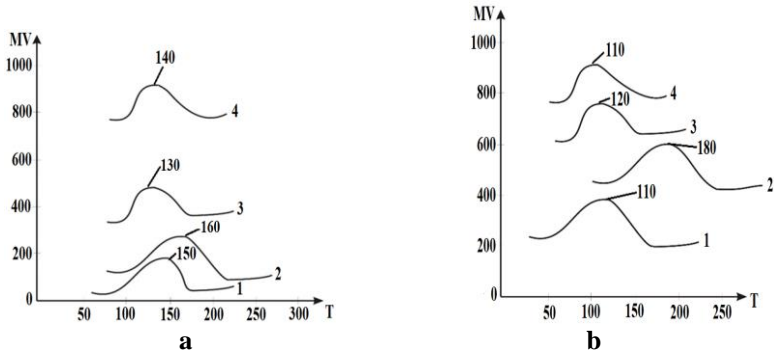
Daşıyıcı üzərində bir mərhələdə ferritin mikrodalğalı sintezinin mümkünlüyünü dəqiqləşdirmək üçün metal oksidlərdən istifadə edərək Co, Ni ferritləri alınmışdır. Birbaşa daşıyıcı üzərində bərk fazalı sintezlə ferritlərin əmələ gəlməsinin mümkünlüyü Co, Ni ferritlərinin sintezi nümunəsində yoxlamaqla öyrənilmişdir. Bunun üçün prekursorlar (metal oksidləri) və daşıyıcı (alüminium oksid) əvvəlcə 20% ($\text{MeO} + \text{Fe}_3\text{O}_4$)+80% Al_2O_3 nisbətdə (burada Me=Co, Ni) götürülmüşdür. Mikrodalğalı sobada termiki emaldan sonra müvafiq ferritlərin alınmasını müəyyən etmək üçün nümunələrin rentgen faza analizi aparılmışdır. Rentgen faza analizi difraktoqramda ferritlərin deyil, yalnız oksid fazalarının əmələ gəlməsini göstərmişdir. Yalnız daşıyıcının 10-15%-li konsentrasiyasında

alüminium ferritlə bərabər kobalt ferritin kiçik refleksləri müşahidə olunmuşdur. Beləliklə, katalizator kimi istifadə etmək məqsədi ilə daşıyıcıda ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) ferritlərin müvafiq oksidlərdən mikrodalğalı sintezinin tədqiqi belə sintezin aparılmasının mümkünsüzlüyünü göstərmişdir.

Oksidlərdən fərqli olaraq bağlayıcı ilə bir mərhələli zol-gel yanma ilə $\text{Cu}:\text{Mn}=1:1$ katalitik sistem almaq mümkün olmuşdur. Bu üsulla alınan katalizatorun aktivliyinin tədqiqi göstərmişdir ki, bu katalizatorun iştirakında CO-nun tam konversiyası 155°C temperaturda baş verir.

Sintez olunmuş katalizatorlarda CO-nun termodesorbsiyasının tədqiqi

CO-nun oksidləşməsində qaz molekullarının katalizatorun səthində adsorbsiya mərhələsi çox vacibdir. Sintez etdiyimiz müxtəlif katalizator nümunələrinin səthindən karbon monoksidin termodesorbsiyası öyrənilmişdir (şəkil 13). CO-nun katalizatorlarla qarşılıqlı təsiri $20\text{-}300^\circ\text{C}$ temperatur intervalında 20 dərəcə/dəq xətti qızdırma sürətində tədqiq edilmişdir.



Şəkil 13. İki və üçkomponentli katalitik sistemlərin səthindən karbon monoksidin termodesorbsiyası: a) 1 – $\text{Cu}:\text{Mn}:\text{Fe}=1:2:1$; 2 - $1:1:1$; 3 - $1:1:2$; 4 - $2:1:1$; b) $\text{Co}:\text{Cu}=1:1$ (1), $\text{Co}:\text{Mn}=2:1$ (2), $\text{Cu}:\text{Mn}=2:1$ (3) və $\text{Cu}:\text{Mn}=1:1$ (4)

Alınmış nəticələrdən (şəkil 13) aydın olur ki, $20\text{-}200^\circ\text{C}$ -ə qədər olan temperatur intervalında katalizatorların səthində adsorbsiya olunmuş karbon monoksidin yalnız bir forması mövcuddur. Katalizator nümunələrinin çəkirlərinin eyni (təxminən 1.0 q) və

xüsusi səthlərinin olduqca yaxın olduğunu nəzərə alaraq, termodesorbsiya ayrılarını müqayisə etmək olar. Katalitik təcrübələrə əsasən bu temperatur aralığında həmin nümunələr karbon monooksidi tamamilə karbon dioksidə çevirirlər. Nisbətən yüksək temperaturlarda termodesorbsiya ayrılarında dəqiq nəzərə çarpan piklər yoxdur. Bu, daha yüksək temperaturlarda aktiv olan katalizatorlara, məsələn, kobalt və mis ferritlərə aiddir. Beləliklə, termodesorbsiya məlumatlarına əsasən, kifayət qədər aşağı temperaturda, 110-180°C temperatur diapazonunda karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyasını reallaşdıran bütün tədqiq edilmiş katalizatorlar üçün, elə həmin intervalda karbon monooksidin adsorbsiyası da müşahidə olunur.

Karbon monooksidin oksidləşməsinin sintez olunmuş ferrit katalizatorlarının iştirakında kinetik qanunauyğunluqlarının öyrənilməsi

Kimyəvi reaksiyaların kinetik qanunauyğunluqlarını tədqiq etmək üçün ilk öncə reaksiyanın kinetik oblastda getməsinə müəyyən etmək lazımdır. Tərəfimizdən məlum metodika əsasında sintez etdiyimiz ən aktiv katalizator olan CuMnFe iştirakında xətti sürəti $0.6-2.5 \text{ sm}^3 / \text{san}$ və katalizatorun ölçülərini 0.16-0.5 mm intervalında dəyişdirməklə CO-nun konversiyasını dəyişməyərək sabit qaldığı müşahidə olunmuşdur. Başqa sözlə, müəyyən olunmuşdur ki, CO-nun oksidləşmə reaksiyasının daxili və xarici diffuziya təsiri yoxdur, yəni reaksiya kinetik oblastda gedir.

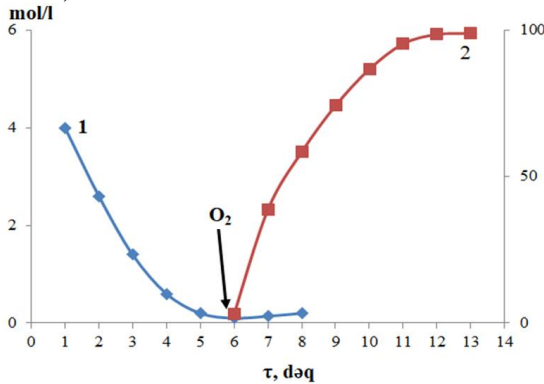
Eyni zamanda digər texnoloji parametrləri də geniş dəyişmə intervalında temperatur 140-180°C, kontakt müddəti 0.1-0.3 san, həcmi sürətin 3000-9000 saat⁻¹, CO:O₂=1:1-1:8 nisbətində karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyasının sürətinin təsiri öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki, CuMnFe katalizatorunun iştirakında karbon monooksidin (100 %-li konversiyası T=160°C, t=0.3 san, V=3000 saat⁻¹, CO:O₂=1:6 optimal şəraitdə təmin olunur (Cədvəl 6).

Həmçinin karbon monooksidin oksidləşmə reaksiyası oksidləşmə-reduksiya sxemi üzrə baş verir və katalizator səthinin oksidləşmə sürəti reduksiyanın sürətindən çox olur.

Cu-Mn-Fe katalizatoru iştirakında CO-nun oksidləşmə reaksiyasının kinetik tədqiqatlarının təcrübə nəticələri

T, °C	V, saat ⁻¹	P _{CO} , atm	P _{O₂} , atm	X _{CO} , %	Çıxım CO ₂ , %
140	3000	0.015	0.06	97.3	97.2
140	3000	0.015	0.09	97.6	97.5
140	3000	0.015	0.12	98.1	98.0
140	3000	0.010	0.08	98.0	98.0
140	3000	0.020	0.08	97.5	97.4
140	3000	0.040	0.08	96.6	96.5
160	3000	0.015	0.06	97.7	97.6
160	3000	0.015	0.09	98.2	98.0
160	3000	0.015	0.12	98.4	98.2
180	3000	0.015	0.06	98.0	98.5
180	3000	0.015	0.09	99.2	99.0
180	3000	0.015	0.12	99.5	99.3
140	6000	0.015	0.06	96.3	96.2
160	6000	0.015	0.09	99.9	99.9
180	6000	0.015	0.12	99.6	99.4
160	9000	0.015	0.06	99.9	99.9
180	9000	0.015	0.09	99.8	99.8

Müəyyən edilmişdir ki, katalizator səthinin reduksiyası zamanı səthə CO verilir, 4-6 dəqiqədən sonra CO-nun udulması dayanır və yalnız səthə oksigen verildikdən sonra CO-nun oksidləşməsi sürətlə baş verir (Şəkil 14).

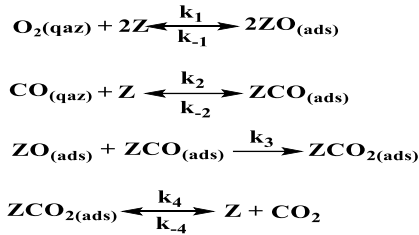


Şəkil 14. Katalizatorun səthinin CO ilə qarşılıqlı təsiri və hava verilməsinin zamandan asılılığı.

1. CO verildikdə 2. O₂ verildikdə.

Ədəbiyyatda karbon monooksidin oksidləşmə mexanizmi Ləngmür-Xinşelvd, Mars-Van Krevelen, daha sonralar isə Kazanski, Rozovski, Alxasov və başqaları tərəfindən assosiativ və ayrılmış sadə sxemlər üzrə baş verməsi göstərilmişdir. Tərəfimizdən bu və ya digər mexanizmin payını müəyyən etmək üçün kinetik metoddan, başqa sözlə katalizator səthinə ayrı-ayrılıqda (CO, CO, CO) O₂ və qarışıq (CO, CO, CO)(CO+O₂) qaz qarışığı verməklə alınmış kinetik əyriyə təhlil etməklə CO+O₂ katalitik oksidləşmə reaksiyasının sürətinin bütün hallarda yüksək olduğu müəyyən edilmişdir. Başqa sözlə, hər iki mexanizm işləsə də, Ləngmür-Xinşelvd mexanizmi üstünlük təşkil edir. Bu əsasən oksigenin katalizatorun həcmində möhkəm rabitə və quruluşda olan mövqeyi, həmçinin metal kationunun rabitə tipi ilə izah oluna bilər.

Ədəbiyyat materialları və aldığımız təcrübi nəticələrin təhlilinə əsaslanaraq karbon monooksidin CuMnFe katalizatorunun iştirakı ilə oksidləşmə mexanizmini aşağıdakı kimi təsvir edə bilərik:



Z-katalizatorun aktiv mərkəzidir.

Burada CO-nun oksidləşməsi zamanı oksigenin qatılığının çox götürülməsi ilə katalizator səthinin oksigenlə tam örtülməsi, oksidləşmə reaksiyası sürətinin reduksiyanın sürətindən çox olması, həm O₂, həm də CO-nun eyni aktiv mərkəzlərdə adsorbsiyası nəzərdə tutulur. Həmçinin katalizator səthinin tam örtülməsi nəzərə alınaraq

$$C_Z + C_{ZO} + C_{ZCO} + C_{ZCO_2} = 1 \quad (1)$$

Hər bir mərhələnin sürətini və maddələrin qatılığını diferensial tənliklər sistemi şəklində həll etdikdə alırıq ki,

$$W_{CO_2} = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 P_{O_2} P_{CO}}{(1 + k_1 P_{O_2} + k_2 P_{CO})^2} \quad (2)$$

Oksidləşmə reaksiyasında tarazlıq sabitini əldə etmək üçün “MATLAB” kompyuter proqramı çərçivəsində Kutte-Meyerlon üsulundan istifadə edib inteqrallaşdırmaqla kinetik model üçün qatılıqların hesablanmış qiymətlərini alırıq. Bunun üçün funksiyanın minimalaşdırılması üsulundan

$$F = (k_i - k_4) = \sum_{i=1}^4 \{C_{i_n} (k_{1_n} - k_5) - C_1\}^2 \quad (3)$$

istifadə etməklə parametrlərin qiymətini hesablamaq olar. Burada $C_{1n}(k_1...k_4)$ $i=1-4$ hər bir parametrin qeyd olunmuş qiymətində differensial tənliklər sisteminin həllidir. $C_{it}=1:4$ qatılıqların təcrübi qiymətləridir. K -tarazlıq sabiti kimi qəbul edilir. $K_i=1-4$ start nöqtəsi kimi götürülərək Pael metodu əsasında kvadrat funksiya $f(x)$ hesablanaraq minimalaşdırılır. Daha sonra seçilmiş modelin parametrləri k_0 və aktivləşmə enerjisinin (E) qiymətlərini hesablamaq üçün məlum “Poisk” proqramından istifadə etməklə $\ln k = f\left(\frac{1}{T}\right)$ qrafiki asılılığı qurmaqla aktivləşmə enerjisinin qiymətləri hesablanır. Hesablamalar minimum üç temperatur 140°C , 160°C və 180°C üçün aparılmışdır və alınan qiymətlər cədvəl 6-da verilmişdir. Kinetik model əsasında hesablanmış parametrlərin qiymətlərinin təcrübi nəticələrdən alınmış qiymətlərlə nisbi xətası 8-10% təşkil etmişdir (Cədvəl 7).

Cədvəl 7

Karbon monooksidin oksidləşməsi reaksiyasının kinetik modelinin parametrlərinin qiymətləri

Sürət sabitləri	qmol/q kat.san			lnk ₀	E (Q), kC/mol
	140°C	160°C	180°C		
k ₁	0.3453	0.3112	0.2874	-5.842	19.43
k ₋₁	0.6421•10 ⁻⁵	0.6073•10 ⁻⁴	0.5321•10 ⁻³	-4.056	16.27
k ₂	2.3760	2.8431•10 ⁻¹	4.2433•10 ⁻²	8.3710	17.62
k ₋₂	0.7214•10 ⁻⁴	0.7642•10 ⁻³	0.3561•10 ⁻²	1.6362	15.58
k ₃	1.4361	2.3780	3.1532	3.7864	53.54
k ₄	0.7682•10 ⁻⁷	0.8412•10 ⁻⁸	0.9347•10 ⁻⁹	-2.5763	12.64
k ₋₄	0.4336•10 ⁻³	0.6872•10 ⁻²	1.4652•10 ⁻²	0.7854	10.31

NƏTİCƏLƏR

1. Zol-gel yanma və mikrodalğalı texnologiya ilə Cu, Co, Ni, Mn ferrit tərkibli ikili və üçlü katalitik sistemlər alınmış və karbon monooksidin aşağı temperaturlu oksidləşmə reaksiyasında onların yüksək aktivliyi müəyyən edilmişdir [8, 20, 22, 24].

2. Zol-gel metodu ilə müxtəlif üzvi reagentlərdən istifadə etməklə və prekursorların MeFe_2O_4 formuluna uyğun stexiometrik miqdarlarında alınan ferritlərin (Me=Cu, Co, Ni, Mn) tərkibində az miqdarda Fe_2O_3 də əmələ gəlməsi göstərilmişdir. Bu ferritlərdə isə karbon monooksid karbon dioksidə 270°C -dən yüksək temperaturalarda çevrilməsi müşahidə olunmuşdur. Prekursorların qeyri-stexiometrik miqdarlarında katalizatorun tərkibində ferritlərlə yanaşı metalların oksidlərinin də əmələ gəlməsi və nümunələrin daha aşağı temperaturda yüksək aktivlik göstərməsi müəyyən edilmişdir [5, 18, 22].

3. Ferrit katalizatorlarının sintezində mikrodalğalı texnologiyanın istifadəsi zamanı alınan gəlin mikrodalğalı sobada emal müddətinin katalitik aktivliyə təsiri müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, aktiv katalizatorun alınması üçün mikrodalğalı şüalanmanın enerjisindən geli “alovlandırmaq” üçün istifadə etmək kifayətdir. Bu zaman daha kiçik ölçülü və xüsusi səthi böyük olan ($19\text{-}28 \text{ m}^2/\text{q}$) kristallitlər əmələ gəlməsi müşahidə edilmişdir [17].

4. Müəyyən olunmuşdur ki, bərk fazada oksidlərdən mikrodalğalı sintez yolu ilə alınan ferritlər karbon monooksidin aşağı temperaturda konversiyasında aktiv deyillər. Analoji mənzərə zol-gel yanma metodu ilə alınmış ferrit tozunun əlavə mikrodalğalı termiki emalından sonra da müşahidə olunur. Hər iki metod ilə alınan ferritlərin xüsusi səthi kiçikdir ($0.4\text{-}2.1 \text{ m}^2/\text{q}$) və bu mikrodalğalı emal müddəti və temperaturun sürətlə artması nəticəsində alınan ferrit hissəciklərinin aqreqasiyası ilə əlaqələndirilir [19, 22].

5. Zol-gel yanma metodu ilə sintez olunmuş üçkomponentli Cu-Mn-Fe oksid sisteminin rentgen faza analizinin nəticələrinə əsasən onların mürəkkəb faza tərkibinə malik olduğu göstərilmişdir. Tərkibdə manqan və dəmirin ikiqat oksidləri ilə yanaşı, manqanın $\text{Mn}_{0.98}\text{Fe}_{2.02}\text{O}_4$ və misin CuFe_2O_4 ferritləri, mis manqanit CuMn_2O_4 ,

manqanla əvəz olunmuş mis ferritlər ($\text{Cu}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$, $\text{Cu}_{1.2}\text{Mn}_{1.8}\text{O}_4$, $\text{Mn}_{0.43}\text{Fe}_{2.57}\text{O}_4$) əmələ gəlməsi müşahidə edilmişdir. Co-Mn-Fe oksid sistemində CoFe_2O_4 , $\text{CoFe}_{0.8}\text{Mn}_{1.2}\text{O}_4$, Mn_3O_4 , Fe_3O_4 fazalar, Co-Cu-Fe oksid sistemdə isə CuFe_2O_4 , CoFe_2O_4 , CoCu_2O_3 , CuO müşahidə olunur. Bu katalizatorlar karbon monooksidin karbon dioksidə tam konversiyasını $130\text{-}170^\circ\text{C}$ temperaturda təmin edirlər [16].

6. Zol-gel və mikrodalğalı yanma üsulları ilə sintez olunmuş CuMnFe katalizatorunun iştirakında CO-nun oksidləşmə reaksiyasının kinetik qanunauyğunluqları tədqiq edilərək müəyyən edilmişdir ki, reaksiya oksidləşmə-reduksiya sxemi üzrə baş verir. Katalizator səthinin oksidləşmə sürəti reduksiyanın sürətindən bir neçə dəfə çox olur. CO-nun oksidləşməsi Ləngmür-Xinşelvud mexanizmi üzrə baş verir. Prosesin mexanizmi, kinetik modeli təklif edilmiş və parametrləri hesablanmışdır [16].

7. Ferritlərin müvafiq oksidlərdən daşıyıcı ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) üzərində bərk fazalı mikrodalğalı sintezinin tədqiqi belə sintezin mümkünsüzlüyünü göstərmişdir. Eyni zamanda zol-gel yanma metodu ilə daşıyıcı üzərində ikili Cu:Mn=1:1 katalitik sistemin bir mərhələli sintezinin mümkünlüyü müəyyən edilmişdir və bu sistemdə karbon monooksidin tam konversiyasının 155°C temperaturda baş verməsi müəyyən edilmişdir [9, 24].

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı məqalə və tezislərdə dərc edilmişdir:

1. Азимова, Г.Р., Алескерова, З.Ф., Зульфугарова, С.М. Синтез феррита никеля микроволновой обработкой смеси оксида никеля и магнетита // XXIX Российская молодёжная научная конференция с международным участием «Проблемы теоретической и экспериментальной химии», Екатеринбург, – 23 – 26 апреля, – 2019, – с. 246.

2. Azimova, G.R. Sol-gel synthesis of ferrite copper with exposure microwave radiation / G.R. Azimova, S.M. Zulfugarova, Z.F. Aleskerova, N.V. Shakunova // XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry, Saint Petersburg, – 9 – 13 september, – 2019, – p. 404.

3. Azimova, G.R. Synthesis and study of cobalt ferrite in the reaction of carbon monoxide oxidation / G.R. Azimova, Z.F. Aleskerova, S.M. Zulfugarova, N.M. Gasanguliyeva // II International School-Conference «Applied Nanotechnology & Nanotoxicology» («ANT-2019»), Sochi, – 10 – 13 October, – 2019, – p. 125-126.

4. Азимова, Г.Р. Влияние способа приготовления на каталитические свойства феррита меди в реакции окисления монооксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, Э.Г. Исмаилов // «Перспективные технологии и материалы» материалы всероссийской научно – практической конференции с международным участием, Севастополь, – 14 – 16 октября, – 2020, – с. 199-203.

5. Azimova, G.R. Catalytic activity of copper ferrite synthesized with the using of microwave treatment in the oxidation reaction of carbon monoxide / G.R. Azimova, S.M. Zulfugarova, Z.F. Aleskerova, E.H. Ismailov // Azerbaijan Journal of Chemical News, – 2020, vol 2, №2, – p. 29-35.

6. Азимова, Г.Р. Исследование ферритов Co, Cu, Ni и Mn в реакции окисления монооксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, Ю.Н. Литвишков // IV Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием–экологобезопасные и ресурсосберегающие технологии и материалы, часть 2, Улан-Удэ, – 2020, – с. 9-11.

7. Азимова, Г.Р. Применение микроволновой активации при получении медь-марганец-железных катализаторов окисления монооксида углерода в диоксид золь-гель методом с горением / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, А.Х. Гулиева // Научный Вестник СамГУ, Scientific Reports of Samarkand State University, Ilmiy Axborotnoma, Электронный Выпуск материалов Международной конференции SOL-GEL 2020, – Samarkand, – 2021, – с. 14-15.

8. Azimova, G.R. Синтез ферритов Cu, Co, Ni, Mn золь-гель методом с автогорением с участием различных органических реагентов и исследование их удельной поверхности // – АМЕА:

Gənc alim və Mütəxəssislər şurası, Gənc tədqiqatçı elmi-praktiki jurnal, – 2021. VII cild, №1, – s. 81-85.

9. Азимова, Г.Р. Стимулированный микроволновым излучением твердофазный синтез ферритов Ni и Co на поверхности Al_2O_3/Al -носителя / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова [и др.] // Нефте переработка и Нефте химия, Нефтегазохимия, – 2021. №3, – с. 27-32.

10. Азимова, Г.Р., Алескерова, З.Ф. Синтез ферритов золь-гель методом с горением в СВЧ-поле // Материалы XXIV Всероссийской конференции молодых ученых-химиков с международным участием, – Нижний Новгород, – 20 – 22 апреля, – 2021. – с. 232.

11. Азимова, Г.Р. Синтез и исследование Cu-Mn-Fe оксидных композиций в низкотемпературном окислении монооксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, А.Х. Гулиева // V Всероссийская научная конференция «Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов», – Иваново, – 30 июня – 2 июля, – 2021, – с. 326-327.

12. Азимова, Г.Р. Влияние природы органического реагента в синтезе медно-железной оксидной композиции золь-гель методом с горением на ее каталитическую активность в окислении монооксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова [и др.] // IV Российский конгресс по катализу, – Казань, – 20 – 25 сентября, – 2021, – с. 715-716.

13. Азимова, Г.Р. Исследование каталитической активности кобальтсодержащих оксидных катализаторов, полученных золь-гель методом, в реакции окисления монооксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, [и др.] // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, IV Байкальский Материаловедческий форум, – Улан-Уде-03, – 1 – 7 июль, – 2022, – с. 291-292.

14. Azimova, G.R., Aleskerova, Z.F. Synthesis of Co-Cu-Fe oxide compositions by sol-gel autocombustion method // Modern Problems of Theoretical & Experimental Chemistry devoted to the

90th Anniversary of Academician Rafiga Aliyeva, International Conference, Baku State University, – Baku, – 29 – 30 September, – 2022, – p. 343-344.

15. Азимова, Г.Р., Алескерова, З.Ф., Зульфугарова, С.М. Синтез оксидных катализаторов низкотемпературного окисления монооксида углерода золь-гель методом с горением // Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды. Сборник материалов IX Всероссийской конференции, посвященной 55-летию Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова г, – Чебоксары, – 1 – 2 декабря, – 2022, – с. 39.

16. Azimova, G.R. Study of low-temperature oxidation of carbon monoxide on Cu-Mn-Fe catalytic oxide systems obtained by the sol-gel combustion method // Azərbaycan Kimya Jurnalı, – 2022. №2, – p. 93-99.

17. Azimova Gunel R. Microwave sol-gel synthesis of Co, Ni, Cu, Mn ferrites and the investigation of their activity in the oxidation reaction of carbon monoxide / Gunel Azimova R, Sima Zulfugarova M, Zuleyxa Aleskerova F, Etibar Ismailov H, Litvishkov Nikolayevich Yu, Dilgam Tagiyev B // Current Microwave Chemistry, – 2022, 9 (1), – p. 37-46.

18. Azimova, G.R. Effect of preparation method of iron-, copper- containing oxide catalysts on their activity in the reaction of oxidation of carbon monoxide to carbon dioxide / G.R. Azimova, S.M. Zulfugarova, Z.F. Aleskerova, D.B. Tagiyev [et al.] // Chemical Problems, – 2022, 1 (20), – p. 82-94.

19. Azimova, G.R. Synthesis of transition metal ferrites (Co, Cu, Ni, Mn) by the sol-gel method with combustion and the use of microwave processing / G.R. Azimova, S.M. Zulfugarova, Z.F. Aleskerova, Yu.N. Litvishkov, D.B. Tagiyev // Bulletin of the University of Karaganda Chemistry, – 2022, 108 (4), – p. 118-135.

20. Азимова, Г.Р. Сочетание микроволновой технологии с золь-гель методом с автогорением для получения катализаторов низкотемпературного окисления монооксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, У.Р. Гулиева //

Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки, – 2023, Т.14, №2, – с. 92-96.

21. Азимова, Г.Р., Гулиева, У.Р. Формирование фазового состава оксидных систем при получении их золь-гель методом с автогорением // XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. Химия и химическая технология в XXI веке, ХХТ-2023, – Томск, – 15 – 19 мая, – 2023, – с. 60-61.

22. Azimova, G.R. Cobalt-containing oxide catalysts obtained by the sol-gel method with auto-combustion in the reaction of low-temperature oxidation of carbon monoxide / G.R. Azimova, S.M. Zulfugarova, Z.F. Aleskerova, D.B.Tagiev // Turkish Chemical Society (JOTCSA), – 2023, 10 (3), – p. 577-588.

23. Азимова, Г.Р., Зульфугарова, С.М., Алескерова, З.Ф. Приготовление золь-гель методом носителя с развитой удельной поверхностью для катализаторов высокотемпературных реакций // Седьмая Международная конференция стран СНГ золь-гель синтез и исследование неорганических соединений, гибридных функциональных материалов и дисперсных систем «золь-гель 2023», – Москва, – 28 августа – 1 сентября, – 2023, – с. 112.

24. Азимова, Г.Р. Каталитическая активность Co, Cu, Mn оксидных катализаторов, полученных золь-гель методом с горением, в реакции низкотемпературного окисления оксида углерода / Г.Р. Азимова, С.М. Зульфугарова, З.Ф. Алескерова, Г.М. Гусейнли, Д.Б. Тагиев // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук, – 2023. Т. 59, №2. – с. 105-114.

25. Azimova, G.R. Study of the specific surface of CoFe_2O_4 nanoparticles obtained by the sol-gel combustion method // XXVII Всероссийская конференция молодых ученых-химиков (с международным участием), – Нижний Новгород, – 16 – 18 апреля, – 2024, – с. 352.



Dissertasiyanın müdafiəsi 05 dekabr 2024-cü il tarixində saat 10⁰⁰-da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.15 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, Azərbaycan Respublikası, Bakı ş., H.Cavid prospekti, 113

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi akademik M.Nağıyev adına Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutunun rəsmi internet saytında (www.kqkiamea.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 04 noyabr 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 31.10.2024

Kağızın formatı: 60x84^{1/16}

Həcm: 38 681

Tiraj: 100