

Қарағанды индустриялық университеті

ӘОЖ 669.168.3

Қолжазба құқығында

ӘБДІРАШИТ АСЫЛБЕК МИРАМХАНҰЛЫ

Отандық шикізаттан орта көміртекті ферромарганецті балқытудың ресурс үнемдеуші технологиясын әзірлеу және енгізу

8D07202 – «Қара және түсті металдар металлургиясы»

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін диссертация

Ғылыми кеңесшілер:
техника ғылымдарының докторы,
Қарағанды индустриялық университетінің
профессоры А.Х. Нурумғалиев
PhD, Ж.Әбішев атындағы Химия-
металлургия институтының
«Ферроқорытпалар және
тотықсыздандыру үрдістері»
зертханасының меңгерушісі
Е.Н. Махамбетов
PhD, профессор, «Istanbul Technical
University», «Металлургия және
материалтану» кафедрасының
профессоры
Yücel Onuralp (Түркия, Ыстамбұл қ.)

Қазақстан Республикасы
Теміртау, 2024

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	4
АНЫҚТАМАЛАР	5
БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	6
КІРІСПЕ	7
1 ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦ БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ КҮЙІ	15
1.1 ҚР болат өндірісінде ферромарганецті пайдалану	15
1.2 ҚР және әлемдегі орта көміртекті ферромарганец өндірісі.....	18
1.3 Марганец кендері және оның қорлары	22
1.4 Орта көміртекті ферромарганецтің өндірудің қолданыстағы технологиялары	23
1- бөлім бойынша қорытынды	27
2 ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦ БАЛҚЫТУҒА ҚАЖЕТ ШИКІҚҰРАМ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ	28
2.1 Марганец кенін химиялық және спектрлік талдау	28
2.2 Марганец кенін гранулометриялық талдау	30
2.3 Марганец кенін рентгендік-фазалық талдау	31
2.4 Жезді кен орнының марганец кендеріне дифференциалдық-термиялық талдау және оның жұмсару температурасын анықтау	34
2-бөлім бойынша қорытынды	41
3 ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦ БАЛҚЫТУ ПРОЦЕСІН ТОЛЫҚ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖОСПАРЛАУ	43
3.1 Толық термодинамикалық модельдеу әдістемесі	43
3.2 Толық термодинамикалық модельдеу	45
3.2.1 Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіндегі әк шығыны бойынша толық термодинамикалық модельдеу	45
3.2.2 Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіндегі марганец кенінің шығыны бойынша толық термодинамикалық модельдеу	49
3.2.3 Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіндегі алюминий шығыны бойынша толық термодинамикалық модельдеу	52
3.3 Математикалық жоспарлау әдістемесі.....	56
3-бөлім бойынша қорытынды	68
4 ӨНДІРІСТІК ЖАҒДАЙДА ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦТІ БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ	69
4.1. Орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша зертханалық модельдеу	69
4.2. Қуаттылығы 100 кВА кендітермиялық пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту	73

4.3 «МАРГАНЕЦ» Ғылыми-Өндірістік Бірлестігі» ЖШС жағдайында трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту	78
4.4 Орта көміртекті ферромарганец балқытудың технико-экономикалық көрсеткіштері.....	79
4 – бөлім бойынша қорытынды	80
ҚОРЫТЫНДЫ	82
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	85
ҚОСЫМША А - Ірі- зертханалық АКТ	91
ҚОСЫМША Ә - Технологиялық регламент	93
ҚОСЫМША Б - Пайдалы модельге Патент	102
ҚОСЫМША В - Оқу процесіне акт	103
ҚОСЫМША Г - Өндірістік процеске енгізу актісі	104
ҚОСЫМША Ғ - Термодинамикалық модельдеу нәтижелері	106

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сәйкес сілтемелер қолданылды:

«Дәрежелерді беру қағидаларын бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2011 жылғы 31 наурыздағы №127 бұйрығы;

«Білім берудің барлық деңгейінің мемлекеттік жалпыға міндетті білім беру стандарттарын бекіту туралы» Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрінің 2018 жылғы 31 қазандағы №604 бұйрығы;

МеМСТ 4756-91 (ИСО 5447-80). Ферросиликомарганец. Техникалық талаптар және жеткізу шарттары.

МеМСТ 4755-91 (ИСО 5446-80). Орта көміректі ферромарганец. Техникалық талаптар және жеткізу шарттары.

МеМСТ 21876.1-76 – Ферромарганец. Марганецтің құрамын анықтау әдісі.1987. - 3 с.

МеМСТ 21876.2-76 – Ферромарганец. Көміртегінің құрамын анықтау әдісі.1987 - 8 с.

МеМСТ 21876.3-76 – Ферромарганец. Күкірттің құрамын анықтау әдісі. 1987. - 11 с.

МеМСТ 21876.41-76 – Ферромарганец. Кремнийдің құрамын анықтау әдісі. 1987. - 16 с.

МеМСТ 21876.41-76 – Ферромарганец. Фосфорды құрамын анықтау әдісі. 1987. - 19 с.

МеМСТ 22772.2-96 – Марганец кендері, концентраттар және агломераттар. Марганец құрамын анықтау әдісі (жалпы).

МеМСТ 22772.4-96 – Марганец кендері, концентраттар және агломераттар. Темірдің құрамын анықтау әдісі (жалпы).

МеМСТ 22772.6-96 – Марганец кендері, концентраттар және агломераттар. Фосфордың құрамын анықтау әдісі.

МеМСТ 11069-74 – Бастапқы алюминий.

ТУ 645 РК560-41-47-10-2000 – Жаңа күйдірілген әк.

МемСт 8.417-81 «Өлшем бірлігін қамтамасыз етудің мемлекеттік жүйесі.

АНЫҚТАМАЛАР

Шикіқұрам – металлургиялық агрегаттарға (пеш) балқытуға арналған шикізаттардың қосындысы;

Қож – шикіқұрам компоненттерінен бағалы компоненттерді бөліп алу барасында түзілетін қосылыстар;

Қож негізділігі – қож құрамындағы негізгі тотықтардың қышқылды тотықтарға қатынасы;

Қож еселігі – қож массасының балқыма массасына қатынасы;

Орта көміртекті ферромарганец – құрамында 1%-дан 2%-ға дейін көміртегі бар легіруші қорытпа;

Оттексіздендергіш - болаттың құрамдағы оттегіні айыруға арналған балқыма;

Тотықсыздандырғыш – металдағы қосылыстардан оттегіне айырып алуға арналған реагент;

Жезді марганец кені – Орталық Қазақстанда орналасқан марганец кендерінің кен орны.

БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

ҚарИУ	– Қарағанды индустриялық университеті КеАҚ;
ХМИ	– Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты;
МемСТ	– мемлекеттік стандарт;
ҚР СТ ISO/IEC	– Қазақстан Республикасының Ұлттық стандарты ISO/IEC;
РФ	– Ресей Федерациясы;
АҚШ	- Америка құрама штаты;
ДТТ	– Дифференциалды термиялық талдау;
ТГ	- Термогравиметрия;
ТМ	– Термодинамикалық модельдеу.
ЖШС	– жауапкершілігі шектеулі серіктестік;
АҚ	– Акционерлік қоғам;
ТМД	- Тәуелсіз мемлекеттер достастығы;
Qarmet	- Қарағанды металлургиялық комбинаты;
SiO ₂	– Кремнийдің қос тотығы;
Al ₂ O ₃	– Алюминий тотығы;
MgO	– Магний тотығы;
CaO	– Кальций тотығы;
MnO	– Марганец тотығы;
2CaO SiO ₂	– Екі кальцийлі силикат;
CaSiO ₃	– Кальций силикаты;
Ca ₃ SiO ₅	– Үш кальцийлі силикат;
Ca ₃ Si ₂ O ₇	– Пиросиликат кальций;
Mn ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	– Спессартин;
MnSiO ₃	– Метасиликаты;
MnO·Al ₂ O ₃	– Марганец алюминат;
ҚҚЖ	– Қыздыру кезіндегі жоғалым;

КІРІСПЕ

Шешілуі тиіс ғылыми немесе ғылыми-технологиялық проблеманың (міндеттің) замануи дейгейіне баға беру

Орта көміртекті ферромарганец балқыту кезінде марганец кеніне және тотықсыздандырғыш қойылатын жоғары талаптарға ие. Отандық марганец кендерін тікелей балқыту мүмкін емес. Марганец кенін металлургиялық бағалау арқылы оны кәдеге жарату керек. Отандық және ТМД елдерінің ферроқорытпа зауыттары Австралия, Гана, ОАР, Габон және Бразилиядан шикізатты тасымалдайды. Сондықтан еліміздегі марганец кендерінен өңдеуді қажет етеді. Орта көміртекті ферромарганец балқыту үшін сапалы ферросиликомарганец қажет.

Орта көміртекті ферромарганец балқыту кезінде сапалы өнім алумен қатар түзілетін ақырғы қождың шашырауына әкеледі. Бұл түзілетін қож экологияға әсер етеді. Бұны шешудің жолдары тотықсыздандырғыштарды таңдау және оларды тиімді қолданумен қатар кеннен марганецті жоғары мөлшерде бөліп алу маңызды. Диссертациялық жұмыста ақырғы қождар мен темірлі марганецтен алынған төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец және алюминий қолдану арқылы осы мәселелер толық шешіледі.

Тақырыпты әзірлеу негіздемесі және бастапқы деректер

Орта көміртекті ферромарганец маркаларын өндіру үшін қажетті сапалы арзан тотықсыздандырғыштар мен марганец кендері қажет етеді. Кешенді ферроқорытпалар және дәстүрлі ферроқорытпаларды балқыту үшін марганец кені қойылатын талаптар жоғары. Бұған дейін авторлар [1, 2] орта көміртекті ферромарганецті марганец концентраты, силикомарганец, әк және доломит қолдану арқылы марганец кенінен марганецті бөліп алу дәрежесін және электрлік шығынын төмендетті. Авторлар [3,4] тазартылған ферромарганецті отандық марганец кендерінен балқыту мүмкіншіліктері және марганец кеннің жарамдылығын анықтау тұрғысында олардың физика-химиялық қасиеттеріне зерттеу жүргізілді.

Қорыта айтқанда, осы салада бұрын жүргізілген зерттеу жұмыстары және негізгі элементтері бойынша химиялық құрамы отандық марганец кендерін ферроқорытпалар балқыту үшін, атап айтқанда орта көміртекті ферромарганец алу үшін кешенді шикізат ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігін негіздеу

«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ-ның Ғылыми Кеңесінің шешімі негізіндегі (№6 хаттама, 28.01.2022 ж.) 8D07202– «Қара және түсті металдар металлургиясы» білім беру бағдарламасы бойынша «Отандық шикізаттан орта көміртекті ферромарганецті балқытудың ресурс үнемдеуші технологиясын әзірлеу және енгізу» докторлық диссертация тақырыбын бекіту туралы №05.1.01-01-01/47, 28.01.2022 бұйрық зерттеулерді орындаудың негіздемесі болып табылады. Ғылыми кеңесшілер: Нурумғалиев Асылбек Хабадашевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, «Металлургия және материалтану» кафедрасының профессоры, «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ; Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы – PhD,

«Ферроқорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының меңгерушісі, Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты; Yücel Onuralp – PhD, профессор, «Металлургия және материалтану» кафедрасының профессоры, Istanbul Technical University (Түркия, Ыстамбұл қ.).

Орта көміртекті ферромарганецтің стандартты маркілерін балқытудың технологиясында шикіқұрам материалдарына сапасына қойылатын талаптар бар. Бұл осы шикіқұрам материалдарды физика-химиялық, құрылымдық, термиялық талдауларды кешенді зерттеуді жүргізу және орта көміртекті ферромарганец балқытудың тиімді технологиялық көрсеткіштерді нақтылауды қажет етеді.

Әзірлеменің жоспарланып отырған ғылыми-техникалық деңгейі, патенттік зерттеулер жөніндегі мәліметтер мен олардың қорытындылары

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері отандық марганец қорытпаларының зауыттарының жағдайындағы өндірістің заманауи талаптарына және ферроқорытпа саласын перспективалық дамыту сұраныстарына жауап береді. Зертханалық, ірі-зертханалық және өнеркәсіптік сынақтар әр түрлі тотықсыздандырғыш қолдану арқылы орта көміртекті ферромарганец балқыту кезінде қорытпаның сапасын арттыра отырып, өзіндік құнын төмендетті. Термодинамикалық модельдеу нәтижесінде оңтайлы шикіқұрам материалдарын таңдау арқылы орта көміртекті ферромарганец балқыту кезінде жүретін физика-химиялық процестердің теориялық негіздерін нақтылау үшін пайдаланылды.

Отандық және шетелдік патенттерді талдау орта көміртекті ферромарганец өндірісінде металлотермиялық тәсілмен балқыту кеңінен қолданылғанын көрсетті. Себебі, сапалы орта көміртекті ферромарганец алудың тәжірибесі аз. Осыған ұқсас технологияларды қолданудың кемшілігі зиянды қоспалар мөлшерінің жоғары болуы мен қосымша жабдықтарды орнату қажеттілігінде.

Диссертацияның метрологиялық қамтылуы жөніндегі мәліметтер

Зерттеулерді метрологиялық қамтамасыз ету нормативтік-әдістемелік және сертификаттау құжаттамаларын қолдану арқылы анықталды. Зерттеулер «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ-ның «Металлургия және материалтану» кафедрасының және Ж. Әбішева атындағы Химия-металлургия институтының заманауи аспаптары мен жабдықтарында жүргізілді. Химия-металлургия институтында ҚР СТ ISO/IEC 17025-2007 талаптарына сәйкес ҚР аккредиттеу жүйесінде аккредиттелген сынақ орталығы бар. Орталық химиялық және физикалық талдау жүргізудің заманауи сертификатталған әдістемелерімен (МемСТ) және тиісті стандартталған аспаптармен, аттестатталған сынақ жабдықтарымен және өлшеу құралдарымен қамтамасыз етілген. Барлық зертханалық бөлмелер тиісті коммуникациялары бар техникалық өлшеу жабдықтарымен жабдықталған.

Орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша тәжірибелік модельдеу бойынша жоғары температуралы Тамман пешінде жүргізілді. Ірі-зертханалық және өндірістік сынақтар трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А және 0,25 МВ·А электрдоғалық пештерінде жүзеге асырылды.

Бастапқы шикіқұрам материалдарының спектрлік, фазалық, құрылымдық және термиялық талдау JSM-7001F маркалы сканерлеуші электрондық

микроскоп және «Setaram» фирмасының Labsys Evolution TG-DTA/DSC синхронды көмегімен, сондай-ақ ақырғы қож құрамын талдау Istanbul Technical University-нің «Металлургия және материалтану» кафедрасында жүргізілді.

Тақырыптың өзектілігі

Қара металлургияның негізгі даму бағыты металл өнімдерін өндірумен қатар сапасын арттыру болып табылады, соның ішінде легіріленген болат өндірісіне қажет орта көміртекті ферромарганец қорытпасын пайдалануынсыз елестету мүмкін емес.

Бүгінгі таңда елімізде орта көміртекті ферромарганецті, өндіретін өндіріс орындары жоқ. Отандық құю цехтары Қытайдан, Украинадан және Ресей Федерациясынан импортталған ферромарганецті қолдануға мәжбүр. Марганец ферроқорытпаларының жетіспеушілігіне қарамастан, жылына шамамен 0,2 млн тонна марганец концентраттарын Қытай мен Ресей Федерациясына экспорттайды. Мәселен, Жәйрем КБК және «Қазмарганец» Холдингіне қарасты Жезді кенді марганец концентраттарын Челябині электро-металлургиялық комбинатына экспорттайды. Импорттаушы елдер үшін отандық марганец кенін тұтыну тиімді, өйткені салық пен тасымалдау шығындары төмен.

Алайда, отандық марганец кендерінің сапасының нашарлауы, сонымен қатар бастапқы шикіқұрам материалдары мен электр энергиясының қымбаттауы, орта көміртекті ферромарганец қорытпаларын алу технологиясын жетілдіру өзекті мәселе, сондықтан теориялық, зертханалық және өндірістік зерттеулерді қажет етеді.

Зерттеу міндеттері. Аталған мақсатқа жету үшін жұмысқа келесі міндеттер қойылады:

- зерттелетін марганец кенінің сапалық және сандық сипаттамаларын бағалау және оның металлургиялық жарамдылығын анықтау үшін физико-химиялық зерттеулер жүргізу;

- орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесі үшін термодинамикалық және математикалық модельдеу арқылы оңтайлы шикіқұрам материалдарын анықтау;

- орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша зертханалық тәжірибелерді жүргізу;

- технологиялық регламентті әзірлеу үшін трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А болатын электрдоғалы пешінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесінің ірі-зертханалық тәжірибелерін жүргізу;

- трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы пешінде төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганецті пайдалана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесінің өндірістік сынақтарын жүргізу.

Тақырыптың жаңалығы

Бұл жұмыста алғаш рет:

- орта көміртекті ферромарганецті балқыту үшін қажетті стандартты емес кремний-алюминий тотықсыздандырғыштарды пайдалана отырып, шикіқұрам қоспасының оңтайлы құрамын таңдау үшін Mn-Fe-Si-Al-Ca-C-O жүйесін толық термодинамикалық модельдеу жүргізілді. Шикіқұрам қоспасының оңтайлы

құрамы, %: марганец кені-33; қайта өңделетін силикомарганец - 36; алюминий сынықтары -2 және әк - 30.

- экспериментті алты факторлы жоспарлау әдісін қолдана отырып, тотықсыздандырғыштағы марганец пен кремнийдің мөлшерін, кенді ұсақ бөлшектердің үлесін (5,0 мм-ге дейін), қождың негізділігін, кендегі марганецтің құрамын және шикіқұрам қоспасындағы алюминий сынықтарының үлесін ескере отырып, марганецтің бөліп алу дәрежесін анықтау үшін математикалық модель құрылды:

$$\dot{y} = -17,777 + 0,420x_1 + 0,396x_2 - 0,164x_3 + 19,843x_4 + 0,157x_5 + 2,758x_6.$$

- кеннің құрамындағы марганец, темір концентрациясы және марганецтің бөліп алу дәрежесі бойынша орта көміртекті ферромарганецтегі марганец мөлшерін анықтайтын математикалық модель алынды:

$$\dot{y} = 52,307 + 0,053x_1 - 0,786x_2 + 0,530x_3.$$

- трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы пешінде кремнийлі тотықсыздандырғыштарды - қайта өңделетін силикомарганец пен алюминий сынықтарын пайдалана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту технологиясы әзірленді және пысықталды. Орта көміртекті ферромарганецтің келесі химиялық құрамы бар тәжірибелік партиясы алынды, %: Mn – 85 – 88; Si- 0,33-0,7; C – 1,6-1,8; S – 0,01-0,03; P – 0,03-0,05; Fe - қалғ. Оңтайлы қож негізділігі 1,7-1,9 болғанда және алюминий сынықтарды пайдалану арқылы марганецтің металға түсімін 65-69% дейін арттыруға мүмкіндік берді;

- трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы пешінде қайта өңделетін силикомарганецті пайдалана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша өндірістік жағдайларда технологиялық сынақтар жүргізілді. Нәтижесінде орта көміртекті ферромарганецтің орташа химиялық құрамы алынды: Mn - 86-88; Si - 0,04-0,35%; C - 1,86-2,0%; S - 0,01-0,03%; P - 0,03-0,05%; Fe - қалғ.

Жұмыстың практикалық құндылығы

Ірі-зертханалық жағдайларда «Жезді» марганец кені, тотықсыздандырғыш ретінде төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец және алюминий сынықтарын пайдалана отырып, орта көміртекті ферромарганец балқыту технологиясы әзірленді. Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер негізінде ақырғы қождардың силикатты ыдырауы мәселесі шешілді және орта көміртекті ферромарганец өндірісінің технико-экономикалық көрсеткішін анықтайтын параметр марганецтің түсімін 69%-ға дейін арттырды.

Орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша сынақтар трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А болатын электрдоғалы пешінде өткізілді. Нәтижесінде құрамында орта көміртекті ферромарганецтің тәжірибелік партиясы алынды.

Орта көміртекті ферромарганецтің тәжірибелік партиясының бір бөлігі 110Г13Л маркалы болатты легірлеу мақсатында «Теміртау құю зауыты» ЖШС сынақтан өткізуге жіберілді.

Орта көміртекті ферромарганецті трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А болатын электрдоғалы пешінде балқыту бойынша технологиялық регламент әзірленді.

Жұмыстың өзге ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы

Диссертациялық жұмыс «Қазақстан-2050» Стратегиясын, Бірінші мемлекет басшысының 2017 жылғы 31 қаңтардағы «Қазақстанның Үшінші жаңғыруы: жаһандық бәсекеге қабілеттілік» жолдауын іске асыруға бағытталған.

Жұмыстың мақсаты

Отандық марганец кендерінен орта көміртекті ферромарганецті балқытудың ресурс үнемдеуші технологиясын әзірлеу.

Зерттеу пәні

Марганец кені және әр түрлі тотықсыздандырғыштар қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту технологиясы.

Зерттеу нысаны

Марганец кені, қайта өңделетін силикомарганец, тауарлы ферросиликомарганец және орта көміртекті ферромарганец.

Зерттеу әдістері

Диссертациялық жұмыста күрделі металлургиялық процестерді анықтайтын зерттеу әдістері қолданылды: материалдарды химиялық, спектрлік, гранулометриялық, рентгендік фазалық және дифференциалды-термиялық талдау, «HSC Chemistry 10.0» кешендік бағдарлама көмегімен толық термодинамикалық модельдеу, FactSage бағдарламасы арқылы балқыту процесін диаграммалық талдау, математикалық жоспарлау, зертханалық жоғары температуралы тамман пешінде және электрдоғалы пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту технологиясын эксперименттік модельдеу.

Қорғауға шығарылған қағидалар

- марганец кенінің гранулометриялық, рентген-фазалық және спектрлік талдау нәтижелері;
- орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу нәтижелері;
- көп факторлы математикалық модельдеу арқылы марганец бөліп алу дәрежесі мен металдағы марганец мөлшерін анықтайтын тәуелділік өрнегінің нәтижелері;
- орта көміртекті ферромарганец балқыту процесінің зертханалық сынақтар нәтижелері;
- орта көміртекті ферромарганецті балқыту технологиясының ірі-зертханалық сынақтарының нәтижелері;
- орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша өнеркәсіптік сынақтардың нәтижелері.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау орны. Жұмыс Қарағанды индустриялық университеті КеАҚ «Металлургия және материалтану» кафедрасында, Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының тәжірибелік алаңы мен «Ферроқорытпалар және тотықсыздандыру үрдісі» зертханасында жүргізілді. Толық термодинамикалық зерттеулерді Istanbul Technical University «Металлургия және материалтану» кафедрасында жүргізілді (Ыстамбұл қ., Түркия).

Докторантың диссертация жазудағы жеке үлесі. Автор диссертациялық жұмыста қойылған мақсат пен міндеттерді толық орындады. Заманауи

зертханалық қондырғылар мен кешенді бағдарламаларда тәжірибелік сынақтарды өткізді, сынақтар нәтижелері бойынша Scopus және Web of Science базаларына кіретін журналдарда мақалалар жарыққа шықты. Ірі-зертханалық және өндірістік сынақтар нәтижелер бойынша орта көміртекті ферромарганец балқыту технологиясына технологиялық регламент, сынақ актісі және ҚР пайдалы модельге патенті алынды.

Жұмысты апробациялау. Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты жағдайында трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А болатын электрдоғалы пешінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша ірі-зертханалық сынақ актісі жасалды және технологиялық регламент әзірленді.

«Орта көміртекті ферромарганецті балқытуға арналған шикікұрам» атты Қазақстан Республикасының 2023 жылғы 16 маусымдағы KZ 8180 пайдалы модельге патенті алынды.

Диссертациялық жұмыс нәтижелері Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің «Металлургия» білім беру бағдарламасы бойынша «Ферроқорытпалар өндірісінің теориясы мен технологиясы», «Ферроқорытпа өндірісіндегі рециклингтік технологиялар» пәндеріне теориялық және практикалық нәтижелері оқу үрдісіне енгізілді. Оқу процесіне енгізу актісі бар.

Ғылыми зерттеулер мен әзірлемелердің нәтижелері «Марганец ҒӨБ» ЖШС-нің өндірістік алаңына енгізілді. Енгізу актісі бар.

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша 12 ғылыми жұмыс жарияланды, оның ішінде: Web of Science (Clarivate Analytics) базасының Science Citation Index Expanded және Scopus (Elsevier) базасының CiteScore бойынша индекстелетін, диссертация тақырыбының ғылыми бағыты бойынша рецензияланатын ғылыми басылымдарда 2 (екі) мақала, ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚЕК ұсынған металлургия саласындағы отандық басылымдарда 3 (үш) мақала, халықаралық және республикалық ғылыми-практикалық конференция жинағында 6 (алты) мақала және 1 ҚР пайдалы модельге патент.

Web of Science (Clarivate Analytics) базасының Science Citation Index Expanded және Scopus (Elsevier) базасының CiteScore бойынша индекстелетін, диссертация тақырыбының ғылыми бағыты бойынша рецензияланатын ғылыми басылымдардағы негізгі жарияланымдар туралы мәліметтер.

1 Abdirashit A., Makhambetov Y., Yerzhanov Y.A., Sarkulova Z., Aitkenov N., Aitbayev N. Large-scale laboratory tests for smelting medium-carbon ferromanganese using Jezda manganese ore and SiMn17 silicomanganese fines // *Metalurgija*. – 2023. Vol 61, Iss. 1. – P. 139-141.

2 Nurumgaliev A., Makhambetov Y., Kuatbay Y., Yerekeyeva G., Abdirashit A., Mynzhassar Y. Study of softening temperatures of manganese ores in central Kazakhstan // *Metalurgija*. – 2023. Vol. 62, Iss. 2. – P. 268-270.

Диссертация тақырыбы бойынша ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚЕК ұсынған металлургия саласындағы отандық басылымдардағы жарияланымдар туралы мәліметтер:

1 Makhambetov Ye., Abdirashit A., Mynzhassar Ye., Baisanov A., Zhakan A. Thermodynamic and experimental simulation of the smelting process of medium carbon ferromanganese with the use of Zhezdinsky manganese ores // *Қазақстан*

ғылымы мен техникасы. - 2023.- №3. - P. 141-153. <https://doi.org/10.48081/HHS.N1365>.

2 Makhambetov Ye. N., Abdirashit A.M., Myngzhassar Ye. A., Burumbayev A.G., Zhakan A.M., Yucel O. Research on the possibility of obtaining medium-carbon ferromanganese from the Djezdinskoe deposit // *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources*. – 2024. - Vol. 331. - Iss. 4. – P. 101-108. <https://doi.org/10.31643/2024/6445.43>.

3 Махамбетов Е.Н., Әбдірашит А.М., Мыңжасар Е.А., Байсанов А.С., Юсел О. Металлотермиялық тәсілмен орта көміртекті ферромарганецті балқыту процестерінің термиялық қасиеттерін зерттеу / *Труды университета*. - 2024. – №2. - 95 б. - Б. 54-59. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_2_54.

Халықаралық және республикалық ғылыми-практикалық конференцияда диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша баяндалған және талқыланған баяндама туралы мәліметтер:

1 Әбдірашит А.М., Мыңжасар Е.А. / Әлемдік және отандық марганец кендерді тұтыну мен талдау// *Университеттің 70 жылдығына арналған «Қазақстан-2050» Стратегиясын жүзеге асырудағы жастар ғылымының үлесі» атты Республикалық студенттік ғылыми конференциясы ЕҢБЕКТЕРІ 2 – бөлім, (13-14 апрель)*. - Қарағанда. – 2023. – Б. 283-284.

2 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х., Юджел О. HSC Chemistry 6.0 бағдарламалық кешенін қолдану арқылы орта көміртекті ферромарганецті балқыту термодинамикалық модельдеу // «Металлургия» кафедрасының 40-жылдығына орай өтетін «Металлургия саласының мәселелері мен перспективалары: теория және практика» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары (31 мамыр). – Павлодар. - 2023. – Б. 48-51.

3 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х./ Қазақстандағы болат өндірісінің жағдайы мен тұтынылуы // *Қарағанды индустриалды университетінің 60 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдар жинағы (19-20 қазан)*. - Теміртау. – 2023. – Б. 111-114.

4 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х./ Қайта өңделетін силикомарганецті қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту үрдісін эксперименттік модельдеу // *Қарағанды индустриалды университетінің 60 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдар жинағы (19-20 қазан)*. – Теміртау. – 2023. – Б. 115-117.

5 Әбдірашит А.М., Нурумғалиев А.Х., Махамбетов Е.Н., Юсел О. Әр түрлі тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец технологиясын әзірлеу // *Қарағанды индустриялық университетінің «Жастар, ғылым және технологиялар: жетілдіру және ықпалдасу жолдары» LIV Республикалық ғылыми-практикалық конференцияның материалдар жинағы*. - Теміртау.- 2024. – Б. 62-64.

6 Әбдірашит А.М., Нурумғалиев А.Х., Махамбетов Е.Н., Юсел О./ Орта көміртекті ферромарганец технологиясын зерттеу және әзірлеу// Қазақстан Республикасының Ұлттық Ғылым Академиясының (Қазақ ССР Ғылым Академиясы) негізін салушы, тұңғыш президенті Қ. Сатпаевтың 125 жылдығына арналған «өндірістегі және техникалық мамандарды дайындаудағы инновациялар» халықаралық ғылыми-практикалық онлайн-конференция материалдары (23 сәуір). - Ақтөбе. - 2024. – Б. 28-29.

Зияткерлік меншік объектілеріне қорғау құжаттары туралы мәлімет:

1. Пайдалы модельге патент ҚР «Орта көміртекті ферромарганецті балқытуға арналған шикіқұрам» № 8180, 16.06.2023.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, 4 бөлімнен тұратын негізгі бөлімнен, қорытындыдан және қосымшалардан тұрады. Диссертацияның көлемі машинада басылған мәтіннің 118 бетін құрайды, жұмыста 37 сурет, 23 кесте, пайдаланылған әдебиеттер тізімі, оның ішінде 82 атау бар.

1 ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦ БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ КҮЙІ

Еліміздің тау-кен металлургия кешенінің дамуын анықтайтын негізгі факторлардың бірі - жоғары сапалы кен-шикізат базасы және оның қорлары болып табылады. Қазақстан Республикасында марганец шикізатының үлкен қоры бар және оны өндіру бойынша көшбасшы елдердің ондығына кіреді. Қазақстанның марганец кен қорлары туралы ақпарат ашық көздерде келтірілген [5-7]. Еліміздегі марганец кендерінің қоры бойынша отандық металлургиялық кәсіпорындарын қамтамасыз етуге жеткілікті, алайда олардың сапасының қанағаттанарлықсыз болуы кендерді пайдалануға кедергі болды [8]. Кендердің құрамындағы фосфор мен кремний тотығының сапасына қойылатын талаптармен бірге темірдің шектеулі мөлшері де бар. Қазіргі таңда отандық металлургиялық кәсіпорындарды сапалы марганец концентраттарымен қамтамасыз ете алмауы, кендерді өңдейтін әмбебап кешенді технологияның жоқтығында. Қазіргі уақытта елімізде ферросиликомарганецті балқытады, ал орта көміртекті ферромарганец өндірісі мүлдем ұйымдастырылған. Бұл, ең алдымен, сапалы бастапқы шикікұрам материалдарының болмауына, сондай-ақ өндірістің жаңа жағдайларына бейімделген теориялық және қолданбалы зерттеулердің болмауына байланысты.

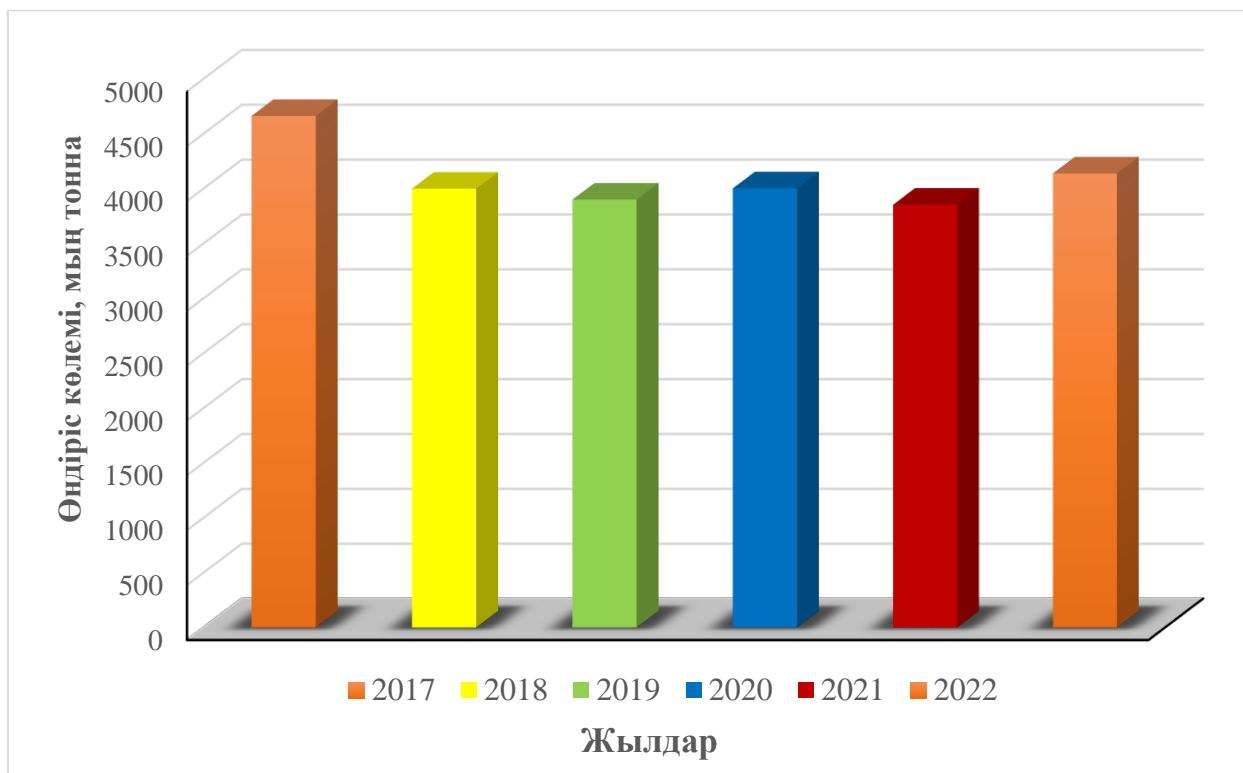
Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты (ХМИ) ғалымдары Қазақстандағы марганец кендерін металлургиялық қайта өңдеуге тарту идеясын белсенді дамытуда. Бұл бағытта жоғары деңгейде нәтижелерге қол жеткізілді: жаңа технологиялар әзірленді, өнеркәсіптік жағдайларда технологиялық сынақтар жүргізілді, тәжірибелік партиялар әзірленді, патенттер алынды.

Төменде Ж.Әбішев атындағы ХМИ -гі орта көміртекті ферромарганец қорытпа балқыту технологиясының әзірлемелері мен технологиялық шешімдерін жасау және ғылыми және практикалық жетістіктерді іске асыру бойынша жұмыстар нәтижелері келтірілген.

1.1 ҚР болат өндірісінде ферромарганецті пайдалану

Металлургия өнеркәсібі Қазақстан Республикасының экономикасының жетекші салаларының бірі. Металлургия өнеркәсібінің өнімдерінің бірі - болат. Экономика министрлігінің мәліметі бойынша, 2017-2022 жылдары республикада тазартылмаған болат өндірісі шамамен 25 млн тоннаны құрады. Қазақстандағы негізгі болат өндіруші – Qarmet (бұрынғы «Арселор Миттал Теміртау» АҚ), соңғы үш жылда 10,14 млн тонна сұйық болат өндірді [9, 10].

2017-2022 жж. аралығында тазартылмаған болат өндірісінің көлемі 1.1-суретте келтірілген. Сонымен қатар, бәсекеге қабілетті, жоғары сапалы болат өндіру жаһандық нарықта үлкен сұранысқа ие [11].



Сурет 1.1 - Қазақстандағы тазартылмаған болат өндірісі (2017-2022 ж.ж.)

«Qarmet» компаниясы болат өндірісі бойынша әлемдік көшбасшы болып табылады және автомобиль жасау, құрылыс, тұрмыстық техника және илем сияқты салаларды қоса алғанда, әлемнің негізгі металлургиялық нарықтарында жетекші орын алады.

«Qarmet» өзінің металлургиялық қызметін дамыған және дамушы нарықтарды қоса алғанда, төрт континентте жүргізеді. Отандық болат өнімдері шамамен 35% – ы Америкада, 47% – ы Еуропада және 18% - ы Қазақстан, Оңтүстік Африка, Украина және басқа да аймақтарда қолданылады. «Qarmet» Солтүстік және Оңтүстік Американың, Батыс және Шығыс Еуропаның, ТМД елдерінің және Африканың металл нарықтарында көш бастап тұр.

Елімізде 30-астам болатты және шойынды құю зауыттары (цехтары) бар. Олар: «Теміртау құю зауыты» ЖШС, «Asia FerroAlloys» ЖШС, «Семей механика-құю зауыты», «Қарағанды құю-машина жасау зауыты», «Алматы ауыр машина жасау зауыты» АҚ, «KamLit KZ» шойын-құю зауыты ЖШС, «МехЛитКом» ЖШС, «С.М. Кирова атындағы машина жасау зауыты» ЖШС, «Ақтау құю заводы» ЖШС, «КазАрмапром» ЖШС, «Орал құю-механикалық зауыты», «УральскАгроРемМаш» АҚ, «Тараз құю-механикалық зауыты» ЖШС, Қарағанды құю-машина жасау зауыты «Maker (Мэйкер)» ЖШС, «Жезказғанцветмет» ЖШС, «Шымкент Темір» ЖШС.

«Теміртау құю зауыты» ЖШС - негізгі өнімі болат пен шойын құймалары болып табылады. Зауытта болат балқыту үшін 3,5 тонналық екі доғалы балқыту пеші және 1,5 тонналық индукциялық пеші бар. Құрылымдық сапалы көміртекті болат маркілерін (25А, 35А, 40А), жоғары марганецті және хромды болаттың маркілерін (35ХМЛ, 110Г13Л, 20ГСЛ, 30ГСЛ, 35ГЛ) өнім шығарса, шойыннан

Cr20 маркасын өндіреді. Негізгі өнімдерінен жоғары сапалы шарлы, дискілі диірмендердің, жақты, конусты, роторлы ұсатқыштардың негізгі бөлшектерін жасайды. Өндірістің негізгі экспорттаушы болып отандық нарық, Ресей және ТМД елдері болып табылады [12].

«Asia FerroAlloys» ЖШС өндірісі болаттан, шойыннан байыту фабрикаларына арналған диаметрі 40-100 мм шойын тегістеу шарлары, құрылыс саласы кәсіпорындарына арналған шойын цилиндрлер, теміржол көлігіне арналған тежегіш төсемдер өнімі тұтынады. Зауыттың өнімі бүкіл Қазақстан, ТМД, Еуропа және Азия елдеріне жеткізіледі [13].

«Алматы ауыр машина жасау зауыты» АҚ қара және түсті металлургия, құрылыс материалдары өнеркәсібі, электротехника және авиация өнеркәсібі кәсіпорындарына сүйреу және құбыр тарту диірмендерін, қосалқы жабдықтар мен басқа да өнімдерді шығарады. Зауытта қуаттылығы жылына 12 мың тонна сұр және легіріленген шойын және болаттың құрылымдық, легіріленген, ыстыққа төзімді және арнайы түрлері бойынша 8 мың тонна және түсті металл мен оның балқымаларын 50 т-дан 1 мың-ға дейін өндіреді. Өндірісте сыйымдылығы 2,5 және 10 тонналық индукциялық пештері, 1,5 және 3 тонналық электродоғалы пештермен жабыдықталған. Еліміздің өндірістерге білікті брикетті пресс, вакуумдық сүзгілер, шикіқұрам орталаңдыру машиналары, әр түрлі сепараторлардың барабандары, әр түрлі типтегі құймақалыптар мен қож тасушы ыдыстар, 110Г13Л болаттан жасалған ұсақтау машиналарының броньдары, редукторлар және радиалды броньдар жасалынады [14].

«С.М. Киров атындағы машина жасау» зауытының құю цехының құрамында топыраққа құю, салқындату, қысыммен құю, инвестициялық құю, көркем құю жұмыстарын жүргізеді. Осылайша өндірілген бөлшектер станоктар мен электр қозғалтқыштарынан қарапайым кәріз құбырларына дейін өндіреді. Құймалардың мұндай кең таралуы олардың пішінінің басқа әдістермен өндірілген дайындамалардың пішініне қарағанда дайын өнімнің конфигурациясына оңай бейімделуіне байланысты [15].

«Ақтау құю зауыты» электрболат балқыту цехы 2006-2012 жылдар аралығы 180 мың тонна болат құймасын өндіреді. Өндірісте 10 тонналық индукциялық 8 пеш және болатты үздіксіз құюға арналған құрылғы (БҰҚ) құрылғылары арқылы 5СП арматуралы болат шығарылады. Ішкі нарықта металл илемі ретінде, сонымен қатар зауыт өнімдерін Иранға тұтынады. Қазіргі уақытта өндіріс орны жұмысы тоқтап тұр [16].

«КазАрмпро» ЖШС өнеркәсібі еліміздегі сұр шойын арматураларының жетекші өндірушілерінің бірі. Өнеркәсіп негізінен шойын құю, механикалық құрастыру, болат, сонымен қатар қосалқы қондырғылар: өнім дайындау цехы, энергетика, көлік және т.б. бөліктерден тұрады [17].

Орал құю-механикалық зауыты 1942 жылдан бастап, мұнай-газ өнеркәсібі, көлік және коммуникация, ауыл шаруашылығы, коммуналдық шаруашылық, құрылыс салаларына арналған қосалқы бөлшектер мен жабдықтарды шығаруға бағытталған. Өндірісте құю, дәнекерлеу-жинақтау, аспаптық, механикалық жөндеу және секциялар: жылу, жөндеу-құрылыс, энергетикалық бөлім, үлгі учаскесі, түсті және қара металдардың сынықтары мен қалдықтарын жинау

(жинау), сақтау, өңдеу цехтары бар. Өндірістің ассортименти: шойыннан жасалған бұйымдар, болаттан және түсті металдардан құйылған бұйымдары және дайын металл бұйымдары [18].

«Запчасть» АҚ 1938 жылы 28 тамызда құрылды (Кеңес өкіметі жылдарында зауыт КСРО-ның 60 жылдығы атындағы Жамбыл трактор қосалқы бөлшектері зауыты деп аталды) және құрылған күннен бастап ауыл шаруашылығы машиналарының қосалқы бөлшектерін, тракторлар, халық тұтынатын тауарлар, сондай-ақ әскери техниканың қосалқы бөлшектері шығарумен айналысады. Өндірісте екі электрдоғалы ДСП-5 пеші және сыйымдылығы 5 тонналық индукциялық пештері арқылы жылына 16 мың тонна болат балқытады. Алдағы уақытта жаңа цехтарын салу арқылы өндіріс көлемін 180 мың тоннаға дейін ұлғайту жоспарлануда [19].

«Қазақмыс коорпорациясы» Қарағанды құю-машина жасау зауыты «Maker (Мэйкер)» ЖШС қарасты айына 500 тоннадан астам өнім шығарады. Құрамына 3 негізгі цех кіреді: механикалық жинау өндірісі (МЖӨ), металл конструкцияларын өндіру (МКӨ), дайындау өндірісі (ДӨ). Зауытта ішкі өндірістің әр тапсырыс берушінің жеке параметрлеріне сәйкес кез келген күрделіктегі сорғыларды өндіру, байыту флотациялық жабдығын жыл сайын өндіру және диірмендерін қамтитын ұнтақтау жабдығын жеткізу, конвейерлік жабдықтың толық өндірістік циклі, тау-кен-шахта жабдықтарын өндіру, аспалы жабдықтар өндірісі, крандар, көпір тельферлері өндірісі, мұнай-газ жабдықтарын өндіру және жөндеу (ШМ6, ШМ8 типті шайқау машиналары), жылжымалы темір жол көлігіне қосалқы бөлшектер өндірісін жүзеге асырады [20].

«Shymkent Temir» ЖШС 2017 жылдан бері Оңтүстік Қазақстанда болат дайындамаларды өндіруде жетекші ұйым болып табылады. Онда жоғары сапалы өнім шығару үшін сыйымдылығы 50 тонналық индукциялық пеші және үш жақты үздіксіз құю машиналары бар [21].

Әлемдік деңгейде болат өнімдеріне сапа стандарттары жыл сайын артып келеді, оның аясында бәсекелестікте өндірушілер сапаны жоғалтпай, энергия ресурстары мен пайдаланылатын материалдарды үнемдеу арқылы металл өнімінің құнын төмендетуге тырысады. Болат өндірісінде құрамында металл емес кірінділерді азайту бойынша көп шаралар жасалуда. Бұл өндірістік кәсіпорындар мен ғылыми орталықтардың бірінші кезектегі міндеті.

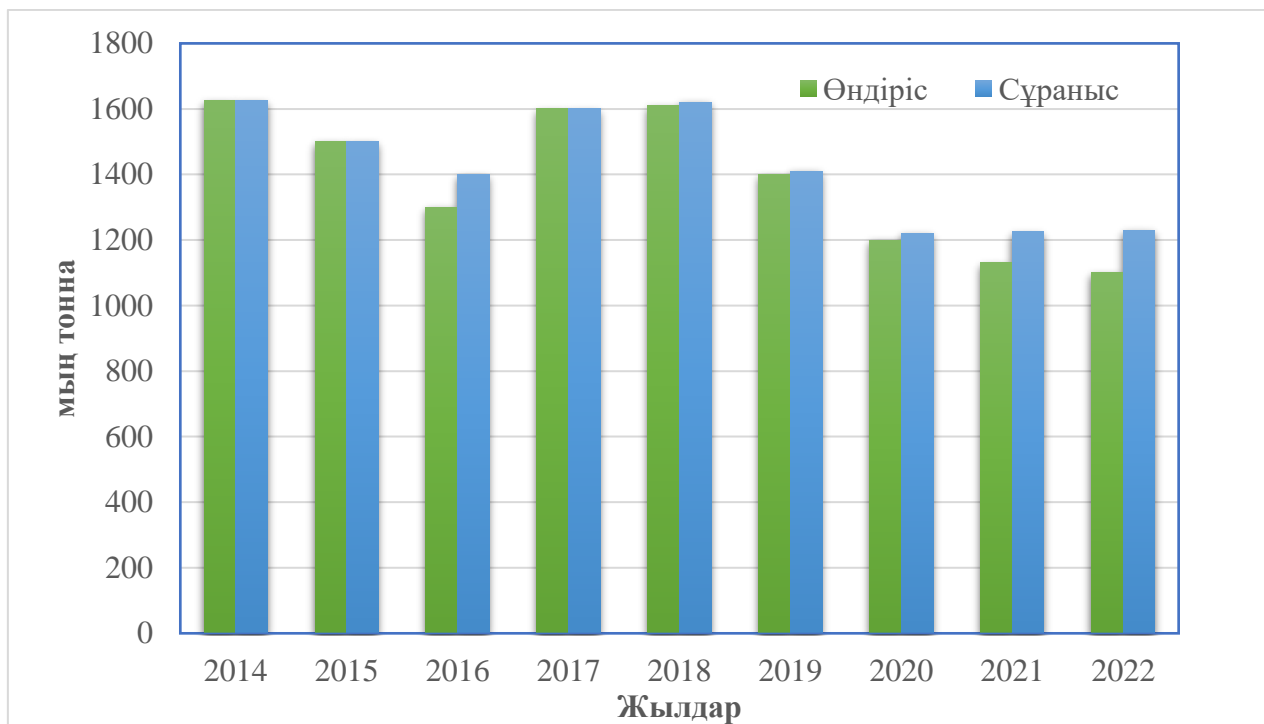
Қазіргі кезде болат, шойын балқытушы зауыттар, сондай-ақ еліміздің негізгі қара металлургиясының жетекшісі Qarmet комбинаты болатты легірлеу үшін қажет ферроқорытпаларды, соның ішінде ферромарганецті Ресей, Қытай және ТМД елдерінен тасымалдауға мәжбүрлі.

1.2 ҚР және әлемдегі орта көміртекті ферромарганец өндірісі

Марганец - баламасыз дәстүрлі оттектендіргіш және легірлеуші металл. Марганецті ферроқорытпалар (ферромарганец және силикомарганец) шойын өндірісінде легірлеуші, болат өндірісінде 90%-ы қышқылсыздандырғыш ретінде кен қолданылады.

Тазартылған ферромарганецтің 2014-2022 ж.ж. аралығындағы өндірілген өндіріс көлемі мен сұранысы 1.2-ші суретте келтірілген. 2020 жылдан бастап

тазартылған ферромарганецті өндіру шамамен 1,2 миллион тоннаға дейін қысқарды, бұл 2019 жылмен салыстырғанда 18%-ға қысқарды. Ол 2019 жылы Қытайда басталған коронавирус ауруы (COVID-19) және бүкіл әлемдік пандемия және 2021 жылы басталған геосаяси қақтығыстар (Ресей-Украина) мәселелердің туындауы әсерінен болды [22, 23].



Сурет 1.2 - Тазартылған ферромарганец өндірісі мен сұранысы (2014-2022 ж.ж.)

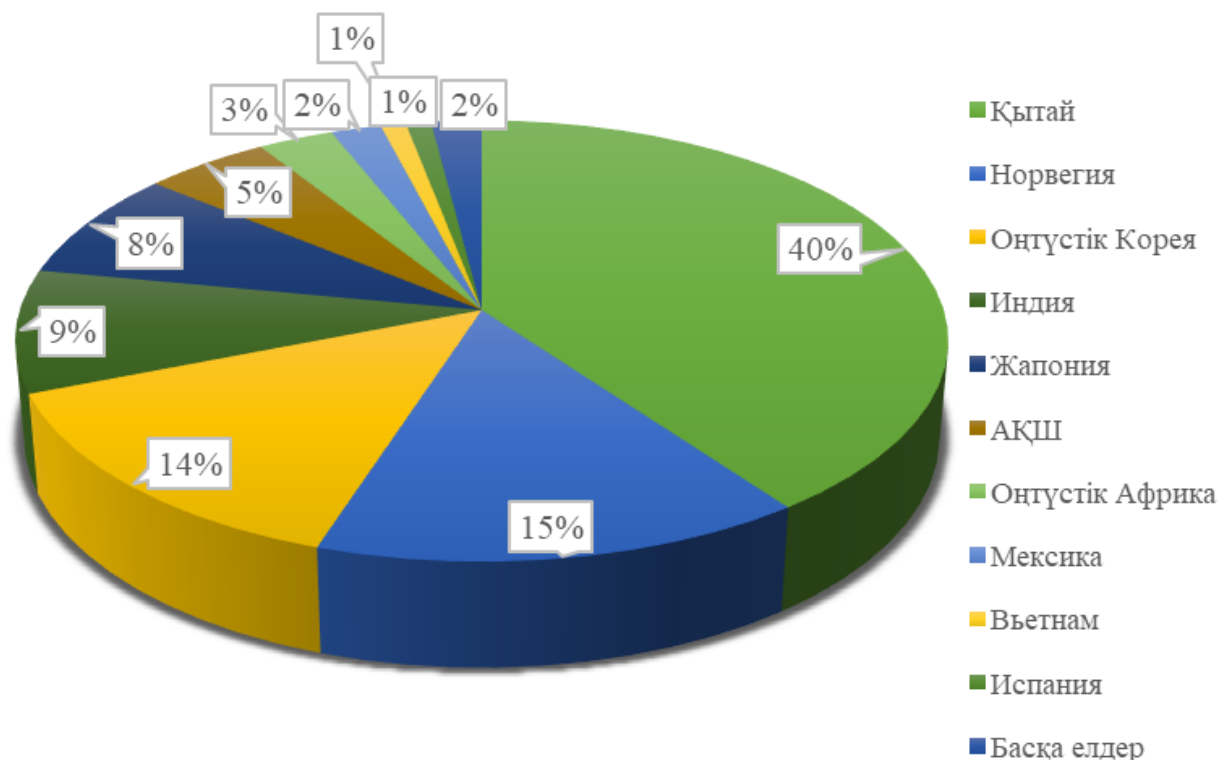
Қазіргі таңда әлемдік тазартылған ферромарганец өндірісі экспорттау бойынша алпауыт 10 елдер қатарына Қытай, Норвегия, Оңтүстік Корея, Индия, Жапония, АҚШ, Оңтүстік Африка, Мексика, Вьетнам, Испания және т.б. кіреді. 1.3-ші суретте тазартылған ферромарганецті экспорттаушы елдердің үлесі келтірілген.

Марганец құрамдас қорытпалары қазіргі кезде әлемдік нарыққа ие. 2020 жыл COVID-19 пандемиясына байланысты қазіргі тарихтағы ең қиын кезеңдердің бірі ретінде есте қалатыны сөзсіз. Атап айтқанда, 2020 жыл марганец өнеркәсібі үшін айтарлықтай өзгеріс болды, болат сұрыптарына деген сұраныс 2015 жылдан бері бірінші рет көптеген елдердегі өндірістің үзілуіне байланысты баяулады. Сонымен қатар, бүкіл әлемге қарама-қайшы, Қытай ішкі болат өндірісі мен тұтынуын арттыруды жалғастырды.

Соңғы жылдарда марганец өнеркәсібінің проблемалары артуда: Қытай болат өндіру және марганец кендерін тұтыну бойынша бұрынғыдан да басым болды. Әлемнің көптеген аймақтарында болат өндірісі баяулағанымен, марганец кендерінің өндірісі айтарлықтай жоғары болып қала береді.

Осыған байланысты марганец өндіруші елдер өндірісті қысқартты, соның ішінде Қытай (-11%) және Оңтүстік Африка (-50%). Қазіргі уақытта Қытай

тазартылған ферромарганецтің әлемдік өндірісінің 40%-н құрайды, одан кейін Норвегия (15%) және Оңтүстік Корея (14%) (1.3 сурет) [22].



Сурет 1.3 - Тазартылған ферромарганецті экспорттаушы елдердің үлесі

Тазартылған ферромарганецтің әлемдік өндірісі 2022 жылы 6% - ға, яғни 1,3 млн тоннаға дейін қысқарды, бұл ретте өндіріс көлемі 2021 жылмен салыстырғанда барлық өңірлерде төмендеді: Еуропада (-20%), ТМД-да (-82%), Солтүстік және Оңтүстік Америкада (-15%) және Африкада (-4%). Алайда, Үндістандағы өндірістің ұлғаюына байланысты Азиядағы ұсыныс 1% - ға өсті (+34%), бұл Азияның қалған бөлігіндегі өндірістің төмендеуіне алып келді. Үндістаннан басқа барлық негізгі өндіруші елдерде, соның ішінде Қытайда (-1%), Норвегияда, Оңтүстік Кореяда, Жапонияда, АҚШ-та және Оңтүстік Африкада ұсыныс азайды. Қазіргі уақытта Қытай тазартылған Femen әлемдік өндірісінің 38% құрайды, одан кейін Норвегия (15%), Оңтүстік Корея (13%), Үндістан (11%) және Жапония (8%) [24].

Ресей Федерациясында марганец ферроқорытпаларының барлық маркалары сұранысы және тұтынушысы бойынша «Мәскеу болат және қорытпалар институты» ұлттық зерттеу технологиялық университеті анализдеу нәтижесін ұсынды. Ең негізгі марганец ферроқорытпалары өндіруші Саткинск шойын балқыту зауыты АҚ (ФМн75, ФМн78 ферромарганец маркаларын), Косогорк металлургия зауыты (ФМн78) және Челябинск электрометаллургия комбинаты (ФМн78, ФМн80 ферромарганец және FeSiMn18 ферросиликомарганец маркалары) балқытады. Ресейде ферромарганец 2021 жылғы мәліметке сай өндіріс көлемі шамамен 150-157 мың тоннаны құрады. Бұл өндіріс нысандары ішкі нарықты ферромарганецті 99%, ферросиликомарганец 34%, тазартылған ферромарганец 99% және қалған өнімдерді шетелдерден Қытай, Украина, Грузия

және т.б. тасымалданады.

Саткинск шойын балқыту зауыты - Ресейдің ең ірі ферромарганец өндірушілерінің бірі, ай сайын он мың тоннадан астам жоғары көміртекті ферромарганец шығаратын өндіріс, ол экономикада берік орын алды. Зауыт ферромарганецтің ФМН 75 және ФМН78 маркалы қорытпасын, қожды қиыршық тасты, механикалық бұйымдарды, металл конструкцияларды, электр энергиясын өндіреді [25].

Косогорск металлургия зауыты – марганец өнімдерінің ФМН75 және ФМН78 маркаларын шығарады. Өндіріс орны 2018 жылы 54,8 мың тонна, 2019 жылы 59,5 мың тонна, 2020 жылы 64,5 мың тонна, 2021 жылы 88,2 мың тонна ферромарганец өндірді. 2021 жылы өндірілген ферромарганецтің 82 мың тонна экспорттады. Өндірісте домналық әдіс арқылы ферромарганец өндіреді. Негізгі шикізатты ішкі нарықтан, Қазақстан және негізгі импорт Оңтүстік Африкадан тасымалданады.

Челябі электрметаллургия комбинаты – «Мечел» жетекші ресейлік тау-кен және металлургия компаниясының құрамына кіретін кеңестік және ресейлік өнеркәсіптік кәсіпорын. Өнімдердің кең ассортиментін шығарады: шойын, болат прокат, көміртекті және арнайы болаттан жасалған жартылай фабрикаттар және коррозияға төзімді болаттардың 130-дан астам болат маркалары шығарылады. Қазіргі таңда ферромарганец қорытпасының ФМН78, ФМН70 маркаларын өндіреді. Негізгі шикізат материалдары ішкі кен орындары мен Еуроазиялық одақ шеңберінде Жайрем кен байыту комбинаты Жезді концентраты Қазақстаннан тасымалданады.

Запорожье ферроқорытпа зауыты акционерлік кәсіпорны - серпінді дамып келе жатқан тұрақты ферроқорытпа өндірушісі. Еуропа мен әлемдегі өндіріс көлемі бойынша ғана емес, сонымен қатар өндірілетін қорытпалар номенклатурасы бойынша да ірі өндірушілердің бірі. Украинадағы кәсіпорын өндірісінің үлесі 30-35%, әлемдік ферроқорытпа көлемінде - 1-2% құрайды. Ферроқорытпа зауытында 29 кенді кендітермиялық электр пештері, 2 тұрақты ток пеші, әк өндіруге арналған 3 шахта-жарықшақ пеші бар. Өндірісте тауар өнімдерінің сапасы ISO 9001: 2015 халықаралық сапа стандартымен МнС17, МнС25, ФМН78, ФМН88, ФМН95 қорытпа маркалары шығарылады. Негізгі тұтынушылар - Украин металлургиялық комбинаттары, экспорт елдері -Түркия, Еуропа елдері, Беларусь, Қазақстан, Египет, Жапония, Оңтүстік Корея. Қазіргі уақытта зауыт шикізат пен материалдардың жаңа түрлерін технологияға тарту және сапасы бойынша ерекше талаптары бар қорытпаларды өндірудің озық тәсілдерін игеруде [26].

Никопольск ферроқорытпа зауыты – бұл Украинаның металлургиялық кешенінің ең ірі кәсіпорындарының бірі, Еуропадағы ең ірі ферроқорытпа кәсіпорны және марганец қорытпаларын өндіру бойынша әлемдегі екінші (ферроқорытпалардың әлемдік өндірісінің 11%-дан астамы) зауыт болып табылады. Қазіргі таңда өндірісте қуаттылығы 63 МВ·А пен 16,5МВ·А пештер орналастырылған. Бұл өз кезегінде жылына 720 мың тонна және 440 мың тонна өнім шығарады. Негізгі өнімдері жоғары көміртекті ферромарганец және ферросиликомарганец болып табылады [27].

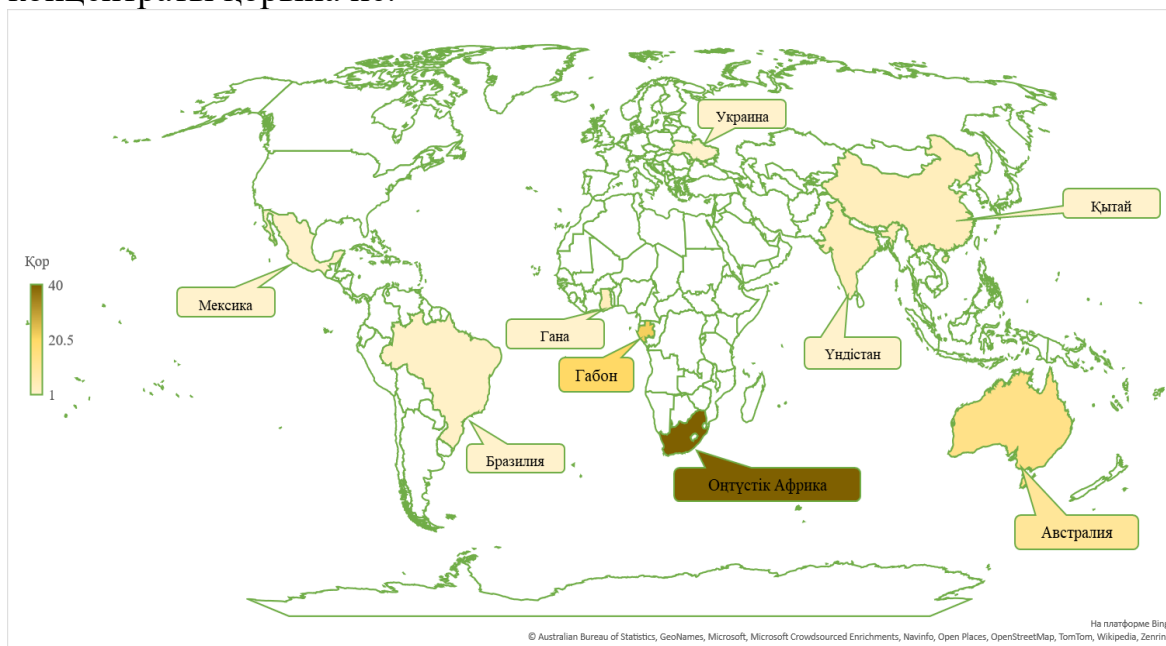
Стахановск ферроқорытпа зауыты әрқайсысының өнімділігі айына шамамен 2 мың тонна болатын сегіз ферроқорытпа пеші бар. Негізгі өнімдер: ферросилиций, ферромарганец және ферросиликомарганец. Кәсіпорын шығаратын өнімнің басым бөлігі (75%-ға жуығы) экспортқа шығарылады. Зауытта ферросиликомарганецтің А және Б типтерін шығарады.

Украина ферроқорытпа зауыттары негізгі шикізатты Австралия, Гана, ОАР, Габон және Бразилиядан тасымалдайды.

1.3 Марганец кендері және оның қорлары

Елімізде марганец кендерінің қорлары Орталық Қазақстанда шоғырланған. «Қазмарганец» кен басқармасы - марганец кенін өндіру бойынша еліміздің басты кәсіпорыны. 2021 жылы кен басқармасы 0,9 млн тонна кен және 0,2 млн тонна өндіреді. Басқарманың негізгі кен орындары - Жезді кен орны және Жәйрем кен байыту басқармасы болып табылады [28].

Марганецтің қоры 2022 жылы мәліметке сай шамамен 1,7 миллиард тоннаға бағаланды, бұл 2010 жылмен салыстырғанда үш есе көп [23, б. 283]. Марганец қорлары Оңтүстік Африкада, Украина, Бразилияда, Австралия әлемдегі ең үлкен марганец қорлары бар. Қазақстанда 5 мың тоннадан астам марганец концентраты қорына ие.



Сурет 1.4 – 2022 жылғы мәліметтер бойынша марганец кендерінің қорлары

Марганец кендерінің әлемдік өндірісі өткен жылмен салыстырғанда 2022 жылы 3% - ға 21,1 млн тоннаға дейін қысқарды. Орташа және төмен сұрыпты кендердің жылжымалы қоры (сәйкесінше -5% және -1%) энергия шығындарының өсуіне байланысты жоғары сұрыпты кендер өндірісінің 1%-ға өсті, өйткені марганец қорытпаларын өндіру жоғары сұрыпты кендерді пайдалану кезінде аз энергияны қажет етеді. Жоғары сұрыпты марганец кенін өндіру (>44% Mn) қазіргі уақытта жалпы өндірістің 40%-н құрайды, ал орташа сұрыпты кен (>30% және <44% Mn) 50%, ал төмен сұрыпты кен (<30% Mn)

құрайды қалған 10%-н құрайды. 2022 жылы өндіріс көлемі Оңтүстік Африка, Австралия, Қытай, Гана, Бразилия, Кот-Д'Ивуар және Мексикада қысқарып, Габон мен Үндістанда ұлғайды. Қазіргі уақытта Оңтүстік Африка әлемдік кен өндірісінің елдерінің 40% - құрайды, одан кейін Габон (22%) және Австралия (14%) (1.4 сурет) [24].

Қазақстандық марганец шикізатының көздері Ресей үшін жеткізілетін өнімдердің салыстырмалы арзандығы, әкелу бажының (кеден одағы елі ретінде) төмен болуы және тұтыну орнына жеткізу бойынша шағын көлік шығындары бөлігінде артықшылық береді [29].

1.4 Орта көміртекті ферромарганецтің өндірудің қолданыстағы технологиялары

Орта көміртекті ферромарганец арнайы болат маркаларын балқытуда оттексіздердіргіш және легірлеуші қоспа ретінде, түсті металлургияда және дәнекерлеу электродтарын өндіруде қолданылады. Орта көміртекті ферромарганец силикотермиялық әдіспен балқытылады және ISO 5446-80 химиялық құрамы бойынша талапқа сай болуы керек (кесте 1.1).

Кесте 1.1 - Орта көміртекті ферромарганец химиялық құрамы, %

Марка	Массалық үлесі, %				
	Mn	C	Si	P	S
			артық емес		
FeMn80C20	75-85	1,5-2,0	2,0	0,35	0,03
FeMn80C20LP	75-85	1,5-2,0	2,0	0,20	0,03
FeMn80C15	75-85	1,0-1,5	2,0	0,35	0,03
FeMn80C15LP	75-85	1,0-1,5	2,0	0,20	0,03
FeMn80C10	75-85	0,5-1,0	2,0	0,35	0,03
FeMn80C10LP	75-85	0,5-1,0	2,0	0,20	0,03
FeMn90C20	85-95	1,5-2,0	2,0	0,35	0,03
FeMn90C20LP	85-95	1,5-2,0	2,0	0,20	0,03
FeMn90C15	85-95	1,0-1,5	2,0	0,35	0,03
FeMn90C15LP	85-95	1,0-1,5	2,0	0,20	0,03
FeMn90C10	85-95	0,5-1,0	2,0	0,35	0,03
FeMn90C10LP	85-95	0,5-1,0	2,0	0,20	0,03

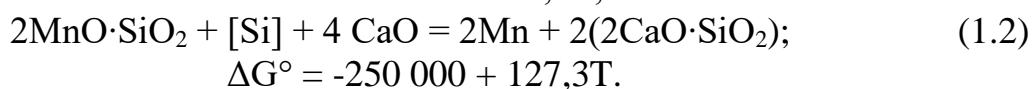
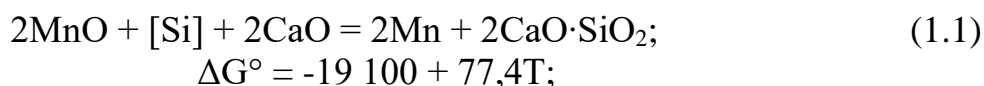
Жоғары көміртекті ферромарганецтен тазартылған сорттардың айырықша ерекшелігі, фосфор, күкірт және басқа зиянды қоспаларға шектеулерден басқа, көміртегінің төмен болуы. Сондықтан көміртекті пайдаланатын жеке процестерді қоспағанда, тазартылған ферромарганец өндірісінде металлотермиялық әдістер кеңірек дамып, қолданыла бастады.

Металлургияда тазартылған ферромарганецті алудың әдістері келесідей:

- марганец кенін немесе бай марганец қожын кремниймен алу;
- марганец кені немесе бай марганец қожынан алынған көміртекті ферромарганецті тазарту.

- силикомарганецтегі кремнийді марганец кені немесе бай марганец қожы арқылы тазарту. Алғашқы екі әдіс практикалық жағдайда қолданысқа енгізілмеген [30]. Төмен көміртекті және орташа көміртекті ферромарганецті силикомарганецті марганец кенімен немесе марганец қожынан тазарту арқылы алады.

Челябі электрметаллургиялық зауытында (ЧЭМК) орта көміртекті ферромарганец марганец кенінен, аз фосфорлы марганец қождарынан және кремнеземді кальций силикаттарына байланыстыратын әктің қатысуымен силикомарганецтен алынады [31, 32]. Марганец тотығынан және тефроиттен марганецтің тотықсыздануы келесі реакциялармен сипатталады:



Тазартылған ферромарганецті қуаттылығы 5-7 МВ·А еңкейтілетін тазартылған электродоғалы кендітермиялық пешінде магнетитті футеровкада балқытады. Қолданыталын шикіқұрам материалдары келесідей:

- марганец кені құрамында 46% - ға дейн, Mn/Fe - 11%; SiO₂ - 15 % -ға дейн; фосфора 0,2 %-дан аспауы керек;
- әк 90% - дан астам болуы керек;
- тотықсыздандырғыш ретінде қайта өңделетін силикомарганец СМн22 және СМн25 қолданылады.

Орта көміртекті ферромарганецті балқыту ашық электр доғасымен жүргізіледі. Электродтарды қожға батыру қорытпаның карбюризациясына әкеледі, ал электродтардың металмен қысқа мерзімді жанасуына жол берілмейді. Сондықтан балқыту салыстырмалы түрде жоғары кернеу деңгейінде жүзеге асырылады. Балқудың бірінші кезеңінде шикіқұрамның тотығуына байланысты электродтар жиі қожға батырылады.

Шикіқұрам еріген кезде қождағы MnO концентрациясы төмендейді, бұл шихтаның электр өткізгіштігінің төмендеуіне әкеледі, ал CaO концентрациясы жоғарылайды, бұл электр өткізгіштігінің жоғарылауына әкеледі. Балқыту кезінде бұл факторлардың әсері өзара алынып тасталады және шикіқұрамның электр өткізгіштігі іс жүзінде тұрақты болып қалады, тек балқытудың соңына қарай артады, сондықтан балқытудың соңғы кезеңінде ұзақ доғада жұмыс істегенде жылу шығынын болдырмау үшін жұмыс кернеуін төмендеткен жөн.

Орта көміртекті ферромарганецті ұзақ уақыт балқытатын зауыттардың тәжірибесі оңтайлы негізділік CaO/SiO₂ = 1,2- 1,4 екенін көрсетеді. Алайда, негізділіктің одан әрі артуы қождағы MnO құрамының 18%-дан төмен болуына әкеледі, бұл оны қайта өңделген силикомарганецті балқыту үшін қолдануды шектейді.

1 тонна тазартылған ферромарганец алу үшін келесідей шикіқұрам материалдары шығындалады, кг: марганец кені - 1650, силикомарганец - 1050,

эк - 1140, электр энергия 1460-1550 кВт сағат. Марганецтің игеру дәрежесі 48,8%.

Зерттеуші [33] орта көміртекті ферромарганец өндіруде жарамсыз кендерді химиялық және гидрометаллургиялық байыту әдістері арқылы алынған концентраттарды қолдану және кесектеудің тиімді әдісін таңдау арқылы ұтымды балқытудың технологиясын жасады. Қуаттылығы 2500 кВт·А пеште орта көміртекті ферромарганецтің келесідей нұсқалар бойынша балқытады:

- 1 - ші сортты марганец концентраты, әктас, силикомарганец;

- 1 - ші сортты марганец концентратынан алынған шекемтас, әктас, силикомарганец;

- қождамаланған әктасты-шекемтас, силикомарганец. Барлық нұсқада кеннен марганецтің игерілуі - 63 - 66, қож негізділігі - 1,16 - 1,2 қож еселегі - 1,64 нәтижелерге қол жеткізілді. Балқыту барысында қождың құрамын реттеу үшін кальций тотығын 5 - 10% магний тотығына ауыстыру арқылы қождың тұтқырлығын төмендетіп, электркедергісін жоғарлатады.

Зерттеуші [34] Қазақстан Республикасы жер қойнауындағы барлық марганец кендерінің марганецтің барлық деңгейінде ферроқорытпаның барлық түрлерін алудың мүмкіншіліктерін қарастырған. Марганец кендерінің дифференциальды-термиялық анализі, меншікті электркедергісі және кеннен марганец коэффициентін игерілуі және тотығу-тотықсыздандыру кезінде зиянды қоспа деп саналатын түсті металдардан жою мәселелері шешілді. Жұмыста орта көміртекті ферромарганец алу үшін жаңа бағыт жасалынды. Байытылған марганец қож және Үшқатын III марганец кені мен жаңа қорытпа алюмосиликомарганец қолдану арқылы қорытпаны алу мүмкіншілігі енгізілді. Теориялық бағыты бойынша алғаш рет Хиза әдісі арқылы FeO-MnO-CaO-Al₂O₃-SiO₂ көп компоненті жүйенің алынатын ферроқорытпа қожының фазалық құрамы анықталды. Зерттеу нәтижелерінің қорытындысы бойынша технологиялық регламент және Ермак ферроқорытпа зауытының (ЕФЗ-қазіргі Ақсу ферроқорытпа зауыты) №8 және №9 цехтары жоспарланды.

Зерттеуші [35] орта көміртекті ферромарганец балқыту үшін теориялық бағытта жаңа термодинамикалық мәліметтер арқылы марганец, кремний және оның тотықтарын металдық және қождық жүйе бойынша есептер жүргізді. Металдық жүйе Fe-Mn-Si-C және қождық жүйе CaO-MnO-SiO₂ арасындағы тепе-теңдікті әр түрлі құрамда және температурада қарастырған. Орта көміртекті ферромарганецті тәжірибелік жағдай қуаттылығы 240 кВт·А тазартылған электропешінде тотықсыздандырғыш ретінде СМн17 маркалы ферросиликомарганецтің ұнтағы және СМн22 маркалы қайта өңделетін силикомарганец ұнтағы, негізгі шикіқұрам материалдары фосфоры аз марганец қожы және әк, метал қоспа ретінде ФМн78 маркалы ферромарганецтің ұнтақтары қолдану арқылы балқытылған (кесте 1.2). Тәжірибелік жағдайында алынған мәліметтер негізінде әзірленген технология бойынша Никопольск ферроқорытпа зауытына (НФЗ) өндірістік жағдайда 9 балқыту цехында қуаттылығы 2,5 МВт·А электропешінде балқыту жүргізілді. НФЗ-да ұсынылған технология 1 тонна орта көміртекті ферромарганец алу бойынша тиімді нұсқасын ұсынды: СМн17 маркалы ұнтағы – 1150 кг, марганец кені – 800 кг, әк

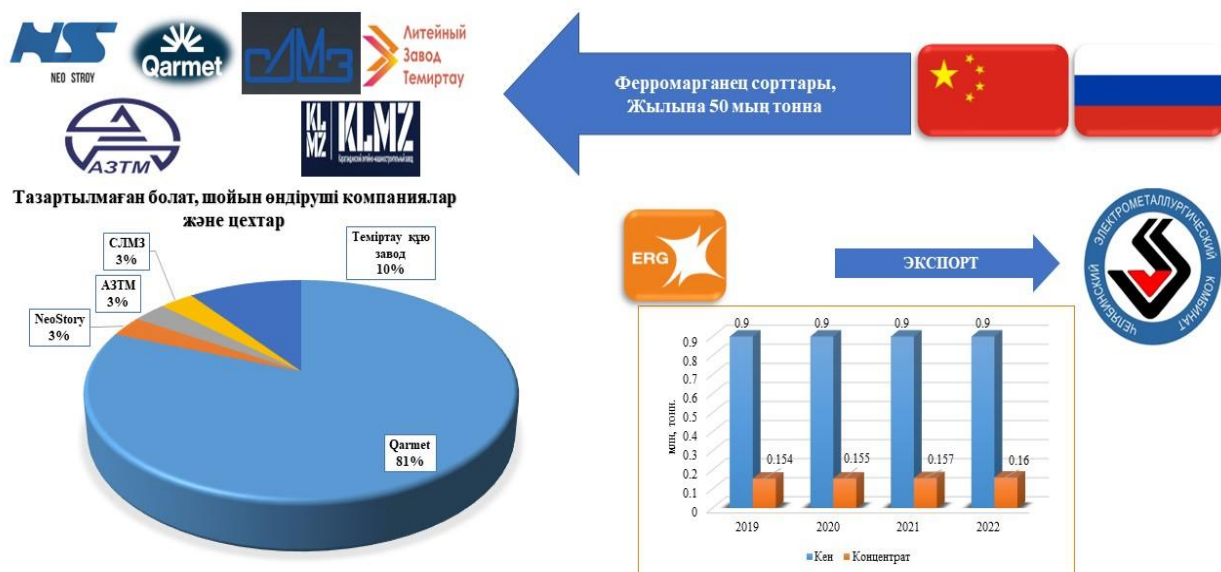
– 560 кг, электрэнергия шығыны – 1950 кВт, марганецтің игерілуі – 70,1. Ұсынылған технология бойынша экономикалық тиімді орта көміртекті ферромарганец алынылатына көз жеткізілді.

Кесте 1.2 – Орта көміртекті ферромарганецті балқытудағы қуаттылығы 240 кВА тазартылған электрпешіндегі негізгі көрсеткіштер

Көрсеткіштер	Нұсқалар			
	1	2	3	4
Материалдар шығыны, кг/т				
Ұнтақ СМн17	880	-	-	485
Ұнтақ СМн22	-	-	120	130
МнС22	-	760	670	-
МнС25	-	-	-	-
Фосфоры аз марганецті қож	1670	1900	1750	250
Әк	880	1250	1200	1170
Электрэнергия шығыны, кВт-сағ/т	2850	2600	2500	2730
Қож еселігі	2,1	2,7	2,35	2,7
Марганецтің түсімі, %				
Металл	66,0	67,0	68,7	68,2
Қож	20,3	23,0	21,6	28,2
Газбен жоғалымы	13,7	11,0	9,7	8,6

Автор [36] тазартылған ферромарганецті алу барысында тотықсыздандырғыш ретінде кешенді қорытпа - алюмосиликомарганецті (АМС) қолдана отырып, оның балқыту технологиясын ірі-зертханалық жағдайда қуаттылығы 100 кВ·А электропешінде алу мүмкіншілігіне ие болды. Тазартылған ферромарганец қожындағы екі кальций-силикаты үлесін 70-75%-тан 40-45%-ға дейін глинозем арқылы төмендетуге болатынын термодинамикалық есептеу арқылы дәлелдеді. Математикалық модельдеу арқылы марганец кенінен марганецтің игерілуі жоғары коэффициенті алу нәтижесі анықталды.

Жүргізілген мониторинг пен әдеби талдаудан қарастырылған және талданған мәселелер мен шығындар туралы қорытынды жасауға болады. Елімізде марганец кендерінің қорлары мен концентратты көрші елдерге экспортталуда. Бұл отандық ферромарганец қорытпаларының маркілерін сырттан импорт тұтынуға мәжбүр (1.5 сурет). Сондықтан отандық ферромарганец маркілерін балқыту процесін ұйымдастыру қажет.



Сурет 1.5 - Марганец қорытпаларның экспорты мен импорты

1-бөлім бойынша қорытынды

Жоғарыда келтірілген мәліметтерге сай диссертациялық жұмыстың алдына қойылған зерттеудің негізгі міндеттері:

- зерттелетін марганец кенінің сапалық және сандық сипаттамаларын бағалау және оның металлургиялық жарамдылығын анықтау үшін физико-химиялық зерттеулер жүргізу;

- орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесі үшін термодинамикалық және математикалық модельдеу арқылы оңтайлы шикіқұрам материалдарын анықтау;

- орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша зертханалық тәжірибелерді жүргізу;

- технологиялық регламентті әзірлеу үшін трансформатор қуаттылығы 100 кВА болатын электрдоғалы пешінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесінің ірі-зертханалық тәжірибелерін жүргізу.

- трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы пешінде төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганецті пайдалана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту процесінің өндірістік сынақтарын жүргізу.

2 ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦ БАЛҚЫТУҒА ҚАЖЕТ ШИКІҚҰРАМ МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ФИЗИКО-ХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

2.1 Марганец кенін химиялық және спектрлік талдау

Диссертациялық жұмысты орындау мақсатында «Қазмарганец» кен басқармасының Жезді кен орнынан 500 кг марганец кені алынды. Жезді кен орнындағы марганец кенінің орташа химиялық құрамы 2.1-ші кестеде келтірілген.

Кесте 2.1 – Жезді кен орнындағы марганец кенінің орташа химиялық құрамы, %

Mn _ж	Fe _ж	SiO ₂	CaO	MgO	P	S	ҚКЖ*
48,23	5,6	12,48	2,1	1,47	0,01	0,01	8
Ескертпе: * - Қыздыру кезіндегі жоғалым.							

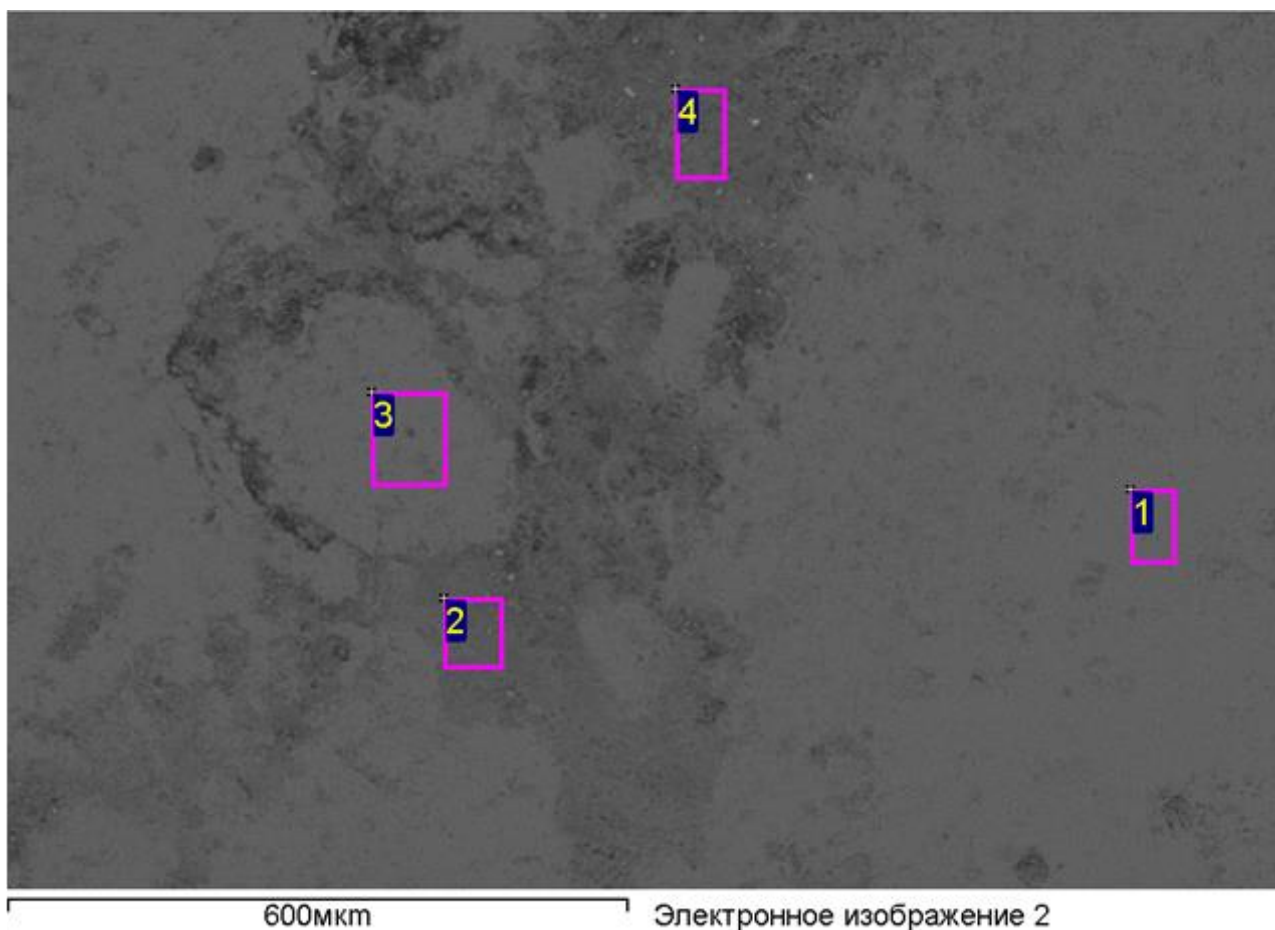
Жезді марганец кенін спектрлік талдау мақсатында Челябинск қаласындағы Оңтүстік-Орал мемлекеттік университетінде (Ғылыми-зерттеу университеті) сынақ жүргізілген болатын. Базалық және артық фазалардың құрылымы миллион есе ұлғайтуға мүмкіндік беретін вольфрамды катодтағы JSM-7001F маркалы сканерлеуші электрондық микроскоп көмегімен зерттелді. Сканерлеуші электрондық микроскоптың техникалық сипаттамалары келесідей:

- жылдамдатқыш кернеу 200 В – 30 кВ, зондтағы тоқ 1 пА – мкА;
- 3 нм-ге рұқсат етілген (30 кВ кезінде), 1 000 000 есеге дейін ұлғайтылады;
- камерадағы төменгі вакуум кезінде жұмыс мүмкіндігі (500 Па дейін);
- екіншілік электрондардың (SE), шағылысқан электрондардың детекторы (BSE).

Алдын-ала дайындалған сынама беті мұқият азот қышқылындағы спиртті ерітіндімен (4% азот қышқылы + спирт) өңделді және жылтыратылды. Бұл сынама зерттелетін материалдың жалпы құрылымын анықтау үшін жарамды болып табылатын макрореактив ретінде кеңінен қолданылады. Жақсы нәтижеге қол жеткізу мақсатында жылтырату және өңдеу процесі бірнеше рет қайталанды. Өңдеуден қалған қалдықтар этил спиртті мақтамен жойылды, одан кейін шлиф сүзгіш қағазбен кептірілді.

Зерттелетін материалдың микроқұрылымын анықтау мақсатында әр түрлі ұлғайтылымдар (×40, ×100, ×200, ×600, ×1000, ×2000, ×3000) жүргізілді.

Жұмыс барысында 600 есе ұлғайту кезінде шлифтегі үлгі кескінінің анық көрінуіне байланысты зерттеуге қолайлы деп таңдалынды. Соның ішінде ерекше көзге көрінген 4 спектрге зерттеу жүргізілді. Алынған үлгінің микроқұрылымы 2.1-ші суретте келтірілген.



Сурет 2.1 - JSM-7001F маркалы сканерлеуші электрондық микроскопта 600 есе ұлғайту кезінде алынған үлгінің микроқұрылымы

Атомдық және салмақтық үлес бойынша әр спектрлердің химиялық құрамы 2.2-ші кестеде келтірілген.

Кесте 2.2 – Үлгіні 600 есе ұлғайту кезінде анықталған атомдық және салмақтық үлес бойынша әр спектрлердің химиялық құрамы, %

Спектр	Атомдық үлесі, %						Салмақтық үлесі, %					
	O	Al	Si	Ca	Mn	Fe	O	Al	Si	Ca	Mn	Fe
1	69,1	0,3	-	0,3	28,8	0,3	40,1	0,3	-	0,4	57,3	0,6
2	64,7	0,7	0,7	0,2	32,9	-	35,4	0,6	0,7	0,3	61,9	-
3	69,3	0,4	-	0,4	29,0	0,3	40,1	0,4	-	0,6	57,6	0,5
4	64,2	0,7	0,7	0,3	31,6	-	35,4	0,7	0,6	0,5	59,8	-
max	69,3	0,7	0,7	0,4	32,9	0,3	40,1	0,7	0,7	0,6	61,9	0,6
min	64,2	0,3	0,7	0,2	28,8	0,3	35,4	0,3	0,6	0,3	57,3	0,5
орташа	66,8	0,5	0,35	0,2	30,6	0,15	37,75	0,5	0,32	0,45	59,15	0,275

2.2-ші кестеден көріп отырғанымыздай, 1 және 3 спектрлерде қосылыстар марганец, темір, кальций және алюминий тотықтары түрінде кездеседі, ал 2 және 4 спектрлерде кремний тотығымен байланысатынын байқауға болады.

2.2 Марганец кенін гранулометриялық талдау

Гранулометриялық талдау деп аталатын електі талдау материал үлгісіндегі бөлшектердің өлшемдерін анықтау әдісі болып табылады.

Құрғақ електі талдаудың негізгі қадамдары:

1. Үлгіні дайындау: материалды тұрақты салмаққа дейін кептіруден басталады. Үлгіде ылғал жоқ екеніне көз жеткізуге мүмкіндік береді, бұл талдау нәтижелеріне әсер етуі мүмкін.

2. Үлгіні ұнтақтау: кептіруден кейін үлгі барлық бөлшектердің електен еш қиындықсыз өтуі үшін жеткілікті күйге дейін ұнтақталады. Бұл әсіресе ірі бөлшектері бар материалдар үшін маңызды болуы мүмкін.

3. Електерді таңдау: ұнтақтаудан кейін електі талдау үшін әртүрлі өлшемге ие саңылаулы електер қолданылады. Бұл електерде белгілі бір диаметрдегі бөлшектер өтетін белгілі бір мөлшердегі саңылаулар болады.

4. Електен өткізу: електерді таңдағаннан кейін материал үлгісі өлшемі үлкен саңылаулардан бастап, ең кішкентай саңылаулары бар електен өткізіледі. Әр електен өткізілгеннен кейін өтпеген бөлшектер елек бетінде қалады.

5. Іріліктерді өлшеу: әр өлшем аралығындағы материалдың пайыздық үлесін анықтау үшін әр ірілікте жиналған бөлшектері өлшенеді.

6. Сынаманы талдау: алынған сынаманы үлгідегі бөлшектердің өлшемдік таралуын сипаттау үшін қолданылатын гранулометриялық қисық сызықты және басқа параметрлерді құру үшін қолданылады.

Құрғақ електі талдау тау-кен, құрылыс, тамақ өнеркәсібі және басқа да әртүрлі салаларда маңызды құрал болып табылады, мұнда материалдағы бөлшектердің өлшемдік таралуын білу өндіріс немесе зерттеу үшін үлкен маңызға ие.

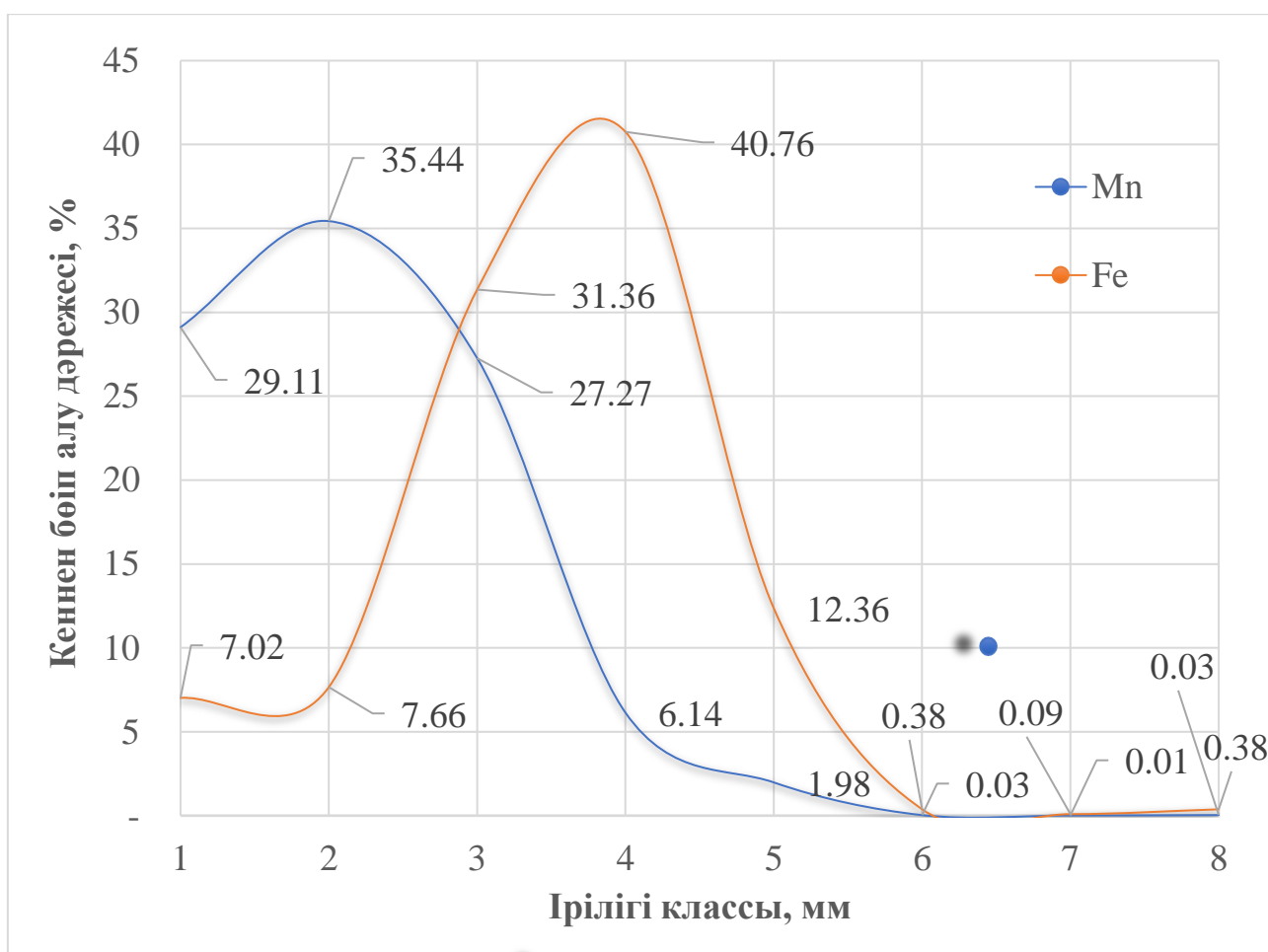
Зерттелетін кеннің гранулометриялық құрамын анықтау үшін 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 және 0,10 мм өлшемдегі елеуіштер жиынтығы (МемСт 9758-86) қолданылды. Кен үлгісін зерттеу құрғақ електі талдаулар бойынша жүргізілді [37, 38].

Жезді кен орнының марганец кенінен алынған сынама материалына бастапқыда -40 +0,0 мм өлшемдегі құрғақ електі талдау жүргізілді. Марганец, темір және кремний тотығының мөлшері 2.3-ші кестеде келтірілген. Електі талдау нәтижесінде алынған кеннің гранулометриялық құрамын есептеу бойынша кен сынамасындағы марганецтің, темірдің және кремнеземнің орташа мөлшері сәйкесінше 48,49%, 1,76% және 5,59% құрады. Құрғақ жағдайда марганец кенін електі талдау сипаттамасының қисығы 2.2-ші суретте көрсетілген [39].

2.2-ші суреттен кеннің ірілігі 5 мм жоғары болған кезде марганецтің химиялық құрамы мен бөліп алу дәрежесі жоғары болатынын, кеннің ірілігі 5 мм төмендеген кезде төмендейтінін көруге болады. Темірдің химиялық құрамы 5 мм жоғары іріліктерде 2%-ға дейін, бөліп алу дәрежесі 30%-дан жоғары көрсеткішке ие болды. 5 мм төмен іріліктерде темірдің химиялық құрамы мен бөліп алу дәрежесі жоғарылайды. Кремний тотығының химиялық құрамы мен бөліп алу дәрежесі темірдікіне ұқсас.

Кесте 2.3 – Жезді кен орнының марганец кенін ірілік бойынша талдау көрсеткіштері

№	Ірілік классы, мм	Түсім, %	Химиялық құрамы, %			Бөліп алу, %	
			Mn _ж	Fe _ж	SiO ₂	Mn	Fe
1	-40 +20	26,36	53,54	0,47	2,25	29,11	7,02
2	-20 +10	32,99	52,09	0,41	1,41	35,44	7,66
3	-10 +5	26,88	49,19	2,06	4,64	27,27	31,36
4	-5 +2,5	9,85	30,22	7,31	21,23	6,14	40,76
5	-2,5 +1	3,74	25,67	5,84	30,65	1,98	12,36
6	-1 +0,5	0,08	19,14	8,55	30,51	0,03	0,38
7	-0,5 +0,16	0,02	21,53	7,55	25,17	0,01	0,09
8	-0,16 +0	0,08	19,46	8,02	21,37	0,03	0,38
Барлығы (кен)		100	48,49	1,76	5,59	100	100



Сурет 2.2 - Марганец кенін електі талдау сипаттамасы (құрғақ жағдайда)

2.3 Марганец кенін рентгендік-фазалық талдау

Бұл талдау әдісі зерттелетін үлгінің дифракциялық бейнесін талдау негізінде олардың құрамындағы әр түрлі фазаларды сәйкестендіруге мүмкіндік береді. Фазалық талдаудың негізгі әдісі болып табылатын заттың химиялық құрамы және кристалдық фазасының күйін анықтайтын ұнтақ әдіс табылады.

Жақсы рентгендік-фазалық талдау нәтижелерін алу үшін 10-20 мкм дисперсті ұнтақты қолдану қажет. Айтылған өлшемге қол жеткізу үшін зерттелетін үлгі електен өткізілді, одан әрі жақсылап ұнтақтау жұмыстары жүргізілді. Дайын болған үлгілер кварц ыдысқа шыны таяқша көмегімен тығыздалды. Ұнтақты қосымша тығыздау мақсатында оған аздаған канифол қоспасы бар спирт тамшылату арқылы қосылды.

Рентген-фазалық талдау үшін үлгілерді түсіру дифрактометр D8 ADVANCE «Bruker Elemental GmbH» (Германия) маркалы рентгендік дифрактометрде жүргізілді.

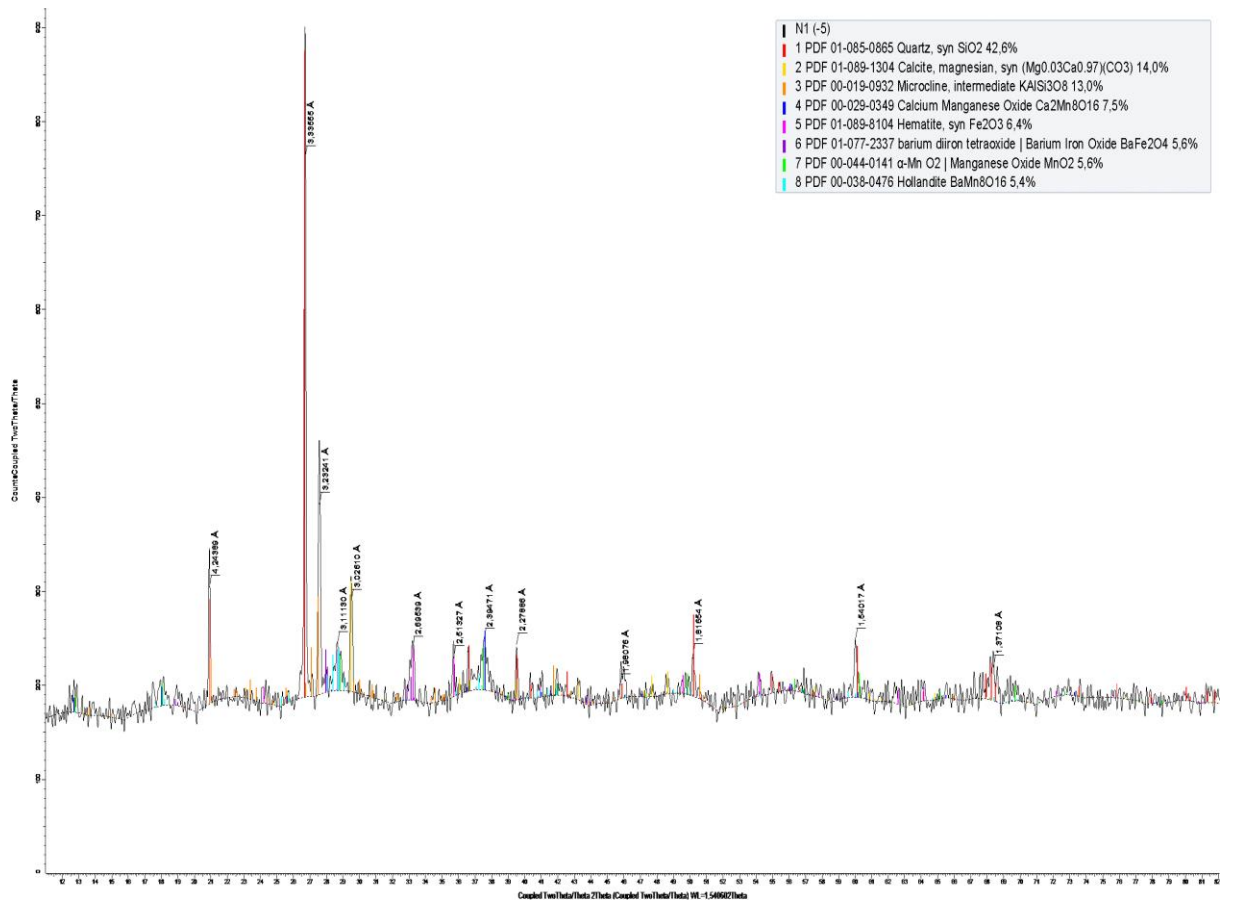
Фазалық талдауға арналған бағдарламалық жасақтама пакеті келесідей қамтиды: іздеу - фонды азайта отырып, бастапқы деректерді таңдау; өлшеу параметрлерін енгізу (бұрыштар аралығы, қадам шамасы, өлшеу уақыты, саңылау өлшемі және т.б.); нақты уақыт режимінде өлшеу барысын көрсету; фонды анықтау және фондық мәндерді азайту; іздеу критерийлерін таңдау - мәліметтер мен сапа базасы, сондай-ақ химиялық байланыстарды қосымша енгізу; фазаларды таңдау; есепті дайындау.

Тәжірибелік жағдайларда анықталған белгілі қосылыстардың шамамен 450 000 рентгенограмма карталарын қамтитын рентгенографиялық стандарттардың дерекқоры бар деректерді іздеу және өңдеу уақытын айтарлықтай қысқартады.

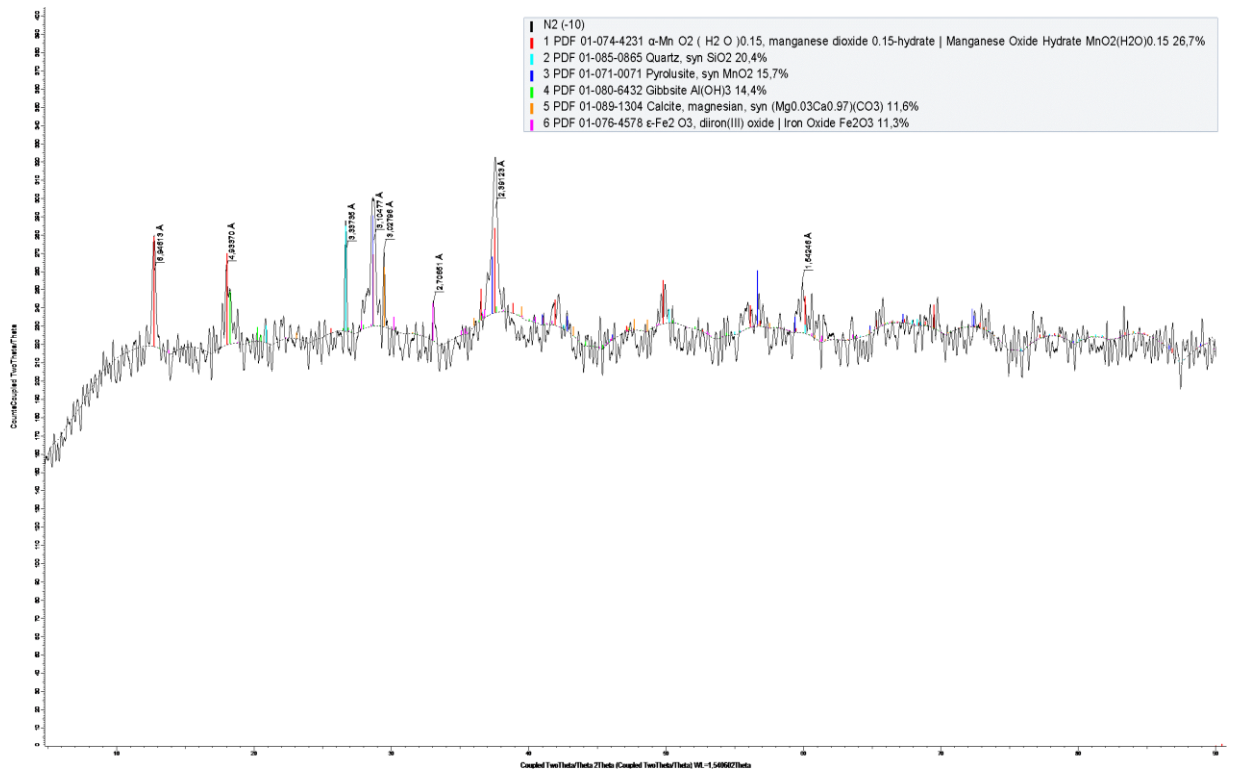
Дифрактометр камерасында әртүрлі параметрлерді беруге болады. Өлшемдер мен жағдайларды басқару Diffracplus бағдарламалық жасақтама көмегімен жүзеге асырылады:

- температура аралығы: 293-3000 К;
- қысым: 60 барға дейін;
- бөлме температурасындағы ылғалдылық;
- жоғары температурадағы ылғалдылық;
- инертті немесе белсенді орта.

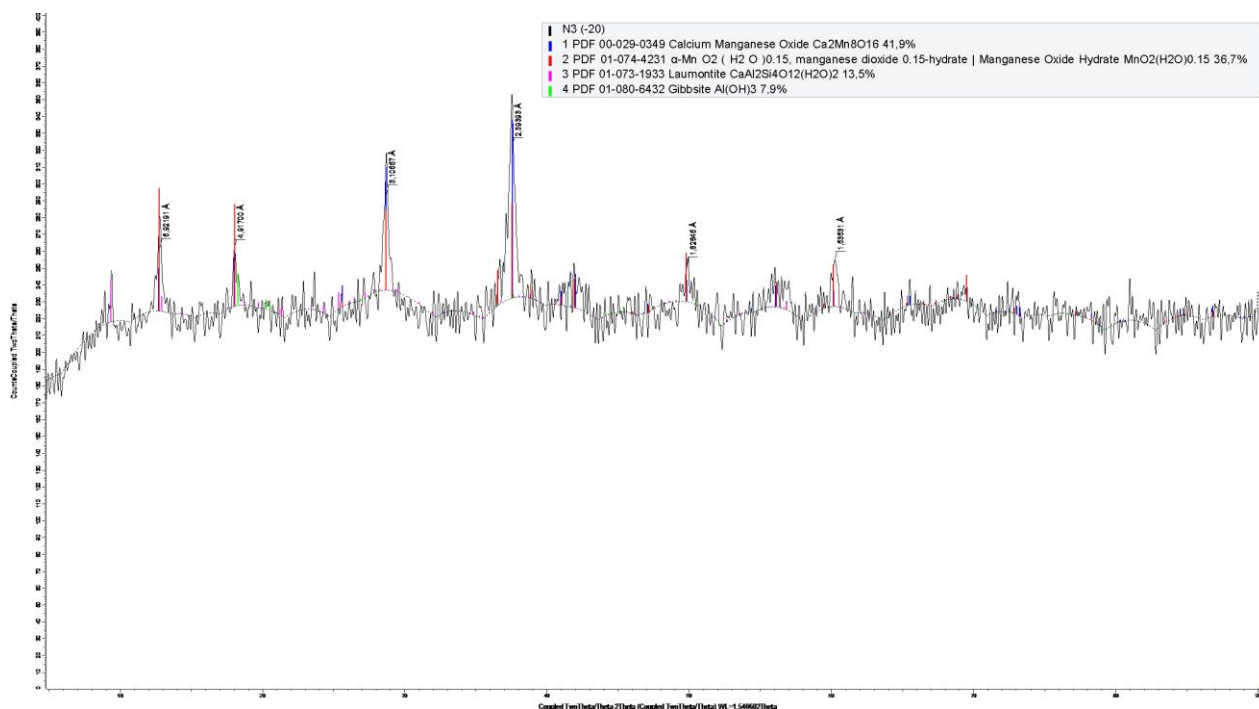
Жезді кен орнының марганец кенін гранулометриялық талдаудан кейін -40 +20, -20 +10, -10 +5, -5 +2,5 мм іріліктегі кендердің фазалық құрамы анықталды. Талдау нәтижелері 2.3-2.6 суреттерде келтірілген. Талдау нәтижесінде анықталған негізгі фазалар: пиролюзит (MnO_2), марганец гидрототығы ($MnO_2(H_2O)_{0,15}$), магний кальциті ($Mg_{0,03}Ca_{0,97}(CO_3)$), ламонтит ($CaAl_2Si_4O_{12}(H_2O)_2$), гиббсайт ($Al(OH)_3$), алюминий-калий үш силикаты ($KAlSi_3O_8$), марганец пен кальций тотығы ($Ca_2Mn_8O_{16}$), темір тотығы (Fe_2O_3), барий моноферриті ($BaFe_2O_4$), марганец-барийлі голландит ($BaMn_8O_{16}$), кальций-алюминий (Al_2Ca).



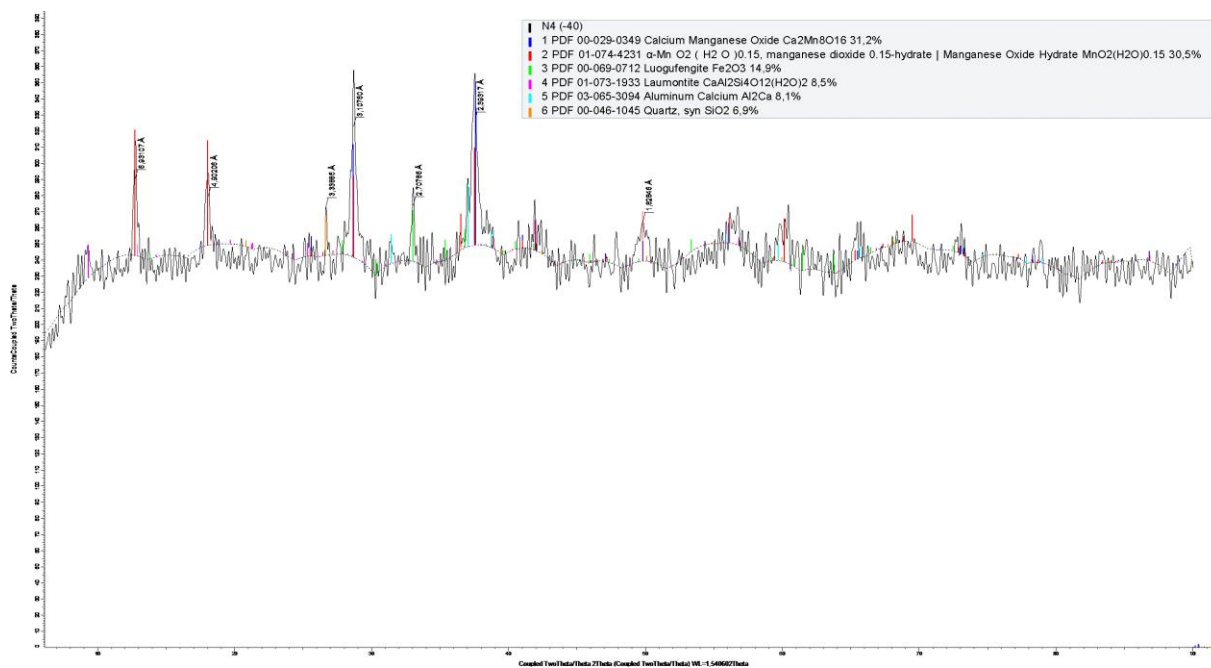
Сурет 2.3 - Марганец кендерінің рентгенограммасы (-5 +2,5 мм ірілікте)



Сурет 2.4 - Марганец кендерінің рентгенограммасы (-10 +5 мм ірілікте)



Сурет 2.5 - Марганец кендерінің рентгенограммасы (-20 +10 мм ірілікте)



Сурет 2.6 - Марганец кендерінің рентгенограммасы (-40 +20 мм ірілікте)

2.4 Жезді кен орнының марганец кендеріне дифференциалдық-термиялық талдау және оның жұмсару температурасын анықтау

Термиялық талдау әдісі – металлургиялық үрдістегі жоғары температура әсерінен шикіқұрам материалдаының температураға қатысты массасын анықтайтын әдіс [40-44]. Сондықтан ұсынылған диссертациялық жұмыста қыздыру кезінде темір-марганец кендерінде болатын фазалық түрленулерді белсендірудің айқын энергиясын изотермиялық емес кинетика әдісімен анықтау

бойынша есептеулер жүргізілді. Дифференциалды-термиялық талдау (ДТТ), дифференциалды-термогравиметрия (ДТГ) және ТГ (термогравиметрия) қисықтары бойынша үш параллель жолмен белсендіру энергиясын анықтау мүмкіндігі тексерілді. Тотығу және тотықсыздану ортасындағы темір-марганец кендерінде жүретін физико-химиялық түрленулер дәйекті түрде қарастырылды.

Қазіргі уақытта дифференциалдық-термиялық талдаудың көмегімен өзара әрекеттесетін заттарды тұрақты жылдамдықпен қыздыру жағдайында қатты фазалық реакцияларды зерттеудің жаңа әдістері, соның ішінде үрдістің белсенді энергиясын анықтау мүмкіншілігі бар.

Шикіқұрам материалы қоспасында болатын фазалық түрленулерді зерттеу (+5 мм мен -5 мм іріліктер). Орта көміртекті ферромарганец балқыту үшін «Setaram» фирмасының Labsys Evolution TG-DTA/DSC синхронды термиялық талдауға арналған жабдықта динамикалық режимде Al_2O_3 тигелінде $10^{\circ}C/минут$ жылдамдықпен азоттың инертті атмосферасында 30 мл/минут ағын жылдамдығымен қыздыру арқылы $T=30-1500^{\circ}C$ температура аралығында жүргізілді. Сынаманың салмағы 10-12 мг құрады. Термогравиметриялық зерттеулер мен жылу ағыны үшін қондырғыны калибрлеу сәйкесінше $CaCO_3$ және ln стандарттарына сай жүргізілді.

Изотермиялық емес кинетика әдістерінің артықшылығы - бір тәжірибе арқылы барлық кинетикалық тұрақтыларды анықтауға мүмкіндік береді: $E_{белс.}$, A және n . Көрсетілген артықшылық реакциялар мен түрленулердің сипаттамаларын осы әдістермен анықтау изотермиялық жағдайда жүргізілетін классикалық гравиметриялық әдіске қарағанда әлдеқайда қарапайым болғандықтан туындайды. Алайда, қосымша айнымалы (температура) болған кезде кинетикалық талдаудың сенімділігін өлшеу дәлдігін жоғарылатуды және деректерді мұқият статистикалық өңдеуді қажет етеді, өйткені тәжірибе қателері маңызды рөл атқаруы мүмкін. Әдебиеттер [45-48] де қисық сызықтар (ТГ немесе ДТТ) деректерін өңдеу көмегімен үрдістің белсендіру энергиясын анықтауға болатын әдістер сипатталған.

[49] жұмыста А.А. Фотиев дериватограф көмегімен алынған дифференциалдық термогравиметрия (ДТА) қисықтарын қолдана отырып, $E_{белс.}$ мәндерін анықтаудың жеңілдетілген нұсқасын ұсынған болатын. ДТА қисығы температураның жоғарылауымен массаның өзгеру жылдамдығының тәуелділігін көрсетеді. Осыған байланысты әр температура үшін процестің жылдамдығын келесі өрнек бойынша есептеп анықтауға болады:

$$V = \frac{h \cdot l \cdot p_0}{\tau_0 \cdot S_0} \quad (2.1)$$

мұнда V – белгілі бір уақыттағы массаның кему жылдамдығы, г/сек;

h – ДТГ қисығының «нөлдік» көлденең сызықтан ауытқуы, мм;

l – нөлдік сызықтың ұзындығы, мм;

p_0 - үлгінің салмағы, мг;

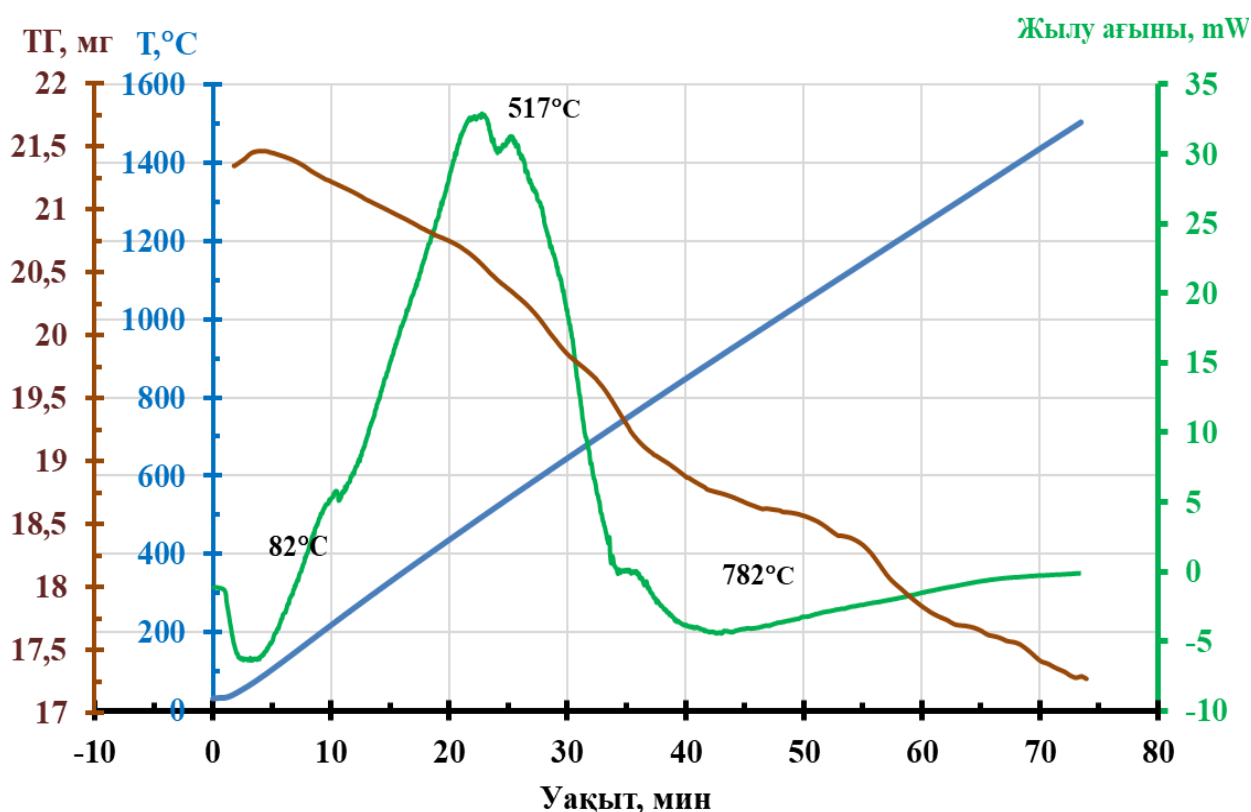
τ_0 – тәжірибенің ұзақтығы, сек;

S_0 - ДТГ қисығымен және нөлдік сызықпен шектелген ауданы (планиметриямен анықталады), мм.

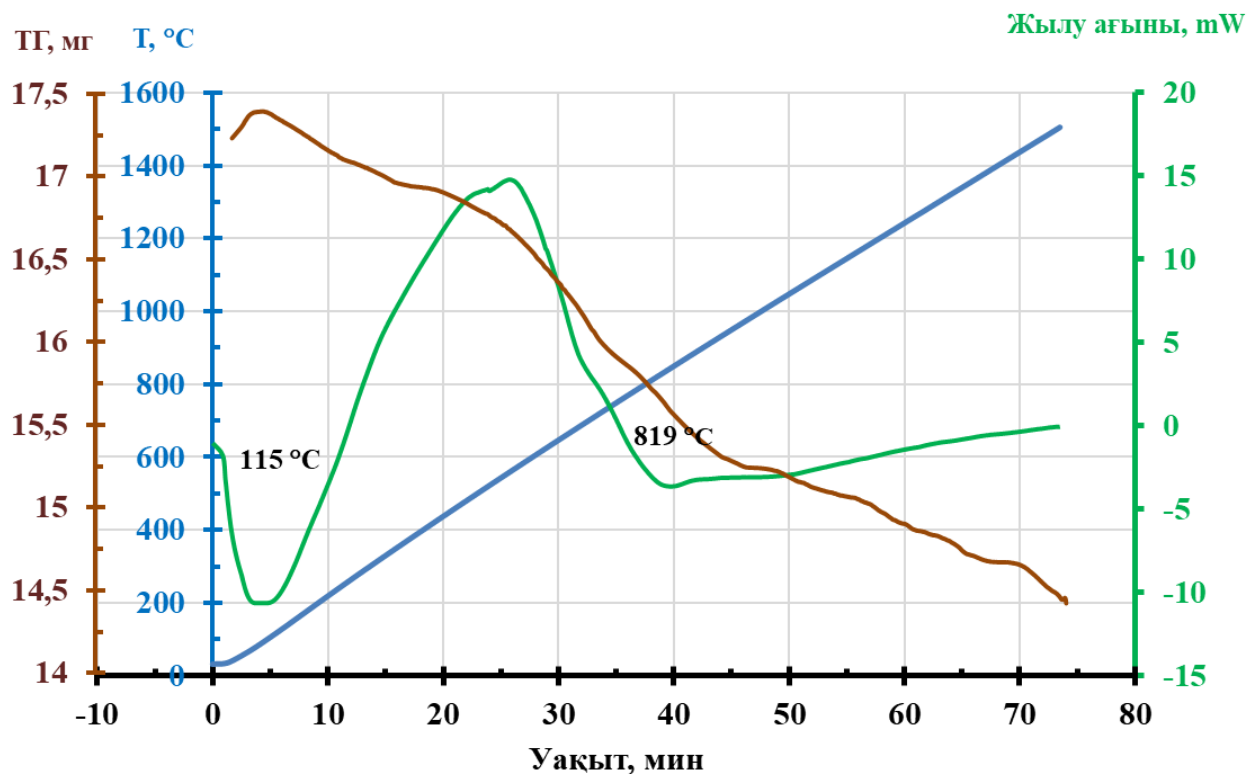
$$\ln \Delta t = C - E_{акт} / RT \quad (2.2)$$

Дифференциалдық жазбаның нөлдік жағдайдан ауытқу шамасын айқын белсендіру энергиясымен байланыстыратын (2.2) теңдеуді қолдана отырып, координаттардағы ДТГ қисығының негізгі сызығынан ауытқудың тікелей тәуелділігінің көлбеу бұрышының тангенсі бойынша $E_{белс.}$ шамасын есептеуге болады.

Бұл әдістің негізі тұрақты жылдамдықпен қыздыру жағдайында, процестің бекітілген басталуы мен максималды даму облысындағы жүйенің жылуды сіңіру дәрежесінің мәндері изотермиялық жағдайда температураның әрбір мәні үшін түрлену жылдамдығының константасына пропорционалды деген болжамға негізделген. Шын мәнінде, [50, 51] авторлар атап өткендей, экзотермиялық реакциялардағы жылу әсерлерін талдау кезінде ДТГ қисығының максималды нүктесі реакция аяқталған сәтке сәйкес келетінін ескеру қажет, сондықтан практикалық есептеулерде шынның (пиктің) 50 пайызынан аспауы керек.



Сурет 2.7 – Жезді кен орнының марганец кендерінің дериватограммасы (-5 +2,5 мм ірілікте)



Сурет 2.8 – Жезді кен орнының марганец кендерінің дериватограммасы (-10 +5 мм ірілікте)

Жезді кен орнының марганец кендерінің дериватограммалары (2.7-2.8-суреттер) ұқсас. Барлық дериватограммаларда тек пропорциялармен ерекшеленетін екі тән (ұқсас) эндотермиялық әсерлер бар. Дериватограммаларға сәйкес гигроскопиялық ылғалдың ыдырау үрдісі 250 °С дейін біртіндеп жүреді және 285-400°С температура аралығындағы бірінші эндотермиялық әсерге күрт ауысады, бұл вернадитте байланысқан гидраттық (кұрылымдық) ылғалдың жоғалуына сәйкес келеді. Көрсетілген температурада α - Mn_2O_3 түзе отырып, моногидрат диссоциациясы жүреді. Ылғалдың (гидраттық және гигроскопиялық) жалпы жоғалымы 20 мг құрайды. 495-550 °С температурада екінші эндотермиялық әсер α -курнакит қатты ерітіндісінің алынуы мен ыдырауына сәйкес келеді. 707-1088 °С температурада β -пиролюзиттен (β - MnO_2) β - Mn_2O_3 түзілуінің эндотермиялық пиролюзиттік әсері байқалады. 707-917 °С температурада перманганиттік әсер (псиломеланның ыдырауы) тіркеледі. 760-1088 °С температурада β - Mn_2O_3 -тен (β -курнакит) β -гаусманит түзілуінің курнакиттік әсер байқалды. Әрі қарай әр түрлі температурада болатын эндотермиялық шыңдардың кинетикалық параметрлерін есептеу жүргізілді. Осылайша, алынған дериватограммаларды орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіне қолдануға болады.

Жұмсару температурасын анықтау.

Металлургиялық пештердің өнімділігі негізінен кендердің сапасы мен қасиеттеріне байланысты. Пештердің жұмысына әсер ететін көрсеткіштердің бірі: кендердің жұмсаруының басталу температурасы немесе бастапқы қождың пайда болу температурасы [52]. Марганец кендерін қыздыру кезінде жұмсару

температурасын өлшеу жоғары температуралы Тамман электр пешінде 25-1500°C температура аралығында жүргізілді. Қыздыру жылдамдығы 20-25%/минут. Жұмсару температурасын зерттеудің В.И. Жучков пен А.А. Агроскиннің әдістемесі [53, 54] стандартты әдістемеден ерекшеленеді, өйткені мәндерді жазу әр 30 секунд сайын автоматты түрде компьютер жадына цифрлық форматта жүзеге асырылады. Жоғарыда айтылған әдіс бойынша өлшеу әр 50 °С сайын жүргізілді, бұл алынған мәліметтердің ақпараттылығын төмендетеді.

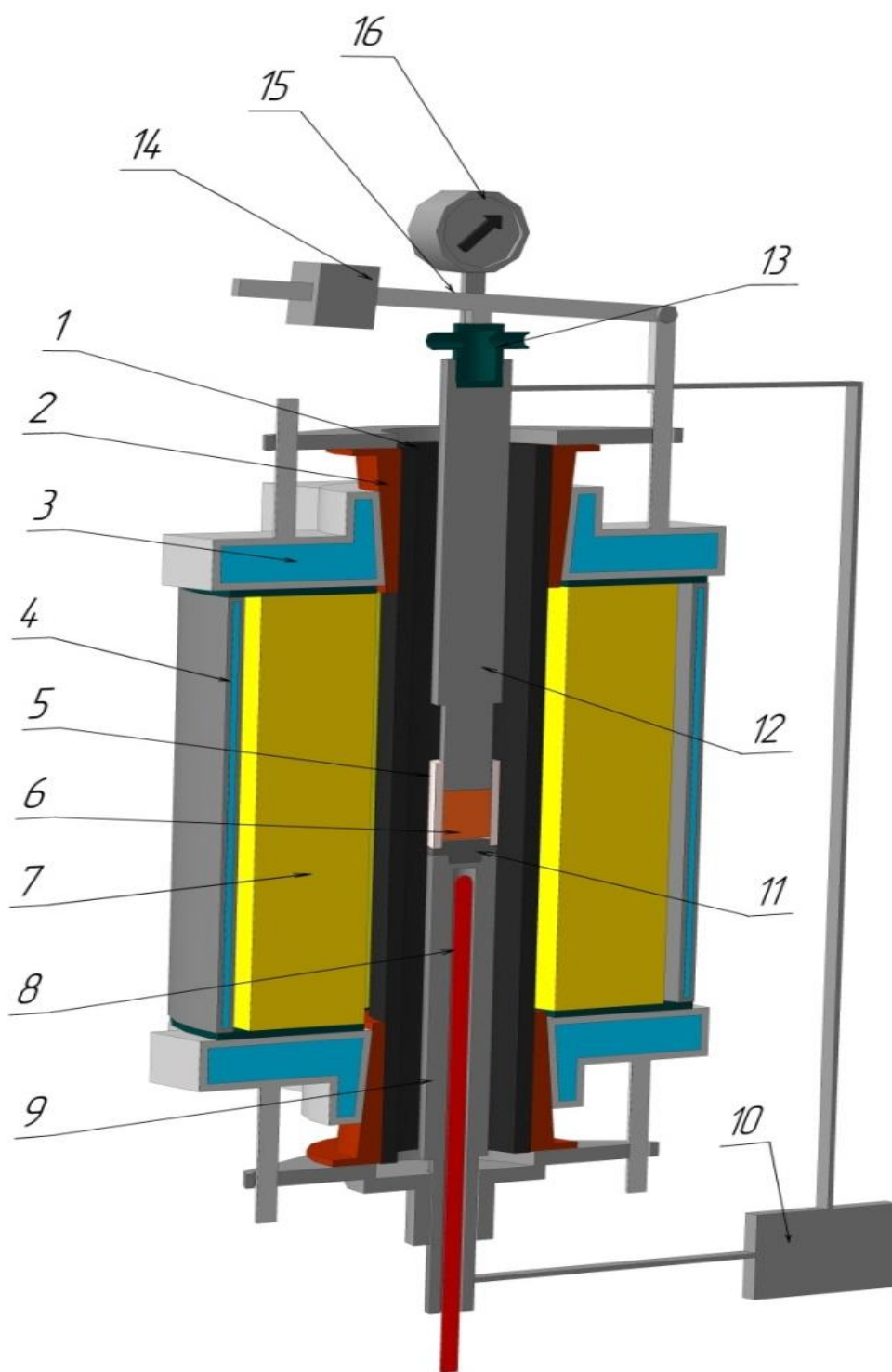
Жұмсару (шөгу) дәрежесін анықтауға арналған тәжірибелік қондырғының сұлбасы 2.9-шы суретте келтірілген. Биіктігі 8 см болатын бастапқы материал Тамман пешіне орнатылған диаметрі 4 см алуңд стаканының (5) ішіне орналастырылды. Материалдың екі жағында кернеу беруге арналған графит электродтар (9, 12) орнатылған. Төменгі электродтың термопараға (8) арналған саңылауы бар және қозғалыссыз бекітілген. Жоғарғы электрод жүк (14) әсерінен материалдың шөгуі кезінде төмендеу мүмкіндігіне ие. Жүк жоғарғы электродты материалға үнемі басып тұрады, осылайша тығыз жанасады. Материалға берілетін қысым 0,02-0,04 МПа құрайды. Төменгі электродтың саңылауы арқылы электр тоғынан оқшаулау мақсатында алуңд түтігіне орналастырылған термопара өткізілді. Деректерді жазу термопарадан, электродтардан келетін сигнал түрлендіргіштері арқылы, сондай-ақ материалдың жұмсару өлшегіші арқылы жүзеге асырылды [55-58].

Жұмсару көрсеткіштерінің температураға байланысты өзгеру нәтижелері 2.10-шы суретте келтірілген. Марганец кендерінің жұмсару температурасын анықтау нәтижелері 2.5-ші кестеде көрсетілген.

Кесте 2.5 – Марганец кендерінің ірілігіне байланысты жұмсару температурасын анықтау нәтижелері

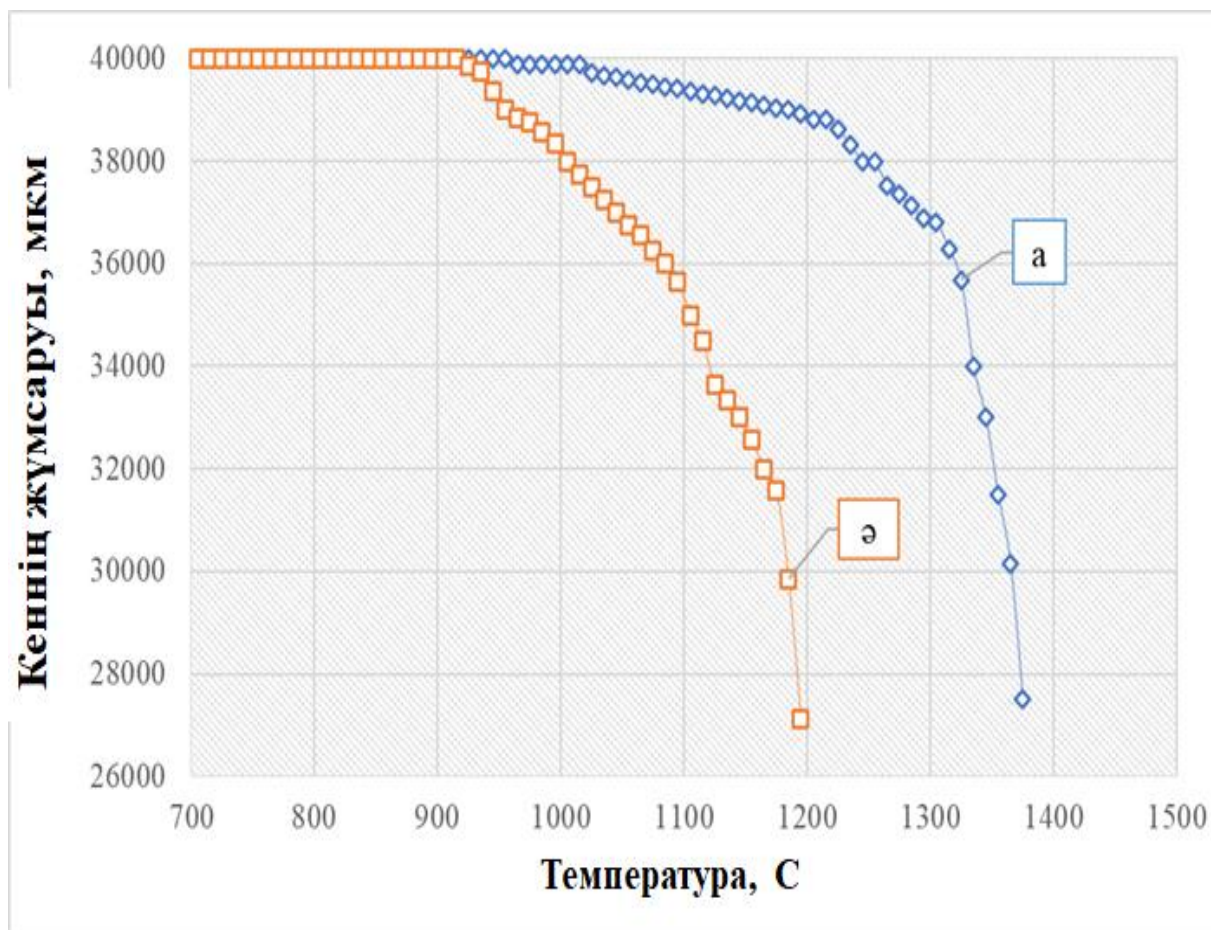
№	Марганец кені	Теңдеулер	$t_б, °C$	$t_{ж.б}, °C$	$t_{ж.а}, °C$	$t_Δ$
1	Жезді кен орны (+5,0 мм ірілікте)	$y = -7,028x + 46929$ $y = -130,09x + 207434$	1305	1105	1305	200
2	Жезді кен орны (-5,0 мм ірілікте)	$y = -15,744x + 53726$ $y = -69,165x + 111766$	1086	925	1115	190

Кенді қыздыру кезінде жұмсарудың тіркелген өзгерістері фазалық түрленулермен түсіндіріледі. Сонымен, бастапқы кезеңде жұмсару шамасы біршама уақыт тұрақты болады, содан кейін жоғарылайды, бұл дегидратация процестерімен түсіндірілуі мүмкін. Температураның жоғарылауымен біртіндеп біркелкі жұмсару байқалады, бұл пиролюзиттің (MnO_2) диссоциациялануы мен тотықсыздануы процестерінің басталуына байланысты [59].



1 - көміртекті графит түтігі; 2 - мыс қысқыш сақина; 3 - сумен салқындатылатын қақпақ; 4 - сумен салқындатылатын қаптама; 5 - алундты стакан; 6 - зерттелетін шикіқұрам; 7 - футеровка; 8 - термопара; 9 - төменгі электрод; 10 - сандық Омметр; 11 - алунд стакан қоюға арналған графит; 12 - жоғарғы электрод; 13 - сулы салқындатқыш; 14 - жүк; 15 – жүк ұстағыш; 16 – шөгуді өлшеуге арналған электрондық қондырғы.

Сурет 2.9 – Жұмсару температурасын анықтауға арналған жоғары температуралы Тамман пешінің қимасы

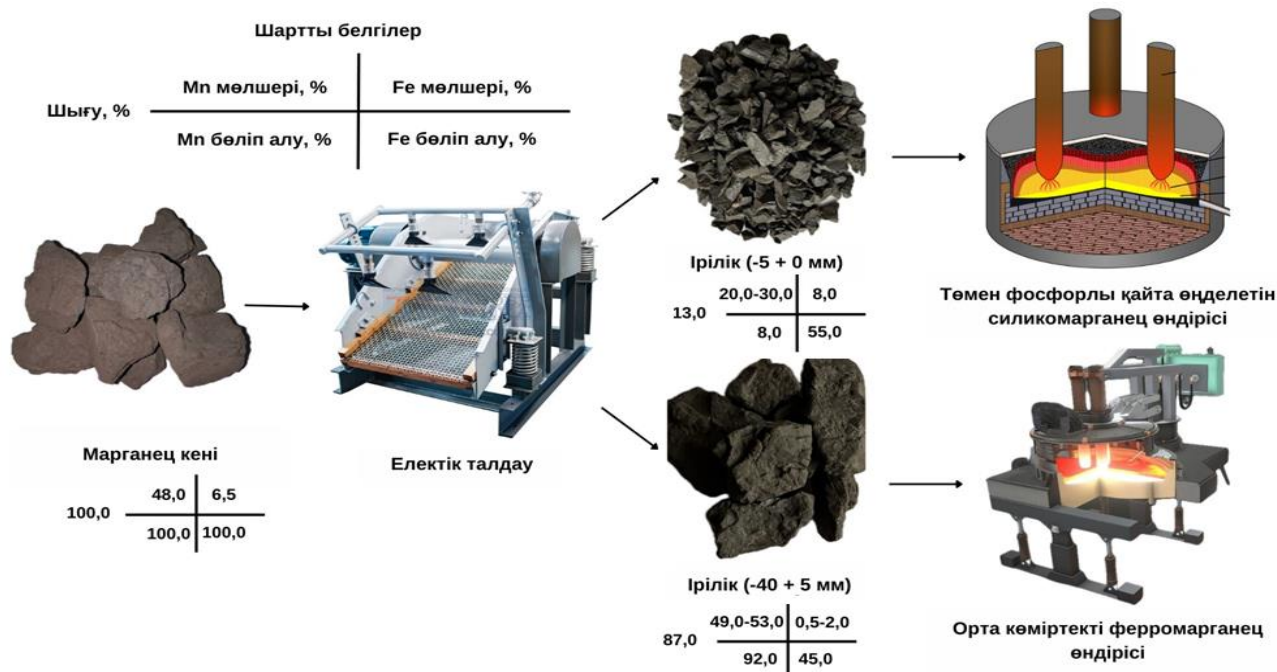


Сурет 2.10 - Марганец кенінің жұмсаруының температураға тәуелділігі:
 (а) – «+5» мм ірілікте, (ә) – «-5» мм ірілікте

Өлшеу нәтижелері бойынша 925-1305 °С температура аралығында кеннің балқуының басталуына және брауниттің (Mn_2O_3) гаусманитке (Mn_3O_4) дейін ыдырауына байланысты жұмсарудың қарқынды төмендеуі байқалды. Кеннің жұмсаруын анықтау бойынша жүргізілген зерттеулердің негізінде кремний-марганец және темір-марганец кендерін жеңіл балқитын кендерге жатқызуға болады деген қорытынды жасалды.

Жезді кен орнының +5,0 мм іріліктегі марганец кендерінің жұмсаруының басталу температурасы 1105°С, ал аяқталу температурасы 1305°С-ге тең, -5,0 мм ірілікте басталу температурасы 925°С, аяқталу температурасы 1115°С-ге тең болатыны анықталды.

Жоғарыда көрсетілген зерттеулердің нәтижелерін ескере отырып, Жезді кен орнын марганец кендерін металлургиялық процеске қолданудың технологиялық сұлбасы ұсынылды (2.11-сурет).



Сурет 2.11 – Жезді кен орнының марганец кендерін металлургиялық процеске қолданудың технологиялық сұлбасы

2-бөлім бойынша қорытынды

1. Жезді кен орнының марганец кендерінің химиялық және микоқұрылымдық құрамын JSM-7001F маркалы сканерлеуші электрондық микроскоптың көмегімен анықталды.

2. Жезді кен орнының марганец кендерін гранулометриялық талдау жүргізілді. Құрғақ талдау -40 +20, -20 +10, -10 +5,0, -5 +2,5, -2,5 +1, -1 +0,5, -0,5 +0,16, -0,16+0,0 мм ірілік класстары бойынша анықталды. Нәтижесінде +5 мм ірілікте марганецтің мөлшері жоғары Mn - 49-53%, темірдің мөлшері төмен Fe - 0,47-2,06%, ал -5 мм ірілікте керісінше, марганецтің мөлшері Mn - 19-30%, темірдің мөлшері Fe - 20-30% құрады.

3. Жезді кен орнының марганец кендерін рентгендік-фазалық талдау нәтижелері бойынша +5 мм ірілікте марганецті тотықтар - пиролюзит (MnO_2), марганец гидрототығы ($MnO_2(H_2O)_{0,15}$) күйінде анықталды. Ал -5 мм ірілікте ламонтит ($CaAl_2Si_4O_{12}(H_2O)_2$), гиббсайт ($Al(OH)_3$), алюминий-калий үш силикаты ($KAlSi_3O_8$) минералдарынан тұратыны анықталды.

4. Жезді кен орнының марганец кендерін дифференциалдық термиялық талдау арқылы зерттеуде шикіқұрам материалдары 400 °C температураға дейін ылғалдың ыдырауымен бірінші эндометриялық әсердің пайда болатыны және әрі қарай марганецтің жоғары тотықтарының пайда болатыны анықталды. Әр түрлі типтегі марганец шикізатының жұмсаруының басталу және аяқталу температуралық аралығы анықталды.

Жезді кен орнының +5,0 мм іріліктегі марганец кендерінің жұмсаруының басталу температурасы 1105°C, ал аяқталу температурасы 1305°C-ге тең, -5,0 мм

ірілікте басталу температурасы 925°C, аяқталу температурасы 1115°C-ге тең болатыны анықталды.

Жоғарыда көрсетілген зерттеулердің нәтижелерін ескере отырып, Жезді кен орнын марганец кендерін металлургиялық процеске қолданудың технологиялық сұлбасы ұсынылды.

3 ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦ БАЛҚЫТУ ПРОЦЕСІН ТОЛЫҚ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖОСПАРЛАУ

Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу химиялық реакцияларға, фазалық тепе-теңдікке және жүйедегі жылу алмасуға байланысты барлық термодинамикалық аспектілерді қамтиды.

Орта көміртекті ферромарганец алу марганец кенінен марганец пен темірді ферросиликомарганецтегі кремниймен тотықсыздандыру реакциялары арқылы жүзеге асырылады.

Термодинамикалық модельдеу (ТМ) химиялық және фазалық түрленулер маңызды рөл атқаратын жоғары температурада химиялық құрамы күрделі жүйелерді зерттеуде ғылыми-зерттеу және өндірістік тәжірибелерде кеңінен қолданылады [60-62].

Толық термодинамикалық модельдеудің артықшылығы оның әмбебаптылығында. Бұл жеке заттардың термохимиялық және термодинамикалық қасиеттері туралы анықтамалық ақпараттардың негізінде химиялық құрамы бойынша ерікті жүйелерді зерттеуге мүмкіндік береді. Термохимиялық және термодинамикалық қасиеттер көптеген инженерлік қосымшаларға тән температура аралығында газ тәрізді, конденсацияланған және иондалған күйдегі химиялық қосылыстардың кең ауқымы үшін белгілі [63-66].

Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін термодинамикалық модельдеу HSC Chemistry 10.0 бағдарламалық кешені арқылы жүзеге асырылды [67-69]. 29000-нан астам химиялық қосылыстарға арналған энтальпия (H), энтропия (S) және жылу сыйымдылығы (C) туралы кең термохимиялық мәліметтер базасын қамтиды. HSC Chemistry 10.0 бағдарламалық кешені 10-нан астам модульді қамтиды. Диссертацияда Equilibrium Compositions модулі қолданылды, оның негізінде Гиббс энергиясының минимум принципіне негізделген тепе-теңдікті есептеу әдісі жатыр.

3.1 Толық термодинамикалық модельдеу әдістемесі

Толық термодинамикалық модельдеу жүйедегі Гиббс энергиясын азайтуға және термодинамиканың вариациялық принциптеріне негізделген HSC Chemistry 10.0 (Outokumpu, Финляндия) бағдарламалық кешенін қолдану арқылы зерттелді [70, 71]. Бағдарламалық жасақтама SGTE (Scientific Group Thermodata Europe) консорциумы идеологиясына негізделген. SGTE консорциумы Германия, Канада, Франция, Швеция, Ұлыбритания және АҚШ-тың бейорганикалық және металлургиялық жүйелері үшін термодинамикалық мәліметтер базасын әзірлеумен және оларды тәжірибелік мәселелерді шешуде қолданумен айналысатын ғылыми-зерттеу орталықтарынан тұрады. Көп компонентті тотық пен металл жүйесінің тепе - теңдік құрамы «Equilibrium Compositions» модулін 100 К қадаммен 573-2073 К температура аралығында және 1 атм. тең газ фазасының қысымын қолдану арқылы анықталады. Гиббс «GIBBS» потенциалын азайту бағдарламасының алгоритмі қолданылды және

3.1-3.3 формулалармен есептеледі. Жүйенің газ фазасында тепе-теңдік құрамын анықтаудың есептеу процедурасын жеделдету үшін бейтарап қоспа ретінде 2,24 м³ N₂ (газ) берілді.

$$G(x) = \sum_{a=1}^f \cdot \sum_{j=1}^{ia} X_j \left(C_j + \ln \left(\frac{X_j}{X_a} \right) + \ln \gamma_j \right) \rightarrow G(x)_{min} \quad (3.1)$$

Заттың массалық балансының сызықтық теңдеулер жүйесі түріндегі шектеулер:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j = b_i \quad (3.2)$$

Нормалау шарты:

$$\sum_{j=1}^{La} X_j = X_a \quad (3.3)$$

мұнда, f – жүйе фазаларының жалпы саны;
 b_i – жүйедегі тәуелсіз компоненттердің жалпы саны;
 i – жүйенің a фазасындағы тәуелсіз компоненттердің j санын көрсететін сандар массасы;
 n – жүйенің тәуелсіз компоненттерінің саны;
 C_j – эмпирикалық термодинамикалық функция;
 X_a – жүйедегі a фазасының мольдерінің жалпы саны;
 $\frac{X_j}{X_a}$ – a фазасындағы тәуелді компоненттің мольдік үлесі;
 γ_j – компоненттің белсенділік коэффициенті.

Толық термодинамикалық жүйенің тепе-теңдік параметрлері Лангранж функциялары мен Ньютонның реттік жуықтау әдісін қолдана отырып, барлық шектеулерді ескерумен экстремумды табудың математикалық есептерін шешумен анықталады.

Толық термодинамикалық модельдеу жүргізу үшін бастапқы шикіқұрам материалдары ретінде марганец кені, ферросиликомарганец, әк және алюминий қолданылды. HSC Chemistry 10.0 бағдарламалық кешенін қолдану кезінде зерттелетін жүйедегі бастапқы ақпарат заттардың сандық салмағы (кг) түрінде ұсынылды (кесте 3.1). Содан соң өзара әрекеттесу өнімдері бойынша элементтің тепе-теңдік дәрежесі (α , %) келесі формула бойынша анықталды:

$$\alpha_{i_{эл}} = \frac{G_{өнім} \frac{m \cdot A_{i_{эл}}}{M_i}}{G_{баст.} \cdot \frac{n \cdot A_{i_{эл}}}{M}} \cdot 100 \quad (3.4)$$

мұнда, $G_{баст.}$ – бастапқы жүйедегі элемент массасы, кг;
 $G_{өнім}$ – түзілетін өнімдегі элемент массасы, кг;
 M – i элементі орналасқан бастапқы заттың молекулалық массасы;

$A_{i_{эл}}$ – i -ші элементтің атомдық массасы;
 n – бастапқы заттағы i -ші элемент атомдарының саны;
 m – ақырғы заттағы i -ші элемент атомдарының саны

Кесте 3.1 – Зерттеуге арналған шикіқұрам материалдарының химиялық құрамы, %

Материалдар	Mn _ж	Fe _ж	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	ҚКЖ
Марганец кені	48	5,6	12,48	0,05	2,1	8
Әк	-	-	-	-	90	-
Ферросиликомарганец	Si	Mn	C	P	S	Fe
	17	65	2,0	0,01	0,01	қалғ.

Қож фазасының сұйық ерітіндісі ретінде келесі құрамдас бөліктер қабылданды [72, 73]: Al₂O₃, 3Al₂O₃·2SiO₂, CaO, CaO·Al₂O₃, CaO·2Al₂O₃, 12CaO·7Al₂O₃, CaO·Al₂O₃·SiO₂, CaO·Al₂O₃·2SiO₂, 2CaO·Al₂O₃·SiO₂, 3CaO·Al₂O₃·3SiO₂, 2CaO·SiO₂·3CaO·SiO₂·CaSiO₃, 3CaO·2SiO₂, Ca₂SiO₄(A), Ca₃SiO₅, Ca₃Si₂O₇, FeAl₂O₄, Fe₂MnO₄, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO·SiO₂, 2FeO·SiO₂, Mg₂Al₄Si₅O₁₈, MgFe₂O₄, MgMn₂O₄, MgO, MgO·Al₂O₃, Mn₂Al₄Si₅O₁₈, Mn₃Al₂Si₃O₁₂, MnO, MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO·Al₂O₃, MnSiO₃, Mn₂SiO₄, Mn₇SiO₁₂, SiO₂.

Металл фазасы үшін келесі компоненттер қабылданды: C, Fe₂C, Fe₃C, Fe₅C₂, Fe₇C₃, Fe₂₃C₆, MnC₂, Mn₃C, Mn₅C₂, Mn₇C₃, Mn₁₅C₄, Mn₂₃C₆, SiC, Fe, FeSi, FeSi₂, FeSi_{2.33}, FeSi_{2.43}, Fe₃Si, Fe₅Si₃, Mn, MnSi, MnSi_{1.7}, MnSi_{1.727}, Mn₃Si, Mn₅Si₃, Si, Al.

Жүйенің тұрақты параметрлері [74] әдістемесіне сәйкес таңдалады. Есептеулер 1 атм. жүйесіндегі жалпы қысым мен 573-2073 К температура аралығында жүргізілді. Жүйенің параметрлері пештегі процестердің жағдайына жақын, ал пайда болған компоненттердің термодинамикалық параметрлері үнемі өзгеріп отырады.

3.2 Толық термодинамикалық модельдеу

Толық термодинамикалық модельдеу нәтижесінде Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O жүйесінде 69 фаза, оның ішінде 41 тотық және (немесе) қож фазалары, сондай-ақ, 28 металл фазалары анықталды. Металл фазалары интерметаллидтерден, карбидтерден, силицидтерден және таза металдардан тұрады.

3.2.1 Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіндегі әк шығыны бойынша толық термодинамикалық модельдеу

Толық термодинамикалық модельдеу үшін 100 кг ферросиликомарганецке марганец кені мен әк шығыны 3.2-ші кестеде келтірілген. Шикіқұрам материалдарының химиялық құрамы 3.1-ші кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 – Шикікұрам материалдарының шығыны, кг

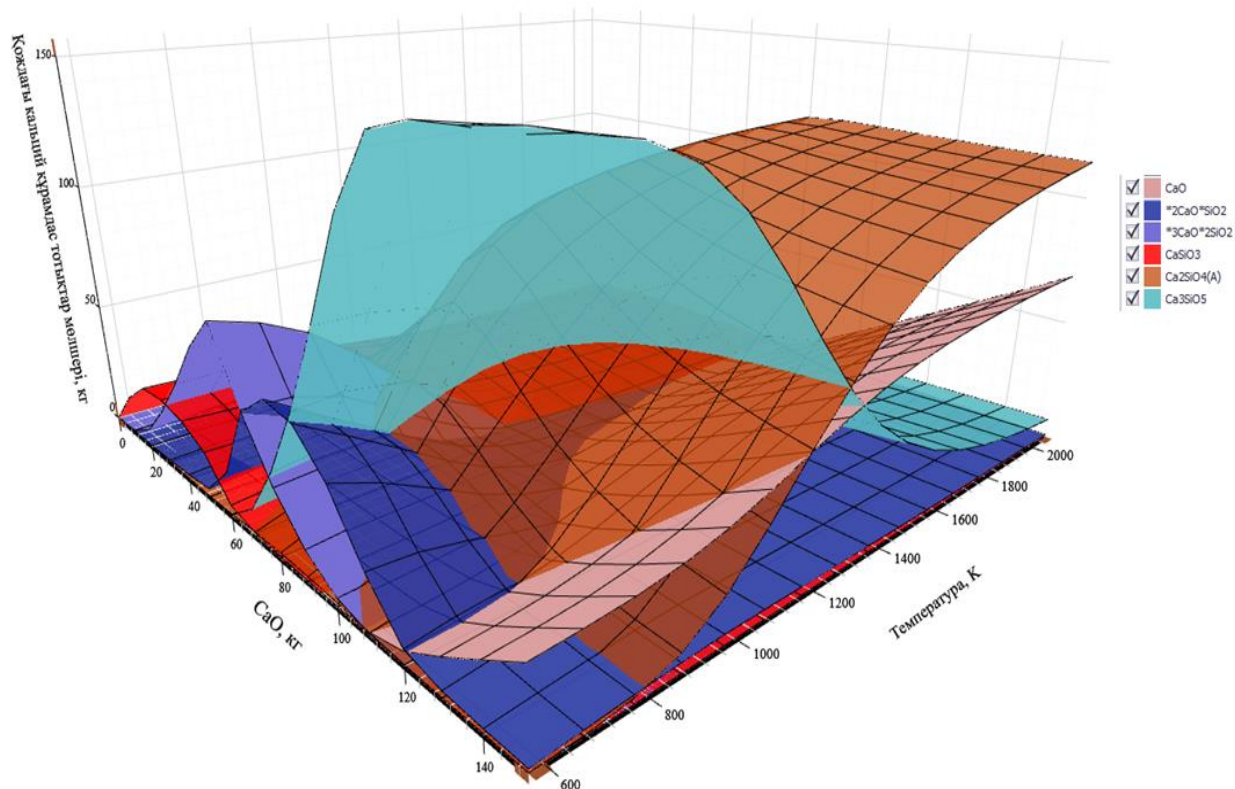
Ферросиликомарганец	Марганец кені	Әк
100	100	0-145

Әктің шығыны 0-145 кг аралығында әр 10 кг қадаммен өзгеріп отырды.

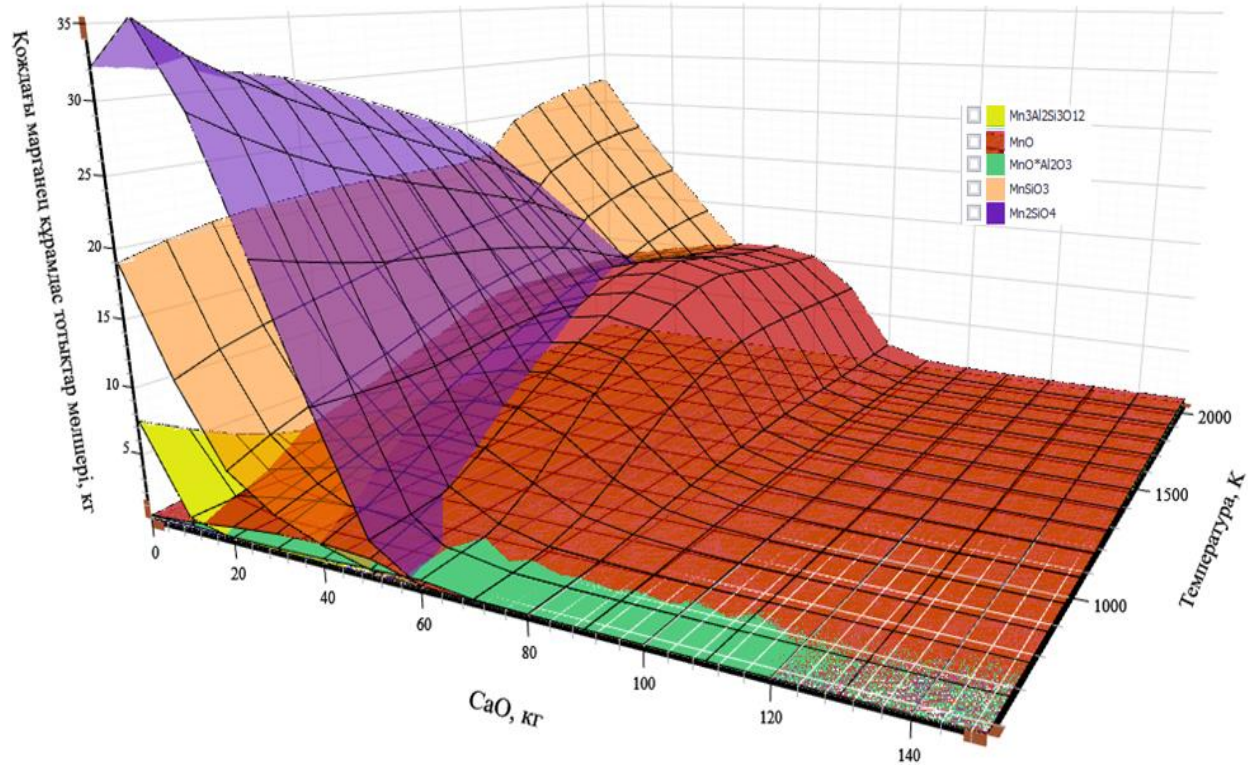
Шикікұрам материалдарының өзгерісі қож фазасында 573-2073 К температура аралығы мен әктің 10÷80 кг шығынында анықталды. Кальций силикаты (CaSiO_3) 573-873 К аралығында түзіледі. 30÷120 кг әк шығыны мен 573-873 К аралығында 0÷57,6 кг 2CaO SiO_2 қосылысы түзілсе, әрі қарай 800-2073 К температура аралығында 0÷114 кг екі кальцийлі силикат (Ca_2SiO_4) пайда болды. 573-2073 К аралығы мен 60÷140 кг әк шығынында үш кальцийлі силикат (Ca_3SiO_5) 156,42 кг-нан 7,72 кг-ға дейін төмендейді және бұл CaO мен Ca_2SiO_4 қосылыстарының түзілуіне әкелді (сурет 3.1).

3.2-суреттегі қисық сызықтарға мән берсек, 0 кг әк пен 573-1073 К температура аралығында 7,49 кг спессартин ($\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) түзіледі және әрі қарай марганец монототығына айналады. 500 К температура мен 0-140 кг әк шығынында 18,98÷0,06 кг марганец метасиликаты (MnSiO_3) кездеседі және одан әрі температура мен әк шығыны жоғарылаған кезде 60 кг дейін MnSiO_4 пайда болса, әрі қарай марганец монототығының (MnO) түзілуіне әкелді. 90÷140 кг әк шығынында марганец тотығының төмендеуі марганец мөлшерінің жоғары деңгейде металға өтуін көрсетеді.

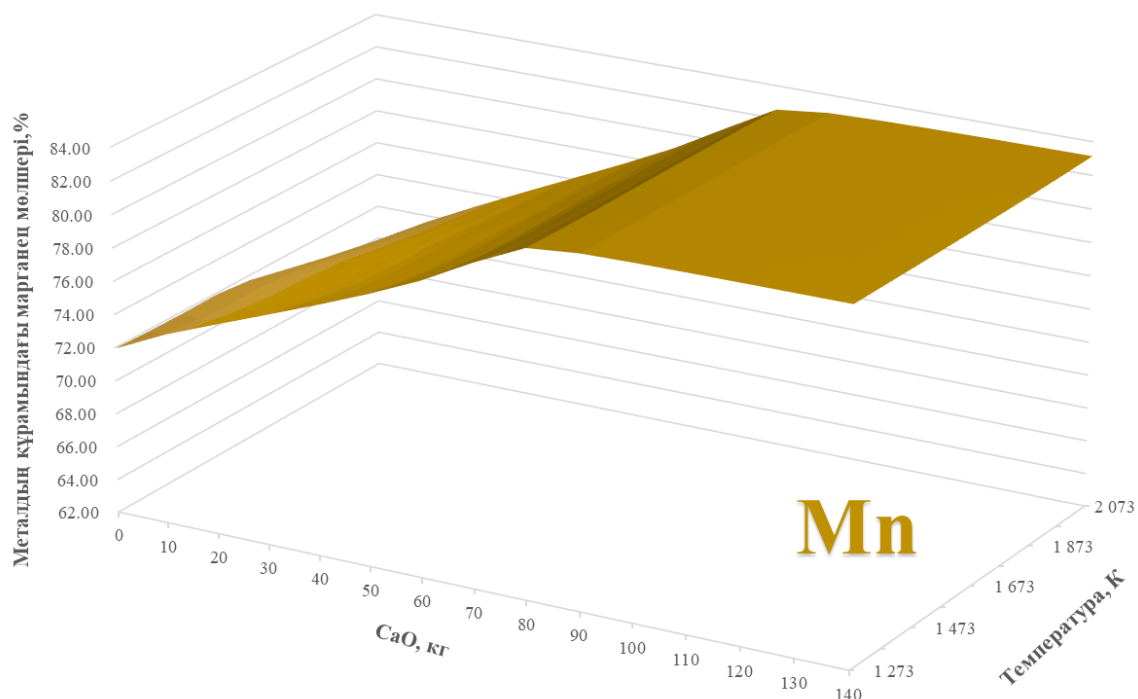
70÷140 кг CaO әк шығыны мен 1273-2073 К аралығында металл құрамындағы марганецтің химиялық құрамы 81-83% құрайды (сурет 3.3). 70 кг әк шығынынан бастап металдағы кремний мөлшері төмендейді (3.4-сурет). Толық термодинамикалық зерттеу нәтижесінде алынған металдың химиялық құрамы Қосымша F(1-нұсқа)-да келтірілген.



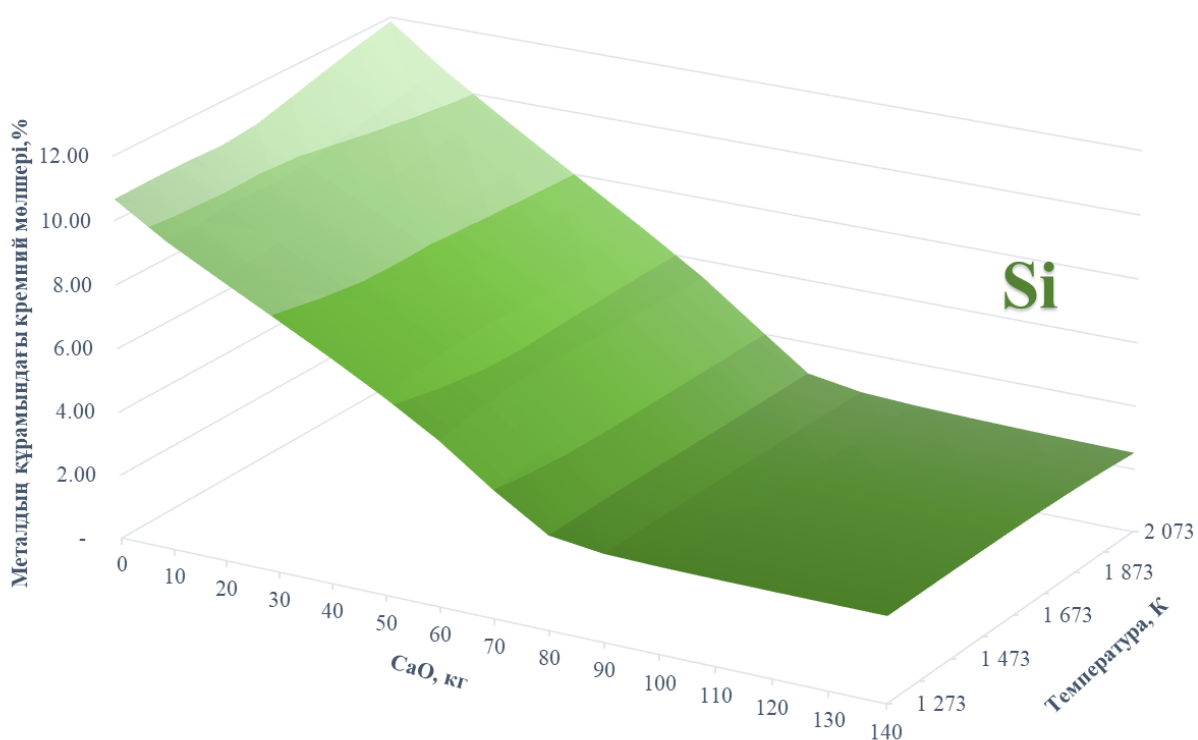
Сурет 3.1 – Қожадағы кальций құрамдас тотықтар мөлшерінің температура мен әк шығынының өзгерісіне тәуелділігі



Сурет 3.2 – Қожадағы марганец құрамдас тотықтар мөлшерінің температура мен әк шығынының өзгерісіне тәуелділігі



Сурет 3.3 – Металл құрамындағы марганец мөлшерінің температура мен әк шығынының өзгерісіне тәуелділігі



Сурет 3.4 – Металл құрамындағы кремний мөлшерінің температура мен әк шығынының өзгерісіне тәуелділігі

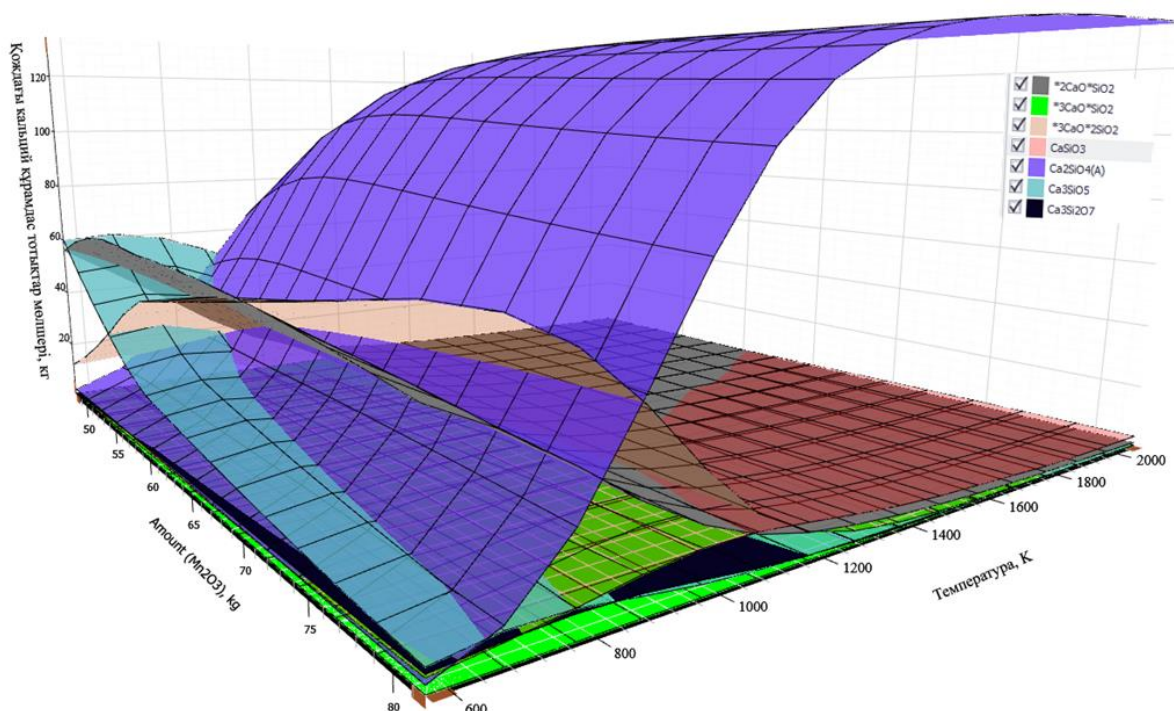
Қорытындылай келе, орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу бойынша әктің оңтайлы шығынын анықтау нәтижесінде 90 кг әк шығыны мен 1673-1873 К температура аралығында металдағы марганец мөлшері $82,95 \div 82,93\%$, кремний мөлшері $2,78 \div 2,77\%$ сәйкес келді. Бұл көрсеткіштер орта көміртекті ферромарганецтегі марганец мөлшері бойынша мемлекеттік стандартқа сәйкес, ал кремний мөлшері бойынша сәйкес емес, кремний 2,0% төмен болу керек. Сондықтан келесі толық термодинамикалық зерттеуді әк шығынын 90 кг деп алып, әрі қарай марганец кені шығынының өзгерісін анықтау қажет.

3.2.2 Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіндегі марганец кенінің шығыны бойынша толық термодинамикалық модельдеу

Толық термодинамикалық модельдеу үшін 100 кг ферросиликомарганецке марганец кені мен әк шығыны 3.3-ші кестеде келтірілген.

Кесте 3.3 – Шикіқұрам материалдарының шығыны, кг

Ферросиликомарганец	Марганец кені	Әк
100	100-170/10	90

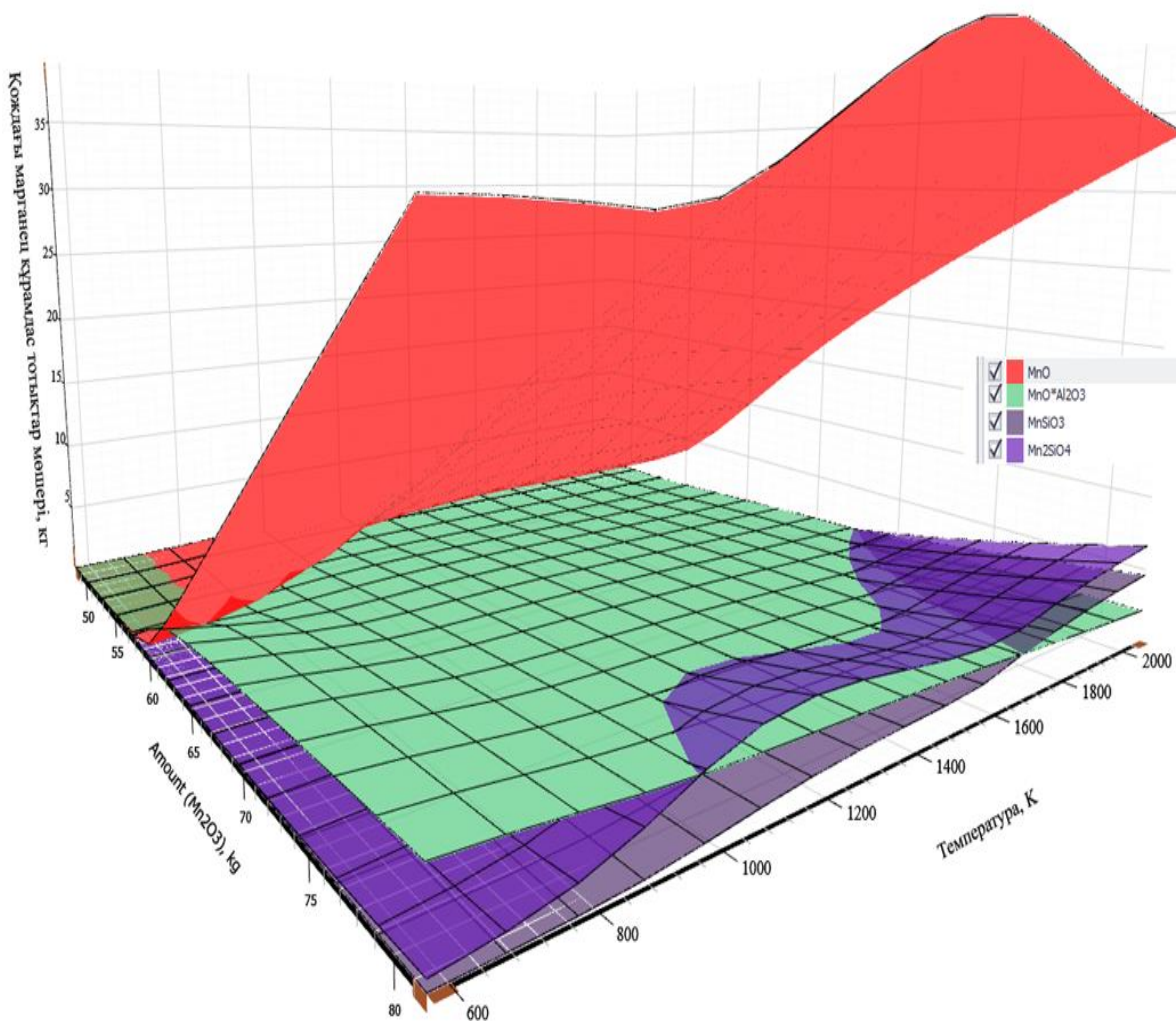


Сурет 3.5 – Қожадағы кальций құрамдас тотықтар мөлшерінің температура мен марганец кені шығынының өзгерісіне тәуелділігі

500-2000 К температура аралығы мен $100 \div 170$ кг марганец кенінің шығыны кезінде қож фазасында 2CaO SiO_2 , CaSiO_3 , Ca_3SiO_5 , $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ қосылыстары 573-1273 К температура аралығында түзілді. 1273-2073 К

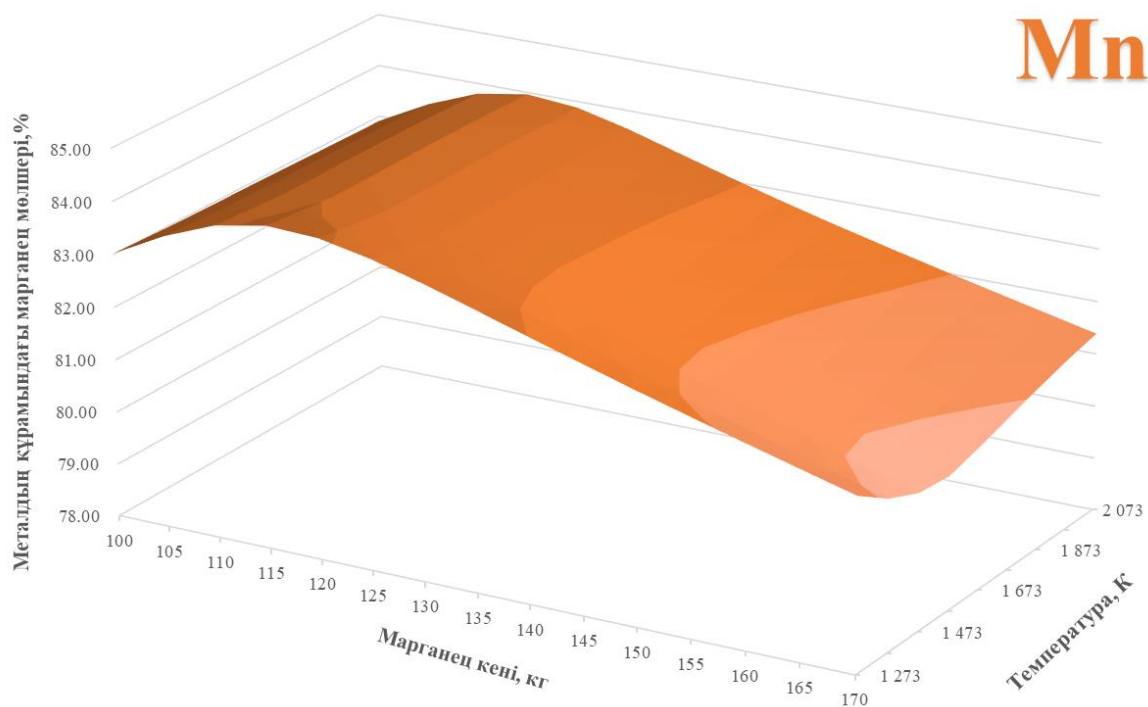
температура аралығынан бастап екі кальцийлі силикаттың (Ca_2SiO_4) түзілуіне әкелді (сурет 3.5).

Марганец тотықтары өзгерісінің температура мен марганец кенінің шығынына тәуелділік графигі 3.6-ші суретте келтірілген. Марганец монототығының (MnO) түзілуі бұл марганец кенінің жоғарылағанымен байланысты. 5 кг дейін марганец кенінің шығын мен 573-2073 К температура аралығында $\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, MnSiO_3 , Mn_2SiO_4 қосылыстары түзіледі (сурет 3.6).

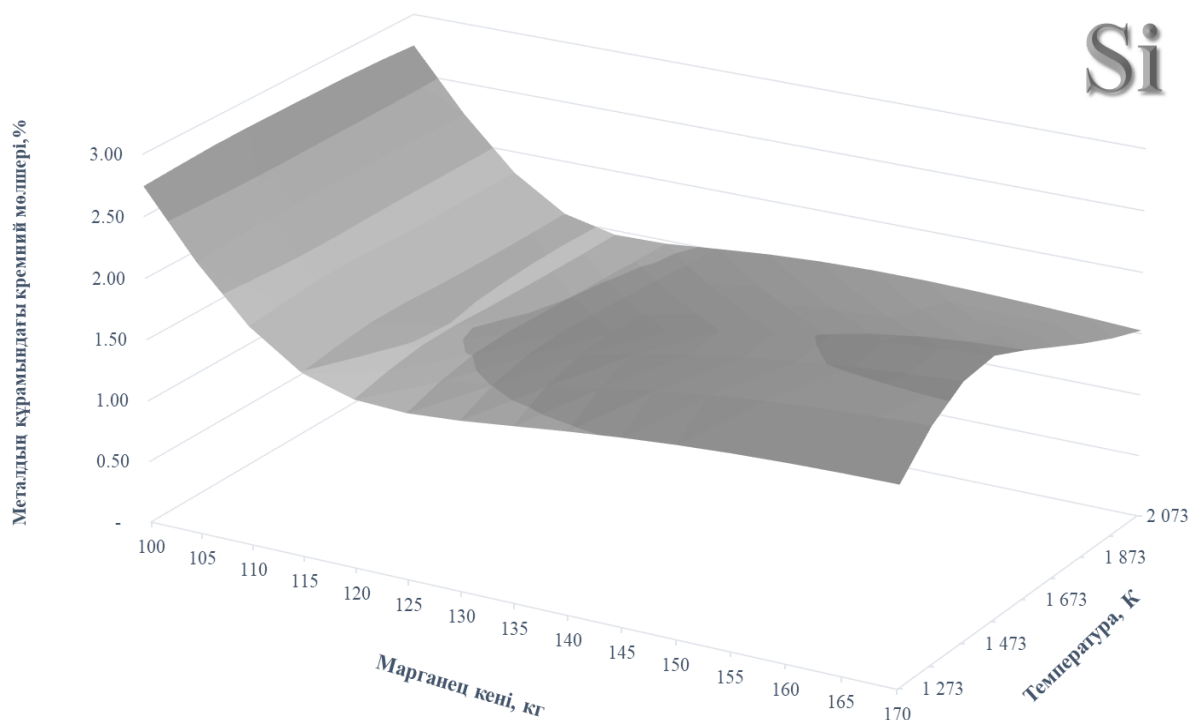


Сурет 3.6 – Қожадағы марганец құрамдас тотықтар мөлшерінің температура мен марганец кені шығынының өзгерісіне тәуелділігі

100÷170 кг марганец кенінің шығыны мен 1273-2073 К температура аралығында металл құрамындағы марганец мөлшері 81÷84% құрайды (сурет 3.7). Марганец кенінің шығыны 110 кг болған кезде металдағы марганецтің жоғары мөлшері 83,92÷83,80% және кремний мөлшері 1,78÷1,8% болатыны анықталды (сурет 3.8). Толық термодинамикалық зерттеу нәтижесінде алынған металдың химиялық құрамы Қосымша F (2-нұсқа)-да келтірілген.



Сурет 3.7 – Металл құрамындағы марганец мөлшерінің температура мен марганец кені шығынының өзгерісіне тәуелділігі



Сурет 3.8 – Металл құрамындағы кремний мөлшерінің температура мен марганец кені шығынының өзгерісіне тәуелділігі

Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу нәтижесі бойынша әк пен марганец кенінің оңтайлы шығыны сәйкесінше 90 кг және 110 кг болатына көз жеткізілді. 1673-

1873 К температура аралығында металдағы марганец мөлшері ~ 83%-дан асады және кремний мөлшері ~ 2,0%-дан төмен болатыны анықталды. Бұл зерттелген мәліметтер орта көміртекті ферромарганецтің МемСТ 4755-91 сай келеді.

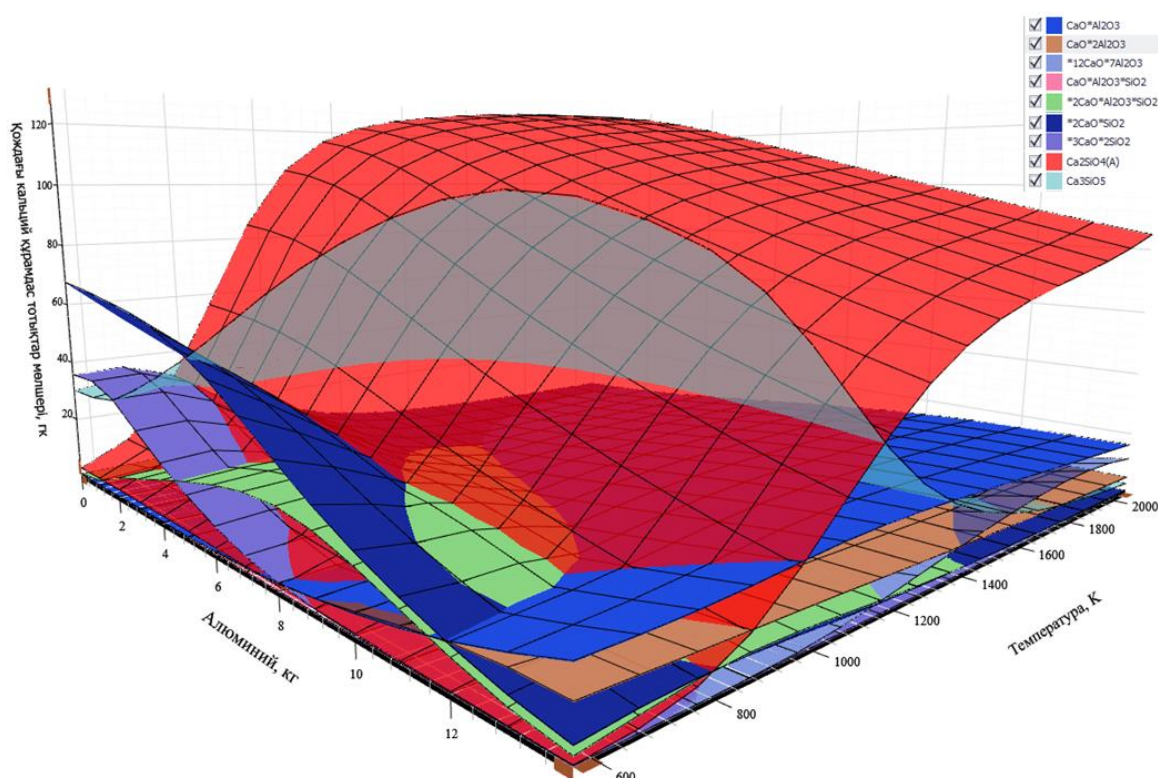
3.2.3 Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесіндегі алюминий шығыны бойынша толық термодинамикалық модельдеу

Орта көміртекті ферромарганец балқытуда қождың құрамын реттеу маңызды [75]. Осы мақсатта 573-2073 К температура аралығында алюминий шығынын зерттеу қажет. Толық термодинамикалық модельдеу үшін шикіқұрам материалдарының шығыны 3.4-ші кесте келтірілген.

Кесте 3.4 – Шикіқұрам материалдарының шығыны, кг

Ферросиликомарганец	Марганец кені	Алюминий	Әк
100	110	0-14/1	90

573-2073 К температура аралығы мен 0÷14 кг алюминий шығынында қождағы кальций құрамдас тотықтар мөлшері өзгерісінің графигі суретте 3.9-да келтірілген.

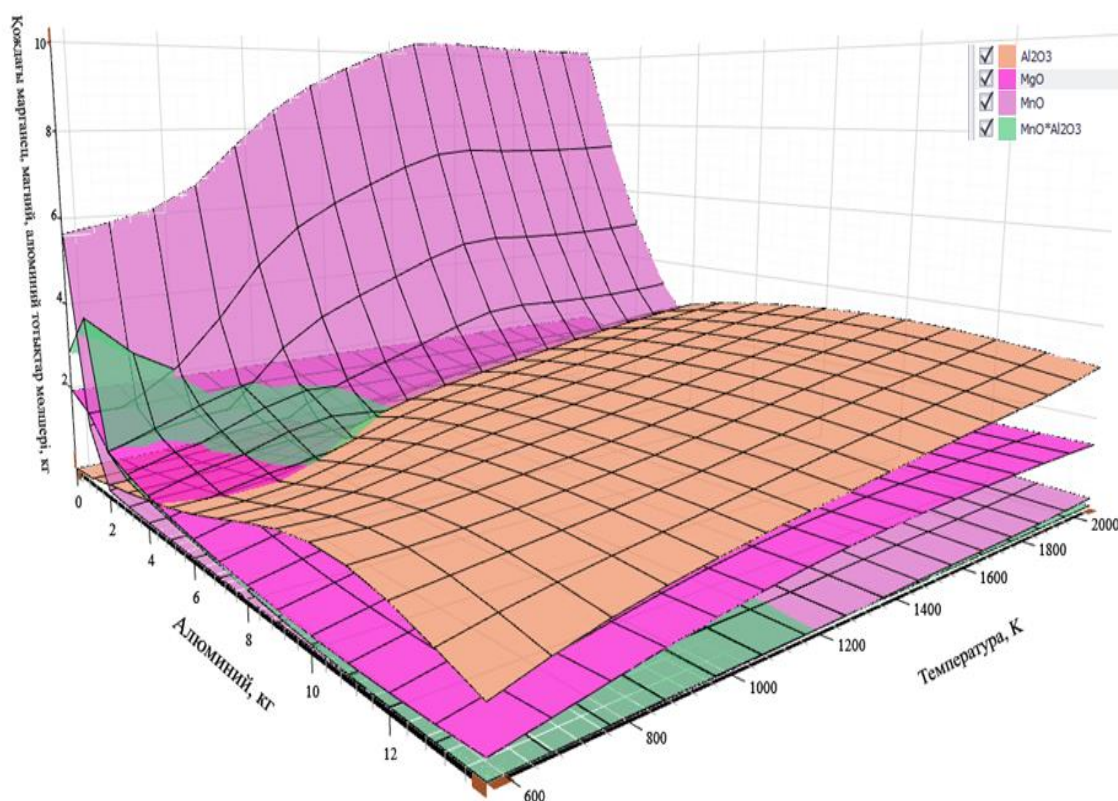


Сурет 3.9 – Қождағы кальций құрамдас тотықтар мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі

573-873 К температура аралығында $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $3\text{CaO}\cdot 2\text{SiO}_2$ қосылыстары пайда болып, әрі қарай 973 К температурада екі кальцийлі силикаттың (Ca_2SiO_4)

түзілуіне әкеледі. 1473-2073 К температура аралығында алюминий шығынының жоғарылауы кезінде Ca_3SiO_5 қосылысының ыдырауы нәтижесінде екі кальцийлі силикат (Ca_2SiO_4) түзіледі. 2÷14 кг алюминий шығынында 0÷23,02 кг $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ қосылысы түзіледі. 11÷14 кг алюминий шығынында 0÷13,38 кг $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ қосылысы түзіледі. 8 кг алюминий шығынынан бастап 0÷22,12 кг кальций алюминиматы ($\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) мен 0÷12,29 кг кальций екі алюминиматы ($\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$) пайда болады.

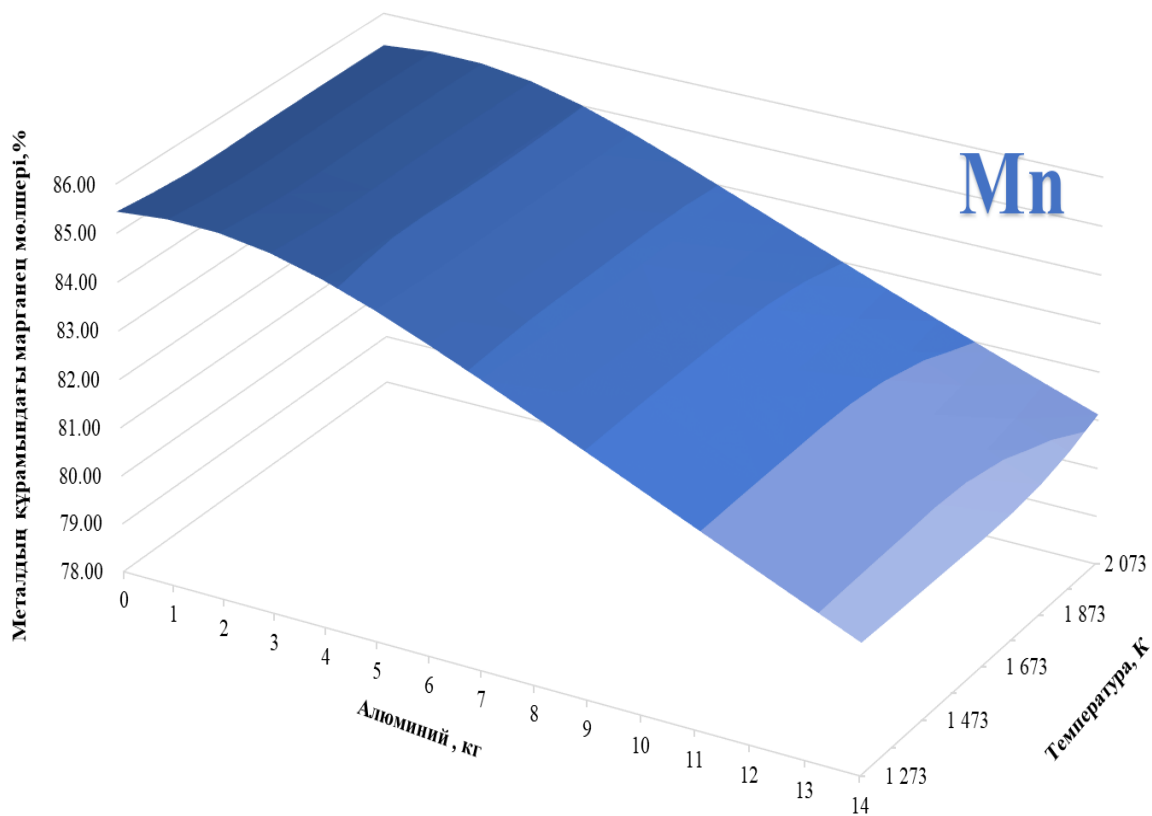
573-2073 К температура аралығы мен 0÷14 кг алюминий шығынында қождағы марганец пен магний құрамдас тотықтар мөлшері өзгерісінің графигі 3.10-шы суретте келтірілген.



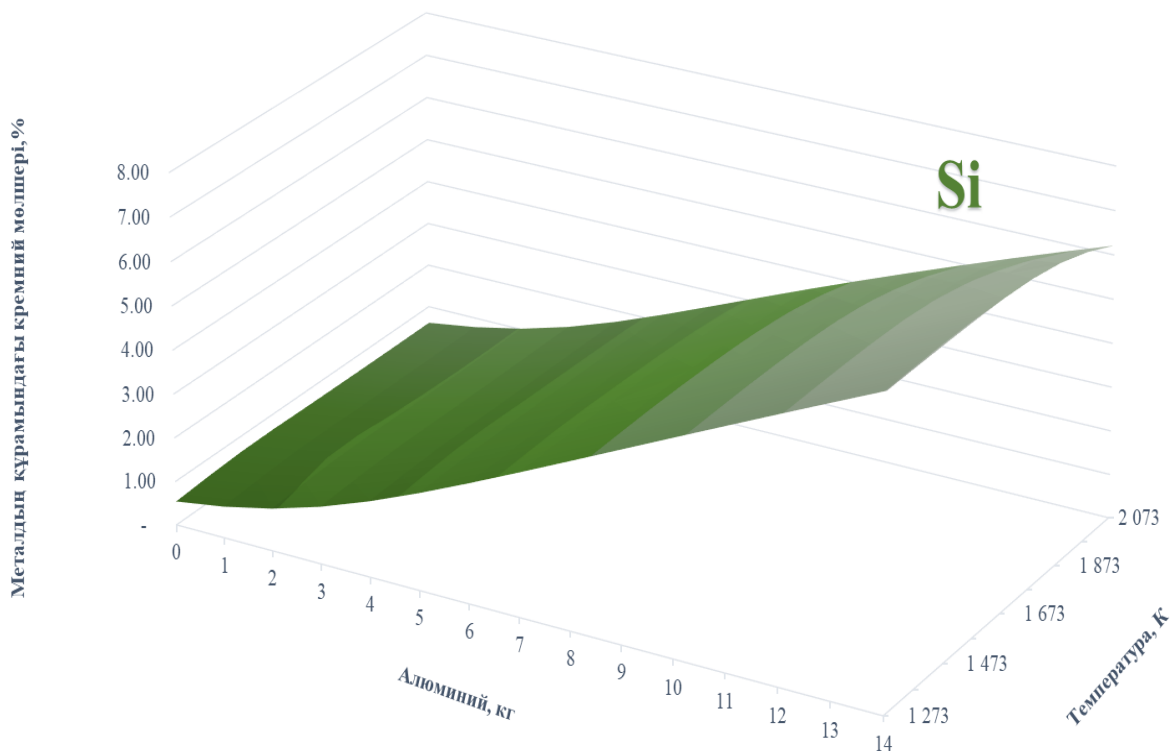
Сурет 3.10 – Қождағы марганец пен магний құрамдас тотықтар мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі

573-2073 К температура аралығында марганец монототығы алюминий шығындалмаған кезде 10 кг-ға дейін барса, 1÷14 кг алюминий шығынында оның ыдырауы байқалады. Барлық жағдайда магний тотығының (MgO) мөлшері бірқалыпты 1,9 кг құрайды. 573-2073 К температура аралығы мен 1÷14 кг алюминий шығынында 0-3,43 кг Al_2O_3 тотығының түзілетіні байқалды. 2 кг алюминий шығынынан бастап $\text{MnO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ыдырайды.

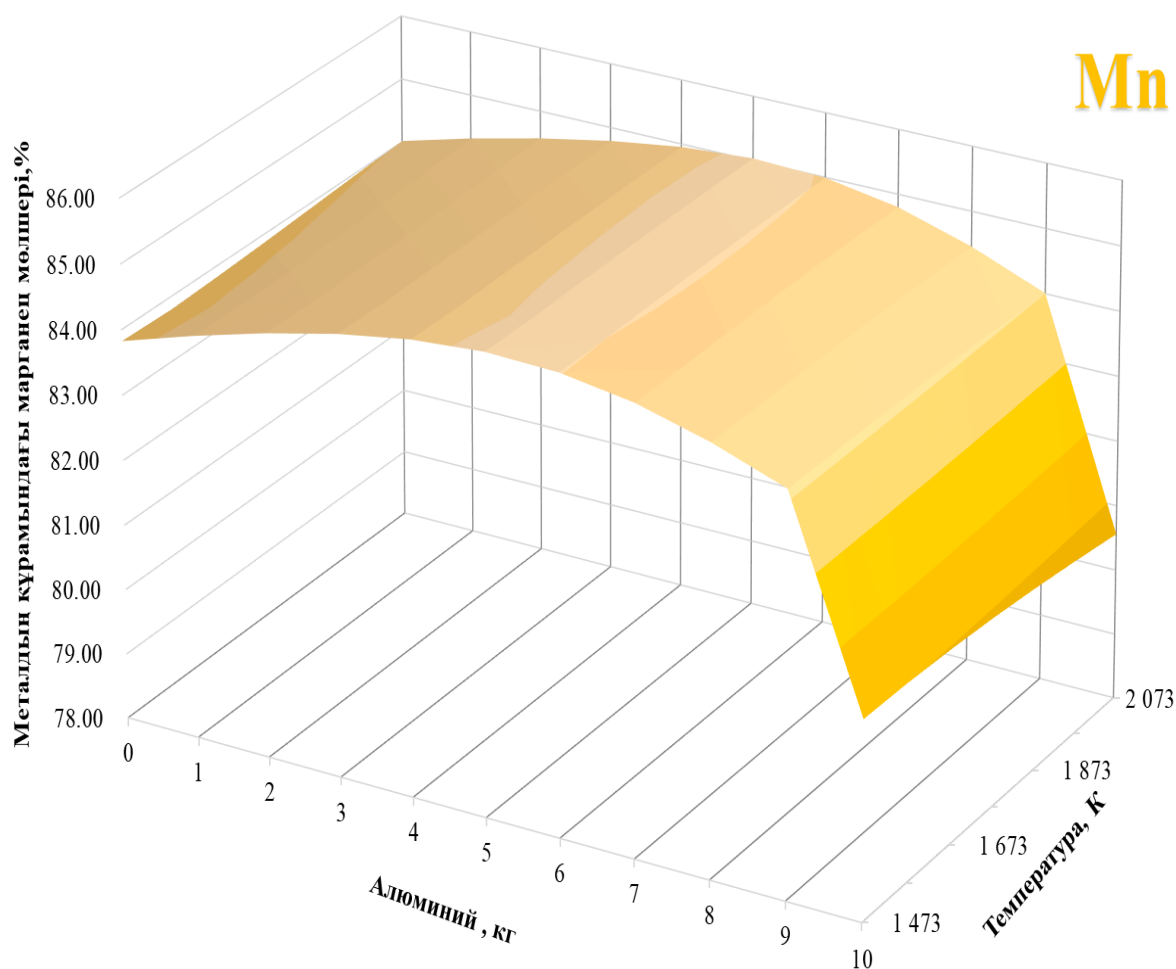
0÷14 кг алюминий шығыны кезінде және температура жоғарылаған сайын металдың құрамындағы марганец мөлшері 85%-дан 81%-ға дейін төмендейді (сурет 3.11), ал кремний 0 ден 7%-ға дейін жоғарылайды (Қосымша F(3-нұсқа) және сурет 3.12).



Сурет 3.11 – Металл құрамындағы марганец мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі



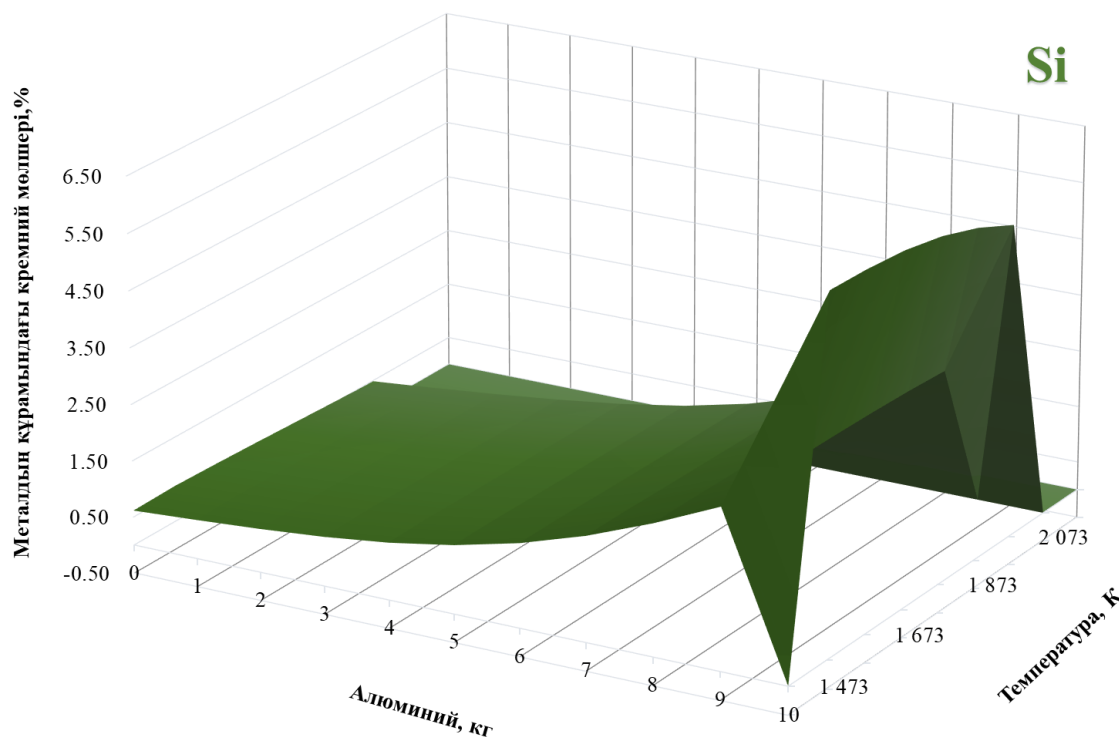
Сурет 3.12 – Металл құрамындағы кремний мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі



Сурет 3.13– Металл құрамындағы марганец мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі

Кремний мен алюминий құрамдас тотықсыздандырғыштарды қолдану арқылы алынған орта көміртекті ферромарганецтің орташа құрамы, %: Mn 81-85; Si 0-7; Fe 10,84-12,36; C 1,5-1,6 (Қосымша Е). Бұл зерттелген мәліметтер орта көміртекті ферромарганецтің мемлекеттік стандартына (МемСТ 4755-91) сай келмейді. Сондықтан 1473 К температурадан бастап алюминий шығынының өзгерісі арқылы зерттеу жүргізу қажет.

Жоғарыда зерттелген нәтижелерге сүйене отырып, толық термодинамикалық модельдеу 1473-2073 К температура аралығы мен 0÷10 кг алюминий шығынында жүргізілді. Металдың құрамындағы марганец мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі 3.13-ші суретте келтірілген. 0÷5 кг алюминий шығынында марганец мөлшері 83,82-85,02%, ал кремний мөлшері 0,67-1,82%. Алюминий шығынын 5 кг арттырғанда металдағы кремний мөлшері жоғарылайды (сурет 3.14).



Сурет 3.14 – Металдың құрамындағы кремний мөлшерінің температура мен алюминий шығынының өзгерісіне тәуелділігі

Толық термодинамикалық модельдеу нәтижесінде зерттелген металдың құрамы келесідей: %: Mn 83-85; Si 0,62-1,88; Fe 10,98-13,88; C 1,5-1,6. (Қосымша F (4-нұсқа)). Бұл зерттелген мәліметтер орта көміртекті ферромарганецтің мемлекеттік стандартына (МемСТ 4755-91) сай келеді.

3.3 Математикалық жоспарлау әдістемесі

Жүргізілген толық термодинамикалық зерттеулер көрсеткендей, кеннің үлесі бойынша марганец түсіміне (y) келесі параметрлер әсер етеді: тотықсыздандырғыштың құрамындағы марганец пен кремнийдің мөлшері (Mn және Si мөлшері) – сәйкесінше x_1 және x_2 ; «ұнтақ» (-5,0 мм ірілікте) кеннің үлесі – x_3 , қож негізділігі - x_4 , кен құрамындағы марганец мөлшері - x_5 , алюминий сынықтарының шикіқұрам массасындағы үлесі - x_6 . Сондықтан термодинамикалық мәліметтерге сүйене отырып, көрсетілген параметрлердің өзгерісіне байланысты марганецті бөліп алу дәрежесі қалай өзгередінін анықтау маңызды.

Осыған байланысты, [76] әдістемеге сәйкес бірнеше корреляция әдісімен өңделген мәліметтерге сүйене отырып, жоғарыда аталған параметрлердің кеннен марганецті бөліп алу дәрежесіне әсер етуінің термодинамикалық-статистикалық моделі құрылды. Бұл әдісті жүзеге асыру үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

- регрессия тендеуінің коэффициенттерін анықтау;
- модельдің объектіге сәйкестігін тексеру;
- бірнеше корреляция коэффициентін анықтау және оның маңыздылығын бағалау.

1. Регрессия теңдеуінің коэффициенттерін анықтау.
k = 6 үшін жалпы теңдеуді іздеу:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 \quad (3.5)$$

Бастапқы статикалық деректерді $x_{орт.}$ және $y_{орт.}$, $S_{x_{орт.}}$ және $S_{y_{орт.}}$ келесі формулалар бойынша алдын-ала өңделеді және есептеледі:

$$x_{орт.} = \sum_{i=1}^n x_i/n; \quad (3.6)$$

$$y_{орт.} = \sum_{i=1}^n y_i/n; \quad (3.7)$$

$$S_{x_j} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{орт.})^2} \quad (3.8)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{орт.})^2} \quad (3.9)$$

Бастапқы статикалық деректерді алдын-ала өңдеу және есептеу нәтижелері 3.6-шы кестеде келтірілген.

Содан кейін (3.5-3.9) формулалары бойынша факторлар нормаланады:

$$Y_i = \frac{(y_i - y_{орт.})}{S_{y_{орт.}}}; \quad (3.10)$$

$$X_i = \frac{(x_i - x_{орт.})}{S_{x_{орт.}}}. \quad (3.11)$$

(3.10-3.11) формулалары бойынша есептелген нормаланған факторлардың мәндері 3.6-шы кестеде келтірілген.

Кесте 3.5 – Бастапқы статикалық және есептік деректер

№ тәжірибе	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆ , %	y, %	(x _{1opt.} -x ₁) ²	(x _{2opt.} -x ₂) ²	(x _{3opt.} -x ₃) ²	(x _{4opt.} -x ₄) ²	(x _{5opt.} -x ₅) ²	(x _{6opt.} -x ₆) ²	(y _i -y _{opt.}) ²	y [∧]	(y _i -y [∧]) ²
1	68	19	40	1,5	40	0,6	50,45	0,89	2,38	816,33	0,10	2,94	0,18	136,46	49,45	1,01
2	68	19	40	1,6	40	0,6	52,59	0,89	2,38	816,33	0,05	2,94	0,18	91,04	51,43	1,34
3	68	19	40	1,8	40	0,6	53,65	0,89	2,38	816,33	0	2,94	0,18	71,93	55,40	3,06
4	68	19	40	1,9	40	0,6	56,95	0,89	2,38	816,33	0,01	2,94	0,18	26,85	57,38	0,19
5	68	19	40	2	40	0,6	57,65	0,89	2,38	816,33	0,03	2,94	0,18	20,08	59,37	2,95
6	68	19	40	1,7	40	0,6	55,85	0,89	2,38	816,33	0,01	2,94	0,18	39,46	53,42	5,93
7	68	19	40	1,8	40	0,6	56,85	0,89	2,38	816,33	0	2,94	0,18	27,89	55,40	2,10
8	68	19	0	1,8	42	0,6	58,66	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,18	12,05	62,27	13,05
9	65	22	0	1,8	40	0,6	59,25	4,23	2,12	130,61	0	2,94	0,18	8,30	61,89	6,95
10	65	22	40	1,8	42	0,6	51,58	4,23	2,12	816,33	0	0,08	0,18	111,33	55,64	16,50
11	68	19	0	1,5	42	0,6	55,58	0,89	2,38	130,61	0,10	0,08	0,18	42,92	56,32	0,55
12	65	19	0	1,6	42	0,6	57,55	4,23	2,38	130,61	0,05	0,08	0,18	20,99	57,04	0,26
13	65	19	0	1,8	42	0,6	62,25	4,23	2,38	130,61	0	0,08	0,18	0,01	61,01	1,53
14	68	19	0	1,9	42	0,6	67,25	0,89	2,38	130,61	0,01	0,08	0,18	26,20	64,26	8,96
15	65	19	0	2	42	0,6	66,65	4,23	2,38	130,61	0,03	0,08	0,18	20,42	64,98	2,79
16	66	26	0	2	36	0,6	67,55	1,12	29,78	130,61	0,03	32,65	0,18	29,36	67,23	0,10
17	66	26	0	2	38	0,6	68,15	1,12	29,78	130,61	0,03	13,80	0,18	36,22	67,55	0,36
18	66	26	0	2	44	0,6	68,45	1,12	29,78	130,61	0,03	5,22	0,18	39,92	68,49	0
19	66	26	0	2	46	0,6	69,15	1,12	29,78	130,61	0,03	18,37	0,18	49,26	68,80	0,12
20	66	26	0	2	48	0,6	69,45	1,12	29,78	130,61	0,03	39,51	0,18	53,56	69,12	0,11
21	66	26	0	2	50	0,6	69,91	1,12	29,78	130,61	0,03	68,65	0,18	60,51	69,43	0,23
22	68	19	0	1,8	42	0	61,15	0,89	2,38	130,61	0	0,08	1,05	0,96	60,62	0,28
23	68	19	0	1,8	42	0,4	61,85	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,39	0,08	61,72	0,02
24	68	19	0	1,8	42	0,8	62,05	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,05	0,01	62,82	0,60
25	68	19	0	1,8	42	1	62,47	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0	0,11	63,37	0,82
26	68	19	0	1,8	42	1,2	63,85	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,03	2,95	63,93	0,01
27	68	19	0	1,8	42	1,4	64,25	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,14	4,49	64,48	0,05
28	68	19	0	1,8	42	1,6	65,55	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,33	11,69	65,03	0,27
29	68	19	0	1,8	42	1,8	66,35	0,89	2,38	130,61	0	0,08	0,60	17,80	65,58	0,59
30	68	19	0	1,8	42	2,2	67,01	0,89	2,38	130,61	0	0,08	1,39	23,80	66,68	0,11
31	68	19	0	1,8	42	2,6	67,35	0,89	2,38	130,61	0	0,08	2,49	27,23	67,79	0,19
32	68	19	0	1,8	42	2,8	67,75	0,89	2,38	130,61	0	0,08	3,16	31,57	68,34	0,35
33	68	19	0	1,8	42	3	68,15	0,89	2,38	130,61	0	0,08	3,91	36,22	68,89	0,55
34	65	22	40	1,8	40	2	60,15	4,23	2,12	816,33	0	2,94	0,95	3,93	59,19	0,92
35	65	22	40	1,8	40	2,4	61,25	4,23	2,12	816,33	0	2,94	1,90	0,78	60,29	0,92
∑	2347	719	400	63,7	1460	35,8	2174,6	55,89	246,69	11428,57	0,60	209,14	20,14	1086,39	-	73,77
x _{opt.} , y _{opt.}	67,057	20,543	11,429	1,820	41,714	1,023	62,131	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S _x , S _y	-	-	-	-	-	-	-	1,644	7,255	336,134	0,018	6,151	0,592	31,953	-	-

Кесте 3.6 - Нормаланған факторлардың мәндері

№ тәжірбие	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y
1	0,735	-0,573	1,558	-2,417	-0,691	-0,549	-2,067
2	0,735	-0,573	1,558	-1,662	-0,691	-0,549	-1,688
3	0,735	-0,573	1,558	-0,151	-0,691	-0,549	-1,500
4	0,735	-0,573	1,558	0,604	-0,691	-0,549	-0,917
5	0,735	-0,573	1,558	1,360	-0,691	-0,549	-0,793
6	0,735	-0,573	1,558	-0,906	-0,691	-0,549	-1,111
7	0,735	-0,573	1,558	-0,151	-0,691	-0,549	-0,934
8	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	-0,549	-0,614
9	-1,605	0,541	-0,623	-0,151	-0,691	-0,549	-0,510
10	-1,605	0,541	1,558	-0,151	0,115	-0,549	-1,867
11	0,735	-0,573	-0,623	-2,417	0,115	-0,549	-1,159
12	-1,605	-0,573	-0,623	-1,662	0,115	-0,549	-0,810
13	-1,605	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	-0,549	0,021
14	0,735	-0,573	-0,623	0,604	0,115	-0,549	0,906
15	-1,605	-0,573	-0,623	1,360	0,115	-0,549	0,799
16	-0,825	2,026	-0,623	1,360	-2,304	-0,549	0,959
17	-0,825	2,026	-0,623	1,360	-1,498	-0,549	1,065
18	-0,825	2,026	-0,623	1,360	0,922	-0,549	1,118
19	-0,825	2,026	-0,623	1,360	1,728	-0,549	1,242
20	-0,825	2,026	-0,623	1,360	2,534	-0,549	1,295
21	-0,825	2,026	-0,623	1,360	3,341	-0,549	1,376
22	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	-1,329	-0,174
23	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	-0,809	-0,050
24	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	-0,290	-0,014
25	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	-0,030	0,060
26	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	0,230	0,304
27	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	0,490	0,375
28	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	0,750	0,605
29	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	1,010	0,746
30	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	1,529	0,863
31	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	2,049	0,923
32	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	2,309	0,994
33	0,735	-0,573	-0,623	-0,151	0,115	2,569	1,065
34	-1,605	0,541	1,558	-0,151	-0,691	1,270	-0,351
35	-1,605	0,541	1,558	-0,151	-0,691	1,789	-0,156
X _{орт.} , Y _{орт.}	-0,015	-0,005	0,005	0,004	-0,002	0,008	0,001

Содан кейін келесі формулалар бойынша жұптық корреляцияның таңдамалы коэффициенттерін анықтаймыз:

$$r_{YXj} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n Y_i X_{ij} \quad (3.12)$$

$$r_{XjXm} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n X_{ij} X_{im} \quad (3.13)$$

Алынған нәтижелер 3.7-кестеде келтірілген.

Кесте 3.7 - Жұптық корреляцияның таңдамалы коэффициенттері

Факторлар	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	Y
X ₁	1	-0,588	0,021	-0,301	-0,106	0,130	-0,126
X ₂	-0,588	1	-0,153	0,604	0,297	-0,188	0,445
X ₃	0,021	-0,153	1	-0,242	-0,392	-0,086	-0,730
X ₄	-0,301	0,604	-0,242	1	0,251	-0,085	0,664
X ₅	-0,106	0,297	-0,392	0,251	1	-0,033	0,427
X ₆	0,130	-0,188	-0,086	-0,085	-0,033	1	0,356

Регрессия коэффициенттерін $k = 6$ үшін анықтау:

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 \quad (3.14)$$

3.7-ші кестедегі мәліметтерді ескере отырып, $k = 6$ үшін құрастырылған сызықтық теңдеулер жүйесін шешейік:

$$\begin{cases} a_1 - 0,588a_2 + 0,021a_3 - 0,301a_4 - 0,106a_5 + 0,13a_6 = -0,126 \\ -0,588a_1 + a_2 - 0,153a_3 + 0,604a_4 + 0,297a_5 - 0,188a_6 = 0,445 \\ 0,021a_1 - 0,153a_2 + a_3 - 0,242a_4 - 0,392a_5 - 0,086a_6 = -0,73 \\ -0,301a_1 + 0,604a_2 - 0,242a_3 + a_4 + 0,251a_5 - 0,85a_6 = 0,664 \\ -0,106a_1 + 0,297a_2 - 0,392a_3 + 0,251a_4 + a_5 - 0,033a_6 = 0,427 \\ 0,13a_1 - 0,188a_2 - 0,086a_3 - 0,085a_4 - 0,033a_5 + a_6 = 0,356 \end{cases}$$

Крамер әдісі көмегімен a_j теңдеуінің коэффициенттерінің келесі мәндері анықталды:

$$a_1 = 0,095; a_2 = 0,189; a_3 = -0,532; a_4 = 0,465; a_5 = 0,069, a_6 = 0,375.$$

Осылайша, өлшемсіз регрессия теңдеуі келесідей жазылады:

$$Y = 0,095 \cdot X_1 + 0,189 \cdot X_2 - 0,532 \cdot X_3 + 0,465 \cdot X_4 + 0,069 \cdot X_5 + 0,375 \cdot X_6. \quad (3.15)$$

Натурал масштабтағы регрессия теңдеуіне көшейік, ол үшін b_i коэффициенттерін табамыз:

$$\begin{aligned} b_1 &= a_1 \cdot S_y / S_{x_1} = 0,095 \cdot 5,653 / 1,282 = 0,420 \\ b_2 &= a_2 \cdot S_y / S_{x_2} = 0,189 \cdot 5,653 / 2,694 = 0,396 \\ b_3 &= a_3 \cdot S_y / S_{x_3} = -0,532 \cdot 5,653 / 18,334 = -0,164 \\ b_4 &= a_4 \cdot S_y / S_{x_4} = 0,465 \cdot 5,653 / 0,132 = 19,843 \\ b_5 &= a_5 \cdot S_y / S_{x_5} = 0,069 \cdot 5,653 / 2,480 = -0,157 \\ b_6 &= a_6 \cdot S_y / S_{x_6} = 0,375 \cdot 5,653 / 0,77 = 2,758 \end{aligned}$$

$$b_0 = y_{iорт.} - \sum_{i=1}^n b_i x_{iорт.} \quad (3.16)$$

$$b_0 = 62,131 - 0,42 \cdot 67,057 - 0,396 \cdot 20,543 + 0,164 \cdot 11,429 - 19,843 \cdot 1,820 + \\ + 0,157 \cdot 41,714 - 2,758 \cdot 1,023 = -17,777$$

Табиғи масштабта регрессия теңдеуі келесі түрде болады:

$$\hat{y} = -17,777 + 0,420x_1 + 0,396x_2 - 0,164x_3 + 19,843x_4 + 0,157x_5 + 2,758x_6.$$

2. Модельдің сәйкестігін тексеру.

Фишер критерийі бойынша алынған теңдеудің сәйкестігін тексерейік:

$$F = S_y^2 / (f_1) / S_{\text{ост}}^2 (f_2) > F(\alpha, f_1, f_2) \quad (3.17)$$

S_y мәні 3.5-кестеден алынады да $S_y^2 = 31,953$ пен еркіндік дәрежелері санын $f_1 = n - 1 = 35 - 1 = 34$ табылады. $S_{\text{кал.}}^2$ анықтау үшін еркіндік дәрежелері санын $f_2 = n - 1 = 35 - 6 - 1 = 28$ анықтап, натурал масштабтағы регрессия теңдеуі бойынша \hat{y}_i мәні есептеледі және олардың айырмаларының квадраттары $(y_i - \hat{y})^2$ анықталады.

Осы айырмалардың квадраттарының қосындысын пайдаланып $S_{\text{кал.}}^2$ табамыз:

$$S_{\text{кал.}}^2 = (\sum (y_i - \hat{y})^2) / (n-1) = 2,170 \\ F = S_y^2 / S_{\text{кал.}}^2 = 31,953 / 2,170 = 14,727$$

Фишер критерийлерінің теориялық мәні [76] әдебиеттегі мәліметтерге сәйкес $\alpha = 0,01$; $f_1 = 34$; $f_2 = 28$ байланысты анықталды:

$$F_T(0,01;34;28) = 2,06 \quad (3.18)$$

$F > F_{1-0,01}$ болғандықтан модель $\alpha = 0,01$ маңыздылық деңгейі кезінде қажетті жуықтау сапасын қамтамасыз етеді.

3. Бірнеше корреляция коэффициентін анықтау және оның маңыздылығын бағалау.

Корреляция коэффициентін табу:

$$R = \sqrt{a_1 r_{YX_1} + a_k r_{YX_k}} = \sqrt{\frac{0,095 \cdot (-0,126) + 0,189 \cdot 0,445 + (-0,532) \cdot (-0,730) + \\ + 0,465 \cdot 0,664 + 0,069 \cdot 0,427 + 0,375 \cdot 0,356}{0,965}} =$$

Корреляция коэффициентінің маңыздылығын тексеру негізінде бірнеше нөлдік болжам $H_0: R = 0$ қатынасы бойынша орындалады:

$$F_R = [R^2 \cdot (n-1)] / [(1 - R^2) \cdot (l - 1)] < F(\alpha; f_1; f_2) \quad (3.19)$$

мұнда, l – талдау барысында ескерілетін белгілердің саны ($l = k + 1$); $f_1 = l - 1$; $f_2 = n - 1$.

$$F_R = 0,965^2 \cdot 28 / [(1 - 0,965^2) \cdot 6] = 64,059$$

Фишер критерийінің теориялық мәні [66] әдебиеттегі мәліметтерге сәйкес $\alpha = 0,01$, $f_1 = 6$, $f_2 = 28$ байланысты анықталды:

$$F_T(0,01;6;28) = 3,53$$

$F_R > F_T$ болғандықтан бірнеше корреляция коэффициенті маңызды.

1. Математикалық модель құрылды:

$$\hat{y} = -17,777 + 0,420x_1 + 0,396x_2 - 0,164x_3 + 19,843x_4 + 0,157x_5 + 2,758x_6.$$

мұнда y - кеннің үлесі бойынша марганец түсімі, %;

x_1 - тотықсыздандырғыш құрамындағы марганец мөлшері, %

x_2 - тотықсыздандырғыш құрамындағы кремний мөлшері, %

x_3 - ұнтақ кеннің үлесі, %;

x_4 - қож негізділігі, %.

x_5 - кен құрамындағы марганец мөлшері, %.

x_6 - алюминий сынықтарының шикіқұрам массасындағы үлесі, %.

2. Модель 0,01 маңыздылық дәрежесіндегі нысанға сәйкес келеді.

3. Бірнеше корреляциялы коэффициенті $R = 0,965$. Сызықтық байланыс маңызды. Корреляция коэффициентінің жеткілікті жоғары мәнге ие болуы және модельдің нысанға сәйкес келуі марганец кенінің химиялық құрамына және әртүрлі технологиялық параметрлерге байланысты марганецті бөліп алу дәрежесінің мәнін болжау үшін модельді пайдалануға мүмкіндік береді.

Алынған қорытпадағы марганецтің құрамына кендегі марганец пен темірдің мөлшері, сондай-ақ кеннің үлесі бойынша марганец түсімі үлкен әсер ететіндіктен, тәжірибелік мәліметтер негізінде кендегі марганец, темір құрамы (сәйкесінше x_1 және x_2) және марганец кеннен марганецті бөліп алу дәрежесі (x_3) алынған металдағы марганецтің химиялық құрамын (y) бірнеше корреляция әдісімен әсер етудің термодинамикалы-статистикалық моделі құрылды.

1. Регрессия теңдеуінің коэффициенттерін анықтау.

$k = 3$ үшін жалпы теңдеуді іздеу:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad (3.20)$$

Бастапқы статикалық деректерді $x_{орт.}$ және $y_{орт.}$, S_x ор. және S_y ор. 3.5-3.9 формулалар бойынша алдын-ала өңделеді және есептеледі:

Бастапқы статикалық деректерді алдын-ала өңдеу және есептеу нәтижелері 3.8-кестеде келтірілген. 3.10-3.11 формулалары бойынша есептелген нормаланған факторлардың мәндері 3.9-шы кестеде келтірілген.

Кесте 3.8 – Бастапқы статикалық және есептік деректер

№ Тәжірибе	x ₁ ,% кендегі Mn	(x _{1i} -x ₁) ²	x ₂ ,% кендегі Fe	(x _{2i} -x ₂) ²	x ₃ ,%	(x _{3i} -x ₃) ²	y, %	(y _i -y _{opt.}) ²	y`	(y _i -y`) ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	50	6,06	5	1,160	66,45	0,461	86.55	2,71	86,24	0,095
2	50	6,06	5	1,160	67,55	3,166	85.55	0,42	86,82	1,624
3	50	6,06	5	1,160	67,15	1,902	87.16	5,09	86,61	0,3
4	50	6,06	5	1,160	65,55	0,049	88.03	9,77	85,76	5,130
5	50	6,06	5	1,160	65,15	0,385	86.95	4,18	85,55	1,951
6	50	6,06	5	1,160	65,15	0,385	85.23	0,11	85,02	0,043
7	50	6,06	5	1,160	64,15	2,627	84.95	0	85,41	0,212
8	50	6,06	5	1,160	64,88	0,793	82.65	5,08	85,54	8.367
9	50	6,06	5	1,160	65,13	0,411	84.8	0,01	84,86	0,043
10	50	6,06	5	1,160	64,12	2,725	83.99	0,84	84,33	0,765
11	50	6,06	5	1,160	63,85	3,689	83.85	1,11	85,53	0,23
12	50	6,06	5	1,160	62,84	8,589	83.04	3,48	81,88	6,21
13	46	2,37	9	8,544	65,11	0,437	80.56	18,87	81,52	1,739
14	46	2,37	9	8,544	64,55	1,490	81.56	11,18	81,04	0,002
15	46	2,37	9	8,544	63,87	3,613	80.54	19,05	80,43	0,252
16	46	2,37	9	8,544	62,97	7,844	81.85	9,33	81,88	2,009
17	46	2,37	9	8,544	61,82	15,609	82.15	7,59	81,89	0,074
18	46	2,37	9	8,544	64,55	1,490	81.98	8,55	86,61	0,008
19	50	6,06	5	1,160	64,57	1,442	87.66	7,59	86,77	1,097
20	50	6,06	5	1,160	67,15	2,82	86.22	1,73	87,41	0,304
21	50	6,06	5	1,160	67,45	8,348	88.15	10,53	87,83	0,544

3.8-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
22	50	6,06	5	1,160	68,66	13,537	86.55	2,71	87,59	1,640
23	50	6,06	5	1,160	69,45	10,363	87.15	5,04	87,14	0,191
24	50	6,06	5	1,160	68,99	5,66	88.25	11,19	87,30	1,227
25	50	6,06	5	1,160	68,15	7,178	88.45	12,57	87,88	1,320
26	50	6,06	5	1,160	68,45	14,283	88.69	14,33	87,95	0,650
27	50	6,06	5	1,160	69,55	15,282	87.85	8,68	86,83	0,011
28	50	6,06	5	1,160	69,68	3,201	86.99	4,35	87,37	0,026
29	50	6,06	5	1,160	67,56	7,892	87.88	8,85	87,30	0,260
30	50	6,06	5	1,160	68,58	7,178	88.11	10,28	83,80	0,654
31	42	30,67	7	0,852	68,45	0,023	82.45	6,02	83,40	1,832
32	42	30,67	7	0,852	65,62	0,848	82.66	5,04	84,34	0,541
33	42	30,67	7	0,852	64,85	0,756	83.04	3,48	82,87	1,7
34	42	30,67	7	0,852	66,64	3,689	82.01	8,38	82,23	0,733
35	42	30,67	7	0,852	63,85	9,739	84.55	0,13	82,65	5,38
36	42	30,67	7	0,852	62,65	5,386	83.95	0,91	82,88	1,679
37	42	30,67	7	0,852	63,45	3,575	82.75	4,64	82,82	0,017
38	42	30,67	7	0,852	63,88	4,003	82.96	3,78	82,93	0,019
39	42	30,67	7	0,852	63,77	3,243	83.56	1,81	86,77	0,397
Σ	1854	435,69	237	86,77	2565,06	185,63	86.55	239,4	3311,3	0,043
$X_{орт.}, Y_{орт.}$	47,54	-	6,08	-	65,77	-	3311,27	-	-	49,28
S_x, S_y	-	3,39	-	1,51	-	2,21	-	2,51	-	-

Кесте 3.9 – Нормаланған факторлардың мәндері

№ тәжірбие	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	0,727	-0,713	0,307	0,656
2	0,727	-0,713	0,805	0,257
3	0,727	-0,713	0,624	0,899
4	0,727	-0,713	-0,100	1,245
5	0,727	-0,713	-0,281	0,815
6	0,727	-0,713	-0,733	0,130
7	0,727	-0,713	-0,403	0,018
8	0,727	-0,713	-0,290	-0,898
9	0,727	-0,713	-0,747	-0,042
10	0,727	-0,713	-0,869	-0,364
11	0,727	-0,713	-1,326	-0,420
12	0,727	-0,713	-0,299	-0,743
13	- 0,454	1,934	-0,552	-1,731
14	- 0,454	1,934	-0,860	-1,332
15	- 0,454	1,934	-1,267	-1,739
16	- 0,454	1,934	-1,788	-1,217
17	- 0,454	1,934	-0,552	-1,097
18	- 0,454	1,934	-0,543	-1,165
19	0,727	-0,713	0,624	1,098
20	0,727	-0,713	0,760	0,524
21	0,727	-0,713	1,307	1,293
22	0,727	-0,713	1,665	0,656
23	0,727	-0,713	1,457	0,895
24	0,727	-0,713	1,076	1,333
25	0,727	-0,713	1,212	1,413
26	0,727	-0,713	1,710	1,508
27	0,727	-0,713	1,769	1,174
28	0,727	-0,713	0,810	0,831
29	0,727	-0,713	1,271	1,186
30	0,727	-0,713	1,212	1,277
31	-1,636	0,611	-0,068	-0,978
32	-1,636	0,611	-0,417	-0,894
33	-1,636	0,611	0,393	-0,743
34	-1,636	0,611	-0,869	-1,153
35	-1,636	0,611	-1,412	-0,141
36	-1,636	0,611	-1,050	-0,380
37	-1,636	0,611	-0,855	-0,858
38	-1,636	0,611	-0,905	-0,775
39	-1,636	0,611	-0,815	-0,536
Σ	0,001	-0,009	0,001	0,002

Содан кейін келесі 3.11-3.12-ші формулалар бойынша жұптық корреляцияның таңдамалы коэффициенттері анықталады. Алынған нәтижелер 3.10-шы кестеде келтірілген.

Кесте 3.10 - Жұптық корреляцияның таңдамалы коэффициенттері

Факторлар	X ₁	X ₂	X ₃	Y
X ₁	1,000	-0,703	0,546	0,659
X ₂	-0,703	1,000	-0,596	-0,802
X ₃	0,546	-0,596	1,000	0,788

регрессия коэффициенттерін $k = 3$ үшін анықтау:

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (3.21)$$

3.10-шы кестедегі мәліметтерді ескере отырып, $k = 3$ үшін құрастырылған сызықтық теңдеулер жүйесін шешейік:

$$\begin{cases} a_1 - 0,703a_2 + 0,546a_3 = 0,659 \\ -0,703a_1 + a_2 - 0,596a_3 = -0,802 \\ 0,546a_1 - 0,596a_2 + a_3 = 0,788 \end{cases}$$

Крамер әдісі көмегімен a_j теңдеуінің коэффициенттерінің келесі мәндері анықталды:

$$a_1 = 0,072, a_2 = -0,743, a_3 = 0,466.$$

Осылайша, өлшемсіз регрессия теңдеуі келесідей жазылады:

$$Y = 0,072 \cdot X_1 - 0,473 \cdot X_2 + 0,466 \cdot X_3. \quad (3.22)$$

Натурал масштабтағы регрессия теңдеуіне көшейік, ол үшін b_i коэффициенттерін табамыз:

$$\begin{aligned} b_1 &= a_1 \cdot S_y / S_{x_1} = 0,072 \cdot 2,51 / 3,39 = 0,053 \\ b_2 &= a_2 \cdot S_y / S_{x_2} = -0,473 \cdot 2,51 / 1,51 = -0,786 \\ b_3 &= a_3 \cdot S_y / S_{x_3} = -0,532 \cdot 2,51 / 2,21 = 0,530 \end{aligned}$$

3.16-шы формулаға сүйене отырып, b_0 табамыз.

$$b_0 = 84,90 - 0,053 \cdot 47,54 - 0,786 \cdot 6,08 + 0,530 \cdot 65,77 = -17,777$$

Табиғи масштабта регрессия теңдеуі келесі түрде болады:

$$\hat{y} = 52,31 + 0,053x_1 - 0,786x_2 - 0,530x_3. \quad (3.23)$$

2. Модельдің сәйкестігін тексеру.

Фишер критерийі бойынша алынған 3.17-шы формула бойынша теңдеудің сәйкестігін анықталды.

S_y мәні 3.8-ші кестеден алынады да $S_y^2 = 6,3$ пен еркіндік дәрежелері санын $f_1 = n - 1 = 39 - 1 = 38$ табылады. $S_{\text{кал.}}^2$ анықтау үшін еркіндік дәрежелері санын $f_2 = n - 1 = 39 - 3 - 1 = 35$ анықтап, натурал масштабтағы регрессия теңдеуі бойынша \hat{y}_i мәні есептеледі және олардың айырмаларының квадраттары $(y_i - \hat{y})^2$ анықталады.

Осы айырмалардың квадраттарының қосындысын пайдаланып $S_{\text{кал.}}^2$ табамыз:

$$S_{\text{кал.}}^2 = (\sum(y_i - \hat{y})^2)/(n-1) = 1,297$$
$$F = S_y^2/S_{\text{кал.}}^2 = 6,30/1,297 = 4,858$$

Фишер критерийінің теориялық мәні мәліметтеріне сәйкес $\alpha=0,01$; $f_1=38$; $f_2=35$ байланысты анықталады:

$$F_T(0,01;38;35)=2,01 \quad (3.24)$$

$F > F_{1-0,01}$ болғандықтан модель $\alpha = 0,01$ маңыздылық деңгейі кезінде қажетті жуықтау сапасын қамтамасыз етеді.

3. Бірнеше корреляция коэффициентін анықтау және оның маңыздылығын бағалау.

Корреляция коэффициентін табу:

$$R = \sqrt{a_1 r_{YX_1} + a_k r_{YX_k}} =$$
$$= \sqrt{0,053 \cdot 0,659 - 0,786 \cdot (-0,802) + 0,530 \cdot 0,788} = 0,891$$

Корреляция коэффициентінің маңыздылығын тексеру негізінде бірнеше нөлдік болжам $H_0: R = 0$ қатынасы бойынша орындалады:

$$F_R = [R^2 \cdot (n-1)] / [(1-R^2) \cdot (l-1)] < F(\alpha, f_1, f_2) \quad (3.25)$$

мұнда, l – талдау барысында ескерілетін белгілердің саны ($l = k + 1$);
 $f_1 = l - 1$; $f_2 = n - l$.

$$F_R = 0,891^2 \cdot 35 / [(1-0,891^2) \cdot 3] = 45,02$$

Фишер критерийінің теориялық мәні мәліметтеріне сәйкес $\alpha=0,01$, $f_1=3$, $f_2=26$ байланысты анықталады:

$$F_T(0,01;3;26) = 4,51 \quad (3.26)$$

$F_R > F_T$ болғандықтан, еселік корреляция коэффициенті маңызды.

Қорытынды

1. Математикалық модель құрылды:

$$\hat{y} = 52,307 + 0,053x_1 - 0,786x_2 + 0,530x_3.$$

мұндағы y – металдағы марганецтің құрамы, %;

x_1 – кендегі марганец мөлшері, %;

x_2 – кендегі темір мөлшері, %;

x_3 – кеннің үлесі бойынша марганец түсімі, %;

2. Модель 0,01 маңыздылық дәрежесіндегі нысанға сәйкес келеді.

3. Бірнеше корреляциялы коэффициенті $R=0,891$. Байланыстың сызықтығы маңызды. Корреляция коэффициентінің жоғары мәні және модельдің объектіге сәйкестігі модельді алынған қорытпадағы марганец құрамын болжау үшін пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл кендегі марганец, темір және кеннің үлесі бойынша марганец түсіміне байланысты.

3-бөлім бойынша қорытынды

Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу HSC Chemistry 10.0 бағдарламалық кешенін пайдалану арқылы іске асырылды. Гиббс энергиясының минимум принципіне негізделген көп компонентті жүйеде тепе-теңдікті есептеу әдісіне сүйене отырып, Equilibrium Compositions модулі арқылы Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O жүйесінде толық термодинамикалық модельдеу жүргізілді.

Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O жүйесі бойынша толық термодинамикалық модельдеу нәтижесінде 69 фаза тандап алынды. Оның ішінде 41 тотық фазасы, сондай-ақ 28 металл фазасы. Металл фазалары интерметаллидтерден, карбидтерден және таза металдардан тұрады. Нәтижесінде орта көміртекті ферромарганецтің стандартты маркаларын балқытуға оңтайлы шикіқұрам материалдары марганец кені – 110 кг, силикомарганец – 100 кг, әк – 90 кг, алюминий – 5,0 кг анықталды.

Көп факторлы математикалық модельдеу арқылы марганец түсімі мен металдағы марганец мөлшерін анықтайтын тәуелділік өрнектері жасалды. Бірінші математикалық модельде марганец кені мен тотықсыздандырғыш құрамындағы марганец пен темір мөлшері, қождың негізділігіне, шикіқұрам массасындағы алюминий сынықтарының үлесі және «ұнтақ» (-5,0 мм ірілікте) кеннің үлесі бойынша марганец түсімін анықтауға мүмкіндік берді. Екінші математикалық модельде кендегі марганец пен темірдің құрамына және кеннен марганецтің түсіміне байланысты алынған металдағы марганецтің мөлшерін болжайды. Алынған модельдер корреляция коэффициенттерінің жоғары мәндерімен сипатталады ($R = 0,965$ және $0,891$).

Жоғарыда келтірілген зерттеу нәтижелері электрдоғалы орта көміртекті ферромарганецті зертханалық, ірі-зертханалық және өнеркәсіптік деңгейде өндіру үшін қолданылатын технологияны, шикіқұрам компоненттерінің құрамын және олардың фракциялық құрамын анықтауға мүмкіндік берді.

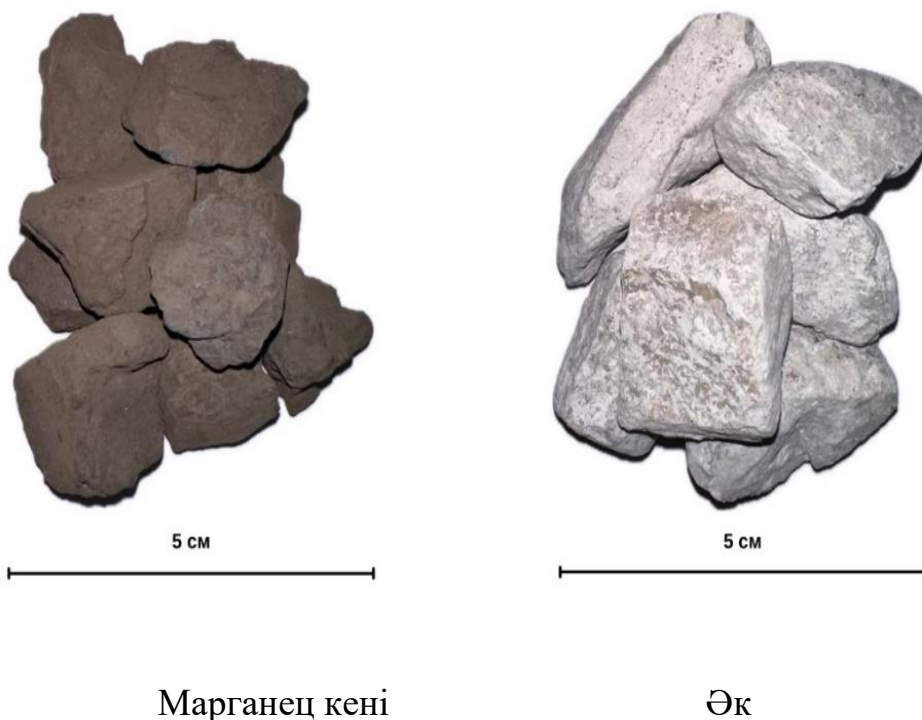
4 ӨНДІРІСТІК ЖАҒДАЙДА ОРТА КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦТІ БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

4.1 Орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша зертханалық модельдеу

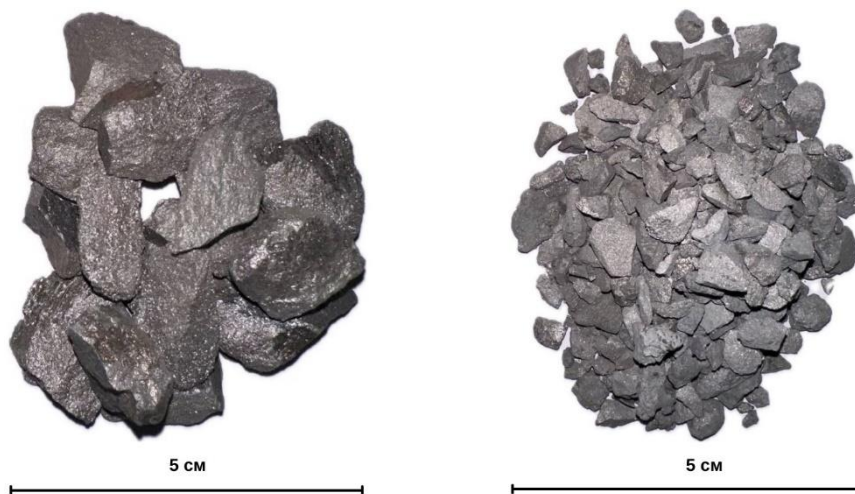
Орта көміртекті ферромарганецті тәжірибелік модельдеу үшін термодинамикалық және математикалық жоспарлау нәтижесінде шикіқұрам материалдарының тізімі алынды. Бастапқы шикіқұрам материалдарының тізімі 4.1-ші кестеде және 4.1, 4.2-ші суретте келтірілген. Шикіқұрам материалдары ретінде Жезді кен орнының марганец кені, ферросиликомарганец, төмен фосфорлы қайта өнделетін силикомарганец және әк тандалынды.

Кесте 4.1 – Бастапқы шикіқұрам материалдарының химиялық құрамы, %

Материалдар	Mn _{ж.}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	P ₂ O ₅	S
Марганец кені	48,23	12,48	2,76	3,45	1,47	1,28	0,03	0,01
Әк	-	1	0,18	0,62	1,14	90	0,005	0,005
Ферросиликомарганец	Mn		Si		Fe	S	P	C
	60-65		16-18		7-10	0,05	0,05	1,0-2,5
Төмен фосфорлы қайта өнделетін силикомарганец	65-68		20-23		5-8	0,03	0,01	1,0-2,0



Сурет 4.1 - Шикіқұрам материалдары



Ферросиликомарганец

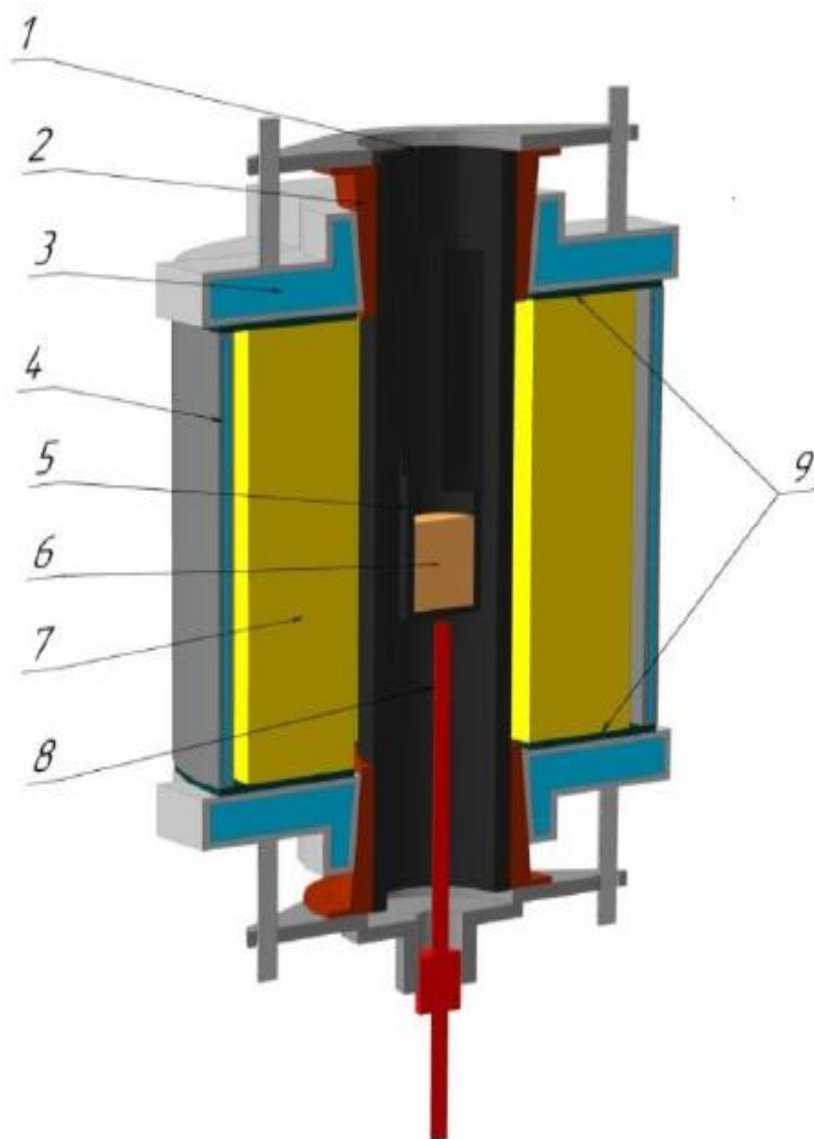
Төмен фосфорлы қайта өңделетін
силикомарганец

Сурет 4.2 – Тотықсыздандырғыштар

Жоғары температуралы Тамман кедергі пешінде орта көміректі ферромарганецті балқыту үшін тәжірибелік зерттеулер жүргізілді (сурет 4.3). Тамман пеші - металлургиялық үрдістерді модельдеуге арналған. Қондырғының жұмыс аумағы графит түтіктен және температураны реттеу үшін тиристорлық кернеу реттегіштің көмегімен жүзеге асыралады. Тиристорлық кернеу реттегіші қуат трансформаторының бастапқы орамына қосылғандықтан төмен кернеуде (0,5-тен 15В интервалында) шығыс шиналарында бірнеше мың ампер ток алуға мүмкіншілік бар. Тамман пешіндегі температураны корунд қаптамадағы вольфрам-рений ВР-5/20 термопарасымен өлшенді [77, 78].

Тамман пешінде зертханалық балқыту кезінде корундтық тигельге шикіқұрам материалдарының екі нұсқасы (1 - марганец кені, ферросиликомарганец, төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец және әк, 2 - марганец кені, төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец және әк) тиелді. Барлық тәжірибелік балқымаларда көмір түтігі қақпағының қабырғалары арқылы 930°C температураға жеткенде газдың бөлінуі байқалды. Шикіқұрам материалдарының балқуының 1200°C температурада басталуы байқалады. Сұйық балқыманың пайда болуы 1400 °C температурада басталады және вольфрам-молибденді сымымен жасалған қораппен анықталды. 1600°C температурада тигельде қорытпа мен қождың түзілуі толық түзілді. Бұл температурада қорытпа 30-45 минут ұсталды және пеш салқындатылып тұрды. Температура ~ 200°C температураға дейін төмендетілген кезде алундты тигель түсіріледі. Металл мен қожды бөлме температурасында салқындатылғаннан

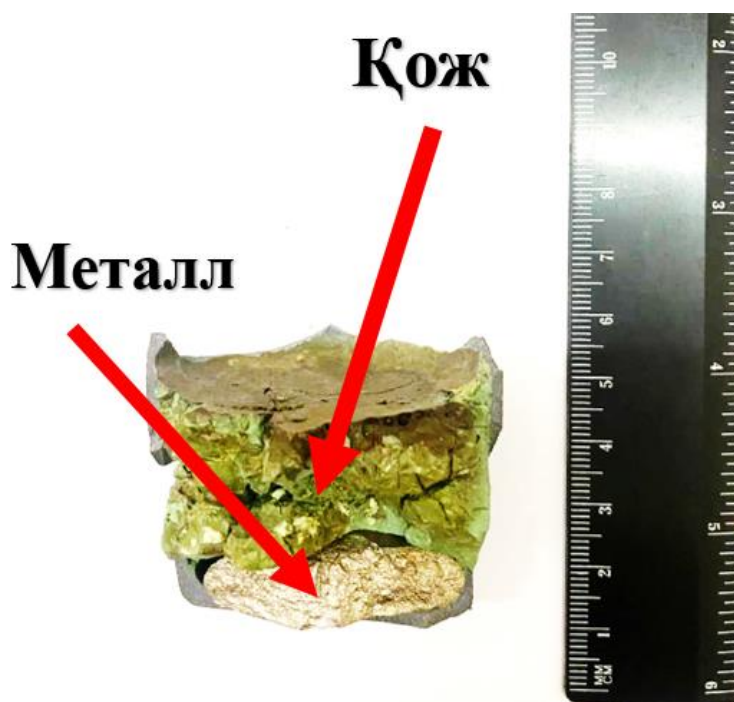
кейін сұрыпталады. 4.5-ші суретте тигельдің көлденең қимасы көрсетілген (металл және қож).



1 - көміртекті графит түтігі; 2 - мыс қысқыш сақина; 3 - сумен салқындатылатын қақпақ; 4 - сумен салқындатылатын қаптама; 5 - алундты стакан; 6 – зерттелетін шикіқұрам; 7 - футеровка; 8 - термопара; 9 - төменгі электрод.

Сурет 4.3 – Жоғары температуралы Тамман пеші (қимасы)

Ферросиликомарганец және қайта өңделетін төмен фосфорлы силикомарганец арқылы орта көміртекі ферромарганец балқыту нәтижелері 4.2 - кестеде келтірілді. Оңтайлы мәнді табу үшін тотықсыздандырғыштың мөлшері әр түрлі болды. Зертханалық тәжірибелер барысында тигелдегі тотықсыздандыру процесі барлық шикіқұрам толық еруімен және металл мен қождың нақты бөлінуімен өте қарқынды жүрді.



Сурет 4.4 – Тигелдің көлденең қимасы (Металл мен қож)

Кесте 4.3 – Металл мен қождың химиялық құрамы, %

Тотықсыздандырғыш	№	Металл, %					Қож, %			
		Mn	Fe	Si	C	P	MnO	SiO ₂	CaO	MgO
Ферросилико-марганец	1	83,54	11,36	2,13	0,95	0,161	17,90	21,45	36,92	7,94
	2	84,81	10,4	0,6	1,46	0,137	11,79	22,19	36,92	10,83
	3	84,39	11,46	0,23	1,66	0,16	10,92	20,51	38,67	9,03
	4	84,81	12,23	0,055	1,68	0,155	12,22	19,02	40,43	10,11
	5	83,54	11,05	0,02	1,68	0,102	12,25	18,95	39,84	9,89
	6	84,05	12,01	0,02	1,70	0,105	12,23	18,97	39,89	10,05
	орт.	84,40	11,4	0,8	1,4	0,2	13,2	20,8	38,2	9,5
Қайта өңделетін төмен фосфорлы силикомарганец	7	86,38	10,30	0,21	2,0	0,06	19,89	13,94	23,35	13,25
	8	86,45	10,25	0,35	2,0	0,07	21,05	13,80	25,50	13,31
	9	86,51	10,18	0,34	2,0	0,08	20,50	13,85	24,51	13,21
	10	88,14	9,97	0,03	1,5	0,07	20,06	14,00	23,85	13,35
	11	88,44	10	0,04	1,88	0,08	20,05	14,10	24,56	13,45
	12	88,35	9,98	0,04	1,78	0,09	20,10	14,50	24,75	14,05
	орт.	87,38	10,11	0,17	1,86	0,08	20,27	14,03	24,42	13,44

Өздеріңіз білетіндей, қождың химиялық құрамы әсіресе оның негізділігіне (CaO/SiO₂) бірқатар технологиялық көрсеткіштерге байланысты. 4.3-ші кестеде көрсетілгендей, қож негізділігі 1,6-1,8 аралығында болады. Негізділікті таңдау көбінесе қождың технологиясын анықтайды. Біздің жағдайда басты мақсат процестің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін арттыру міндеті болды. Жетекші элементті қорытпаға алу дәрежесі, қождың технологиялылығы мен еселігі. Марганецті кеннен қорытпаға алу дәрежесі $\geq 63\%$ құрады және қождың өздігінен шашырамауына әкелді. Металл мен қождың айқын бөлінуімен сипатталды. Зертханалық тәжірибелік балқымалардың қождары ыдырау

белгілерінсіз тас тәрізді күйде алынды. Жоғарыда келтірілген оңтайлы мәліметтер 1,6-1,8 негізділік мәндеріне сәйкес келеді [39, p. 105].

Қорыта айтқанда, орта көміртекті ферромарганецті балқытудың қалыпты үрдісі жүру үшін электрдоғалы пешінде жүзеге асырылатын технологиялық режимге оңтайлы талаптар қойылды. Тәжірибелік модельдеу бойынша алынған мәліметтер негізінде зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізуге мүмкіндік береді.

4.2 Қуаттылығы 100 кВА кендітермиялық пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту

Термодинамикалық, математикалық және тәжірибелік зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, ірі зертханалық тәжірибелер Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының өндірістік базасында жүргізілді.

Өндірістің технико-экономикалық көрсеткіштері, сондай-ақ тазартылған ферромарганец сапасы көбінесе қолданылатын шикіқұрам материалдарының түрімен және балқыту қондырғысының электрлік параметрлерімен анықталады. Осылайша, қолданылатын тотықсыздандырғыш түрінің және шикіқұрам компоненттерінің ұтымды арақатынасының, ілмектер мен электр режимдерінің санының марганец пен кремнийдің құрамы бойынша орта көміртекті ферромарганецтің сапалық сипаттамаларына, электр энергиясының меншікті шығынына және техникалық-экономикалық көрсеткіштерге әсерін анықтау қажеттілігі туындайды.

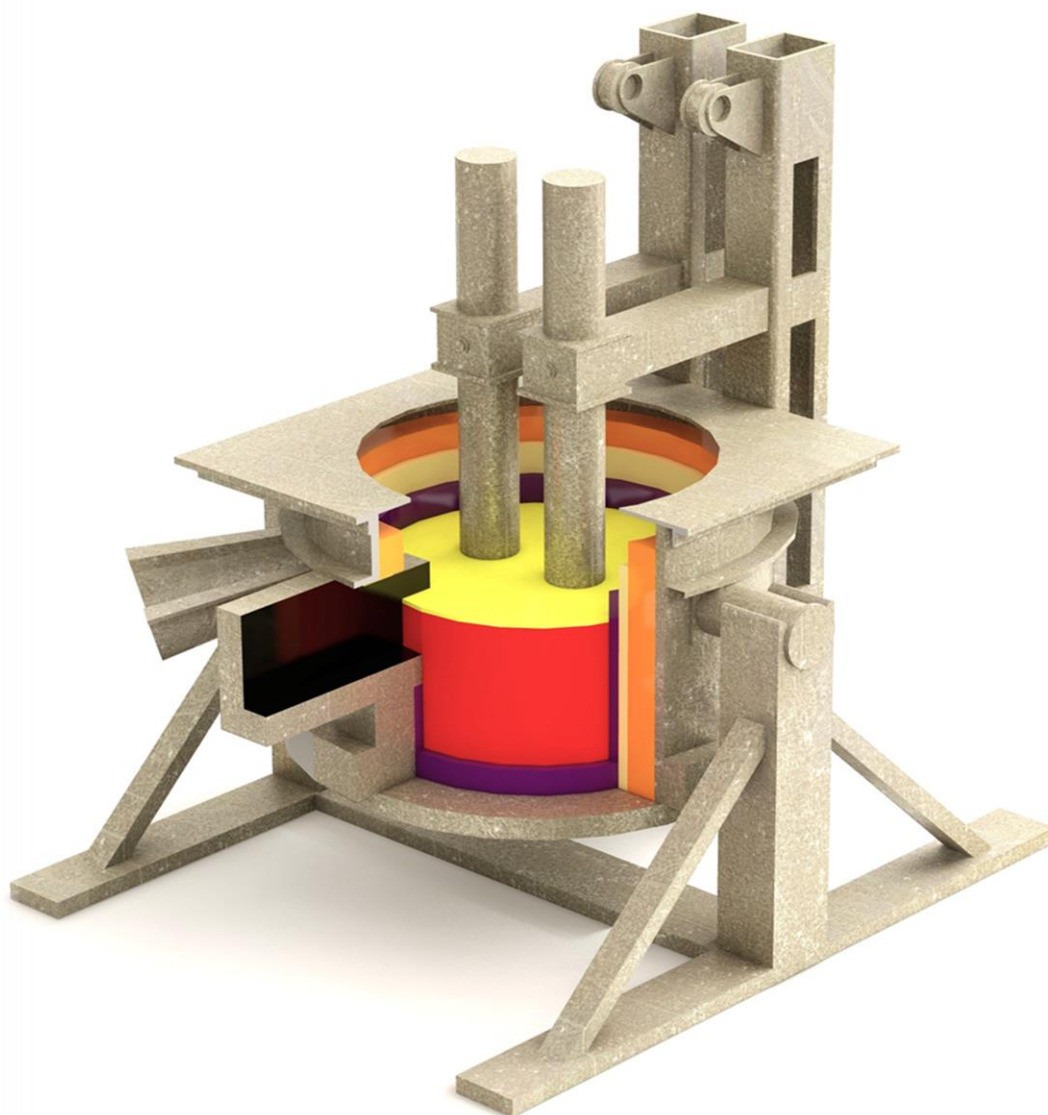
Жезді марганец кенін, ферросиликомарганецтің ұнтағын (SiMn17), қайта өңделетін силикомарганец (SiMn20), төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец, алюмосиликомарганец (АМС), алюминий сынықтары және әк қолдана отырып, қуаттылығы 100 кВА тазарту пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша ірі-зертханалық сынақтар жүргізілді. Шикіқұрам материалдарының химиялық құрамы 4.1-ші кестеде және 4.4-ші кестеде келтірілген. Электрдоғалық пешіне бірінші 8 сағаттай қыздыру процесі кокс ұнтағы арқылы жүргізілді (сурет 4.5). Қыздыру процесі аяқталғаннан кейін кокс ұнтақтары шығарылып, негізгі шикіқұрам материалдары тиелді. Трансформатордың жұмыс кернеуі 49 В. Тазарту пеші МП-95 маркалы магнезиттік отқа төзімді кірпіштермен қапталған, буындарды магнезит ұнтағымен толтырған. Диаметрі 100 мм болатын екі графиттелген электродтармен жабдықталған. Электрдоғалық пешінің қимасы 4.5-ші суретте келтірілген.

Кесте 4.4 – Тотықсыздандырғыштардың химиялық құрамы, %

Материалдар	Mn	Si	Al	C	P	Fe
1	2	3	4	5	6	7
Ферросиликомарганец (SiMn17)	60-65	16-18	-	1,0-2,5	0,07	қалғ.

4.4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7
Қайта өңделетін силикомарганец (SiMn20)	60-67	20-22	-	1,0-2,0	0,05	қалғ.
Төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец	65-68	20-23	-	1,0-2,0	0,01	қалғ.
Алюмосиликомарганец (АМС)	50-55	27-30	7-9	0,5-1,0	0,03	қалғ.
Алюминий сынықтары	-	-	99	-	-	қалғ.



Сурет 4.5 – Трансформатор қуаттылығы 100 кВА электрдоғалы пешінің қимасы

- Балқыту процесі келесідей нұсқаларда шикіқұрам материалдары берілді:
- марганец кені, ферросиликомарганец (SiMn17) және әк;
 - марганец кені, қайта өңделетін силикомарганец (SiMn20) және әк;

- марганец кені, қайта өнделетін төмен фосфорлы силикомарганец, алюминий сынықтары және әк;

- марганец кені, алюмосиликомарганец (АМС) және әк.

Жоғарыда аталған шикіқұрам материалдары периодты тиеу арқылы (пешке тиелетін шикіқұрам материалдарының бір колошасының массасы 100 кг болды) үздіксіз жүргізілді, әр екі сағат сайын болат шыбықпен шойын құймаларға металл шығарылды, металл пештен белсенді түрде шықты, бір шығарылымда металдың салмағы 30-дан 45 кг-ға дейін болды. Балқыманың ұзақтығы 100-120 минут. Ток күші 100-120 А. Металл мен қож пештен қызып шықты, қож белсенді болды. Металл мен қождың шығару көрінісі 4.6 (ә) суретте келтірілген [79].

Пеш жұмысының жалпы көрсеткіштері балқыту процесінің тұрақтылығымен сипатталды, мұны тұрақты ток жүктемесі және металдың уақтылы шығарылуымен сипатталады. Әр шығарылымнан кейін алынған металл мен қож өлшеніп, химиялық талдауға сынамалар алынды (кесте 4.5). Ірі-зертханалық сынақтардың нәтижелеріне сүйене отырып, трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А пешінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту көрсеткіштері 4.6-ші кестеде келтірілді.



а)



ә)

а) Пешті қыздыру сәті; ә) металл мен қожды пештен шығару сәті.

Сурет 4.6 – Электрдоғалы пешін қыздыру мен металл мен қожды шығарудың көрінісі

Кесте 4.5 – Метал мен қождың химиялық құрамы, %

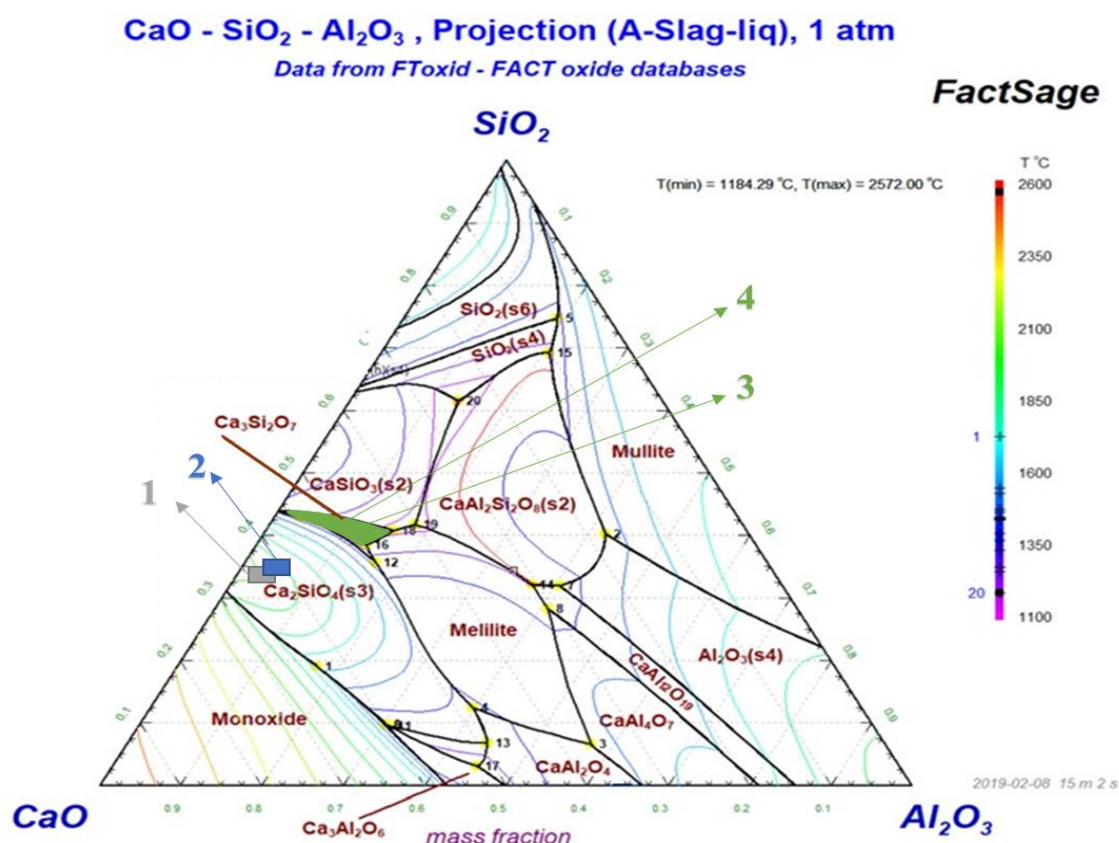
нұсқа	№	Металдың химиялық құрамы, %						Қождың химиялық құрамы, %				
		Mn	Si	C	P	S	Fe	MnO	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂
1	1	81,23	0,25	1,81	0,15	0,06	13,14	11,7	39,65	2,55	10,15	20,35
	2	82,85	0,23	1,77	0,05	0,05	13,25	11,3	39,25	2,45	9,93	20,45
	3	82,58	0,22	1,64	0,10	0,06	11,85	10,9	38,66	2,35	8,25	20,55
	4	81,48	0,22	1,61	0,17	0,05	10,05	10,65	37,85	2,25	8,45	20,55
	5	83,01	0,22	1,50	0,03	0,05	9,01	10,05	37,95	2,15	8,35	20,65
	Орт.	82,39	0,23	1,66	0,10	0,05	11,46	10,92	38,67	2,36	9,03	20,51
2	1	86,66	0,37	2,0	0,1	0,05	10,38	20,08	34,95	2,80	13,75	18,81
	2	86,35	0,36	1,9	0,08	0,05	10,31	20,07	34,91	2,79	13,58	18,76
	3	86,25	0,35	1,88	0,08	0,06	10,18	20,06	34,86	2,78	13,41	18,81
	4	86,35	0,33	1,85	0,07	0,05	10,05	20,05	34,75	2,75	13,25	18,76
	5	86,29	0,31	1,78	0,06	0,06	10,02	20,05	34,81	2,65	13,06	18,66
	Орт.	86,38	0,34	1,88	0,08	0,05	10,18	20,06	34,86	2,75	13,41	18,76
3	1	87,98	0,02	1,7	0,06	0,05	10,05	15,75	40,85	8,81	10,65	21,05
	2	88,15	0,04	1,5	0,04	0,03	9,99	15,65	40,75	8,84	10,65	20,95
	3	88,65	0,03	1,7	0,07	0,04	10,01	14,95	40,71	8,45	10,56	20,94
	4	88,11	0,03	1,5	0,03	0,02	9,89	14,50	40,68	8,35	10,53	20,90
	5	87,79	0,03	1,6	0,05	0,05	9,89	14,35	40,75	8,15	10,51	20,89
	Орт.	88,14	0,03	1,6	0,05	0,03	9,97	15,04	40,75	8,50	10,58	20,98
4	1	87,85	1,79	0,51	0,04	0,07	10,25	9,21	41,65	8,1	-	25,35
	2	87,35	1,68	0,49	0,06	0,06	10,20	9,05	41,55	7,95	-	25,31
	3	87,28	1,63	0,38	0,05	0,05	10,15	9,24	41,36	8,05	-	25,15
	4	87,15	1,61	0,36	0,07	0,05	10,05	9,05	41,16	7,89	-	25,09
	5	87,05	1,60	0,38	0,05	0,03	10,07	9,01	41,05	7,89	-	25,01
	Орт.	87,34	1,66	0,42	0,05	0,05	10,14	9,10	41,35	7,98	-	25,18

Кесте 4.6 – Трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А пешінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту көрсеткіштері

Материалдар шығыны, кг	SiMn17	SiMn20	SiMn + Al	АМС
1	2	3	4	5
Марганец кені	111	150	150	296
SiMn17	100	-	-	-
SiMn20	-	100	-	-
SiMn	-	-	100	-
Al	-	-	5	-
АМС	-	-	-	100
Әк	94	127	127	127
Металдың химиялық құрамы, %				
Mn	82,39	86,38	88,14	87,34
Si	0,23	0,34	0,03	1,66
Fe	11,46	10,18	9,97	10,14
C	1,66	1,88	1,6	0,42

4.6-кестенің жалғасы

	1	2	3	4	5
P		0,10	0,05	0,05	0,05
S		0,05	0,05	0,03	0,05
Бөліп алу дәрежесі, Mn		40-60	55-62	65-69	55-59
Металдың салмағы, кг		105	130	150	145
Қождың химиялық құрамы, %					
MnO		10,92	20,06	15,04	9,10
CaO		38,67	34,86	40,75	41,35
MgO		9,03	13,41	10,58	-
SiO ₂		20,51	18,76	20,98	25,18
Al ₂ O ₃		2,36	2,75	8,5	7,98
Қож негізділігі		1,8-1,9	1,8-1,9	1,8-1,9	1,5-1,7
Қождың салмағы, кг		175	215	205	305



1 – қож (марганец кені, ферросиликомарганец (SiMn17) және әк); 2 – қож (марганец кені, қайта өңделетін силикомарганец (SiMn20) және әк); 3 – (марганец кені, қайта өңделетін төмен фосфорлы силикомарганец, алюминий сынықтары және әк); 4 – қож (марганец кені, алюмосиликомарганец (АМС) және әк).

Сурет 4.7 – CaO-SiO₂-Al₂O₃ жүйесінің үштік фазалық диаграммасы (онлайн нұсқада)

Қож құрамын талдау. Ірі-зертханалық нәтижелерді талдау мақсатында әр нұсқадан орташаланған қождың химиялық құрамы алынып, оны фазалық диаграмма бойынша талдау FactSage 8.0 онлайн версиясы арқылы жүргізілді (сурет 4.7). Зерттеу бойынша алғашқы екі нұсқада қождар өздігінен шашырайды және бұл екі кальцийлі силикаттың түзілуімен сипатталады. Зерттеулерде [36, с.85] бұл қождың өздігінен шашырайтыны және геленит фазасында қождың шашылуы мен тұтқырлығы өзінің практикалық құндылығын берді және оны балқытуға болады деп тұжырымға келген.

Орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша жүргізілген сынақтардың нәтижесінде келесідей қорытынды жасауға болады [80-82]:

- төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец пен алюминий сынықтарын қолдану арқылы FeMn80C20LP және FeMn80C20 маркаларын балқытуға қол жеткізілді.

- технологияның негізгі электрлік параметрлері ток күші 110-130 А.

- марганец қождары екі кальций силикаты (Ca_2SiO_4); геленит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) және манганозит (MnO) түрінде ұсынылған;

Осылайша, ірі-зертханалық жағдайларда Жезді марганец кені мен әр түрлі тотықсыздандырғыштарды қолдану арқылы металлургиялық бағалау үшін қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы тазарту пешінде сынақтар жүргізіліп, 5 тоннадан астам тәжірибелік партия шығарылды.

Ірі-зертханалық сынақтардың оңтайлы нәтижелері мен техника-экономикалық көрсеткіштерін ескере отырып, трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы пешінде «Әр түрлі тотықсыздандырғыштар қолдану арқылы орта көміртекті ферромарганец балқыту» бойынша сынақ актісін және технологиялық регламентті әзірлеуге негіз болды. (ҚОСЫМША С және Д).

4.3 «МАРГАНЕЦ» Ғылыми-Өндірістік Бірлестігі» ЖШС жағдайында трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту

«Марганец» ҒӨБ» ЖШС жағдайында өнеркәсіптік балқытулар трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы еңкейтілетін пеште және магнитті футеровкада жүргізілді.

Термодинамикалық, зертханалық және ірі-зертханалық нәтижелері негізінде әр түрлі тотықсыздандырғыштар қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец балқытуға арналған шикіқұрам материалдары анықталды. Термодинамикалық зерттеу нәтижесінде оңтайлы құрамы тандалып, әрі қарай жоғары температуралы Тамман пешінде тәжірибелік зерттеулер оң нәтижесін берді. Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының базасында әр түрлі тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша алынған мәліметтерді ескере отырып, өндірістік сынақтар жүргізуге болатынына көз жеткізілді.

Өндірістік аланда трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы пешінде сынақ өткізу үшін келесідей дайындық шаралары өткізілді.

- кендерді балқытуға дайындау;
- пешті балқыту бойынша тексеру;

- балқытудың режимін таңдау;
- шикізат пен шикікұрамды бақылау.

Орта көміртекті ферромарганец балқытуға арналған шикікұрам материалдарының орташаланған химиялық құрамы келесідей:

- марганец кені: (Mn_ж – 48-55, Fe – 3-4, SiO₂ – 11-13);
- төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец: (Mn – 65-70, Fe – 5-8, Si-20-23);
- әк: (CaO – 90);
- алюминий сынықтары: (Al – 97).

Электрдоғалы трансформатор қуаттылығы ОМ-250 трансформаторынан жүзеге асырылды. Доғалық разрядтағы температура 4500°С-ге жетеді және диаметрі 150 мм графит электродымен қамтамасыз етіледі.

Балқытуды, колошник кішірейген сайын шағын бөліктермен шикікұрамды тиеп, металды әр 2 сағат сайын шойын құйма қалыптарға мерзімді түрде шығара отырып, үздіксіз әдіспен жүргізді. Летканың ашылуы электр күйдіргіш немесе темір шыбықпен жасалды. Әр шығарылымның металы мен қожы өлшенді, содан кейін химиялық талдауға сынамалар алынды (Кесте 4.7).

Кесте 4.7 – Орта көміртекті ферромарганец және қождың химиялық құрамы, %

Реттік	Mn	Fe	Si	C	P	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃
1	86,38	10,30	0,21	2,0	0,05	20,05	16,94	33,35	13,25	9,50
2	86,45	10,25	0,35	2,0	0,03	19,05	17,94	34,35	11,95	9,25
3	86,51	10,18	0,34	2,0	0,04	18,05	17,84	33,55	12,25	8,25
4	88,14	9,97	0,03	1,5	0,02	19,55	17,74	33,75	14,55	8,75
5	88,44	10	0,04	1,88	0,04	19,85	18,74	35,85	12,75	9,87
6	88,35	9,98	0,04	1,78	0,06	17,55	17,84	36,35	11,55	10,25
7	87,38	10,11	0,17	1,86	0,05	19,15	18,91	37,35	12,35	9,85

Металдың алғашқы шығарылуы 4-ші колоша тиелгеннен соң жасалды. Пештің аймағы кезектен толтырылды. Пешті шикікұрамның тиелуі электродтың айналасында бірыңғай атқарылды. Процесс металдың қалыпты шыға отырып, пештің ыстық жүруімен және балқымадағы марганецті бөліп алу дәрежесінің жоғарылауымен сипатталды. Алюминий сынықтары металл мен қождың шығарылуына 25-30 минут қалғанда пешке берілді. Балқыту ұзақтығы үздіксіз, уақыт ұзақтығы - 15 күн.

Осылайша, орта көміртекті ферромарганец балқыту кезінде марганец кенінен марганецті бөліп алу дәрежесін жоғарылауына әкелді.

4.4 Орта көміртекті ферромарганец балқытудың технико-экономикалық көрсеткіштері

Алынған мәліметтер ішкі нарықты кейінгі әлемдік нарыққа шығу перспективасымен қамтамасыз ету үшін шағын өндіріс ауқымында әзірленген технологияны пайдалана отырып, орта көміртекті ферромарганец өндірісін ұйымдастырудың экономикалық және технологиялық орындылығы туралы қорытынды жасауға негіз береді. Дәстүрлі және инновациялық технология

бойынша орта көміртекті ферромарганецтің шығыс коэффициенттерінің орындалған шамамен есебі 4.8-ші кестеде келтірілген.

Кесте 4.8 - 1 тонна орта көміртекті ферромарганец балқытудың технико-экономикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер, т	SiMn17	SiMn20	SiMn + Al	АМС
Марганец кені	1,052	1,428	1,428	2,656
SiMn17	0,944	-	-	-
SiMn20	-	0,947	0,894	-
SiMn	-	-	-	-
Al	-	-	0,047	-
АМС	-	-	-	0,896
Әк	0,886	1,207	1,207	1,138
Базалық құны				
Марганец кені	450	543	543	1009
SiMn17	1400	-	-	-
SiMn20	-	1300	-	-
SiMn	-	-	1050	-
Al	-	-	94	-
АМС	-	-	-	1250
Әк	846	1152	1152	1087
Өзіндік құны, \$	2896	2995	2849	3346
Ескертпе: * АҚШ долларының теңгеге бағамы 471 кезінде (03.07.2024 ж.).				

Осылайша, трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалық пешінде жағдайында орта көміртекті ферромарганецтің стандартты маркілерін балқытудың тиімді техникалық параметрлері және оның өзіндік құны 2849 \$ бағаланды. Бұл орта көміртекті ферромарганецтің нарығын бағасынан 1000-1200 \$ төмен болды.

4-бөлім бойынша қорытынды

Жоғары температуралы Тамман пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту зертханалық модельдеу арқылы балқыту мүмкіншіліктерінің нәтижелері келтірілді. Зертханалық модельдеу бойынша металл мен қождың бөлінуі сипатталды. Өздеріңіз білетіндей, қождың химиялық құрамы әсіресе оның негізділігіне (CaO/SiO₂) бірқатар технологиялық көрсеткіштер байланысты. Қож негізділігі 1,6-1,8 аралығында болады. Орта көміртекті ферромарганецті балқытудың қалыпты үрдісін жүру үшін электрдоғалы пештерде жүзеге асырылатын технологиялық режимге оңтайлы талаптар қойылды. Тәжірибелік модельдеу бойынша алынған мәліметтер негізінде зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізуге мүмкіндік береді.

Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты жағдайында трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрпешінде әр түрлі

тотықсыздандындырғыш қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін зерттеу жүргізілді. Зерттеу нәтижелері келесідей химиялық құрамы, %: Mn – 85-88; Si – 0,33-0,7; C – 1,6-1,8; S – 0,01-0,03; P – 0,03-0,05; Fe – қалғ. Оңтайлы қож негізділігі 1,8-1,9. Марганецті кеннен қорытпаға бөліп алу дәрежесі $\geq 69\%$ құрады және қождың өздігінен шашырамауына әкелді. Ірі-зертханалық тәжірибелік балқымалардың қождары ыдырау белгілерінсіз тас тәрізді күйде алынды. Орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша жүргізілген сынақтардың нәтижесінде төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец пен алюминий сынықтарын қолдану арқылы FeMn80C20LP және FeMn80C20 маркілерін балқытуға қол жеткізілді. Технологияның негізгі электрлік параметрлері ток күші 110-130 А. Қождың ақырғы құрамы екі кальций силикаты (Ca_2SiO_4), геленит ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) және манганозит (MnO) түрінде алынды.

«Марганец» ҒӨБ» ЖШС жағдайында өнеркәсіптік балқытулар трансформатор қуаттылығы 0,25 МВ·А электрдоғалы еңкейтілетін пеште және магнитті футеровкада жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде орта көміртекті ферромарганец балқыту өндірістік жағдайда балқыту мүмкіншіліктері анықталды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыс нәтижелері бойынша қысқаша қорытынды

1. Жезді кен орнының марганец кенін гранулометриялық құрғақ талдау арқылы -40 +20, -20 +10, -10 +5,0, -5 +2,5, -2,5 +1, -1 +0,5, -0,5 +0,16, -0,16+0,0 мм ірілік класстары анықталды. Нәтижесінде +5 мм ірілікте марганецтің мөлшері жоғары Mn - 49-53%, темірдің мөлшері төмен Fe - 0,47-2,06%, ал -5 мм ірілікте керісінше, марганецтің мөлшері Mn - 19-30%, темірдің мөлшері Fe - 20-30% құрады. Рентгендік-фазалық талдау нәтижелері бойынша +5 мм ірілікте марганецті тотықтар - пиролюзит (MnO_2), марганец гидрототығы ($MnO_2(H_2O)_{0,15}$) күйінде анықталды. Ал -5 мм ірілікте ламонтит ($CaAl_2Si_4O_{12}(H_2O)_2$), гиббсайт ($Al(OH)_3$), алюминий-калий үш силикаты ($KAlSi_3O_8$) минералдарынан тұратыны анықталды. Дифференциалдық термиялық талдау арқылы зерттеуде шикіқұрам материалдары 400 °C температураға дейін ылғалдың ыдырауымен бірінші эндометриялық әсердің пайда болатыны және әрі қарай марганецтің жоғары тотықтарының пайда болатыны анықталды. Әр түрлі типтегі марганец шикізатының жұмсаруының басталу және аяқталу температуралық аралығы анықталды. Жезді кен орнының +5,0 мм іріліктегі марганец кендерінің жұмсаруының басталу температурасы 1105°C, ал аяқталу температурасы 1305°C-ге тең, -5,0 мм ірілікте басталу температурасы 925°C, аяқталу температурасы 1115°C-ге тең болатыны анықталды. Жезді кен орнын марганец кендерін металлургиялық процеске қолданудың технологиялық сұлбасы ұсынылды.

2. Орта көміртекті ферромарганец балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу HSC Chemistry 10.0 бағдарламалық кешенін пайдалану арқылы іске асырылды. Гиббс энергиясының минимум принципіне негізделген көп компонентті жүйеде тепе-теңдікті есептеу әдісіне сүйене отырып, Equilibrium Compositions модулі арқылы Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O жүйесінде толық термодинамикалық модельдеу жүргізілді. Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O жүйесі бойынша толық термодинамикалық модельдеу нәтижесінде 69 фаза тандап алынды. Оның ішінде 41 тотық фазасы, сондай-ақ 28 металл фазасы. Металл фазалары интерметаллидтерден, карбидтерден және таза металдардан тұрады. Нәтижесінде орта көміртекті ферромарганецтің стандартты маркаларын балқытуға оңтайлы шикіқұрам материалдары марганец кені – 110 кг, силикомарганец – 100 кг, әк – 90 кг, алюминий – 5,0 кг анықталды. Көп факторлы математикалық модельдеу арқылы марганецті бөліп алу дәрежесі мен металдағы марганец мөлшерін анықтайтын тәуелділік өрнектері жасалды. Бірінші математикалық модельде марганец кені мен тотықсыздандырғыш құрамындағы марганец пен темір мөлшері, қождың негізділігіне, шикіқұрам массасындағы алюминий сынықтарының үлесі және «ұнтақ» (-5,0 мм ірілікте) кеннің үлесі бойынша марганец түсімін анықтауға мүмкіндік берді. Екінші математикалық модельде кендегі марганец пен темірдің құрамына және кеннен марганецтің түсіміне байланысты алынған металдағы марганецтің мөлшерін болжайды. Алынған модельдер корреляция коэффициенттерінің жоғары мәндерімен

сипатталады ($R = 0,965$ және $0,891$). жоғары мәндерімен сипатталады ($R = 0,965$ және $0,891$).

3 Жүргізілген ірі-зертханалық және өнеркәсіптік сынақтар әр түрлі тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец алу мүмкіндігін дәлелдеді.

Орта көміртекті ферромарганец балқыту технологиясының тәжірибелік және базалық нұсқаларының техникалық-экономикалық көрсеткіштерін салыстырылды және кеннен марганец бөліп алу 69%-ға дейін, ферроқорытпаның өзіндік құны төмендейтінін көрсетеді.

Қойылған міндеттерді шешудің толықтығын бағалау

Жоғарыда айтылғандардың негізінде диссертациялық жұмысқа қойылған міндеттер толығымен шешілді, атап айтқанда:

– Жезді марганец кенін физика-химиялық қасиеттері және оның металлургиялық жарамдылығы бойынша тәжірибелік деректер алынды: фазалық құрамы, химиялық және фазалық өзгерістері, термиялық қасиеттері;

– орта көміртекті ферромарганец процесін балқытудың термодинамикалық модельдеу нәтижесінде Mn-Si-Fe-Al-Ca-Mg-C-O жүйесінде 69 фаза анықталды, оның ішінде 41 тотық және 28 металл фазасы. Металл фазасы интерметаллидтерден, карбидтерден және таза металдардан түзіледі: C, Fe₂C, Fe₃C, Fe₅C₂, Fe₇C₃, Fe₂₃C₆, MnC₂, Mn₃C, Mn₅C₂, Mn₇C₃, Mn₁₅C₄, Mn₂₃C₆, SiC, Fe, FeSi, FeSi₂, FeSi_{2.33}, FeSi_{2.43}, Fe₃Si, Fe₅Si₃, Mn, MnSi, MnSi_{1.7}, MnSi_{1.727}, Mn₃Si, Mn₅Si₃, Si, Al. Қож фазасы келесі тотықтардан тұрады: Al₂O₃, 3Al₂O₃·2SiO₂, CaO, CaO·Al₂O₃, CaO·2Al₂O₃, 12CaO·7Al₂O₃, CaO·Al₂O₃·SiO₂, CaO·Al₂O₃·2SiO₂, 2CaO·Al₂O₃·SiO₂, 3CaO·Al₂O₃·3SiO₂, 2CaO·SiO₂·3CaO·SiO₂·CaSiO₃, 3CaO·2SiO₂, Ca₂SiO₄(A), Ca₃SiO₅, Ca₃Si₂O₇, FeAl₂O₄, Fe₂MnO₄, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO·SiO₂, 2FeO·SiO₂, Mg₂Al₄Si₅O₁₈, MgFe₂O₄, MgMn₂O₄, MgO, MgO·Al₂O₃, Mn₂Al₄Si₅O₁₈, Mn₃Al₂Si₃O₁₂, MnO, MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO·Al₂O₃, MnSiO₃, Mn₂SiO₄, Mn₇SiO₁₂, SiO₂. Термодинамикалық зерттеу барысында оңтайлы шикіқұрам материалдары келесідей: марганец кені – 110 кг, силикомарганец 100 кг, әк – 90 кг, алмюний – 5,0 кг.

– марганец кенінен марганецтің бөліп алу дәрежесі бойынша тотықсыздандырғыштың құрамындағы марганец пен кремнийдің мөлшері, «ұнтақ» (-5,0 мм ірілікте) кеннің үлесі, қож негізділігі, кен құрамындағы марганец мөлшері және алюминий сынықтарының шикіқұрам массасындағы үлесіне әсер ететін көп факторлы математикалық зерттеу нәтижесінде математикалық модель алынды: $\hat{y} = -17,777 + 0,420x_1 + 0,396x_2 - 0,164x_3 + 19,843x_4 + 0,157x_5 + 2,758x_6$.

– қорытпадағы марганецтің химиялық құрамын болжау мақсатында марганец кеніндегі марганец, темір және кеннен кенінен марганецтің түсіміне байланысты математикалық модель алынды: $\hat{y} = 52,307 + 0,053x_1 - 0,786x_2 + 0,530x_3$;

– орта көміртекті зертханалық жағдайда эксперименттік модельдеу нәтижесінде жоғары температуралы Тамман пешінде оңтайлы қож негізділігі 1,7-1,9 анықталды.

– трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалық пешінде орта көміртекті ферромарганец балқытудың технологиялық регламенті әзірленді.

– Трансформатор қуаттылығы 0,25 МВА электрдоғалық пешінде орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша өнеркәсіптік сынақ өтті.

Нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректер

Диссертациялық жұмыста баяндалған тәжірибелік мен әзірлемелердің нәтижелері әр түрлі тотықсыздандырғыштардың сапалы жана түрлерін пайдалану кезінде орта көміртекті ферромарганецті балқыту технологияларын жетілдіру процестерінде қолданылуы мүмкін.

Енгізудің техника-экономикалық тиімділігін бағалау

Орта көміртекті ферромарганец балқыту технологиясының тәжірибелік және базалық нұсқаларының техникалық-экономикалық көрсеткіштері салыстырылды және кеннен марганец бөліп алу 69%-ға дейін, ферроқорытпаның өзіндік құны төмендейтінін көрсетеді.

Осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау

Термодинамикалық және математикалық есептеулер кезінде кеннен марганецті бөліп алу дәрежесі мен металдың химиялық құрамын болжауға мүмкіндік береді.

Жүргізілген теориялық және практикалық зерттеулер отандық марганец кені мен төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганецті қолдану арқылы стандартты орта көміртекті ферромарганец алынды.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Пат. №1565912. Шихта для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца / Мазмишвили С.М., Стуруа Р.И., Церетели Н.И., Журули М.А., Мартынов С.В., Миндин В.Ю., Васадзе Г.Ш., опубл. 23.05.1990.
- 2 Пат. № 1696554. Шихта для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца / Церетели Н.И., Григалашвили Ш.Д., Васадзе Г.Ш., Пирчхадзе О.И., опубл. 07.12.1991.
- 3 Медведев Г.В. и др. Выплавка рафинированного ферромарганца из марганцевых уд Атасуйской группы месторождений / «Труды Химико-металлургического ин-та АН КазССР». - 1969. - Т.6. - С. 78-87.
- 4 Габдуллин Т.Г. Получение ферросплавов на базе марганцевых руд Атасуйской группы месторождений: дисс. ... канд.техн.наук. - Караганда, 1968. – 162 с.
- 5 Букетов Е.А., Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д. Metallургическая переработка марганцевых руд в Центральном Казахстана. – Алматы: Наука, 1979. – 184 с.
- 6 <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>. 25.02.2023.
- 7 Акылбек С. А. Марганец Казахстана // Известия НАН РК. Серия геологическая. – 2019. – № 1. – С. 42–53.
- 8 Sariev O.R., Dossenkenov M.S., Kelamanov B.S., Abdirashit A.M. High-carbon ferromanganese smelting on high-base slags // Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syra. – 2020. - №4. – P. 63-73. DOI:10.31643/2020/6445.38.
- 9 inbusiness.kz <https://inbusiness.kz/ru/last/proizvodstvo-stali-v-kazahstane-za-i-polugodie-sokratilos-na-2-4>. 15.01.2023.
- 10 <https://corporate.arcelormittal.com>. 28.02.2023.
- 11 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х./ Қазақстандағы болат өндірісінің жағдайы мен тұтынылуы // Қарағанды индустриалды университетінің 60 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдар жинағы. – Теміртау. - 2023. – Б. 111-114 б.
- 12 Литейный завод Темиртау. <https://tpi-steel.kz>. 15.01.2023.
- 13 ТОО «Asia FerroAlloys». https://asiaferroalloys.com/products/ferro_splav_poe-proizvodstvo. 15.01.2023.
- 14 АО «Алматинский завод тяжелого машиностроения». <http://www.aztm.kz/kuznechnopresovoe.html>. 15.01.2023.
- 15 АО «Машиностроительный завод им.С.М. Кирова». <https://mzk.kz/31>. 15.01.2023.
- 16 ТОО «Актауский литейный завод». <http://alz.kz/node/52>. 15.01.2023.
- 17 ТОО «КазАрмапром». <https://invest07.gov.kz/ru/supermarket-for-business/projects/185-konevodcheskaya-ferma>. 15.01.2023.
- 18 ПК «Уральский литейно-механический завод». <https://invest07.gov.kz/ru/putevoditel-investora/mestnye-kompanii/187-pk-ural-skij-litejno-mekhanicheskiy-zavod>. 15.01.2023.
- 19 АО «Запчасть». <https://www.aozapchast.kz/> 25.03.2023.

20 «Қарағанды ҚҚМЗ құю-машина жасау зауыты «Maker (Мэйкер)» ЖШС. <http://www.kazakhmys.kz/kz/about>. 25.03.2023.

21 «Shymkent Temir» ЖШС. https://www.kdb.kz/kz/ajax/project.php?PROJECT_ID=14038&LANG=KZ. 25.03.2023.

22 IMnI ANNUAL REVIEW. <https://www.manganese.org/wp-content/uploads/2021/04/2020-Annual-Review-ENG.pdf>. 25.03.2023.

23 Әбдірашит А.М., Мыңжасар Е.А. Әлемдік және отандық марганец кендерді тұтыну мен талдау // Университеттің 70 жылдығына арналған «Қазақстан-2050» Стратегиясын жүзеге асырудағы жастар ғылымының үлесі» атты Республикалық студенттік ғылыми конференциясы. – Қарағанда. - 2023. – Б. 283-284.

24 IMnI ANNUAL REVIEW. https://www.manganese.org/wp-content/uploads/2023/01/AR_2022-EN.pdf. 28.09.2023.

25 Саткинский чугуноплавильный завод. <https://www.shpz.ru/%d0%be-%d0%bf%d1%80%d0%b5%d0%b4%d0%bf%d1%80%d0%b8%d1%8f%d1%82%d0%b8/d0%b8/>.29.09.2023.

26 «ПАО «Запорожский завод ферросплавов». <https://zfp.com.ua/p-teperishniy-chas>. 29.09.2023.

27 Никопольск завод ферросплавов. <https://www.nzf.com.ua/Default.aspx?sec t=history>. 29.09.2023.

28 ҚазХромның жылдық есебі 2021 ж. https://www.kazchrome.com/files/pdf/ERG_Kazchrom_Kaz_2021_0707.pdf. 25.02.2023.

29 Боярко Г.Ю., Хатьков В.Ю. Критический товарные потоки марганцевого сырья в России // Известия Томского политехнического университета // Инжиниринг георесурсов. – 2020. - Т.331, №4. - С.38-53.

30 Гасик М.И. Марганец – М.: Metallurgia, 1992. – 608 с.

31 Рысс М.А. Производство ферросплавов. - М.: Metallurgia, 1985.- 344 с.

32 Крамаров А.Д. Электрометаллургия ферросплавов. -М.: ОНТИ- НКТП- СССР, 1936. - 312 с.

33 Кекелмдзе И.М. Исследование процесса получения среднеруглеродистого ферромарганца с применением окатышей из концентратов химических способов обогащения: автореф. ... канд. тех. наук.: 321. – М.: Институт металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, 1998. - 21 с.

34 Габдуллин Т.Г. Физико-химические обобщение, разработка и внедрение малоотходных, энергосберегающих технологических схем и процессов металлургической переработки марганцевых руд месторождения Казахстана: автореф. ... докт.тех.наук.: 05.16.02 – М.: НИИ им. И.П. Бардина, 1992. – 46 с.

35 Чумаков А.А. Разработка, исследование и внедрение ресурсосберегающей технологии получения среднеуглеродистого ферромарганца: автореф. ... канд.тех.наук.: 05.16.02 – Днепропетровск: Государственной металлургической Академии Украина, 1998. – 18 с.

36 Есенғалиев Д.А. Разработка технологии выплавки рафинированного ферромарганца с использованием высокоосновных марганцевых руд и

специальных комплексных сплавов: дисс. доктора философии PhD: 6D070900 –
Металлургия, Караганда. – 111 с.

37 Телков Ш.А., Мотовилов И.Ю., Уйсимбек А. Исследование на
обогащаемость марганцевой руды рудопроявления Картобай // Горный журнал. -
2021. – №5. - С.42-46.

38 Толымбеков М.Ж. Марганцеворудная отрасль Казахстана // Горный
журнал. - 2007.- №2. - С. 2-5.

39 Makhambetov Ye. N., Abdirashit A.M., Myngzhassar Ye. A., Burumbayev
A.G., Zhakan A.M., Yucel O. Research on the possibility of obtaining medium-carbon
ferromanganese from the Djezdinskoe deposit // Kompleksnoe Ispolzovanie
Mineralnogo Syra = Complex Use of Mineral Resources. – 2024. - Vol. 331. – Iss. 4.
– P. 101-108. <https://doi.org/10.31643/2024/6445.43>

40 Байсанов А.С. Фазовые равновесия и кинетика процессов пирометаллургической переработки железомарганцевых руд: автореф. ... дисс. канд.
техн. наук.: 05.16.02. –Караганда:ХМИ, 2007.– 22 с.

41 Байсанов А.С., Кайралапов Е.Т., Санкай А.Н. и др. Исследование
железных руд Лиса-ковского месторождения методом дифференциально-
термического анализа // Матер. междунар. научно-практ. конф. «Жидкость на
границе раздела фаз – теория и практика», посв. 70-летию Ж.Н. Абишева. –
Караганда, 2006. – С. 685-689

42 Самуратов Е.К., Байсанов А.С., Толымбеков М.Ж., Макашев А.С.,
Мухтарова Г.М. Комплексная переработка железомарганцевых руд
Центрального Казахстана // Сб. мат-лов междунар. науч. конф. «Инновационное
развитие и востребованность науки в современном Казахстане». -
Алматы.- 2008. - Ч. 2. – С. 161-166.

43 Байсанов А.С., Такенов Т.Д., Толымбеков М.Ж. и др. Определение
величины энергии активации фазовых превращений в железомарганцевых рудах
//Тез. докл. межд. науч-но-практич. конф. «Академик Е.А. Букетов – ученый,
педагог, мыслитель», посв.80-летию Е.А. Букетова. - Караганда, 2005. – Т. 3. –
С. 76-81.

44 Байсанов А.С., Самуратов Е.К., Мухтарова Г.М. Разработка
комплексной технологии переработки некондиционных железомарганцевых руд
с получением металлургической продукции: товарного марганцевого
концентрата, частично металлизированного железорудного концентрата и
полукокса //Материалы межд. форума «Оценка научно-го потенциала и
приоритетных направлений развития науки и превращение ее в решающий
фактор вхождения Казахстана в 50 конкурентоспособных стран мира». - Ка-
раганда: Региональный учебно-издательский центр, 2006. – С. 51-59.

45 Piloyan G.O., Novikova O.S. Thermographic and thermogravimetric
methods for determining the activation energy of dissociation processes // Journal of
Inorganic Chemistry. – 1967. – Т. 12, №3. – P. 602-604.

46 Murakami H., Miyazaki K., Honnami K., Okano S., Mochizuki M. Parameter
Optimization of Thermal Shrinkage Technique for Simple Numerical Simulation of
Welding Angular Distortion. ISIJ International. – 2021. - Vol. 7 - P. 2143-2149.

47 Rong Y. Xu, J. Forming Mechanism of Weld Cross Section and Validating Thermal Analysis Results Based on the Maximal Temperature Field for Laser Welding // *Metals*. - 2022. - Т. 12, №5. – 774 p.

48 Djurdjevic M.B. Application of thermal analysis in ferrous and nonferrous foundries // *Metallurgical and Materials Engineering*. – 2021. - Т. 27, № 4. - P. 457-471.

49 Fotiev A.A., Koscheeva S.N. Synthesis of YBa₂Cu₃O_{7-x} using BaO₂, CuO and U₂O₃. - Sverdlovsk: Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990. – P. 91-97.

50 Фотиев А.А., Кошечева С.Н. Синтез YBa₂Cu₃O_{7-x} с использованием BaO₂, CuO и U₂O₃ // *Физико-химические основы синтеза и свойства ВТСП-материалов. Методы синтеза и фазовые соотношения*. - Свердловск: УрО АН СССР. – 1990. – С. 91-97.

51 Tangstad M., Bublik S., Haghdani S., Einarsrud K.E., Tang K. Slag Properties in the Primary Production Process of Mn-Ferroalloys // *Metallurgical and materials transactions B-process metallurgy and materials processing science*. -2021. - Т. 52, № 6. - P. 3688-3707.

52 Романенко Ю.Е. Металлургическая оценка марганцевых руд Западносибирского региона // *Тр. межд. науч.-практ. конференции*. - Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2010. - С. 225 - 229.

53 Жучков В.И., Микулинский А.С. Методика определения электрического сопротивления кусковых материалов и шихт // *Экспериментальная техника и методы высокотемпературных измерений*. – М.: Наука, 1966. – С. 43-46.

54 Агроскин А.А. Физика угля. – М.: Недра, 1965. – 352 с.

55 Nurumgaliev A., Makhambetov Y., Kuatbay Y., Yerekeyeva G., Abdirashit A., Mynzhassar Y. Study of softening temperatures of manganese ores in central Kazakhstan // *Metalurgija*. – 2023. - Vol. 62, Iss. 2. – P. 268-270.

56 Агроскин А.А. Физические свойства угля. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1961. – 311 с.

57 Жучков В.И., Микулинский А.С. Методика определения электрического сопротивления кусковых материалов и шихт // *Экспериментальная техника и методы высокотемпературных измерений*. – 1966. – С.43-46.

58 Исагулов А.З., Байсанов А.С., Исагулова Д.А., Махамбетов Е.Н. и др. Исследование физико-химических свойств шихтовых материалов для выплавки кремнеалюминиевого восстановителя / *Труды университета*. – 2018. – № 2. – С. 38-40.

59 Махамбетов Е.Н., Әбдірашит А.М., Мыңжасар Е.А., Байсанов А.С., Юсел О. Металлотермиялық тәсілмен орта көміртекті ферромарганецті балқыту процестерінің термиялық қасиеттерін зерттеу / *Труды университета*. 2024. - №2. - Б. 54-59. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2024_2_54.

60 Белов Г.В., Трусков Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2013. - 96 с.

61 Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных системах. - М.: Металлургия, 1994.-316 с.

62 Пупышев А.А. Термодинамическое моделирование термохимических процессов. – Екатеринбург: УГТУ, 2007. - 67с.

63 Гурвич Л.В., Вейц И.В., Медведев В.А. Термодинамические свойства индивидуальных веществ: в 4 т. - М.: Наука, 1978. – 328 с.

64 Моисеев Г.К., Вяткин Г.П., Барбин Н.М. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействий с участием ионных расплавов. - Челябинск.: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 166 с.

65 Shevko V., Karataeva G., Badikova A., Amanov D., Tuleev M. Thermodynamic model of the influence of temperature and carbon on the production of ferroalloy and calcium carbide from the basalt of Dubersay deposit // *Kompleksnoe Ispol-zovanie Mineralnogo Syra.* - 2018.- №306(3). – P. 86-94. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.21>.

66 Amanov D., Shevko V., Karatayeva G., Serzhanov G. Thermodynamic analysis of obtaining ferroalloy from silicon-aluminum-containing silica clay // *Chemistry and Chemical Technology.* – 2017.- №11(4). – P. 410-414. <https://doi.10.23939/chcht11.04.410>.

67 Arthur D. Pelton Phase Diagrams and Thermodynamic Modeling of Solutions. - 2019. –383 p. ISBN 978-0-12-801494-3. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-19504-9>.

68 Шевко В.М., Сержанов Г.М., Каратаева Г.Е., Аманов Д.Д. Расчет равновесного распределения элементов применительно к программному комплексу HSC-5.1. Программа для ЭВМ. Свидетельство на объект, охраняемый авторским правом РК №1501 от 29 января 2019.

69 Akyzbekov Y., Shevko V., Karatayeva G. Thermodynamic prediction of the possibility of comprehensive processing chrysotile-asbestos waste. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2023, 8, art. no. 100488, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100488>.

70 Roine A. Outokumpu HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium software with Extensive Thermochemical Database. - Pori: Outokumpu Research OY, 2002.

71 Antti R., Jarkko-M., Tuukka K., Peter B., Pertti L. HSCChemistry 6.0 User's Guide // Outotec Research Oy. - 2006.

72 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х., Юджел О. HSC Chemistry 6.0 бағдарламалық кешенін қолдану арқылы орта көміртекті ферромарганецті балқыту термодинамикалық модельдеу // «Металлургия» кафедрасының 40-жылдығына орай өтетін «Металлургия саласының мәселелері мен перспективалары: теория және практика» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары. – Павлодар. – 2023. – Б. 48-51.

73 Makhambetov Ye., Abdirashit A., Myngzhassar Ye., Baisanov A., Zhakan A. Thermodynamic and experimental simulation of the smelting process of medium carbon ferromanganese with the use of Zhezdinsky manganese ores // *Қазақстан*

ғылымы мен техникасы. - 2023. - №3. - P. 141-153. <https://doi.org/10.48081/HSN1365>.

74 Моисеев Г.К., Ватолин Н.А., Маршук Л.А., Ильиных Н.И. Температурные зависимости приведенной энергии Гиббса некоторых неорганических веществ (альтернативный банк данных АСТРА.OWN). - Екатеринбург: УрО РАН, 1997. - 230 с.

75 Габдуллин Т.Г., Такенов Т.Д., Байсанов С.О., Букетов Е.А. Физико-химические свойства марганцевых шлаков. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 232 с.

76 Кабаков З.К., Чирихин В.Ф., Габелая Д.И. Моделирование процессов и объектов в металлургии: учебное пособие. - Череповец: ЧТУ, 2003. - 109 с.

77 Shabanov Ye.Zh., Kuatbay Ye.K., Makhambetov Ye.N., Toleukadur R.T. Thermodynamic and experimental simulation of the selting process of high-carbon ferrochrome with the use of high-ash coal «Saryadyr» // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – Vol. 144. – № 6. – P. 11–17.

78 Makhambetov Ye. N., Abdirashit A. M., Kuatbay Ye.K., Yucel O., Tazhiyev Ye.B. Research of electrophysical properties of charge materials for smelting a complex alloy of aluminosilicomanganese // Engineering Journal of Satbayev University. – 2022. – Vol 144. – № 2. – P. 15–21.

79 Abdirashit A., Makhambetov Y., Yerzhanov Y.A., Sarkulova Z., Aitkenov N., Aitbayev N. Large-scale laboratory tests for smelting medium-carbon ferromanganese using Jezda manganese ore and SiMn17 silicomanganese fines // Metalurgija. – 2023. - Vol 61, Iss. 1. – P. 139-141.

80 Әбдірашит А.М., Махамбетов Е.Н., Мыңжасар Е.А., Нурумғалиев А.Х. Қайта өңделетін силикомарганецті қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганецті балқыту үрдісін эксперименттік модельдеу // Қарағанды индустриалды университетінің 60 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдар жинағы. – Теміртау.- 2023. – Б.115-117.

81 Әбдірашит А.М., Нурумғалиев А.Х., Махамбетов Е.Н., Юсел О. Әр түрлі тотықсыздандырғыштарды қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец технологиясын әзірлеу // Қарағанды индустриялық университетінің «Жастар, ғылым және технологиялар: жетілдіру және ықпалдасу жолдары» LIV Республикалық ғылыми-практикалық конференцияның материалдар жинағы. - Теміртау. – 2024. – Б. 62-64.

82 Әбдірашит А.М., Нурумғалиев А.Х., Махамбетов Е.Н., Юсел О. Орта көміртекті ферромарганец технологиясын зерттеу және әзірлеу // Қазақстан Республикасының Ұлттық Ғылым Академиясының (Қазақ ССР Ғылым Академиясы) негізін салушы, тұңғыш президенті Қ. Сатпаевтың 125 жылдығына арналған «өндірістегі және техникалық мамандарды дайындаудағы инновациялар» халықаралық ғылыми-практикалық онлайн-конференция материалдары. - Ақтөбе. – 2024. – Б. 28-29.

ҚОСЫМША А

Ірі- зертханалық АКТ

«БЕКІТЕМІН»

«Ж.Әбішев атындағы ХМИ»
филиалы ҚР «МШКҚӨ ҰО РМК»
директоры

Байсанов С.
2024 ж.

Трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы пешінде әр түрлі тотықсыздандырғыштар қолдана отырып, орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша сынақтар жүргізу туралы

АКТ

Біз, төменде қол қойған Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының қызметкерлері, PhD докторы Махамбетов Е.Н., т.ғ.к., Габдуллин С.Т., Воробкало Н.Р., Бурумбаев А.Г. және Әбдірашит А.М. трансформатордың қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы орта көміртекті ферромарганецті балқыту бойынша тәжірибелік сынақтар жүргізілгенін растайтын акт жасалды.

Сынақтардың негізгі міндеті – отандық марганец кені мен әр түрлі тотықсыздандырғыштар арқылы орта көміртекті ферромарганецті трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы пешінде балқыту. Тотықсыздандырғыш ретінде ферросиликомарганец, қайта өңделген төмен фосфорлы силикомарганец, алюмосиликомарганец (АМС) қолданылды. Сынақтарды өткізер алдында кен термиялық пешті электр балқытуға дайындау бойынша жұмыстар жүзеге асырылды.


Балқыту үздіксіз әдіспен жүргізілді, колошник кішірейген сайын шағын бөліктерде шикіқұрам тиелді, металды әр 2 сағат сайын шойын құймақалыптарға мерзімді түрде шығарды. Летканың ашылуы темір шыбықпен жасалды. Әр шығарылымның металы өлшенді, содан кейін химиялық талдауға сынамалар алынды. Пештің ваннасын кокс ұнтағымен 12 сағаттық қыздырудан кейін шикіқұрам материалдарын колошасын жүктей бастады. Шикіқұрам материалдары электродтың айналасына тиелді, біртіндеп пештің ваннасы толтырылғанға дейін колошникті көтерді.

Балқыту үрдісі төрт нұсқа бойынша балқытылды. Материалдық баланс 1 тонна орта көміртекті ферромарганец балқыту бойынша анықталды. Төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец қолдану арқылы орта көміртекті ферромарганецтің химиялық құрамы келесідей, %: Mn – 80-85, Fe – 8-10, Si – 1,0-3,0, C-1,0-1,6, P – 0,05, S – 0,03. Оңтайлы қож негізділігі 1,7-1,9. Марганецті кеннен қорытпаға бөліп алу дәрежесі $\geq 69\%$ құрады және қождың өздігінен шашырамауына әкелді. Ірі-зертханалық тәжірибелік балқымалардың қождары ыдырау белгілерінсіз тас тәрізді күйде алынды. Орта көміртекті


ферромарганецті балқыту бойынша жүргізілген сынақтардың нәтижесінде төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец пен алюминий сынықтарын қолдану арқылы FeMn80C20LP және FeMn80C20 маркаларын балқытуға қол жеткізілді. Технологияның негізгі электрлік параметрлері ток күші 110-130 А. Қождың ақырғы құрамы екі кальций силикаты (Ca_2SiO_4), геленит ($Ca_2Al_2SiO_7$) және манганозит (MnO) түрінде алынды.

«Ферроқорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының меңгерушісі, PhD докторы  **Е.Н. Махамбетов**

Сынақ орталығының бастығы, т.ғ.к.  **С.Т.Габдуллин**

«Пирометаллургиялық үрдістері» зертханасы ғылыми қызметкері, т.ғ.м.  **Н.Р. Воробкало**

«Ферроқорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының кіші ғылыми қызметкері, т.ғ.м.  **Бурумбаев А.Г.**

«Ферроқорытпалар және тотықсыздандыру үрдістері» зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Қарағанды индустриялық университетінің «Металлургия және материалтану» кафедрасының докторанты  **А.М. Әбдірашит**

ҚОСЫМША Ә
Технологиялық регламент

Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және Құрылыс министрлігі
Қазақстан Республикасының Минералдық Шикізатты Кешенді Қайта
Өңдеу Жөніндегі Ұлттық Орталығы

Ж. ӘБІШЕВ ат. ХИМИЯ-МЕТАЛЛУРГИЯ ИНСТИТУТЫ

«БЕКІТЕМІН»
«Ж.Әбішев атындағы ХМИ»
филиалы ҚР «МШКҚӨ ҰО РМК»
директорының орынбасары
Лу Н.Ю.
«17» 05 2024 ж.

**ОРТА КӨМІРЕКТІ ФЕРРОМАРГАНЕЦТІ ТРАНСФОРМАТОР
ҚУАТТЫЛЫҒЫ 100 кВ·А ЭЛЕКТРДОҒАЛЫ ПЕШІНДЕ БАЛҚЫТУҒА
АРНАЛҒАН**

Технологиялық регламент

Енгізу мерзімі
«17» 05 2024 ж.

Әзірлеген:

Ж.Әбішев ат.ХМИ «Ферроқорытпалар
және тотықсыздандыру үрдістері»
зертханасының меңгерушісі,
PhD докторы

Е.Н. Махамбетов

«Металлургия және материалтану»
кафедрасының докторанты, ҚарИУ
А.М. Әбдірашит

Қарағанды, 2024

4.1.1 Трансформатордың қуатылығы 100 кВА электрдоағлы пешінің негізгі электрлік сипаттамалары мен техникалық параметрлері 1 және 2 кестелерде келтірілген.

Кесте 1 – Трансформаторының номиналды электрлік сипаттамалары ОСУ -100/0, 5х2 жалпы қуаты 100 кВА

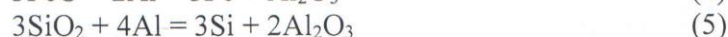
Қуаты, кВА	Жоғары вольтты жағы				Төмен кернеу жағы			
	жалғануы	Кернеу, В	Ток күші, А	Қосылысы	жалғануы	Кернеу, В	Ток күші, А	Қосылысы
100	АХ	380	526	х-а ₁ , х-а	х ₃ -а	49,0	4070	-
75	АХ	380	395	х-а, х ₂ -а	х ₃ -а	36,8	4070	а ₃ -х ₄
50	АХ	380	263	а ₁ -х ₁	х ₃ -а	24,5	4070	х ₁ -а ₂
25	АХ	380	197,6	а ₂ -х ₂	х ₃ -а	18,4	4070	а ₄ -х ₂

Кесте 2 - Трансформатор қуаты 100 кВА болатын жабдықталған электр пешінің негізгі техникалық параметрлері

Номиналды қуаты, кВА	100
Жоғары жағындағы сызықтық кернеу, В	380
Екінші реттік кернеу шектері, В	18,4-49,0
Электродтардың диаметрі, мм	150
Ванна диаметрі, мм	600
Ваннаның тереңдігі, мм	300-350
Пеш қаптамасының диаметрі, мм	1200
Пеш қаптамасының биіктігі, мм	1190

5 Технологиялық процесті құрудың жалпы принциптері

Орта көміректі ферромарганец балқытуда силикометриялық әдіс бойынша келесідей реакциялар бойынша тотықсызданады:



Реакциялар арқылы түзілген (1-4) SiO_2 және Al_2O_3 , өзара әрекеттесу негізінде (5-6) андалузит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) және муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) типті алюмосиликатты қосылыстар түзеді деп болжауға болады, ал $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ реакция аймағынан алыстап, оның белсенділігін төмендетеді. Кремнийдің тотықсыздану қабілеті оның реакциясы бойынша SiO_2 -ден алюминиймен тотықсыздануының арқасында күшейтіледі (7). CaO қатысуымен кремний диоксиді күшті кальций силикаттарына байланысады - $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ және $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, химизм бойынша (8-9), бұл реакциялардың тепе-теңдігін оңға жылжыту және реакциялардың ықтималдығын арттыру арқылы марганецтің тотықсыздану дәрежесінің толықтығына ықпал етеді (10-11) $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ және $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ типті ассоциациялар түзу.

Қождың фазалық құрамындағы жоғарыда аталған қосылыстардың пайда болуы, балку температурасы таза оксидтерге карағанда төмен, олар қождың физикалық қасиеттеріне (фазааралық керілу, тұтқырлық) және температурасына әсер етеді, оның өнімділігін арттырады. шатастырылған ферромарганец патшаларының жауын-шашынын жақсартуға айтарлықтай ықпал етеді. Экзотермиялық реакциялардың бөлінетін жылуы сұйық қождың пайда болуына ықпал етеді.

6 Өндіріс процесіне қысқаша шолу

6.1 Шикіқұрам материалдарын дайындау және мөлшерлеу

6.1.1 Шикіқұрам материалдарын дайындау оларды 2-тармаққа сәйкес фракцияға дейін ұсақтау және себуден тұрады.

6.1.2 Шикіқұрам материалдарын мөлшерлеу оларды ірі-зертханалық платформалық таразыларда өлшеу жолымен жүргізіледі. Дозалаудың салыстырмалы қателігі 0,5% - дан аспауы керек.

6.1.3 Пештен шығарындыларды болдырмау және колошникте шихтаның жоғарғы қабатын агломерациялауды болдырмау үшін күлі жоғары көмір - 10 мм фракциядан електен өткізіледі.

6.1.7 Шикіқұрам компоненттерінің арақатынасы көмірдегі күл мен ылғалдың құрамына және химиялық талдау деректеріне байланысты Шихтаны есептеу негізінде белгіленеді. Пештің қалыпты жүрісінен ауытқу кезінде компоненттердің қатынасы түзетіледі.

6.1.8 Шикіқұрамның барлық өзгерістері балқыту журналындағы жазбамен түсіндірілуі тиіс.

6.2 Балқытуды жүргізу

6.2.1 Ферроқорытпаны балқыту трансформатор қуатылығы 100 кВА ашық стационарлық электр пешінде жүргізіледі. Графит электродының диаметрі 100 мм. пештің ваннасы көміртегі массасымен қапталған, қабырғалары мен подиндері магнезитті кірпішімен оқшауланған.

6.2.2 Пеште технологиялық процестің қалыпты жүруі үшін 110-120 кВт қуаты сақталуы керек, ол 280-320 А номиналды ток жүктемесі кезінде кернеудің 3 сатысында жұмыс істеумен қамтамасыз етіледі.

6.2.3 Пештің қалыпты жүрісінен ауытқу кезінде (электродтарды отырғызудың нашарлауы, электродтарда "қождану", колошникті ашу, пешті қыздыру, балқыманы шығарудың кешігуі, летканың арқасын толтыру, шихтаның

болмауы) кернеудің неғұрлым төмен сатысына ауыстыру арқылы қуатты төмендетуге жол беріледі.

6.2.4 Пештегі қуат берілген ток жүктемесі немесе электродтар астындағы берілген белсенді кедергі бойынша қолмен ұсталады. Берілген қуат пен электродтардың тереңдігі кернеу сатыларының ауысуымен реттелуі мүмкін.

6.2.5 Пеш жабық колошникпен және балқыманың мерзімді шығарылуымен үздіксіз процесспен жұмыс істейді.

6.2.6 Шикіқұрам қажет болған жағдайда электродтардың айналасына қолмен жүктеледі. Шихтаны колошник бойынша біркелкі тарату үшін шихтаның құбырларда ілінуін және шихтаның түсуіне кедергі келтіретін колошниктегі тұғырды уақтылы жою қажет.

6.2.7 Балқытудың технологиялық режимі мынадай параметрлерге сәйкес болуы тиіс:

Қолданылатын қуат, кВт * сағат	110-130
Тәулігіне шығарылымдар саны	12
Шикіқұрамның түсу жылдамдығы, кВт * сағат / колошу	120-140
Электродтарды меншікті қайта қосу, мм / кВт·сағ	0,09-0,1
Электродтың жұмыс ұшының ұзындығы, м	0,8-1,0
Трансформатордың жұмыс сатысы	2-3

Электродтардың оңтайлы қону тереңдігі электродтың ұшынан подинаға дейінгі қашықтыққа 50-100 мм сәйкес келеді, бұл кестеде көрсетілген электродтардың ұзындығымен 300-400 мм қамтамасыз етіледі.

6.2.8 Толық талдауға арналған қорытпа сынамалары әр шығарылымнан алынады.

6.2.9 Пештің қалыпты жұмысы сипатталады:

- пештің бүкіл бетіне жалынның біркелкі бөлінуі, "фистулалардың" болмауы;

- электродтың айналасында жаңа шихта конустарының болуы;

- тұрақты ток жүктемесі және электродтың қонуы;

- шикіқұрамның біркелкі түсуі;

- металды уақтылы және біркелкі шығару.

6.2.10 Шығару кезінде балқыманың пештен барынша толық шығуына қол жеткізу қажет.

6.2.11 Шығарудың кешігуі пештің ваннасында артық балқыманың жиналуына әкеледі. Бұл жағдайда электродтардың қону тереңдігі, тұрақсыз ток жүктемесі, шұңқырдың ашылуы және төсемнің биіктігі төмендейді, сонымен қатар элементтердің ұшып кетуімен шығындар артады.

6.2.12 Пеш қандай да бір себептермен төмен қуатта жұмыс істеген жағдайда, электр энергиясының алынуына қарамастан, шығару пештің 2,5 сағаттан кешіктірілмей жүргізілуі тиіс.

Авариялық жай пеш 2 сағаттан артық ажыратылған жағдайда балқыманы шығару ажыратылған пеште жүргізіледі.

6.3 Пештің қалыпты жүруінің негізгі бұзылыстары:

6.3.1 Пештің қалыпты жұмысының бұзылуы келесі бұзылулардан туындауы мүмкін:

- оңтайлы электр режимін бұзу;
- электродты қайта қосу режимін бұзу;
- балқыманы шығару режимін бұзу.

6.3.2 Шикіқұрамның бұзылуы қалпына келтіргіштің жетіспеушілігін немесе артық болуын тудыруы мүмкін.

6.3.3 Балқытылатын шикіқұрамдағы тотықсыздандырғыштың артық болуы карбид түзілуіне, шикіқұрамның құлауына, жергілікті жоғары температуралы газ шығарындыларының – «свищ» пайда болуына байланысты электродтардың жоғары қонуымен сипатталады. Электродтардың жоғары қонуымен және пеш ваннасында тотықсыздандырғыштың артық мөлшерімен ұзақ жұмыс істеу пеште қорытпаның жиналуына, қорытпа қабатының астында отқа төзімді шлакокарбидті тұғырдың пайда болуына, шығаруды қиындатуға жағдай жасайды. Сондықтан процестің барысын, электр режимін тұрақтандыру және электродтардың терең қонуына жағдай жасау үшін кварцит процесті түзетуге қажетті мөлшерде беріледі.

Артық қалпына келтірушіні көрсететін белгілер:

- электродтардың жоғары қонуы бар қарсылық режимінде пештің жұмысы;
- электр энергиясын тұтынудың артуы;
- шамадан тыс жүктеме кезінде қолданылатын төмен қуат;
- олардың суық металл пешінің шығысы;
- летканы кесу және қорытпаны шығару кезіндегі қиындықтар.

6.3.4 тотықсыздандырғыштың жетіспеушілігі электродтардағы шихтаның «қождануымен», оларды шикіқұрамға тым терең батырумен және ток жүктемесінің жоғалуымен немесе тұрақсыздығымен, пештің салқындауымен сипатталады.

Пештің барысын түзету үшін колошадағы күлі жоғары көмірдің аспасын көбейтіп, пешке бір мезгілде күлі жоғары көмірдің есептік мөлшерін беру керек.

6.3.5 Электр режимінің бұзылуы.

Пештің қалыпты жұмысының бұзылуы электродтардың ұзындығының өзгеруінен де туындауы мүмкін. Электродтардың қалыпты айналымы болуы керек

Тәулігіне 200-250 мм немесе 90-100 мм/1000 кВт·сағ электр энергиясы. Электродтарды қайта жіберу балқыманы шығарғаннан кейін жүргізіледі.

Қысқа электродтар реакция аймағының деңгейінің жоғарылауына, Al және Si ұшуының жоғарылауына, қуаттың төмендеуіне, подинаның салқындауына және леткалар бөліміндегі қиындықтарға әкеледі, яғни. шихта материалдарының оңтайлы құрамымен де процестің барысы тотықсыздандырғыш мөлшерінің аз мөлшерімен жүреді.

Электродтарды ұзарту үшін ауыстыруды бір ауысымда 200-250 мм-ге дейін арттыру керек, бірақ қатарынан 2 ауысымнан аспауы керек. Электродтардың шамадан тыс жүктелуі ("ұзын" электродтар) токтың шамадан тыс жүктелуіне және осыған байланысты элементтердің ұшып кетуіне, кернеудің төменгі сатыларында жұмыс істеуге әкеледі, сонымен қатар пеш ваннасында

тотықсыздандырғыштың жетіспеушілігін жанама түрде көрсетуі мүмкін (электродтарды тұтынудың жоғарылауы). Бұл жағдайда электродтардың айналып өтуін азайту керек (егер олар ұзын болса), ал қалыпты ұзындықта - тотықсыздандырғыштың аспасын көбейту керек.

Қысқа электродтарда жұмыс істегенде (сынғаннан кейін, пешті қыздырғанда) олардың жоғары қонуына жол берілмейді.

Бұл жағдайда электродты төменгі шектегішке жылжыту керек, оны қалыпты айналып өту керек (250 мм-ге дейін) және қажет болған жағдайда кернеу сатысын төмендетіп, Кокс беру арқылы айналып өту керек.

Егер электродтардың тереңдігі мен қонуының өзгеруі фракциялық құрамның бұзылуымен немесе жоғары жағынан кернеудің өзгеруімен байланысты болса, пешті күлі жоғары көмірдің фракциялық құрамын қалпына келтіру жөніндегі шараларды қабылдаумен бір мезгілде кернеудің басқа сатыларына ауыстыруға жол беріледі.

6.3.6. Пештің жүрісі қалыпты жағдайдан ауытқудың барлық жағдайларында:

- жоғары күлді көмірдің ылғалдылығы мен күліне ерекше назар аударыңыз, өйткені пеш қатты көміртектің құрамына өте сезімтал әсер етеді және ондағы ылғал мен күлдің нақты құрамына сәйкес тотықсыздандырғыш ілмегін түзетеді;

- шихта материалдарының фракциялық құрамының белгіленген нормаларға сәйкестігін тексеру;

- дозалау тораптарының дұрыс жұмыс істеуі және компоненттерді өлшеу.

6.4 Қорытпаны шығару

6.4.1. Қорытпа шойын қалыпта шығарылады.

6.4.2 Шұңқырдың астына толығымен кептірілген құйма орнатылады, ол 100 °С-тан жоғары температура және бу бөлінбеуі бойынша анықталады.

6.4.3 Летканың қалыпты жұмысын қамтамасыз ету үшін оны жұмысқа мұқият дайындау және ауысым кезінде леткаға күтім жасау және алдыңғы қабырға мен лотоктың шығатын тесігін уақтылы сапалы жөндеу қажет.

6.4.4 Летканың науасы массамен толтырылады, ол жұмсартылғаннан кейін науамен қалыптасады және агломерацияланады, ал үстіне құм немесе кварцит скринингі құйылады. Летканы әр кесер алдында летканың науасы настальдерден тазартылып, қайтадан құммен немесе скринингпен толтырылуы тиіс.

6.4.5 Жұмыс барысында летканың арнасы жанады, бұл оны жабуда қиындықтар туғызады, сондықтан арнаның диаметрі 120 мм-ден асқан кезде ол максималды тереңдікке электрод массасымен толтырылуы керек.

6.4.6 Ұңғыма болат шыбықпен немесе электр доғасымен күйдіру аппаратының электроды арқылы ашылады. Балқыманың кедергісіз шығуын қамтамасыз ету үшін летки арнасын кеңінен жағу керек.

6.4.7 Шығару процесінде балқыманың пештен шығу қарқындылығы сақталуы керек. Шихтаның құлауы немесе арнаның бітелуі нәтижесінде балқыманың шығуы төмендеген немесе тоқтатылған кезде балқыманың толық шығуы үшін шаралар қабылдануы тиіс (бұрғылау немесе доғамен күйдіру).

Шығарудың қалыпты ұзақтығы - 3-5 минут.

6.4.8 Жабар алдында арнаны реакциясыз шихтамен бітеп алмау үшін

летканы тігу ұсынылмайды, бұл летканы терең жабуды және оны келесі шығарылымда кесуді қиындатады.

6.4.9 Летка электрод массасынан немесе саздан жасалған конуспен Кокс отрядтарымен, электрод массасының ұсақ-түйегімен барынша мүмкін болатын тереңдікке жабылады.

6.4.10 Металл шойын қалыпта шығарылады. Құймалардағы құрамында титан бар күрделі феррокорытпа құймалары қатайғанға дейін салқындатылуы тиіс. Құймалар қалыптардан ыстық күйінде, олар жарылғанша, арнайы Ілмек ұстағыштармен алынады және банкаларға немесе дәнекерленген қораптарға қалқымалы түрде жиналады.

6.4.11 Жарамды қорытпа өлшеу шегі 0,1% дейін платформалық таразыларда өлшенеді. Металдың сапасы белгіленген тәртіппен бекітілген нұсқаулыққа сәйкес іріктелген таңбалау сынамасы бойынша айқындалады.

7 Жөндеуден немесе тоқтап қалғаннан кейін пешті жұмысқа қосу

7.1 Пеш 24 сағаттан аз уақыт тұрғаннан кейін.

7.1.1 Егер тоқтап қалу шамасы 45 минуттан аспаса, онда пешті қосар алдында электродтар 100-150 мм көтеріледі және пеш жұмыс сатысына шығатын төмен кернеу сатысында қосылады.

7.1.2 Егер тоқтап қалу шамасы 45 минуттан артық болса немесе электрод ауданында судың айтарлықтай түсуі анықталса, онда электродты көтеруге рұқсат етілмейді, пеш трансформаторды кернеудің соңғы сатысына алдын ала ауыстырумен қосылады.

7.1.3 Пешті әр қосар алдында газ тазарту және салқындату жүйелерін тексеру қажет.

7.2 Жоспарлы-алдын ала жөндеуден кейін.

7.2.1 Пеш төмен кернеу сатысында қосылады, электродтар реттелмейді.

7.2.2 Электродтардағы жүктемені ұстап тұру үшін кернеу сатыларын ауыстыруға рұқсат етіледі.

7.2.3 100-150 А жүктеме кезінде (жоғары жағында) шихта біртіндеп жүктеледі.

7.2.4 Электродтарда жұмыс кернеуі пайда болған кезде электродтарды олардың түсуге реттелуін алдын ала тексеру арқылы реттеуге рұқсат етіледі.

8 Орта көміртекті ферромарганец өндірісінің технологиялық процесін метрологиялық қамтамасыз ету

Метрологиялық қамтамасыз етудің негізгі міндеттері:

- өлшенетін технологиялық параметрлерді және дайын өнімнің сапасын есепке алудың дұрыстығын қамтамасыз ету;
- өлшенетін параметрлердің ұтымды номенклатурасын және өлшеу дәлдігінің оңтайлы нормаларын белгілеу.

9 Орта көміртекті ферромарганец өндірісінде еңбек қауіпсіздігі мен экологияны қамтамасыз ету

9.1 Пеште жұмыс істеуге 18 жасқа толған, кіріспе нұсқамадан, өрт қауіпсіздігі бойынша нұсқамадан, жұмыс орнындағы алғашқы нұсқамадан, жұмыс орнындағы электр қауіпсіздігі бойынша нұсқамадан өткен адамдар жіберіледі.

9.2 Орта көміртекті ферромарганецті балқытудың технологиялық процесі 2003 жылғы 24 сәуірде бекітілген «Ферроқорытпа өндірісіндегі қауіпсіздік ережелерінің», 1986 жылғы 19 желтоқсанда бекітілген «Металлургия өнеркәсібі кәсіпорындары мен ұйымдары үшін жалпы қауіпсіздік ережелерінің» және 17-де бекітілген «Көмірді өндіру, өңдеу, сақтау және тасымалдаудың өндірістік процестерінің қауіпсіздігі талаптарына» сәйкес келуі керек 2010 жылғы шілде, сондай-ақ ГОСТ 12.3.002-75 «Өндірістік процестер. Жалпы қауіпсіздік талаптары».

9.3 Орта көміртекті ферромарганец өндірісінің экологиялық параметрлері «Ферроқорытпалар өндірісі кезіндегі қоршаған ортаға эмиссияларға қойылатын талаптар» техникалық регламентінде белгіленген талаптарға сәйкес келуі тиіс (Қазақстан Республикасының 2007 жылғы 9 қаңтардағы Экологиялық кодексіне және Қазақстан Республикасының 2004 жылғы 9 қарашадағы «Техникалық реттеу туралы» Заңына сәйкес әзірленген және қоршаған ортаға эмиссиялардың техникалық үлестік нормативтерін белгілейді ферроқорытпаларды (феррохром, ферросилиций) металлургиялық өндіруде қолданылатын процестерге арналған орта, ферросиликохром және ферросиликомарганец), қолданылатын шикізат түріне қарамастан (байытылған, байытылмаған).

9.4 Процестің барлық кезеңдерінде құрамында титан бар ферроқорытпаны балқыту кезінде балқыту цехында жұмыс істейтіндер үшін қауіпсіздік ережелерін сақтау қажет.

9.5 Ферроқорытпа пештеріндегі жұмысшы персонал осы технологиялық нұсқаулыққа сәйкес «Газ шаруашылығындағы қауіпсіздік ережелерін» сақтай отырып, технологиялық процесті жүргізуге міндетті, газ тазарту схемасын, газдан қорғау аппаратурасын пайдалану ережелерін, колошник газының құрамы мен қасиеттерін, улану белгілерін және колошник газымен улану кезінде дәрігерге дейінгі көмек көрсету ережелерін жақсы білуі керек.

9.6 Ауысым бойынша аға ауысымды қабылдау кезінде пеш пультінде орнатылған аспаптардың көрсеткіштерін тексеруі, салқындату жүйесіндегі судың температурасын бақылауы тиіс.

9.7 Жұмыс істеп тұрған электр пешіне қызмет көрсету кезінде қызмет көрсетуші персонал жылу сәулесінен, балқыманың шашырауынан қорғайтын арнайы киім киюі тиіс.

9.8 Электр пешінің жұмысы кезінде тыйым салынады:

- су салқындату жүйесіндегі қақпаларды жабу;
- жұмыс кезінде пеш аймағында болу;
- кернеудегі тораптарда жөндеу жұмыстарын жүргізу;
- электродтарды қайта қосуға арналған құрылғыны орнату аймағында орналасқан;
- қысқа желінің икемді кабельдері астында жұмыстар жүргізу;
- пешке ыстық колошникке дымқыл шикіқұрам материалдарын құйыңыз.

9.9 Электр пеші мен газ тазалауды тоқтату ауысым бойынша аға қызметкердің өкімі бойынша жүргізіледі. Пешті тоқтатпас бұрын бас энергетикке хабарлау керек.

9.10 Пешті қосу мен өшіруді тек ауысым бойынша үлкендерге немесе оның қатысуымен жүргізуге рұқсат етіледі.

9.11 Пештің төбесіндегі алаң таза, бей-берекет және металл шығарар алдында міндетті түрде құрғақ болуы тиіс. Шөміште, құймада немесе басқа ыдыста тұрып, летканы кесуге және жөндеуге тыйым салынады.

9.12 Шығаруға арналған құймалар кептірілуі және жылытылуы тиіс. Науалар мен науаларды толтыру үшін қолданылатын құм, кварцит скринингтері және барлық басқа материалдар мұқият кептіріліп, саздың бөліктері болмауы керек.

9.13 Металды құю тек жақсы кептірілген және толтырылған қалыптарда жүргізілуі керек.

9.14 Металды қалыптарға құю, қож қабығын сындыру және «козолды» төгу бойынша барлық жұмыстар Арнайы киім мен қорғаныс құралдарын кию ережелерін сақтай отырып жүргізілуі тиіс.

9.15 Құрамында титан бар ферроқорытпаларды балқытатын пештер жұмысының қалыпты экологиялық жағдайлары шихта дайындау және қорытпаны балқыту технологиясын қатаң сақтаумен, жабдықты техникалық пайдалану ережелерін сақтаумен және оның толық жарамдылығымен қамтамасыз етілуі тиіс.

9.16 Осы технологиялық регламенттің талаптары мен пеште жұмыс істейтін жұмысшыларға арналған ТБ нұсқаулықтары мен техникалық пайдалану ережелерін сақтай отырып, Орташа көміртекті ферромарганецті өндірудің технологиялық процесі өрт қаупі жоқ, жарылыс қаупі жоқ және улы емес.

ҚОСЫМША Б
Пайдалы модельге Патент

КАЗАКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ
PATENT**

№ 8180

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

 (21) 2023/0149.2

(22) 14.02.2023

(45) 16.06.2023

(54) Орта көміртекті ферромарганецті балқытуға арналған шикі құрам
Шихта для выплавки среднеуглеродистого ферромарганца
Charge for smelting medium-carbon ferromanganese

(73) Қазақстан Республикасы Индустрия және инфрақұрылымдық даму министрлігі Индустриялық даму комитетінің «Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы» шаруашылық жүргізу құрылымындағы республикалық мемлекеттік кәсіпорны (KZ)
Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Комитета индустриального развития Министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (KZ)
«National Center on Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan» Republican State Enterprise on the Right of Economic Management of the Committee for Industrial Development of the Ministry of Industry and Infrastructural Development of the Republic of Kazakhstan (KZ)

(72) Байсанов Сайлаубай (KZ) Baisanov Sailaubay (KZ)
Байсанов Алібек Сайлаубаевич (KZ) Baisanov Alibek Sailaubayevich (KZ)
Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы (KZ) Makhambetov Yerbolat Nysanulyuly (KZ)
Воробило Нина Руслановна (KZ) Vorobkalo Nina Ruslanovna (KZ)
Мусин Азат Мергенович (KZ) Mussin Azat Mergenovich (KZ)
Әбдірашит Асылбек Мейрамханұлы (KZ) Abdrashit Asylbek Meirimbkhanuly (KZ)
Мынжасар Есмерат Амангалиұлы (KZ) Mynzhasar Esmerat Amangaliuly (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Оспанов
E. Osipanov
Y. Osipanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of RSE «National institute of intellectual property»

ҚОСЫМША В

Оқу процесіне акт

БЕКІТЕМІН

«Қ.Жұбанов ат. Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ

Басқарма мүшесі-академиялық мәселелер жөніндегі проректор

Л.Н. Мясникова

02 2024 ж.



«Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ-ның оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу туралы АКТ

«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ «Металлургия және материалтану» кафедрасының докторанты А.М. Әбдірашиттің 8D07203 - «Қара және түсті металдар металлургиясы» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған «Отандық шикізаттан орта көміртекті ферромарганецті балқытудың ресурс үнемдеуші технологиясын әзірлеу және енгізу» тақырыбындағы диссертациялық ғылыми зерттеулерінің негізгі теориялық ережелері мен нәтижелері Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының бакалавриат және магистратура (6B07203 - «Металлургия» және 7M07203 - «Металлургия») білім беру бағдарламаларының «Ферроқорытпалар өндірісінің теориясы мен технологиясы», «Ферроқорытпа өндірісіндегі рециклингтік технологиялар» пәндерін оқытуда енгізілген.

«Металлургия және тау-кен ісі»
кафедрасының менгерушісі,
т.ғ.к., қауымд. проф.

Е.У. Жумағалиев

3. Іске асырудың әсері. А.М. Әбдірашиттің диссертациялық зерттеу нәтижесінде алынған мәліметтер негізгі шикіқұрам материалдары ретінде марганец кені, төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец, алюминий сынықтары және әк колдану арқылы орта көміртекті ферромарганецті балқытылды.

Зерттеу нәтижесінде тәжірибелік өнеркәсіптік сынақтар жүргізіліп, орта көміртекті ферромарганецті балқытудың негізгі технологиялық параметрлері әзірленді. Орта көміртекті ферромарганецті балқытудың негізгі техникалық-экономикалық көрсеткіштері анықталды. Тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар FeMn80C20LP және FeMn80C20 (ISO 5446-80) маркалы орта көміртекті ферромарганецті төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганецті пен алюминий сынықтары арқылы балқыту мүмкіндігін дәлелденді.

Нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректерді әзірлеу. Алынған деректер бастапқы шикіқұрам материалдары ретінде марганец кені, төмен фосфорлы қайта өңделетін силикомарганец, алюминий сынықтары және әк колдану арқылы орта көміртекті ферромарганецті балқытуды пайдалануға мүмкіндік береді. Нақты өндіріс жағдайында әзірленіп жатқан технологияны табысты іске асыру тау-кен металлургия кешенінің бірқатар мәселелерін шешуге мүмкіндік береді. Біріншіден, отандық марганец кендерін жарату және олардан әлемдік нарықта бәсекеге қабілетті өнім (орта көміртекті ферромарганец) алу есебінен импортты алмастыру деңгейін арттыру. Екіншіден, ҚР аумағында шығарылатын болаттан және шойыннан жасалынатын бұйымдардың сұрыпталымын кеңейту.

4. Іске асыру орны мен уақыты. «Марганец» ҒӨБ» ЖШС-не технологиялық регламент түрінде енгізілді. Мекен-жайы: Қарағанды қаласы, Бадин көшесі 15. Енгізу уақыты – 10.04.2024 ж.

5. Енгізу нысаны. «Марганец» ҒӨБ» ЖШС-не енгізу үшін құжаттар ретінде докторанттың ҒЗЖ туралы есебі, жарияланымдары, сынау актісі, орта көміртекті ферромарганецті балқытуға арналған технологиялық регламент, бұл әзірленген қорытпаны алудың технологиялық процесі туралы барынша толық түсінік береді. Техникалық шешімдердің жаңалығы 16.06.2023 ж. «Орта көміртекті ферромарганецті балқытуға арналған шихта» KZ 8180 пайдалы моделге патентпен расталады.

Актіге қосымшалар (көшірмелер):

1. Орта көміртекті ферромарганец балқытуға арналған технологиялық регламент;
2. Патент KZ8180, 16.06.2023 г. «Орта көміртекті ферромарганецті балқытуға арналған шихта».

«Марганец» ҒӨБ» ЖШС директоры
Мусин Азат Мергенович



Ғылыми кеңесші,
PhD.,
Махамбетов Ерболат Нысаналыұлы



Докторант
Әбдірашит Асылбек Мирамханұлы



ҚОСЫМША Ғ

Термодинамикалық модельдеу нәтижелері

Кесте Ғ.1 - Термодинамикалық модельдеу нәтижелері (металдық фаза) (1-нұсқа)

№	t, °C	m _{Me}	Mn	Fe	Si	Al	C
1	2	3	4	5	6	7	8
CaO – 0 кг							
1	1473	96,31	71,87	15,37	10,69	-	2,07
2	1573	96,24	71,91	15,38	10,64	-	2,08
3	1673	95,62	71,69	15,48	10,74	-	2,09
4	1773	94,56	71,20	15,65	11,04	-	2,11
5	1873	93,52	70,71	15,82	11,33	-	2,14
6	1973	92,53	70,23	15,99	11,62	-	2,16
7	2073	91,70	69,82	16,13	11,87	-	2,18
CaO – 10 кг							
8	1473	98,43	73,14	15,04	9,80	-	2,03
9	1573	98,31	73,13	15,06	9,78	-	2,03
10	1673	97,80	72,98	15,13	9,85	-	2,04
11	1773	96,91	72,61	15,27	10,06	-	2,06
12	1873	96,04	72,24	15,41	10,27	-	2,08
13	1973	95,23	71,89	15,53	10,47	-	2,10
14	2073	94,52	71,59	15,65	10,65	-	2,11
CaO – 20 кг							
15	1473	100,32	74,23	14,75	9,03	-	1,99
16	1573	100,17	74,20	14,78	9,03	-	1,99
17	1673	99,78	74,12	14,83	9,05	-	2,00
18	1773	99,08	73,86	14,93	9,19	-	2,02
19	1873	98,38	73,60	15,04	9,33	-	2,03
20	1973	97,72	73,36	15,14	9,46	-	2,04
21	2073	97,13	73,14	15,22	9,58	-	2,06
CaO – 30 кг							
22	1473	102,25	75,32	14,47	8,26	-	1,95
23	1573	102,08	75,27	14,50	8,27	-	1,96
24	1673	101,81	75,24	14,53	8,26	-	1,96
25	1773	101,29	75,08	14,61	8,34	-	1,97
26	1873	100,76	74,93	14,68	8,41	-	1,98
27	1973	100,25	74,77	14,75	8,48	-	1,99
28	2073	99,76	74,62	14,82	8,55	-	2,00
CaO – 40 кг							
29	1473	104,31	76,44	14,19	7,45	-	1,91
30	1573	104,13	76,39	14,21	7,48	-	1,92
31	1673	103,97	76,40	14,23	7,45	-	1,92

Ғ.1-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
32	1773	103,61	76,33	14,28	7,47	-	1,93
34	1873	103,24	76,25	14,33	7,49	-	1,93
35	1973	102,85	76,17	14,38	7,51	-	1,94
36	2073	102,48	76,08	14,43	7,54	-	1,95
CaO – 50 кг							
37	1473	106,62	77,66	13,88	6,58	-	1,87
38	1573	106,43	77,60	13,90	6,62	-	1,88
39	1673	106,34	77,63	13,92	6,57	-	1,88
40	1773	106,12	77,62	13,94	6,56	-	1,88
41	1873	105,88	77,60	13,97	6,54	-	1,89
42	1973	105,62	77,58	14,00	6,53	-	1,89
43	2073	105,34	77,54	14,04	6,53	-	1,90
CaO – 60 кг							
44	1473	109,41	79,08	13,53	5,57	-	1,83
45	1573	109,22	79,01	13,55	5,61	-	1,83
46	1673	109,15	79,04	13,56	5,57	-	1,83
47	1773	109,02	79,05	13,57	5,54	-	1,83
48	1873	108,87	79,07	13,59	5,51	-	1,83
49	1973	108,70	79,08	13,61	5,48	-	1,84
50	2073	108,50	79,07	13,63	5,46	-	1,84
CaO – 70 кг							
51	1473	113,29	80,94	13,06	4,24	-	1,76
52	1573	113,14	80,89	13,08	4,27	-	1,77
53	1673	113,02	80,88	13,09	4,26	-	1,77
54	1773	112,86	80,86	13,11	4,26	-	1,77
55	1873	112,70	80,85	13,13	4,25	-	1,77
56	1973	112,54	80,85	13,15	4,23	-	1,77
57	2073	112,35	80,83	13,17	4,23	-	1,78
CaO – 80 кг							
59	1473	117,09	82,65	12,64	3,00	-	1,71
60	1573	117,05	82,64	12,64	3,01	-	1,71
61	1673	116,98	82,64	12,65	3,00	-	1,71
62	1773	116,87	82,63	12,66	3,00	-	1,71
63	1873	116,71	82,61	12,68	3,00	-	1,71
64	1973	116,52	82,58	12,70	3,00	-	1,71
65	2073	116,31	82,55	12,72	3,01	-	1,72
CaO – 90 кг							
66	1473	117,82	82,97	12,56	2,77	-	1,70
67	1573	117,78	82,96	12,56	2,78	-	1,70
68	1673	117,70	82,95	12,57	2,78	-	1,70

Ғ.1-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
69	1773	117,58	82,94	12,59	2,77	-	1,70
70	1873	117,42	82,93	12,60	2,77	-	1,70
71	1973	117,24	82,92	12,62	2,76	-	1,70
72	2073	117,02	82,91	12,64	2,74	-	1,71
CaO – 100 кг							
73	1473	117,97	83,03	12,54	2,73	-	1,69
74	1573	117,92	83,02	12,55	2,73	-	1,69
75	1673	117,83	83,02	12,56	2,73	-	1,69
76	1773	117,71	83,01	12,57	2,73	-	1,70
77	1873	117,55	83,00	12,59	2,71	-	1,70
78	1973	117,35	83,00	12,61	2,69	-	1,70
79	2073	117,13	83,01	12,63	2,65	-	1,71
CaO – 110 кг							
80	1473	118,03	83,06	12,54	2,71	-	1,69
81	1573	117,97	83,05	12,54	2,72	-	1,69
82	1673	117,88	83,04	12,55	2,71	-	1,69
83	1773	117,75	83,03	12,57	2,71	-	1,70
84	1873	117,59	83,03	12,58	2,69	-	1,70
85	1973	117,38	83,04	12,61	2,66	-	1,70
86	2073	117,15	83,06	12,63	2,60	-	1,70
CaO – 120 кг							
87	1473	118,05	83,07	12,53	2,70	-	1,69
88	1573	118,00	83,06	12,54	2,71	-	1,69
89	1673	117,91	83,05	12,55	2,70	-	1,69
90	1773	117,77	83,04	12,56	2,69	-	1,70
91	1873	117,60	83,05	12,58	2,67	-	1,70
92	1973	117,39	83,06	12,61	2,63	-	1,70
93	2073	117,15	83,10	12,63	2,57	-	1,70
CaO – 130 кг							
94	1473	118,07	83,08	12,53	2,70	-	1,69
95	1573	118,01	83,07	12,54	2,70	-	1,69
96	1673	117,92	83,06	12,55	2,70	-	1,69
97	1773	117,78	83,05	12,56	2,69	-	1,70
98	1873	117,60	83,06	12,58	2,66	-	1,70
99	1973	117,39	83,08	12,61	2,61	-	1,70
100	2073	117,14	83,12	12,63	2,54	-	1,70
CaO – 140 кг							
101	1473	118,08	83,08	12,53	2,70	-	1,69
102	1573	118,02	83,07	12,54	2,70	-	1,69
103	1673	117,92	83,06	12,55	2,69	-	1,69

Ғ.1-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
104	1773	117,799	83,06	12,56	2,68	-	1,70
105	1873	117,60	83,07	12,58	2,65	-	1,70
106	1973	117,38	83,09	12,61	2,60	-	1,70
107	2073	117,13	83,14	12,63	2,52	-	1,71

Кесте F.2 - Термодинамикалық модельдеу нәтижелері (металдық фаза) (2-нұсқа)

№	t, °C	m _{Me}	Mn	Fe	Si	Al	C
1	2	3	4	5	6	7	8
Марганец кені – 100 кг							
1	1473	117,82	82,97	12,56	2,77	-	1,70
2	1573	117,78	82,96	12,56	2,78	-	1,70
3	1673	117,70	82,95	12,57	2,78	-	1,70
4	1773	117,58	82,94	12,59	2,77	-	1,70
5	1873	117,42	82,93	12,60	2,77	-	1,70
6	1973	117,24	82,92	12,62	2,76	-	1,70
7	2073	117,02	82,91	12,64	2,74	-	1,71
Марганец кені – 105 кг							
8	1473	118,66	83,47	12,59	2,26	-	1,68
9	1573	118,62	83,46	12,59	2,26	-	1,68
10	1673	118,58	83,46	12,60	2,26	-	1,68
11	1773	118,49	83,46	12,61	2,25	-	1,69
12	1873	118,37	83,44	12,62	2,25	-	1,69
13	1973	118,22	83,43	12,64	2,25	-	1,69
14	2073	118,05	83,42	12,65	2,24	-	1,69
Марганец кені – 110 кг							
15	1473	119,19	83,83	12,65	1,84	-	1,68
16	1573	119,17	83,83	12,65	1,84	-	1,68
17	1673	119,15	83,84	12,65	1,83	-	1,68
18	1773	119,10	83,84	12,66	1,83	-	1,68
19	1873	119,01	83,83	12,67	1,82	-	1,68
20	1973	118,89	83,82	12,68	1,82	-	1,68
21	2073	118,75	83,80	12,70	1,82	-	1,68
Марганец кені – 115 кг							
22	1473	119,22	83,98	12,76	1,58	-	1,68
23	1573	119,19	83,98	12,77	1,58	-	1,68
24	1673	119,20	83,99	12,77	1,57	-	1,68
25	1773	119,16	84,00	12,77	1,56	-	1,68
26	1873	119,10	83,99	12,78	1,55	-	1,68
27	1973	119,01	83,98	12,79	1,55	-	1,68
28	2073	118,88	83,96	12,80	1,56	-	1,68
Марганец кені – 120 кг							
29	1473	118,67	83,89	12,94	1,48	-	1,68
30	1573	118,63	83,88	12,95	1,49	-	1,68
31	1673	118,64	83,89	12,94	1,48	-	1,68
32	1773	118,60	83,90	12,95	1,47	-	1,68
34	1873	118,55	83,90	12,95	1,47	-	1,68

Ғ.2-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
35	1973	118,48	83,89	12,96	1,46	-	1,69
36	2073	118,38	83,88	12,97	1,46	-	1,69
Марганец кені – 125 кг							
37	1473	117,75	83,64	13,16	1,50	-	1,70
38	1573	117,68	83,62	13,17	1,52	-	1,70
39	1673	117,68	83,63	13,17	1,51	-	1,70
40	1773	117,64	83,63	13,17	1,50	-	1,70
41	1873	117,61	83,64	13,17	1,49	-	1,70
42	1973	117,56	83,64	13,18	1,48	-	1,70
43	2073	117,49	83,64	13,18	1,47	-	1,70
Марганец кені – 130 кг							
44	1473	116,64	83,30	13,41	1,58	-	1,71
45	1573	116,55	83,27	13,42	1,60	-	1,71
46	1673	116,55	83,28	13,42	1,59	-	1,71
47	1773	116,53	83,29	13,42	1,57	-	1,71
48	1873	116,52	83,32	13,42	1,55	-	1,71
49	1973	116,52	83,34	13,41	1,53	-	1,71
50	2073	116,49	83,36	13,41	1,51	-	1,71
Марганец кені – 135 кг							
51	1473	115,47	82,94	13,66	1,67	-	1,73
52	1573	115,36	82,90	13,68	1,70	-	1,73
53	1673	115,38	82,92	13,67	1,68	-	1,73
54	1773	115,40	82,95	13,67	1,65	-	1,73
55	1873	115,43	82,99	13,66	1,62	-	1,73
56	1973	115,48	83,03	13,65	1,58	-	1,73
57	2073	115,50	83,07	13,65	1,55	-	1,73
Марганец кені – 140 кг							
59	1473	114,31	82,57	13,92	1,76	-	1,75
60	1573	114,19	82,52	13,94	1,80	-	1,75
61	1673	114,24	82,56	13,93	1,76	-	1,75
62	1773	114,30	82,61	13,92	1,73	-	1,75
63	1873	114,40	82,67	13,91	1,67	-	1,75
64	1973	114,49	82,74	13,89	1,62	-	1,74
65	2073	114,55	82,80	13,88	1,58	-	1,74
Марганец кені – 145 кг							
66	1473	113,19	82,20	14,19	1,85	-	1,76
67	1573	113,06	82,15	14,20	1,88	-	1,77
68	1673	113,15	82,21	14,19	1,84	-	1,77
69	1773	113,27	82,29	14,17	1,78	-	1,76
70	1873	113,41	82,38	14,15	1,71	-	1,76
71	1973	113,55	82,47	14,13	1,65	-	1,76

Ғ.2- кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
72	2073	113,65	82,54	14,11	1,59	-	1,76
Марганец кені – 150 кг							
73	1473	112,11	81,85	14,45	1,92	-	1,78
74	1573	111,97	81,80	14,46	1,95	-	1,78
75	1673	112,11	81,88	14,44	1,89	-	1,78
76	1773	112,28	81,98	14,42	1,82	-	1,78
77	1873	112,47	82,10	14,39	1,74	-	1,78
78	1973	112,65	82,21	14,36	1,66	-	1,77
79	2073	112,79	82,30	14,34	1,59	-	1,77
Марганец кені – 155 кг							
80	1473	111,08	81,52	14,71	1,97	-	1,80
81	1573	110,94	81,46	14,72	2,01	-	1,80
82	1673	111,12	81,57	14,70	1,94	-	1,80
83	1773	111,34	81,69	14,67	1,85	-	1,79
84	1873	111,58	81,83	14,63	1,75	-	1,79
85	1973	111,79	81,96	14,60	1,66	-	1,79
86	2073	111,95	82,06	14,57	1,58	-	1,78
Марганец кені – 160 кг							
87	1473	110,09	81,20	14,97	2,02	-	1,81
88	1573	109,94	81,14	14,98	2,06	-	1,82
89	1673	110,17	81,27	14,95	1,97	-	1,81
90	1773	110,44	81,42	14,91	1,86	-	1,81
91	1873	110,71	81,57	14,87	1,75	-	1,80
92	1973	110,95	81,72	14,83	1,65	-	1,80
93	2073	111,14	81,84	14,80	1,57	-	1,80
Марганец кені – 165 кг							
94	1473	109,13	80,89	15,23	2,06	-	1,83
95	1573	108,98	80,83	15,24	2,10	-	1,83
96	1673	109,25	80,97	15,21	1,99	-	1,83
97	1773	109,56	81,15	15,16	1,87	-	1,82
98	1873	109,86	81,32	15,11	1,75	-	1,82
99	1973	110,13	81,48	15,07	1,64	-	1,81
100	2073	110,35	81,61	15,03	1,55	-	1,81
Марганец кені – 170 кг							
101	1473	108,20	80,59	15,48	2,08	-	1,85
102	1573	108,05	80,52	15,51	2,12	-	1,85
103	1673	108,35	80,69	15,46	2,00	-	1,84
104	1773	108,70	80,88	15,41	1,87	-	1,84
105	1873	109,03	81,07	15,36	1,74	-	1,83
106	1973	109,33	81,24	15,31	1,62	-	1,83
107	2073	109,56	81,39	15,26	1,53	-	1,82

Кесте F.3 - Термодинамикалық модельдеу нәтижелері (металдық фаза) (3-нұсқа)

№	t, °C	m _{Me}	Mn	Fe	Si	Al	C
Алюминий – 0 кг							
1	1473	119,38	85,29	12,40	0,64	0,00	1,67
2	1573	119,35	85,28	12,40	0,65	0,00	1,67
3	1673	119,38	85,30	12,39	0,63	0,00	1,67
4	1773	119,39	85,31	12,39	0,62	0,00	1,67
5	1873	119,39	85,32	12,39	0,61	0,00	1,67
6	1973	119,37	85,32	12,39	0,61	0,00	1,67
7	2073	119,33	85,32	12,39	0,61	0,00	1,67
Алюминий – 1 кг							
8	1473	121,77	85,40	12,15	0,81	0,00	1,64
9	1573	121,75	85,39	12,15	0,82	0,00	1,64
10	1673	121,78	85,41	12,15	0,80	0,00	1,64
11	1773	121,79	85,42	12,15	0,79	0,00	1,64
12	1873	121,77	85,43	12,15	0,78	0,00	1,64
13	1973	121,74	85,43	12,15	0,78	0,00	1,64
14	2073	121,68	85,41	12,16	0,78	0,01	1,64
Алюминий – 2 кг							
15	1473	123,89	85,39	11,94	1,05	0,00	1,61
16	1573	123,87	85,39	11,95	1,05	0,00	1,61
17	1673	123,91	85,41	11,94	1,04	0,00	1,61
18	1773	123,90	85,42	11,94	1,03	0,00	1,61
19	1873	123,87	85,42	11,94	1,02	0,00	1,61
20	1973	123,82	85,41	11,95	1,02	0,01	1,61
21	2073	123,74	85,40	11,96	1,02	0,01	1,61
Алюминий – 3 кг							
22	1473	125,69	85,26	11,77	1,38	0,00	1,59
23	1573	125,67	85,26	11,77	1,38	0,00	1,59
24	1673	125,69	85,28	11,77	1,36	0,00	1,59
25	1773	125,67	85,28	11,77	1,35	0,00	1,59
26	1873	125,62	85,28	11,78	1,34	0,01	1,59
27	1973	125,54	85,27	11,79	1,34	0,01	1,59
28	2073	125,44	85,25	11,79	1,34	0,03	1,59
Алюминий – 4 кг							
29	1473	127,18	85,02	11,64	1,78	0,00	1,57
30	1573	127,15	85,01	11,64	1,78	0,00	1,57
31	1673	127,15	85,02	11,64	1,76	0,00	1,57
32	1773	127,10	85,03	11,64	1,76	0,01	1,57
34	1873	127,02	85,02	11,65	1,75	0,01	1,57
35	1973	126,92	85,00	11,66	1,74	0,03	1,57

Ғ.3-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
36	2073	126,79	84,97	11,67	1,73	0,05	1,58
Алюминий – 5 кг							
37	1473	128,41	84,68	11,52	2,24	0,00	1,56
38	1573	128,38	84,67	11,53	2,24	0,00	1,56
39	1673	128,34	84,68	11,53	2,23	0,00	1,56
40	1773	128,27	84,67	11,54	2,22	0,01	1,56
41	1873	128,16	84,66	11,55	2,21	0,02	1,56
42	1973	128,02	84,63	11,56	2,20	0,05	1,56
43	2073	127,87	84,59	11,57	2,18	0,09	1,56
Алюминий – 6 кг							
44	1473	129,47	84,28	11,43	2,74	0,00	1,54
45	1573	129,43	84,28	11,43	2,75	0,00	1,54
46	1673	129,36	84,27	11,44	2,74	0,01	1,54
47	1773	129,25	84,26	11,45	2,73	0,02	1,55
48	1873	129,11	84,24	11,46	2,72	0,04	1,55
49	1973	129,94	84,20	11,48	2,69	0,08	1,55
50	2073	128,77	84,16	11,49	2,65	0,15	1,55
Алюминий – 7 кг							
51	1473	130,42	83,85	11,35	3,27	0,00	1,53
52	1573	130,37	83,84	11,35	3,27	0,00	1,53
53	1673	130,27	83,83	11,36	3,26	0,01	1,53
54	1773	130,13	83,81	11,37	3,25	0,03	1,53
55	1873	129,96	83,78	11,39	3,23	0,06	1,54
56	1973	129,76	83,74	11,40	3,19	0,13	1,54
57	2073	129,58	83,68	11,42	3,12	0,24	1,54
Алюминий – 8 кг							
59	1473	131,30	83,40	11,27	3,81	0,00	1,52
60	1573	131,24	83,39	11,28	3,81	0,01	1,52
61	1673	131,11	83,37	11,29	3,80	0,02	1,52
62	1773	130,94	83,35	11,30	3,79	0,04	1,53
63	1873	130,73	83,31	11,32	3,75	0,09	1,53
64	1973	130,52	83,25	11,34	3,69	0,19	1,53
65	2073	130,32	83,19	11,36	3,59	0,34	1,53
Алюминий – 9 кг							
66	1473	132,14	82,94	11,20	4,35	0,00	1,51
67	1573	132,07	82,93	11,21	4,35	0,01	1,51
68	1673	131,91	82,91	11,22	4,34	0,02	1,51
69	1773	131,70	82,87	11,24	4,32	0,06	1,52
70	1873	131,47	82,82	11,26	4,27	0,13	1,52
71	1973	131,23	82,75	11,28	4,18	0,27	1,52

Ғ.3-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
72	2073	131,03	82,68	11,29	4,04	0,46	1,52
Алюминий – 10 кг							
73	1473	132,95	82,48	11,13	4,89	0,00	1,50
74	1573	132,86	82,46	11,14	4,89	0,01	1,50
75	1673	132,67	82,43	11,15	4,88	0,03	1,51
76	1773	132,43	82,39	11,17	4,85	0,08	1,51
77	1873	132,17	82,33	11,20	4,78	0,18	1,51
78	1973	131,92	82,25	11,22	4,67	0,35	1,51
79	2073	131,72	82,16	11,24	4,48	0,61	1,52
Алюминий – 11 кг							
80	1473	133,73	82,01	11,07	5,43	0,00	1,49
81	1573	133,63	81,99	11,07	5,43	0,01	1,49
82	1673	133,41	81,95	11,09	5,41	0,04	1,50
83	1773	133,14	81,90	11,11	5,38	0,11	1,50
84	1873	132,85	81,83	11,14	5,29	0,24	1,50
85	1973	132,58	81,74	11,16	5,14	0,45	1,51
86	2073	132,39	81,63	11,18	4,91	0,76	1,51
Алюминий – 12 кг							
87	1473	134,50	81,54	11,00	5,97	0,01	1,48
88	1573	134,38	81,52	11,01	5,96	0,02	1,49
89	1673	134,13	81,48	11,03	5,95	0,06	1,49
90	1773	133,82	81,41	11,06	5,90	0,14	1,49
91	1873	133,51	81,33	11,08	5,79	0,30	1,50
92	1973	133,23	81,23	11,11	5,60	0,56	1,50
93	2073	133,04	81,11	11,12	5,33	0,93	1,50
Алюминий – 13 кг							
94	1473	135,25	81,07	10,94	6,50	0,01	1,48
95	1573	135,12	81,05	10,95	6,49	0,03	1,48
96	1673	134,83	81,00	10,98	6,47	0,07	1,48
97	1773	134,49	80,92	11,00	6,41	0,18	1,48
98	1873	134,15	80,83	11,03	6,28	0,37	1,49
99	1973	133,87	80,72	11,05	6,06	0,68	1,49
100	2073	133,69	80,59	11,07	5,74	1,11	1,49
Алюминий – 14 кг							
101	1473	135,99	80,61	10,88	7,03	0,01	1,47
102	1573	135,84	80,58	10,99	7,02	0,03	1,47
103	1673	135,51	80,52	10,92	6,99	0,09	1,47
104	1773	135,14	80,44	10,95	6,92	0,22	1,48
105	1873	134,78	80,33	10,98	6,76	0,45	1,48
106	1973	134,50	80,20	11,00	6,50	0,81	1,48
107	2073	134,33	80,06	11,02	6,13	1,30	1,49

Кесте F.4 - Термодинамикалық модельдеу нәтижелері (металдық фаза) (4-нұсқа)

№	t, °C	m _{Me}	Mn	Fe	Si	Al	C
1	2	3	4	5	6	7	8
Алюминий – 0 кг							
1	1473	99,40	83,82	13,88	0,62	0,00	1,68
2	1573	99,34	83,80	13,89	0,63	0,00	1,68
3	1673	99,39	83,83	13,88	0,61	0,00	1,68
4	1773	99,45	83,87	13,87	0,58	0,00	1,68
5	1873	99,53	83,92	13,86	0,55	0,00	1,68
6	1973	99,61	83,97	13,84	0,51	0,00	1,67
7	2073	99,67	84,01	13,83	0,49	0,00	1,67
Алюминий – 1 кг							
8	1473	102,18	84,18	13,50	0,69	0,00	1,63
9	1573	102,13	84,15	13,51	0,7	0,00	1,63
10	1673	102,16	84,17	13,51	0,69	0,00	1,63
11	1773	102,20	84,20	13,50	0,67	0,00	1,63
12	1873	102,25	84,24	13,49	0,64	0,00	1,63
13	1973	102,31	84,28	13,48	0,61	0,00	1,63
14	2073	102,35	84,31	13,47	0,59	0,00	1,63
Алюминий – 2 кг							
15	1473	104,93	84,49	13,15	0,77	0,00	1,59
16	1573	104,88	84,47	13,16	0,78	0,00	1,59
17	1673	104,89	84,48	13,15	0,77	0,00	1,59
18	1773	104,91	84,50	13,15	0,76	0,00	1,59
19	1873	104,94	84,52	13,15	0,74	0,00	1,59
20	1973	104,96	84,55	13,14	0,72	0,00	1,59
21	2073	104,98	84,57	13,13	0,70	0,00	1,59
Алюминий – 3 кг							
22	1473	107,60	84,76	12,82	0,87	0,00	1,55
23	1573	107,55	84,74	12,83	0,88	0,00	1,55
24	1673	107,56	84,75	12,83	0,87	0,00	1,55
25	1773	107,56	84,76	12,83	0,87	0,00	1,55
26	1873	107,56	84,77	12,83	0,85	0,00	1,55
27	1973	107,55	84,78	12,82	0,84	0,00	1,55
28	2073	107,54	84,79	12,82	0,83	0,00	1,55
Алюминий – 4 кг							
29	1473	110,14	84,95	12,53	1,01	0,00	1,51
30	1573	110,09	84,93	12,53	1,02	0,00	1,51
31	1673	110,10	84,94	12,53	1,01	0,00	1,51
32	1773	110,09	84,95	12,53	1,00	0,00	1,51
34	1873	110,07	84,96	12,53	1,00	0,00	1,51

Ғ.4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
35	1973	110,04	84,95	12,54	0,99	0,00	1,52
36	2073	110	85,04	12,54	0,98	0,01	1,52
Алюминий – 5 кг							
37	1473	112,47	85,04	12,27	1,21	0,00	1,48
38	1573	112,43	85,03	12,27	1,22	0,00	1,48
39	1673	112,44	85,04	12,27	1,20	0,00	1,48
40	1773	112,42	85,05	12,27	1,19	0,00	1,48
41	1873	112,39	85,05	12,28	1,19	0,00	1,48
42	1973	112,34	85,05	12,28	1,18	0,00	1,48
43	2073	112,27	85,03	12,29	1,18	0,01	1,49
Алюминий – 6 кг							
44	1473	114,51	85,01	12,05	1,48	0,00	1,46
45	1573	114,48	85,00	12,05	1,49	0,00	1,46
46	1673	114,49	85,02	12,05	1,47	0,00	1,46
47	1773	114,47	85,02	12,06	1,46	0,00	1,46
48	1873	114,42	85,02	12,06	1,46	0,01	1,46
49	1973	114,35	85,01	12,07	1,45	0,01	1,46
50	2073	114,26	84,99	12,07	1,45	0,02	1,46
Алюминий – 7 кг							
51	1473	116,23	84,84	11,87	1,48	0,00	1,43
52	1573	116,20	84,84	11,87	1,49	0,00	1,44
53	1673	116,20	84,85	11,88	1,47	0,00	1,44
54	1773	116,16	84,85	11,88	1,46	0,01	1,44
55	1873	116,09	84,85	11,89	1,46	0,01	1,44
56	1973	115,99	84,83	11,90	1,45	0,03	1,44
57	2073	115,87	84,80	11,91	1,45	0,05	1,44
Алюминий – 8 кг							
59	1473	117,62	84,54	11,73	2,31	0,00	1,42
60	1573	117,59	84,54	11,73	2,31	0,00	1,42
61	1673	117,56	84,54	11,74	2,30	0,00	1,42
62	1773	117,49	84,54	11,74	2,29	0,01	1,42
63	1873	117,39	84,52	11,75	2,28	0,02	1,42
64	1973	117,26	84,50	11,77	2,26	0,05	1,42
65	2073	117,12	84,46	11,78	2,24	0,10	1,42
Алюминий – 9 кг							
66	1473	118,75	84,14	11,62	2,83	0,00	1,40
67	1573	118,72	84,13	11,62	2,83	0,00	1,40
68	1673	118,65	84,13	11,63	2,83	0,01	1,41
69	1773	118,55	84,12	11,64	2,82	0,02	1,41
70	1873	118,42	84,09	11,65	2,80	0,05	1,41

Ғ.4-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5	6	7	8
71	1973	118,26	84,06	11,67	2,77	0,10	1,41
72	2073	118,10	84,01	11,68	2,72	0,18	1,41
Алюминий – 10 кг							
73	1473	132,95	82,48	11,13	4,89	0,00	1,50
74	1573	132,86	82,46	11,14	4,89	0,01	1,50
75	1673	132,67	82,43	11,15	4,88	0,03	1,51
76	1773	132,43	82,39	11,17	4,85	0,08	1,51
77	1873	132,17	82,33	11,20	4,78	0,18	1,51
78	1973	131,92	82,25	11,22	4,67	0,35	1,51
79	2073	131,72	82,16	11,24	4,48	0,61	1,52