

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

Қашқатай Жадыра Муратқызы

«Мысты концентраттарды штейнге электрбалқыту цехының жобасы»

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B070900 – Metallургия мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.

_____М.Б.Барменшинова

«_____» _____2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Мысты концентраттарды штейнге электрбалқыту цехының жобасы»

Мамандығы 5B070900 – Metallургия

Орындаған

Қашқатай Ж.

Ғылыми жетекші

техн. ғыл. канд., сениор-лектор

_____Г.Ж. Молдабаева

«_____» _____2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

5В070900 – Metallургия

БЕКІТЕМІН

МжПҚБ кафедра меңгерушісі, техн. ғыл. канд.

_____М.Б. Барменшинова

« » _____ 2020 ж.

Дипломдық жоба орындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы: Қашқатай Жадыра Муратқызы

Тақырыбы: «Мысты концентраттарды итейінге электрбалқыту цехының жобасы»

Университет Ректорының 2020 жылғы «27» қаңтар № 762-б бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «18» мамыр 2020 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берілістері: мыс өндірісінің мәліметтері, мыс концентратының химиялық және фазалық құрамдары, электрбалқытудың температурасы, десульфуризациялау дәрежесі, электрбалқыту цехының жылдық өнімділігі

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) кіріспе;

б) өндірістің технологиялық үдірістері мен шешімдері;

в) технологиялық процестің есептеулері;

г) қорытынды.

Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс): электрнеиштің сызбасы, қосымша жабдықтың сызбасы, цех жоспары мен қимасы

Ұсынылатын негізгі әдебиет 15 атаудан тұрады

Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе	11.02.2020 ж.	
Әдеби шолу	25.03.2020 ж.	
Технологиялық бөлім	08.04.2020 ж.	
Металлургиялық есептеулер	15.04.2020 ж.	
Қорытынды	30.04.2020 ж.	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен
норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Негізгі бөлім	Г.Ж.Молдабаева техн. ғыл. канд., сениор-лектор		
Норма бақылау	А.Н.Таймасова техн. ғыл. магистрі		

Ғылыми жетекші _____ Г.Ж.Молдабаева

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Қашқатай Ж.М.

Күні _____ «03 » ақпан 2020 ж.

АНДАТПА

Ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты мысты концентраттарды штейнге электрбалқыту цехын жобалау болып табылады. Дипломдық жобадағылыми-зерттеу жұмыстар анализі, кендітермиялық балқытудың физика-химиялық негіздері, кендітермиялық балқытудың химизмі, сондай-ақ қожбен металл жоғалымы, жылу жұмысы және балқыту механизмі, негізгі технологиялық процестердің сипаттамасы келтірілген.

Технологиялық көрсеткіштерді металлургиялық есептеулері орындалған. Есептеулер бойынша технологиялық сызбанұсқалар ұсынылған.

АННОТАЦИЯ

Целью предлагаемой работы является проектирование цеха электроплавки медных концентратов наштейн. В дипломном проекте выполнен анализ научно-исследовательских работ, рассмотрены физико-химические основы электротермической плавки, химизм руднотермической плавки, а также потери металлов со шлаками, тепловая работа и механизм процесса электроплавки, приведена характеристика основных технологических процессов.

Выполнены металлургические расчеты технологических показателей. На основании проведенных расчетов выполнена графическая часть работы.

ANNOTATION

The purpose of the proposed work is to design a shop for electric melting of copper concentrates on matte. The thesis project the analysis of scientific-research works, the authors consider the physical-chemical basis electrothermal melting, the chemistry of ore-thermal melting and loss of metals from slag, thermal performance and mechanism of the process of electric smelting, the characteristics of the main technological processes.

Metallurgical calculations of technological indicators were performed. Based on the calculations performed, the graphical part of the work is performed.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	
1 Негізгі бөлім	
1.1 Кендітермиялық балқытудың физика-химиялық негіздері	10
1.2 Кендітермиялық балқытудың химизмі	12
1.2.1 Қожбен металл жоғалымы	16
1.2.2 Жылу жұмысы және балқыту механизмі	17
1.3 Негізгі технологиялық процестердің сипаттамасы	22
2 Жобаның технологиялық шешімі	
2.1 Есептеу үшін бастапқы деректер	24
2.2 Рационалдық құрамды есептеу	24
2.3 Штейннің құрамын есептеу	24
2.4 Үйді қождың құрамын есептеу	25
2.5 Шаңды есептеу	26
2.6 Технологиялық газдарды есептеу	27
2.7 Қалдық газдарды есептеу	28
2.8 Жылу балансын есептеу	32
Қорытынды	36
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	37

КІРІСПЕ

Штейнге кендітермиялық балқыту сульфидті мыс шикізатын өңдеу технологиясындағы маңызды қайта бөлулердің бірі болып табылады. Электр балқыту процесінің негізгі мақсаты бастапқы шикіқұрамды балқытудың есебінен мыс штейнін алу және балқыманы сұйықтықты күйде ұстау болып табылады, соның салдарынан материалдыликвациялау немесе штейн мен қожғақатпарлау болады. Оксидтер мен силикаттардан тұратын неғұрлым жеңіл қож балқыманың бетіне көтеріледі, ал түсті металдар мен темір сульфидтерінің қорытпасыжәне металл фазасының кейбір құрамы бар соныменқатартығыздыққа ие штейн ваннаның түбіне түседі.

Электр балқытудың агрегаты тікбұрышты пішінді, алты электродты кендітермиялық электр пеші болып табылады. Пештің күмбезінде 24 тиеу тесігі орналасады, олар арқылы шикіқұрам пешке беріледі. Газдар пеш күмбезінде 6 газ бұрғыш арқылы шығарылады.

Электр балқыту процесі үздіксіз болып табылады. КС пешінде күйдірілген шекемтастар мен кеннің қоспасынан тұратын, қажет болған жағдайда кварц флюстерінің кейбір мөлшері бар шихтакенді термиялық пешке күмбездегі тиеу тесіктері арқылы түседі және балқытылған қожға түсіріледі. Штейн мен қожды құю әртүрлі биіктікте орналасқан арнайы тесіктер арқылы жүргізіледі.

Электр балқытудың бірқатар артықшылықтары бар. Электродтар арасында пайда болатын электродугалар салыстырмалы аз уақыт аралығында жоғары температураға дейін шихтаны қыздыруға қабілетті, сонымен қатар электр энергиясы отынның басқа түрлеріне қарағанда арзан. Осыған байланысты кендітермиялық пештерде штейнге балқыту кең таралған және көптеген мыс және мыс-никель кәсіпорындарында қолданылады.

1 Негізгі бөлім

1.1 Кендітермиялық балқытудың физика-химиялық негіздері

Қазіргі уақытта мыс концентраттарын балқытудың көптеген технологиялық және аппаратуралық нұсқалары ұсынылған. Оларға 60-шы жылдардың ортасынан бастап енгізілген және өнеркәсіптік ауқымда шикізатты балқытудың жаңа тәсілдері жатады:

- концентраттарды көлденең конвертерде балқыту;
- Норанда әдісі бойынша мысты концентраттарды үздіксіз балқыту процесі;
- WORCRA тәсілі бойынша балқыту, "Козик Рио-Тинто" (Австралия) фирмасында дайындалған;
- НТКМК, БТКМК және Рязцветмет зауытына енгізілген СББ (а. В. Ванюков процесі);
- Мицубиси (Жапония) фирмасы үздіксіз балқыту процесін қарастырды, 3 пеште мыс концентраттарын конвертерленуі;
- Q-S үздіксіз балқыту процесі, АҚШ-тың ғалымдары П. Кено және Р. Шуман зерттеп ашқан;
- жүктеген қыздырғышты агрегатта мыс шикізатын өңдеуге арналған Isasmelt процесі;

Сульфидті мыс шикізатын өңдеу бойынша ең перспективалы процестің бірі ең маңызды физика-химиялық үдерістердің оңтайландырылуын атап өтетін, бүгінгі таңда оны кендітермиялық балқыту процесі деп атайды. Кендітермиялық балқыту 1928 жылы Норвегияда алғаш рет енгізілді. Процесс қыздыру типті металлургиялық агрегатта өтеді. Сульфидті материалдардың электр пештерінде кенді балқыту шағылыстырғыш балқытудың жақын аналогы болып табылады және процестің химизмі мен аппаратуралық рәсімделуінде көп ұқсастық бар. Жылыту түріндегі пештерден айтарлықтай айырмашылығы пеште жоғары температураны жасау үшін пайдаланылатын жылу энергиясы көзі есебінен балқыту ваннасында жылу бөлу болып табылады. Электр пешіндегі шихта қожды балқытуға батырылған электродтардың көмегімен электр тогын өткізу кезінде бөлінетін жылудан балқиды. Бұл жағдайда шлак кедергі денесі болып табылады, ал балқыту үшін қажетті жылу балқытылған ваннада тікелей бөлінеді. Бұл өз кезегінде өңделетін шихтаның балқу механизмін айтарлықтай өзгертеді.

Мыс кендері мен концентраттарын өңдеу үшін электр балқытуды Алаверд және Жезқазған тау-кен металлургиялық комбинаттары мен он шақты шетелдік кәсіпорын пайдаланады.

Кендітермиялық балқытудың басқа металлургиялық процестерден айтарлықтай ерекшеліктері бар:

- пайдалы әрекеттің үлкен коэффициенті;
- үлкен тиімділік;
- баяу балқитын материалдарды қайта өңдеу мүмкіндігі;

- оттық газдардың аз шығуы;
- пеш атмосферасын реттеу мүмкіндігі;

Бұл процесс көптеген жылдар бойы зерттеліп және жетілдіріліп келеді, бұны әр түрлі елдердің ғалымдары жүргізген зерттеулер дәлелдейді. Төменде кендітермиялық балқыту процесін зерттеудің нақты мысалдары келтірілген және осы процесті жетілдіру нұсқалары ұсынылған:

Кендітермиялық пештің бос тұрып қалғаннан кейін қыздыру параметрлерін анықтау тәсілі сипатталған. Өнертабыс электротермиялық өндірістерді автоматтандыруға, атап айтқанда тоқтап қалғаннан кейін пешті қыздырудың электр параметрлерін анықтауға жатады. Өнертабыстың мәні: пешті қыздыруға арналған негізгі электр параметрі пешті қосаралдында ваннаның жылу құрамына және өздігінен жанатын электродқа, оның үлгі өлшеміне және алынатын өнімнің түріне байланысты эмпирикалық математикалық өрнек бойынша анықталады. Ваннаның жылу жай-күйі электродтар тізбегін дегі тұрақты ток кернеуінің өзгеруі бойынша анықталады, ол пешті сөндіру кезінде және оның қосылуына дейін тұрып қалу кезінде өлшенеді. Пештің жылу жағдайын белгілі бір деңгейде ұстау үшін көрсетілген кернеуге жеткен кезде пештің ең аз рұқсат етілген мәніне белгілі бір уақыт аралығында қосылады. Өнер табыс ұзақ тұрып қалған және пешті одан әрі іске қосу кезінде өздігінен күйдіретін электрод жұмысының сенімділігін арттыруға арналған. Мысалы, жоспарлы алдын-ала жөндеу, шихтаның немесе электр энергиясының болмауы және т.б. туындаған пештің тұрып қалуынан кейін. Электр пеші оны біртіндеп номиналды қуатқа шығарған кезде қыздыру режимінде жұмыс істейді. Егер пешті бірден номиналды қуатқа қосса, онда термиялық кернеулердің пайда болуы нәтижесінде тез қызып кетуінен электродтардың денесінде жарықтар пайда болады, олар ақыр соңында олардың сынуына немесе үзілуіне әкеледі [1].

Шлак сифоны мен миксердегі кендітермиялық балқыту қождарының азаюын өнеркәсіптік сынау нәтижелері бай штейнді (70 %) алу кезінде шламтағы мыс құрамының 0,5-0,6 % дейін төмендеуінің принципті мүмкіндігін және практикалық жетістігін көрсетті. "ГМК Норильский никель" ЗФ мыс зауытының жағдайына қатысты шлактарды зерттеу және енгізу перспективалары дайындалды [2].

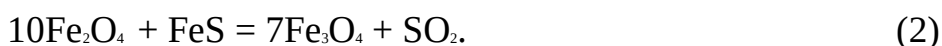
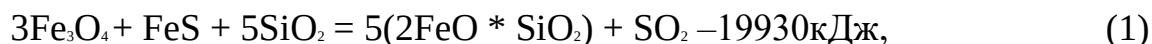
Сынақ барысында арнайы пеш салынды, онда пеш шахтасы тік қоршаумен екі камераға бөлінген. Жаңа балқыту кешенін сынау және пайдалану кезінде екі камерада да балқыту температурасын басқару тәсілдері, алынатын штейннің құрамын реттеу тәсілдері, шикіқұрам мен реагенттерді үздіксіз тиеу, қож бен штейнді беру тәсілдері әзірленді, кендітермиялық пеште тотыққан мыс кендерін балқытудың бірқатар маңызды технологиялық заңдылықтары белгіленген [3].

1.2 Кендітермиялық балқытудың химизмі

Кендітермиялық балқыту шихтасының құрамына кен, кептірілген концентрат, огарок, агломерат, шекемтастар, айналмалы конвертерлік шлактар, флюстер және кейде көміртекті қалпына келтіргіш кіруі мүмкін.

Электр пештері негізінен толық герметизацияланған болуы мүмкін. Бұл жағдайда пештердің газ фазасында еркін оттегі жоқ және газ фазасының шихта компоненттері мен өзара әрекеттесуі бағынышты мәнге ие. Бірақ егер пеш герметиздей алмаса және ауаның едәуір сорғысы болса да, сульфидтердің тотығу реакциялары газ фазасының оттегі мен шихтаның газдар мен нашар байланысуынан және оның беті мен технологиялық газдарының салыстырмалы төмен температурасынан үлкен дамуды алмайды. Электр балқыту кезінде конденсацияланған фазада өтетін процестер шешуші мәнге ие. Бұл тұрғыда электрбалқыту және шағылыстырғыш балқыту процесінің химизмі өте жақын. Кендітермиялық пештерде өтетін химиялық реакциялардың бірінші тобына күкіртті жоюға байланысты процестер жатқызылуы мүмкін. Шикі концентраттарды балқыту кезінде күкірттің ең көп мөлшері (40-45 %- ға дейін) жоғары сульфидтердің диссоциациясы есебінен шығарылады. Егер балқытуды мұқият герметизацияланған пеште жүргізілсе, онда бөлінетін элементарлық күкіртті тотығудан сақтандырып, конденсациялап, тауар өнімі түрінде алуға болады [4].

Шикі шихтаны балқыту кезінде және отты өңдеуде бөлінетін күкірттің қосымша мөлшері конвертерлік қожбен немесе оттықпен, сульфидтер мен бірге түсетін темірдің жоғары оксидтері мен әсерлесуінен жойылады:



Электр балқыту кезінде осы реакциялардың өту жағдайлары жоғары температурадан, әсіресе электр кеңістігінде, сондай-ақ қождың жылу айналымы салдарынан шағылдырғыш балқытуға қарағанда қолайлы. Сондықтан мұнда магнетиттің ыдырауы толық болады. Бұған шлақтың электрод графитімен өзара әрекеттесуі де ықпал етеді. Магнетитті қалпына келтіру шлактармен металл шығынының төмендеуіне оң әсерін тигізеді. Электр балқытуда магнетит сульфидтермен ғана емес, электродтардың көміртегімен де қалпына келтіріледі, жалпы десульфуризацияның азаюына және кедей штейндерді алуға әкеледі. Бай штейндерді алу үшін балқыту алдында шихтаны күйдіреді. Күйдіру барысында жоғарғы сульфидтер толығымен ыдырайды және төменгі сульфидтердің бір бөлігі тотығады. Осының салдары күйдірілген шихталарды балқыту кезінде жалпы десульфуризациялаудың 50-55 – тен 20-25% – ға дейін төмендеуі болады. Бай штейндерді конвертерлеу кезінде конвертер шлактарының аз саны алынады және олармен магнетиттің аз саны түседі. Сонымен қатар темірдің жоғары оксидтерінің көп мөлшері күйдірілген шихтамен түседі. Бұл

сульфидтердің магнетитпен өзара әрекеттесуі тек қож балқымасында ғана емес, сонымен қатар қож балқымасының бетінде жүзетін қатты шикіқұрамда да өтеді, бұл магнетиттің толық қалпына келтірілуін қамтамасыз етеді.

Іс жүзінде электр пештерінің шихтасына магнетитті вюститке дейін толық қалпына келтіру үшін және тіпті темірдің бөлігін металл күйге дейін қалпына келтіру үшін көміртектің аз мөлшеріненгізеді. Металл темір штейнде ериді. Штейннің металдануы оның қожбен шекарасындағы фазааралық керілудің ұлғаюына әкеледі, бұл өз кезегінде сульфидті жүзіндінің ірілеуіне және шлактармен металлдардың жоғалуының төмендеуіне ықпал етеді (шихтаға қалпына келтіргіштің қосындысы пайдалы және шағылыстырғыш балқытуда болуы мүмкін). Электр пештерінің шихтасына қалпына келтіргішті енгізу, жалпы десульфуризацияны төмендетеді. Мысалы, балқыту кезінде ол 15-20% дейін төмендейді. Алайда, бұл төмендеу күйдіру кезінде десульфуризация деңгейінің ұлғаюымен компенсациялануы мүмкін.

Реакциялардың екінші тобына басқа тұрақсыз химиялық қосылыстардың термиялық диссоциациясы жатады: карбонаттар, кристаллогидраттар және т. б. Химиялық процестердің үшінші тобы тотықтардың төмен сульфидтермен реакциясы бойынша өзара әрекеттесуінің алмасу реакцияларын біріктіреді:



Бұл өте маңызды реакциялардың бірі, өйткені олар металлдардың штейн мен шлак арасында бөлінуін анықтайды. Мысты тарату үшін реакция (4) шешуші мәнге ие.



(4) реакция темірдің оттегіге жоғары ұқсастығы болуына байланысты іс жүзінде оңға жылжыды. Бұл магнетит болмаған кезде мыстың сульфид түріне толық ауысуын және штейнге шығаруды қамтамасыз етеді. Магнетиттің болуы,

Оттегіге жоғары ұқсас элементтер (Ca, Si, Al, Ba, Mg және т.б.) іс жүзінде оксидті фазаға (қожға) өтеді.

Мырыш шлак пен штейн арасында бөлінеді. Шағылыстырғыш балқыту кезінде мырыштың әсеріне тоқтау керек. Кедей штейндерді алумен шикі концентраттарды балқыту жағдайында (шихтадағы күкірттің жоғары мөлшері кезінде) және құрамында аз темір бар қождар мырыштың едәуір бөлігі штейнге өтеді. Мырыш сульфидінің балку температурасы жоғары, тығыздығы аз болады. Шихтадағы мырыш құрамының артуы штейндер тығыздығының азаюына және олардың қожбен бөліну шекарасында фазааралық созылудың төмендеуіне әкеледі, бұл шлактағы мыс құрамының артуына ықпал етеді. Егер мырыш сульфидінің құрамы оның штейндегі ерігіштігінің шегінен асып кетсе (шикіқұрамдағы мырыш 7-8%), ол штейннен кристалданады (немесе онда толығымен ерітілген кезде ерімейді), шлак пен штейннің шекарасында

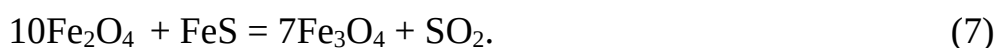
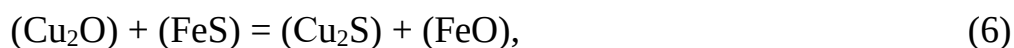
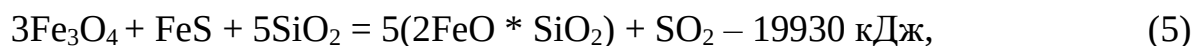
жартылай балқытылған өте тұтқыр масса қабатын түзеді — "көбікті штейн" деп аталады. Тұтқыр қабаттың болуы фазалардың бөлінуін бұзады. Сондай-ақ қиын балқитын төсем пайда болатын пештің салқын бөліктерінде штейннен мырыш сульфидінің кристалдануы да мүмкін.

Мырыштың кендітермиялық балқытудың ағуына және қождармен металдардың жоғалуына зиянды әсері мынадай жағдайда пайда болады: егер ол негізінен тотық түрінде болса және қожда шоғырланса.

Шикізаттың нақты түрі үшін қожбен штейн арасындағы мырышты бөлу штейндегі мыстың және қождағы FeO құрамымен анықталады. Олардың өсуі мырышты қожға аударуға ықпал етеді. Темір сульфидінің көп бөлігін тотықтыру мақсатында концентратты алдын ала терең күйдіру жолымен қождағы FeO және бір уақытта штейндегі мыс құрамын жоғарылатуға болады. Бұл жағдайда мырыштың негізгі массасы қожға ауыстырылады және одан әрі ол сұйық қожды қалпына келтіру арқылы (фьюмингтеу) возгондарға шығарылуы мүмкін.

Кендітермиялық балқыту кезінде мырыш оксидінің әсері оның сульфидіне қарағанда аз зиянды болғанымен, шихтадағы мырыш мөлшерінің артуы және бұл жағдайда ерітілген сульфидтердің мөлшерін арттыру және фазааралық керілу салдарынан механикалық шығындардың өсуі есебінен қождағы мыс құрамының артуымен қатар жүреді.

Шикі концентраттарды кендітермиялық балқытуда мырыштың 5%-ға жуығы ұшып кетеді және жұқа шаң түрінде шығатын газ ағынымен шығарылады.



(5), (6), (7) реакциялар электрбалқыту кезінде әртүрлі температуралық аймақтарда тізбектіде, параллельде ағады. Агломератты немесе түйіршіктерді балқыту кезінде шихтаны қыздыру шихта еңістерінің төменгі және бүйірінен жүргізіледі. Жылудың ең көп мөлшері еңістің жоғарғы шеткі бөлігіне түседі. Мұнда ең жоғары температур ашоғырланған. Қыздырылған қождың ағынымен келіп түсетін жылу шихтаны балқыту процестеріне жұмсалады. Сондықтан еңістердің жанында қождың температурасы ваннаның тереңдігіне тез түседі. Температураны және төмен түсірілетін суық балқыманы төмендетеді, ол баяу балқитын шихтаның құралымдарын еріту және балқыту нәтижесінде пайда болады [5-7].

Шихтаның қызуы жылуөткізгіштік есебінен өтеді, оған химиялық реакциялар нәтижесінде пайда болатын газдардың жоғары ағысы да ықпал етеді. Шихтаның жылуөткізгіштігі төмен, бөлінетін газдардың мөлшері салыстырмалы түрде аз болғандықтан, шихтаның жылуы баяу жүреді және

жоғары температура аймағы салыстырмалы түрде тар болып табылады. Осы аймақта шихтаның аса қарқынды балқуы негізінен оның компоненттерінің қызып кеткен қожда еруі есебінен өтеді.

Қарқынды балқу аймағында шихтаның келу уақыты салыстырмалы түрде аз және химиялық процестерде анық көрінетін аймақтық даму болмайды. Шихтаның әрбір бөлігі (кен, күйдірілмеген концентрат, агломерат, шекемтастар) біртіндеп қызады және оның әртүрлі бөліктерінде әртүрлі процестер өтуі мүмкін. Еңістерде және балқыту аймағында магнетитті қалпына келтіру, оксидтердің сульфидтермен өзара әрекеттесуі, коалесценция процестері әлі толық аяқталмайды. Олар шлак айналымы кезінде балқыту ваннасында аяқталады.

Еңіс қалыңдығында реакциялардың басым өтетін белгілі бір аймақтарын белгілеуге болады. Сонымен, жоғарғы сульфидтердің ыдырауы еңістің жоғарғы бөлігінде 700°C изотермасына дейін, кальций карбонатының диссоциациясы — $900-1000^{\circ}\text{C}$ кезінде аяқталады. Еңістердің төменгі бөлігінде балқыту процестері баяу ағады және түзілетін балқыманың үлесі еңістердің қалыңдығына жылудың ену тереңдігімен азаяды. Еңістің төменгі бөлігінде жоғары температура аймағына қарағанда, балқыту басқаша өтеді. Мұнда штейн мен жеңіл балқитын темір шлактарының жылытылуы байқалады. Бұл ретте еңістің төменгі қабаты қиын балқитын шихтамен байытылады, бұл оның қожда еруін баяулатады. Басқаша айтқанда, қарқынды балқу аймағына табиғи еңіс бұрышымен домалайтын жаңа шихта тез ериді.

Мыс оттарын балқыту кезінде пеште еңістер түзілмейді. Шихта ваннаның бетіне тегіс қабатпен жатады және төменнен ыстық қожбен жуылады. Бірақ бұл жағдайда ең жоғары температура және балқытудың ең жоғары жылдамдығы электродтарға жақын жасалады, онда әдетте балқытудың ашық айналарының сақинасы байқалады. Күйдірілген шихта қабатында температураны аймақтық бөлу орны бар және барлық процестер белгілі температуралы аймақта жүргізіледі.

Жоғарыда айтылғандай, пештегі газдар сульфидтердің магнетитпен тотығуына және карбонаттардың диссоциациясына байланысты химиялық реакциялар нәтижесінде пайда болады. Ауа сору болмаған кезде газдар SO_2 және CO_2 тұрады. Газдардың аздаған мөлшері электрод көміртегінің және шихта оксидтерінің қожбен өзара әрекеттесуі есебінен қалыптасады. Бастапқы газдар SO_2 (40-60%) жоғары құрамымен сипатталады және негізінен күкірт қышқылын немесе элементарлы күкірт алу үшін пайдаланылуы мүмкін. Алайда, әлі күнге дейін өздігінен жанатын электродтары бар электр пештерінің герметизациясы өзекті мәселе болып қала береді және технологиялық газдар ауаны сору есебінен қатты араластырылады. Бұл ретте олардың көлемі ондаған есеге өседі, бұл оларды кәдеге жаратуды, залалсыздандыруды және олардан бағалы компоненттерді (мысалы, рений) алуды қиындатады және қымбаттатады.

Осылайша, электр балқыту кезінде күкіртке бай газдардың аз мөлшерін алу іс жүзінде іске асырылмады. Пештің газ кеңістігінің температурасы

процесті қалыпты жүргізу кезінде үлкен емес және тіпті ыстық отты балқыту кезінде 800°C аспайды. Суық шихтаны балқыту кезінде одан да төмен болады [12].

1.1.1 Қожбен металл жоғалымы

Шихтаға көміртекті енгізу қож оксидтерін қосымша қалпына келтіруді және штейнді металдануды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, электр балқыту кезінде, әдетте, шағылыстырғыш және шахталық балқымаларға қарағанда, қышқыл қождар қолданылады. Осының барлығы ерітілген күйдегі мыстың құрамының айтарлықтай төмендеуіне әкеледі. Сондықтан электр пештік қождармен бағалы компоненттердің негізгі шығындары негізінен оларда штейндік бөлшектердің жұқа жүзіндісінің болуына байланысты.

Жұқа сульфидті жүзіндінің пайда болу себептері және бөлінбеген штейндік бөлшектердің саны шикіқұрамды балқытуға дайындау әдісіне байланысты болады. Егер концентрат балқыту алдында қайнаған қабатта күйдірілсе, онда бастапқы сульфидтердің ірі бөлшектері оксидтер қабатымен жабылады, ал ұсақ бөлшектер тіпті толық тотығуы мүмкін. Тотыққан бөлшектер қожбен жақсы суланып, жұқа эмульсия жасай отырып, оларға сіңеді. Концентраттың ұсақ бөлшектерінің тотығуы кезінде алынатын мыс оксидтері қожда ериді, содан кейін мыс қайтадан сульфидтеледі. Сұйылтылған ерітіндіде процестің өтуі жұқа сульфидті жүзіндінің пайда болуына әкеп соғады. Бастапқы сәтте оттық құрамында жоғары темір оксидтерінің жоғары болуы магнетиттің жоғары мөлшері бар қождарды алуға себепші болады. Мұндай қождардың мыстың жоғары ерігіштігіне қабілеттілігі бар. Магнетиттің қалпына келуіне қарай сульфидтердің ерігіштігі төмендейді және олар да жұқа жүзінді түрінде түседі.

Сульфидті бөлшектердің ірілендірілуі олардың саны, демек, кездесу ықтималдығы өте үлкен болғанша тез өтеді. Ұсақ бөлшектер саны төмендеген кезде, олардың кездесу ықтималдығы біртіндеп нөлге жақындайды және ірілендіру іс жүзінде тоқтатылады. Балқыту кезінде мұндай жағдай шлактағы мыстың өте жоғары мөлшері (0,6-1%) кезінде туындайды. Осы себепті қайнаған қабатта электр балқытуға дайындық операциясы ретінде шлактармен мыстың жоғары шығындарымен бірге жүреді және оларды кедейлендіру бойынша қосымша операцияларды талап етеді.

Электр балқыту кезінде сульфидті бөлшектерді ірілендіру негізінен қождың үстіңгі қабаттарында жүреді. Штейннің пайда болатын ірі бөлшектері байқалатын жылдамдықпен тұндыра бастайды және олардың көлеміне түскен ұсақ сульфидті бөлшектерді ішінара басып алады. Басқаша айтқанда, электр балқыту кезінде қож штейн бөлшектерімен жуылады, бұл шағылдырғыш пеште шикі концентраттарды балқыту кезінде байқалмайды. Коалесценция үдерістерінің өтуі үшін неғұрлым қолайлы жағдайлар ерітілген мыстың аз

құрамымен қатар неғұрлым кедей үйінді шлактарды алу үшін алғышарттар жасайды [9].

Кендітермиялық пештерде балқыту кезінде қождармен металдардың жоғалуы шихтаны балқытуға дайындау әдісіне байланысты. Егер балқыту алдында шихтаны агломерациялайтын күйдіруге ұшыраса, онда жентектеу процесінде, әсіресе сұйық фазаны кристалдау кезінде агломератты суыту кезінде сульфидті бөлшектер ішінара ірілендіріледі. Ұсақ сульфидті бөлшектердің саны, әрине, азаяды. Агломератты балқыту кезінде ұсақ қоспалардың пайда болуы бастапқы магнетитпен байытылған қождарда сульфидтердің жоғары ерігіштігі және магнетит құрамы төмендеген кезде ерітіндіден сульфидтердің кейіннен түсуі салдарынан ғана жүреді. Агломератты балқыту кезінде агломератта сульфидтердің ірі қосылыстарының болуына байланысты штейнмен қожды жуу әсері күшейтіледі. Бұл жағдайда шлактағы түсті металдардың құрамы ҚҚ пештерінде алынған оттықты балқытуға қарағанда айтарлықтай төмен.

Балқытуға дайындық операциясы ретінде, сондай-ақ түйіршіктерді кейіннен ленталы күйдіру машиналарында күйдіру арқылы түйіршіктеу пайдаланылады. Түйіршіктерді күйдіру кезінде мыс темір сульфидтерінің таңдамалы тотығуы салдарынан түйіршіктің орталық бөлігінде шоғырланады. Мұнда ұсақ сульфидті жүзіндінің пайда болу себептері агломератты балқыту кезіндегі себептерге ұқсас. Жұқа қоспаның қосымша түзілуі түйіршіктердің үстінгі қышқылдық қабатының компоненттерін сульфиттеу кезінде пайда болуы мүмкін. Күйдірілген түйіршікте ірі сульфидті дәндердің болуы қождарды сульфидтермен жуу әсерін агломератты балқыту кезіндегі сияқты күшейтеді. Түйіршіктерді балқытуда қождар ұсақ отты балқытудан гөрі кедей болады [12].

1.2.2 Жылу жұмысы және балқыту механизмі

Сульфидті кен материалдарын балқытуға арналған электр пеші екі балқытылған қабаттан (қож бен штейннен) және қатты шихта үйінділерінің қожды балқытпасына ішінара тиелген жылу ваннасынан тұрады. Пеште шихтаны балқыту жылуға түрлендірілетін электр энергиясы есебінен жүргізіледі. Мұндай пеш кендітермиялық деп аталады.

Кендітермиялық пеш үш фазалы айнымалы токта жұмыс істейді. Кернеуі 750-800 В дейінгі және күші 30 кА дейінгі электр тоғы пешке қож қабатына тиелген үш немесе алты көмір (графит) электродтарының көмегімен жүргізіледі. Электр энергиясын кендітермиялық пеште жылуға түрлендіру ішінара газ фазасында (электрлік микродугалар арқылы) және ішінара сұйық (балқыма кедергісі арқылы) болады. Пеште электр кедергісінің денесі ретінде қожды балқытпа қызмет етеді, ал электр доғасы оған батырылған электродтар бар қожды бөлу шекарасында газды қабатта пайда болады.

Электродтар арасындағы кернеу ток күші мен қож балқымасы мен микродуганың кедергісіне байланысты:

$$U = I(R_1 + R_2)_{\text{шл}} + R_{\text{мд}}. \quad (8)$$

мұндағы U — трансформатордағы екінші кернеу, В;

I — токтың фазалық күші, А;

$R_{\text{шл}}$ — шлак қабатының кедергісі, Ом;

M — микродоға кедергісі, Ом.

Трансформатордағы максималды кернеу және жұмыс тогының ең аз мәні кезінде кенді термиялық пештің жұмысы неғұрлым үнемді. Бұл қатынасты тәжірибеде электр тізбегінің кедергісінің өзгеруімен ғана реттеуге болады.

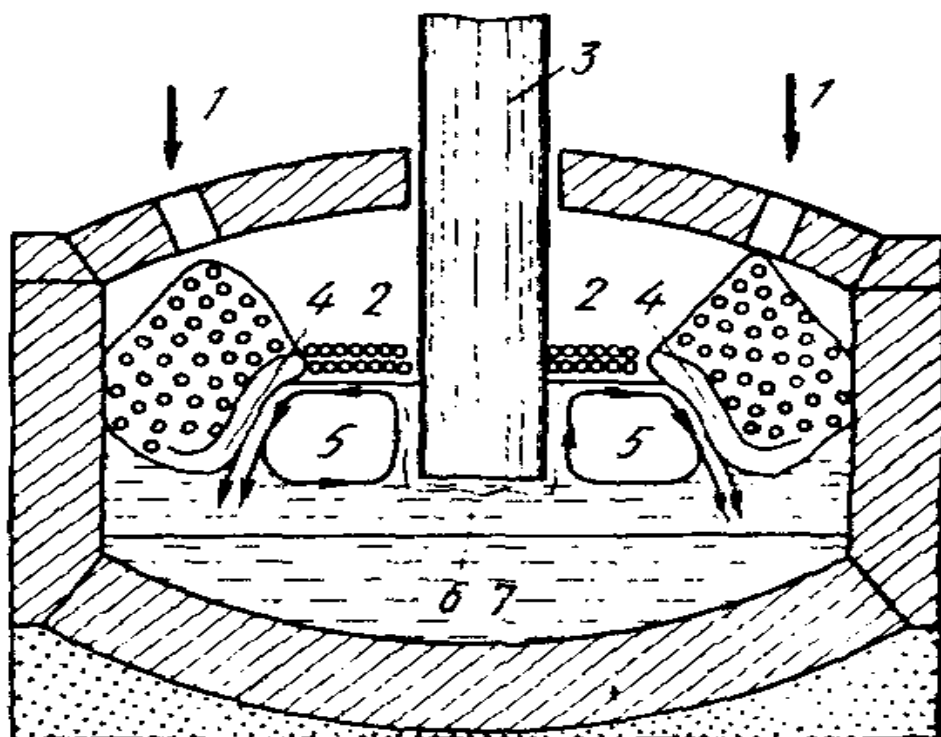
Қождың кедергісі оның температурасына, қождың құрамына және қож балқымасының қабатының қалыңдығына (өткізгіштің ұзындығына) байланысты. Қождаағы күштік желілердің (электр тізбегінің) тұйықталуы екі бағытта болуы мүмкін. Бірінші жағдайда ол электродтан электродқа (R_1) қарай қождың қабаты арқылы өтеді, яғни "үшбұрыш" схемасы бойынша. Электр тогының екінші ықтимал жолы "жұлдыз" схемасы бойынша жүзеге асырылады, яғни электродтан қож арқылы штейн қабатына (R_2) дейін.

Электродтар мен басқа да тұрақты жағдайлар арасындағы өзгермейтін конструктивтік арақашықтықта R_1 кедергісі (қождың құрамы, оның температурасы және т.б.) электрод аралық кеңістікке электр өткізбейтін шихтаны тиеумен ғана арттыруға болады. Бұл жағдайда шихта үймелерінің төменгі беті ток электр өткізгіш қождың қабатымен майысуға мәжбүр болады.

R_2 кедергісі электрод астындағы кеңістіктегі қождың қалыңдығымен, ал оның тұрақты көлемі кезінде — электродтардың батырылу тереңдігімен анықталады. Электродтарды қож балқымасына ең аз ықтимал тереңдетуі (250 – 300 мм) өте жоғары электр өткізгіштігі бар штейнге доғалық разрядты болдырмайды. Терең қож ваннасында жұмыс істеу кезінде үлкен қашықтықты ұстауға болады, яғни R_2 -ні арттыруға болады, бұл трансформатордың екінші кернеуіне оң әсер етеді.

Микродугалардың кедергісін жеңуге жұмсалатын трансформатордағы кернеу электродтың қожға батырылу тереңдігімен анықталады. Ол неғұрлым көп болса, электрод — қож бөлімінің шекарасында газ қабаты соғұрлым үлкен болады және демек, $R_{\text{мд}}$ көлемі үлкен болады [15].

Кендітермиялық пештің жұмысы күштік электр желілерінің "үшбұрышқа" және "жұлдызға" бір мезгілде тұйықталуымен сипатталады. Осы схемалар бойынша электр тогын тарату пештің жұмыс режимін реттеумен анықталады.



1 - шихта; 2 - кокс; 3 - электрод; 4 - шихтаны балқыту аймағы;
5 - шлак балқымасында жылу алмасу және массалық алмасу; 6 - шлак;
7 - штейн;

1 Сурет - Кендітермиялық пеште балқыту схемасы

Электродтарды қож ваннасына батыру деңгейінде бөлінетін электр энергиясының үлесі қож бен штейннің практикалық температурасын анықтайды. Электродтардың шамадан тыс тереңдеуі (олардың штейннің бетіне жақындауы) штейннің қызып кетуіне алып келеді және сұйық штейннің жарылу қаупін туғызады, бұл тәжірибеде бірнеше рет болған. Сонымен қатар, егер ваннаның төменгі бөлігінде бөлінетін жылу мөлшері жеткіліксіз болса, штейн сууы орын алады және пештің төменгі бөлігінің қалыпты жұмыс істеуінің бұзылуына әкеліп соқтыруы мүмкін. Осылайша, электродтар арасындағы қашықтық ерікті түрде таңдала алмайды және шамадан тыс үлкен бола алмайды. Ол қожды ваннаның тереңдігімен, электродтардың батырылу тереңдігімен және олардың штейнге дейінгі қашықтығымен келісілуі тиіс.

Әр түрлі режимдерде ваннаның әртүрлі бөліктерінде бөлінетін энергия үлесі оңай есептелуі мүмкін. Әдетте өнеркәсіптік пештерде электродтар арасындағы қашықтық электродтың төрт диаметріне тең болады. Энергияны таратуды басқару терең ванна қожымен жұмыс істеу кезінде айтарлықтай жеңілдетіледі. Қазіргі пештерде ваннаның жалпы тереңдігі 2,3 – 2,7 м, оның ішінде қожды 1,5 – 1,9 м жетеді [7].

Күштік желілердің ең көп шоғырлануы, яғни токтың ең үлкен тығыздығы электродтарға тікелей жақын жерде байқалады. Электродтан аластаған сайын, ток өтетін цилиндрлердің беті қашықтық квадратына пропорционал артады, яғни өткізгіштің қимасы өседі, ал ток тығыздығы пропорционал төмендейді. Демек, ең көп энергия электродқа жақын бөлінеді. Электрод графиті қожбен суланбағандықтан, электродтың қожбен түйіскен жерінде микродугалар пайда болады және қосымша энергия мөлшері доғалық разряд есебінен бөлінеді. Осының арқасында электродтың жанында бөлінетін энергия үлесі артады. Бұл өз кезегінде әрбір электрод аймағындағы қождың температурасы пеш ваннасының орташа температурасына қарағанда анағұрлым жоғары болады.

Температураның таралуын электродтардың батуының тереңдігін өзгерте отырып, қандай да бір дәрежеде басқаруға болады. Ол сондай-ақ қождың балқу температурасына және оның тұтқырлығына байланысты. Электр балқыту кезінде қожды балқыту температурасы бойынша шектеулер жоқ.

Баяу балқитын шихталарды (мысалы, магний оксидінің жоғары құрамы бар шихталарды) балқыту мүмкіндігі электр балқытудың маңызды артықшылығы болып табылады. Қожды балқыту және оның қызып кету температурасы бойынша шектеулердің болмауы флюстердің аз шығынында және қождың аз шығуында жұмыс істеуге мүмкіндік береді, бұл металдардың жоғалуын төмендету үшін алғышарттар жасайды. Әрине, температура ұлғайған кезде электр энергиясының шығыны өседі.

Электродтық кеңістіктегі шлақтың аса жоғары температурасы мен газға қанықтығы оның тығыздығы қождың негізгі массасының тығыздығына қарағанда айтарлықтай аз болуына алып келеді. Бұл ваннада қождың айналуын тудырады. Электродтың жанында ыстық қож жоғары көтеріледі және ваннаның бетіне ағады. Біртіндеп салқындағанда, ол электрод аралық кеңістікте төмен түсіп, электродта қайтадан қыздырылып, жоғары көтеріледі. Электродқа жақын қождың айналу жылдамдығы өте маңызды және жекелеген жағдайларда 2 м/мин жетеді. Мұндай айналым шихтаны ваннаның бетіне тегіс қабатпен тиеу кезінде сақталады, мысалы, отты балқыту кезінде. Шихтаны еңістермен немесе конустармен (агломерат, түйіршіктер) жүктеу кезінде қож ағынының бағыты біршама өзгереді. Алайда, қождың тез конвекциясына себеп болатын қозғаушы күштер сақталады.

Қождың циркуляциясы масса алмасу, жылу алмасу процестеріне және шихтаның балқуымен байланысты процестерге әсер етеді. Мысалы, еңісті еріту ваннаның ең қарқынды айналымы аймағында болады, яғни олардың бетінде қожды ваннамен байланысады.

Шлактың электродқа жақын айналу жылдамдығы оның тығыздығы мен тұтқырлығымен, сондай-ақ токтың тығыздығымен анықталады. Соңғы фактордың әсері анық және ерекше түсіндіруді талап етпейді. Қождың тығыздығы мен тұтқырлығы аз болса, оның жоғары ағынының жылдамдығы соғұрлым көп. Қождың қозғалыс жылдамдығы электродтың жанында қозғалғанда қож қызып кететіндіктен, электродтың батырылу тереңдігіне байланысты болады; бұл ретте оның тығыздығы азаяды және бөлінетін

газдардың саны артады. Қождың электродқа жақын болу уақытының ұлғаюы оның бату тереңдігі ұлғайған кезде қождың жақсы қызуына ықпал етеді. Осылайша, электродтың бату тереңдігін арттыру ваннадағы жылу мен масса алмасуды жақсартады.

О.М.Катковтың мәліметі бойынша, электродтық кеңістіктегі қождың тұтқырлығы шамалы өзгереді. Бұл тұтқырлықтың төмендеуі циркуляцияның жылдамдығын және қожды едәуір арттырады, электродтың әрекет ету аясынан тез шығып, аз қызады және тұтқырлығын аз өзгертеді. Үлкен тұтқырлық кезінде айналым жылдамдығы азаяды және қож электрод аймағында қызғанша және оның тұтқырлығы оңтайлы мәнге дейін төмендемегенше болады. Әлбетте, қождың үлкен қызып кетуі тек қышқыл қождарда жұмыс істегенде ғана жетуі мүмкін. Осыдан, бір жағынан, электр пешіндегі қождың температурасы нақты қождың тұтқырлығының температуралық тәуелділігімен өзара байланыста болатынын және қождың қызып кету температурасын басқару факторларының бірі оның тұтқырлығын басқару болып табылатынын көруге болады. Екінші жағынан, балқыту процестерін қарқындату қождың қызып кетуі есебінен қол жеткізілуі мүмкін [14].

Қождың циркуляциясымен шағылдырғыш пештерде балқыту механизмінен күрт ерекшеленетін электр пешінде шихтаны балқыту механизмі байланысты.

Электр пеште балқытуға қажетті жылу қыздырылған қождан шихтаға беріледі. Бұл ретте шихта дайын қалыптастырылған қожбен жанасады. Балку, шын мәнінде, дайын қожда шихта компоненттерін қыздыру мен ерітуге әкеледі. Алғашқы қождардың пайда болу кезеңі, мысалы, шағылыстырғыш балқыту кезінде орын алған сияқты, мұнда жоқ. Бұл өте маңызды жағдай болып табылады, өйткені мұндай жүзу механизмінде жұқа сульфидті қоспаның пайда болуының маңызды себебі жойылады. Шамасы, бұл электр балқыту кезінде шағылыстырғыш балқытуға қарағанда алынатын металдардың мөлшері бойынша неғұрлым кедей шлактарды алу себептерінің бірі болып табылады.

Осылайша, қож балқымасының конвекциялық қозғалысы электр пештеріндегі маңызды жұмыс процесі болып табылады. Шихтаның белсенді балқуы ваннаның қабатында болады. Пештің газ кеңістігі шихтаның қызуы мен балқуына үлкен әсер етпейді. Балқыту кезінде пайда болатын технологиялық газдар пештердің герметизациясы жеткіліксіз болған кезде су астындағы кеңістікте суық ауамен араласады, ол күмбездегі тығыздық арқылы сорылады. Су астындағы кеңістіктің төмен температурасының және шихтаның аз жылу өткізгіштігінің салдарынан ванна деңгейінен жоғары көтерілген еңістер (ыстық оттықты балқытудан басқа) өте әлсіз қызады және тіпті олардың жоғарғы қабаттарынан алынған ылғал толығымен булана алмайды.

Пештің жұмысын ваннада жоғары кернеуде жүргізген жөн. Бұл қысқа желідегі аз ток шығындарына байланысты және сондықтан үнемді. Қажет болған жағдайда электродтарды үлкен тереңдетумен бір мезгілде үлкен үлестік кедергісі бар қождарға балқытуды жүргізген жөн, яғни құрамында FeO төмен қышқылға (42-45% SiO_2). Қождың негізділігін арттыру қожды балқытпалардың

электр өткізгіштігінің артуына әкеледі. Сонымен қатар, темір шихталар қатты күйде де электрөткізгішті, бұл электродтардың қысқаруына алып келуі мүмкін. Темір қождарының өте жоғары электрөткізгіштігі төмен кернеуде электр пештерінің жұмысын жүргізуді талап етеді.

Электр балқыту кезіндегі жылудың шығындары, негізінен отындық газдардың болмауы есебінен шағылыстырғыш балқытуға қарағанда аз. Электр балқытудың пайдалы әсерінің жылу коэффициенті 70 % (шағылыстырғыш балқытуда 30 %) құрайды. Алайда, егер электр энергиясы жылу станцияларынан келіп түссе, онда электр станцияларының пайдалы әсер ету коэффициентін де ескеру қажет. Бұл жағдайда, егер шағылдырғыш пештердің шығатын газдарының жылуы электр энергиясын алу үшін пайдаланылуы мүмкін және пайдаланылуы тиіс екендігін ескерсе, электр балқытудың артықшылығы соншалықты ажыратылмайды.

Екінші реттік энергия ресурстарын және ең алдымен бөлінетін газдардың жылуын ұтымды пайдаланған кезде шағылыстырғыш балқытудың пайдалы әсерінің жылу коэффициенті электр балқытуға қарағанда анағұрлым жоғары болуы мүмкін [9].

1.3 Негізгі технологиялық процестердің сипаттамасы

Электр пештерінде кесек және күйдірілмеген шихта қожда жүзеді. Таза шихтаны тиеу кезінде оның едәуір үлесі балқытпаға батырылады, бұл құрамында ылғал бар шихтаны қолдануды толығымен болдырмайды. Суық ылғалды шихтаны балқытпаға батыру кезінде онда барлық жағынан қождың қыртысы тез қатады. Шихтаның жабық қуысында қыздырғанда су булана бастайды және будың қысымы жарылыс болғанша өседі. Біркелкі жуылмаған шихта еңесінің аударылуы аса қауіпті болып табылады. Сондықтан электр балқыту алдында шихта кебу керек.

Алайда, бай концентраттарды балқытқан жағдайда ғана кептірумен шектелуге болады. Электр пештерінде десульфуризация аз болғандықтан, кедей концентраттарды балқыту кезінде кедей штейндердің көп саны алынады, бұл кейіннен конвертерлерге жүктемені және конвертерлеуге кететін шығындарды қатты арттырады. Сонымен қатар, конвертерлік шлактар көп болады, бұл кран шаруашылығының жұмысын қиындатады, жалпы алғанда кәсіпорынның жұмысын, әсіресе оның қуаты үлкен болған кезде бұзады. Сондықтан концентраттар балқыту алдында жиі күйдіріледі.

Жоғарыда айтылғандай, электр балқытудың алдында қайнаған қабатта күйдіруді, агломерациялы күйдіру немесе түйіршіктерді кейіннен кептіру және күйдіруді қолдануға болады. Мыс өнеркәсібінде шикіқұрамды балқытуға дайындау үшін электр пештерінде тек ҚҚ пештерінде күйдіру қолданылады. Дайындаудың басқа әдістері мыс-никель шикізатын өңдеу кезінде қолданылады.

Қайнаған қабатта күйдіру өте қарапайым, жоғары өнімділікке ие, алайда оны қолдану қажет емес қождармен металдардың жоғары шығындарымен бірге жүреді.

Құрамында мыс бар сульфидті концентраттар, флюстер мен айналым материалдары шихтаны дайындау цехына шихтаға түседі. Шихтаны орташаландыру шихтаны дайындау цехының штабельді шихтарниктерінде жүргізіледі. Штабельді салғаннан кейін оны сынамалау жүргізіледі.

Дайындалған шихта, клинкер және конвейерлер жүйесі бойынша шихта дайындау цехынан айналымдар пештің шихта бункерлеріне түседі. Шихталы спикерлерден транспортер жүйесі бойынша шихталы материалдар кенді термиялық пешке шпур тесіктері арқылы үздіксіз түседі. Пеште шихтаны балқыту жылуға түрлендірілетін электр энергиясы есебінен жүргізіледі. Штейн үздіксіз пештен штейн сифоны арқылы науамен сыйымдылығы 6 м^3 шлакталған шөміштерге шығарылады. Мыс балқыту цехының басты аралығына түскен штейн көпірлі кранның көмегімен конвертерге құйылады.

Кенді термиялық пештен жасалған қожды қыздыратын науа бойынша қожды электромиксерге түседі, одан кейін штейн тамшылары жиналып, тұндырғаннан кейін қож таситын тостағандарға мерзімді түрде шығарылады (ағын арқылы). Қалған штейн электромиксердің қарама-қарсы жағында штейн шөміштеріне шығарылады және конвертерлеуге жіберіледі.

Технологиялық газдар РП пешінен аптейк арқылы РКПВ - 25/45-40 утилизатор-қазандығына түседі, онда газ салқындатқыш және қатты шаң тұндыратын болады. Өндірілген бу тұтынушыға жіберіледі. КУ газынан лас газ коллекторы арқылы циклондарға түседі, онда шаңнан қосымша тазартылады, содан кейін жылдам газ құбыры арқылы түтін сорғыштарға беріледі. Түтін сорғыштардан кейін РП технологиялық газдары конвертер газдарымен араластырылып, электр сүзгілерде жұқа тазалауға және одан әрі кәдеге жаратуға түседі.

Қазандық-утилизатордың, шаң камерасының, лас газдың газ өткізгіштерінің және циклондардың ауланған шаңы құрамында мыс бар айналмалы материал болып табылады және шихта дайындау цехына қайтарылады [11-12].

2 Жобаның технологиялық шешімі

2.1 Есептеу үшін бастапқы деректер

Мыс концентратының құрамы төмендегі кестеде көрсетілген.

2.1 Кесте -Мыс концентратының құрамы

Құрамы, %								
Атауы	Cu	Fe	S	Pb	O ₂	SiO ₂	CaO	Басқалары
Концентрат	23,8	17,5	21,3	0,95	3,7	14,6	3,1	100-ге дейін

Концентрат құрамындағы негізгі қосылыстар: CuS, FeS₂, Fe₂O₃, ZnS, PbS, SiO₂, CaCO₃, десульфуризация дәрежесін 55 % деп аламыз.

2.2 Рационалдық құрамды есептеу

2.2 Кесте – Мысты концентраттың рационалдық құрамы

Атауы	Cu	Fe	S	Zn	Pb	O ₂	SiO ₂	CaO	CO ₂	Басқалары	Барлығы
CuS	23,8		11,9								35,7
FeS		7,28	8,34								15,62
Fe ₂ O ₃		10,22				4,39					14,61
ZnS			0,46	0,95							1,41
PbS			0,6		3,7						4,3
SiO ₂							14,6				14,6
CaCO ₃								3,1	2,4		5,5
Басқалары										8,26	8,26
Барлығы	23,8	17,5	21,3	0,95	3,7	4,39	14,6	3,1	2,4	8,26	100

2.3 Штейн құрамын есептеу

Десульфуризация дәрежесі 55 % деп қабылдаймыз. Сол кезде штейнге өтетін S:

$$21,3 * (1 - 0,55) = 9,59 \text{ кг}$$

Штейнға шығу:

$$9,59/0,25 = 38,36 \text{ кг.}$$

Балқыту кезінде штейнға мыс алу:

97- 98 % болады, 98 % деп алып, штейн құрамындағы мыс мөлшерін табамыз:

$$23,8 * 0,98 = 23,3 \text{ кг.}$$

Cu мөлшері:

$$23,3/38,36 * 100 = 60,7 \text{ \%}.$$

Оттегінің мөлшерін штейндағы Cu мөлшеріне байланысты, егер ол 55 – 60 % болса, онда оттегіні 2,4 % деп аламыз, сонда:

$$38,36 * 0,024 = 0,92 \text{ кг.}$$

Штейндегі қалдық мөлшерін 3% деп аламыз, сонда $38,36 * 0,03 = 1,15$ кг, Zn штейнға 50 % өтеді, сонда $0,95 * 0,5 = 0,48$ кг.

2.3 Кесте - Штейннің есептік құрамы

Компоненттер	Салмақ, кг	Құрамы, %
Cu	23,3	60,7
Fe	2,92	7,61
S	9,59	25
Zn	0,48	1,25
O ₂	0,92	2,39
Басқалары	1,15	3
Барлығы	38,36	100

2.4 Үйінді шлақтың құрамын есептеу

Мыс концентраттарын балқыту қождары өндірістік практикаға сәйкес темір және кремний оксидтерінің белгілі бір мөлшерін қамтуы тиіс. Кендітермиялық балқыту қожының оңтайлы құрамы 36 – 42 % SiO₂, 23 – 25 % FeO бар өнімді есептеу керек. Қождың осындай құрамын алу үшін флюстерді енгізу қажеттілігін анықтау қажет. Флюстер ретінде көбінесе кварц кенін және әктасты қолданады. Сонымен қатар, конверторлық шлақты енгізу тиімді болып табылады.

2.4 Кесте - Флюссіз шлак құрамы

Компонеттер	Салмағы,кг	Құрамы,%
Cu	0,5	1,31
Fe	14,0	36,7
SiO ₂	15,0	39,32
CaO	2,5	6,55
O ₂ және басқалары	6,15	16,12
Барлығы	38,15	100

2.5 Шанды есептеу

Руда балқытатын электр пештерінің шаңға шығуы электр пешінде пайда болатын шығатын газдардың салыстырмалы аз мөлшері мен олардың орташа жылдамдығының салдарынан өте шектеулі электр пештерінде күйдірілмеген шихтаны балқыту кезінде шаңның механикалық шығарылуы шамасы қатты жүктеме салмағынан 0,25 – 0,5 % құрайды. Шихтада ұшатын компоненттер болған кезде шаңды шығару химиялық тозудан өседі.

Шаңды 0,5 % тең қабылдаймыз. Бірінші жақындағанда, кеннің әрбір компонентінің механикалық тозуы оның құрамына пропорционал және пештен кеткен сәтке дейін жекелеген компоненттерінің химиялық өзгерістерін елемей отырып, кеннің құрамына ұқсас 100 кг құрғақ кеннен түзілетін шаң құрамын аламыз.

2.5 Кесте - Механикалық тозу кезінде пайда болатын шаңның құрамы мен мөлшері

Атауы	Cu	Fe	Zn	SiO ₂	S	CaO	Тағы басқалары	Барлығы
Шаң	0,123	0,09	0,006	0,075	0,103	0,013	0,037	0,447

Кендітермиялық балқыту кезінде химиялық тозу әдетте мырыш сияқты жеңіл металл компоненттердің есебінен болады. Цинктің шаңға химиялық шығыны 10 – 15 % құрайды, оны 15 % тең деп аламыз. Мырыштың химиялық тозуы 0,165 кг құрайды. Мырыш ZnO, яғни 0,165 Zn және 0,04 O₂ түрінде ұшып кетеді. Қорғасынның химиялық шығуы электр балқытуда 35 – 40 % құрайды, оны 38 % тең деп аламыз, сонда қорғасынның тозуы 1,53 кг

құрайды. Қорғасын PbO түрінде ұшып кетеді, қорғасынмен бірге 0,118 кг O₂ ұшып кетеді.

2.6 Кесте - Кенді термиялық балқыту кезіндегі шаңның құрамы мен мөлшері

Атауы	Cu	Fe	Zn	Pb	SiO ₂	S	CaO	O ₂	Тағы басқасы	Барлығы
Шаң	0,123	0,09	0,171	1,53	0,075	0,103	0,013	0,158	0,037	2,3

2.6 Технологиялық газдарды есептеу

Электр балқытудың шихтасынан шығатын газдарға қарапайым күкірт жоғары сульфидтердің диссоциациялауынан, темір сульфидінің қатты оттегімен және кеннің ылғалымен тотығуы кезінде түзілетін күкіртті газ кетеді. Қарапайым S аз мөлшерде оттегімен тотығады. Қарапайым S - тің көп мөлшері кезінде оның бір бөлігі пештен бу түрінде кетуі мүмкін. Жоғары сульфидтердің диссоциациясы салдарынан барлығы 9,59 кг S бөлінеді. Күкірттің SO₂-ге дейін тотығуына 9,59 кг оттегі қажет. Бұл кезде 19,18 кг SO₂ түзіледі.

Күкірттің тотығуына келетін 9,59 кг оттегімен бірге процеске ауа құрамында азот түседі:

$$9,59 \cdot 77/23 = 32,11 \text{ кг}$$

S тотығуына керек барлық ауа:

$$9,59 + 32,11 = 41,7 \text{ кг}$$

Шихта құрамына түсетін және технологиялық газдарға кететін ылғал мөлшері 3 кг.

2.7 Кесте - Технологиялық газдардың мөлшері мен құрамы

Қосылыстар	S	O ₂	H ₂ O	N ₂	Барлығы
SO ₂	9,59	9,59			19,18
H ₂ O			3		3
N ₂				32,11	32,11
Барлығы	9,59	9,59	3	32,11	54,29

2.7 Қалдық газдарды есептеу

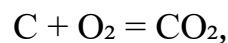
Электр балқыту кезінде шығатын газдар технологиялық газдардан, электродтардың жануынан және ауаны сорудан пайда болады. Сульфидті мыс концентраттарын балқытуда өздігінен пісірілетін электродтардың электродтық массасының шығыны 3-4,5 кг/т шихтаны құрайды. Оны 4 кг/т шихтаға немесе $4(1,1865/10) = 0,475$ кг/100 кг құрғақ кен.

Өздігінен пісірілетін электродтардың қаптамаларына арналған болаттың шығыны электрод массасының шығынынан шамамен 5 % құрайды. 100 кг құрғақ кенге болат шығыны:

$$0,475 * 0,05 = 0,024 \text{ кг.}$$

Басқа компоненттердің аз мөлшерін елеместен электродтық масса тұтастай көміртектен, ал болат қаптамасы темірден тұрады деп есептейміз.

0,475 кг көміртектің жану реакциясы бойынша оттегі қажет:



$$0,475 * 32/12 = 1,267 \text{ кг O}_2.$$

Бұл реакция бойынша 1,742 кг CO_2 түзіледі. Реакция бойынша 0,024 кг темір электроды тотығуына:



Қажет оттегі:

$$0,024 * (16/56) = 0,007 \text{ кг.}$$

Бұл реакция бойынша 0,031 кг FeO түзіледі. Электрод материалының тотығуы реакциясына қажет барлық оттегі:

$$1,267 + 0,007 = 1,274 \text{ кг немесе } 0,89 \text{ нм}^3.$$

Пешке сорылған ауаның санын табамыз, ол сульфидті кендердің кенді электр балқытпасының герметизацияланбаған пештерінің шығатын газдардың құрамында 0,5 – 3 % SO_2 бар. Шихтадағы S құрамы бойынша газдардағы SO_2 құрамын 3 % деп аламыз.

Шығатын газдардағы SO_2 мөлшері :

$$19,18 * 22,4/64 = 6,71 \text{ нм}^3.$$

Шығатын газдардың жалпы көлемі:

$$6,713 / 0,03 = 223,767 \text{ нм}^3.$$

Газдардың бұл көлемінде 36,83 нм³ технологиялық газдар бар. Технологиялық газдарды шегергенде қалдық газдардың көлемі:

$$223,767 - 36,83 = 186,937 \text{ нм}^3.$$

Газдардың бұл көлеміндегі оттегі мен азоттың мөлшері:

$$186,937 - 0,89 = 186,047 \text{ нм}^3.$$

Қарапайым күкірттің тотығуына кететін ауаны қоспағанда, пешке сорылған ауа мөлшері:

$$186,047 + 0,89 = 186,937 \text{ нм}^3 \text{ немесе } 186,937 * 1,29 = 241,149 \text{ кг}.$$

Бұл ауадағы оттегі:

$$186,937 * (21//100) = 39,26 \text{ нм}^3 \text{ немесе } 56,14 \text{ кг}.$$

Азот:

$$186,937 * (79/100) = 147,68 \text{ нм}^3 \text{ немесе } 184,6 \text{ кг}.$$

Технологиялық газдарды шегергендегі қалдық газдардағы оттегі мөлшері:

$$39,26 - 0,89 = 38,37 \text{ нм}^3 \text{ немесе } 56,14 - 1,274 = 54,866 \text{ кг}.$$

Қарапайым күкірттің тотығуына кететін ауаны қоса алғанда, пешке сорылатын ауаның жалпы саны:

$$241,149 + 41,7 = 282,849 \text{ кг немесе } 186,937 + 32,326 = 219,263 \text{ нм}^3.$$

Оттегі:

$$56,14 + 9,59 = 65,73 \text{ кг немесе } 39, + 6,71 = 45,97 \text{ нм}^3.$$

Азот:

$$184,6 + 32,11 = 216,71 \text{ кг немесе } 147,68 + 25,688 = 173,368 \text{ нм}^3.$$

2.8 Кесте - Технологиялық газдарды есепке алмағандағы электр балқытпасының шығатын газдардың құрамы мен саны

Қосылыстар	C	O ₂	N ₂	Барлығы
CO ₂	0,475	1,267		1,742
O ₂		54,866		54,866
N ₂			184,6	184,6
Барлығы	0,475	56,133	184,6	241,208

2.9 Кесте - Электр балқыту газдарының жалпы құрамы және саны

Қосылыстар	S	C	O ₂	H ₂ O	N ₂	Барлығы
SO ₂	9,59		9,59			19,18
CO ₂		0,475	1,267			1,742
H ₂ O				3		3
O ₂			54,866			54,866
N ₂					216,71	216,71
Барлығы	9,59	0,475	65,723	3	216,71	295,498

2.10 Кесте - Электрбалкытудың материалдық балансы

Материалдар, өнімдер	Саны,кг	Компоненттер, кг											
		Cu	Fe	S	Zn	Pb	SiO ₂	CaO	O ₂	N ₂	C	H ₂ O	қалғаны
Кіріс													
Концентрат	103	23,8	17,5	21,3	0,95	3,7	14,6	3,1				3	15,05
Электрод	0,499		0,024								0,475		
Ауа	282,44								65,73	216,71			
Барлығы	385,939	23,8	17,524	21,3	0,95	3,7	14,6	3,1	65,73	216,71	0,475	3	15,05
Шығыс													
Штейн	38,36	23,3	2,92	9,59	0,48				0,92				1,15
Қож	40,03	0,5	14		0,38	1,5	15	2,5					6,15
Шаң	2,3	0,123	0,09	0,103	0,171	1,53	0,075	0,013	0,158				0,037
Газ	295,505			9,59					65,723	216,71	0,475	3	
Ауытқушылық	9,744												7,713
Барлығы	385,939	23,923	17,01	19,283	1,031	3,03	15,075	2,513	66,801	216,71	0,475	3	15,05

2.9 Жылу балансын есептеу

Қатты шихтаның физикалық жылуы мына формула бойынша анықталады:

$$Q = C \cdot m \cdot t,$$

$$Q = 0,82 \cdot 103 \cdot 20 = 1689,2 \text{ кДж.}$$

Ауаның физикалық жылуы:

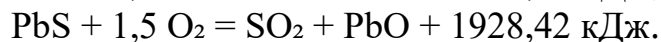
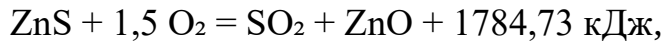
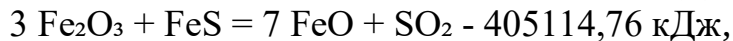
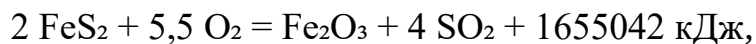
Пештегі ауа температурасы 20,50 °C көлемі 233,19 нм³тең. 20,50 °C кезінде ауаның жылу мөлшері 270,048 кДж/ нм³ тең.

Жылу мөлшері:

$$Q_2 = 270,048 \cdot 233,19 = 62972,493.$$

Экзотермиялық реакциялардың жылуы. Экзотермиялық реакциялардың жылулық әсерлері анықтамалық деректер бойынша Гесс заңы бойынша есептеледі.

Шикі шихтаны балқыту бойынша негізгі экзотермиялық және эндотермиялық реакциялар:



Бастапқы концентраттағы компоненттердің құрамын ескере отырып, экзотермиялық реакция нәтижесінде бөлінетін жылудың жалпы мөлшері тең:

$$Q = 124605,23 + 7467,31 + 8068,51 = 140141,05.$$

Электрэнергия жылуы:

Электр энергиясының шығыны пештің жұмысы кезінде 1 т шихтаға сағатына 992 кВт немесе 100 кг ға 99,2 кВт сағ құрайды.

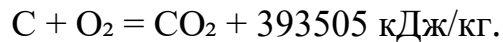
Трансформация және канализация кезіндегі электр шығындары

7 – ден 15% ға дейін құрайды. Электр энергиясының пайдалы шығыны $99,2 \cdot X \cdot 0,9 = 89,28 \text{ кВт сағ тең}$, бұл қайта есептеу кезінде береді.

$$920 - 89,28 \cdot 4,184 = 343663,72 \text{ кДж.}$$

Электродтардың жану жылуы:

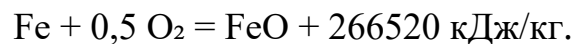
Көміртектің жанған мөлшері – 0,475 кг . Жану реакциясының жылулық әсері тең:



Көміртектің жану жылуы:

$$393505 * 0,475 / 12 = 15576,24 \text{ кДж.}$$

Тотыққан темірдің мөлшері 0,024 кг. Жану реакциясының жылулық әсері тең:



Темірдің тотығу жылуы:

$$266520 * 0,024 / 56 = 114,22 \text{ кДж.}$$

Электродтардың жануы кезінде бөлінетін барлық жылу:

$$15576,24 + 114,22 = 15690,46 \text{ кДж.}$$

Эндотермиялық реакциялар:

Эндотермиялық реакциялар нәтижесінде сіңетін жылудың жалпы мөлшері:

$$Q = 12936,05 + 3682,14 = 16618,19 \text{ кДж.}$$

Штейннің физикалық жылуы:

Штейн температурасын 1150 °С деп қабылдаймыз. Бұл температурада 60,7 % мыс бар штейннің жылу мөлшері 988,495 кДж/кг құрайды.

Жылу мөлшері:

$$988,495 * 38,36 = 38302,27 \text{ кДж.}$$

Үйінді шлақтың физикалық жылуы:

Үйінді шлақтың жылу мөлшері жылу мөлшері диаграммасының көмегімен анықталады. Бұл шаманы 1130,4 кДж/кг тең табамыз.

Жылу мөлшері:

$$1130,4 * 40,03 = 45249,91 \text{ кДж.}$$

Шаңның физикалық жылуы:

Пештен шығатын газдардың $t = 1300$ °С. Пештен шығатын шаңның шығатын газдардың t -на тең. Шаңның үлесіз болғандықтан, жылу сыйымдылығы 0,837 кДж/кг тең аламыз.

Жылу мөлшері:

$$0,837 * 2,3 * 1300 = 2502,63 \text{ кДж.}$$

Шығатын газдардың жылуы:

Газ $t = 1300$ °С тең, шығатын SO₂ көлемі 7,2 нм³ тең, SO₂ жылу құрамы 2994,82 кДж/ нм³ құрайды.

$$2994,82 * 7,2 = 21562,7 \text{ кДж.}$$

Шығатын газдардың жылуы (O₂ , N₂, CO₂) жылу суммасы бойынша анықталады.

$$1300 (1,5 * 20,52 + 1,42 * 148,62 + 2,29 * 2,96) = 323180 \text{ кДж.}$$

Жылу мөлшері:

$$323180 + 21562,7 = 344742,7 \text{ кДж.}$$

2.11 Кесте - Кендітермиялық балқытудың жылу балансы

Кіріс			Шығыс		
Жылу кірісі	кДж	%	Жылу шығысы	кДж	%
Электр энергия Жылуы	343663,72	60,91	Штейннің физикалық жылуы	38302,27	6,79
Қатты шихтаның физикалық жылуы	1689,2	0,3	Шлактың физикалық жылуы	45249,91	8,02
Электродтардың Жану жылуы	15690,46	2,8	Шығатын газдар жылуы	344742,7	61,11
Ауаның физикалық жылуы	62972,493	11,15	Шаңның физикалық жылуы	2502,63	0,44

2.11 кестенің жалғасы

Кіріс			Шығыс		
Экзотермиялық реакция жылуы	140141,05	24,84	Эндотермиялық реакция жылуы	1618,19	2,95
			Сыртқы ортаға кететін жылу	39057,97	6,9
			Ауытқулық	77683,25	13,8
Барлығы	564156,92	100	Барлығы	564156,92	100

ҚОРЫТЫНДЫ

Қорытындылай келе, дипломдық жобада бойынша мысты концентраттарды штейнге электрбалқыту цехының жобасын зерттедік. Зерттеу барысында кендітермиялық балқытудың физика–химиялық негіздерін, сонымен қатар жылу жұмысы мен балқыту механизімін қарастырдық. Сондай-ақ электр пешінің тиімділіктері мен артықшылықтарына да мән бердік. Технологиялық көрсеткіштердің металлургиялық есептеулерін жүргізіп, рационалдық құрамын, шаң, штейн, газ құрамдарын және материалдық баланс пен жылулық баланстарын есептедік. Мыс кендері мен концентраттарын өңдеу үшін электр балқытуды көптеген отандық және шетелдік кәсіпорындар пайдаланады. Бұл процесс көптеген жылдар бойы зерттеліп және жетілдіріліп келеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Арилевский А.А., Перов А.А. Параметры работы руднотермической печи. // Технол. Мет. – 2005 – №10. – С. 2 – 6.
- 2 Цымбулов Л.Б., Серегин П.С., Старых Р.В., Лазарев В.И. Обеднение шлаков электроплавки. [Научно-практическая конференция «Современные технологии в области производства и обработки металлов»]. // Цветные Металлы. – 2005. – №7 – С.-16.
- 3 Быстров В.П., Бруэк В.Н., Пичугин О.В., Лозицкий В.Ю. Плавка окисленной никелевой руды в руднотермической печи на штейн. // Цв.Мет. – 2009 – №10 – С. 19 – 21.
- 4 Ванюков А.В., Зайцев В.Н. Шлаки и штейны цветной металлургии. – М.: Металлургия, – 1969. – 389с.
- 5 Диомидовский Д.А. и др. Расчеты пиропроцессов и печей цветной металлургии. – М.: Металлургия, – 1963. – 459с.
- 6 Лоскутов Ф.М., Цейдлер А.А. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов. – М.: Металлургия, – 1963. – 591с.
- 7 Диомидовский Д.А. Печи цветной металлургии – М.: Металургиздат, – 1956. – 459с.
- 8 Барон Н.М., Пономарева А.М., Радвель А.А., Тимофеева З.Н. Краткий справочник физико-химических величин. – Санкт – Петербург: Иван Федоров, – 2003. – 204 с.
- 9 Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. – Челябинск: Металлургия, – 1988. – 432с.
- 10 Бледнов Б.П., Дульнева В.Е. Расчеты по металлургии меди и никеля. – Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. – 120с.
- 11 Уткин Н.И. Металлургия цветных металлов. – М.: Металлургия, – 1985. – 440с.
- 12 Ванюков А.В., Зайцев В.Н. Теория пирометаллургических процессов. – М.: Металлургия, – 1969. – 504с.
- 13 Гудима Н.В. Технологические расчеты в металлургии тяжелых цветных металлов. – М.: Металлургия, – 1963. – 238с.
- 14 Серебряный Я.Я. Электроплавка медно-никелевых руд и концентратов. – М.: Металлургия, – 1974. – 247с.
- 15 Кистяковский Б.Б., Гудима Н.В. Производство цветных металлов. – М.: Металлургия, – 1978. – 369с.