

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө. Байқоңыров атындағы Тау – кен металлургия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

Ахмеджан Жарас Сергейұлы

Мыс концентратын қаралы мысқа балқыту кезінде алынатын мысқа бай
шлактардың физика - химиялық қасиеттерін зерттеу

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

6M070900 – Металлургия мамандығы

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө. Байқоңыров атындағы Тау – кен металлургия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

УДК 669.054.82

Қолжазба құқығында

Ахмеджан Жарас Сергейұлы

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін

Диссертация тақырыбы

Мыс концентратын қаралы мысқа
балқыту кезінде алынатын мысқа бай
шлактардың физика - химиялық
қасиеттерін зерттеу

Дайындық бағыты

6M070900 – Металлургия

Ғылыми жетекші:

техника ғылымдарының кандидаты
ассоц. профессор

Н.К. Досмухамедов
« 14 » 05 2019 ж.

Рецензент:

техникалық директор

Т.ғ.к., «Arna Solution» ЖШС

Б.С. Рахимбаев
« 16 » 05 2019 ж.

Нормоконтроль:

PhD, лектор

Г.М. Койшина
« 30 » 05 2019 ж.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им. К.И. Сатпаева»
Горно-металлургический
институт им. О.А. Байконурова

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

МжПҚБ кафедрасының
меңгерушісі, т.ғ.к.

М.Б. Барменшинова
« 30 » 05 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө. Байқоңыров атындағы Тау – кен металлургия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

6M070900 – Металлургия



**Магистрлік диссертацияны орындауға
ТАПСЫРМА**

Магистрант: Ахмеджан Жарас Сергейұлы

Тақырыбы «Мыс концентратын қаралы мысқа балқыту кезінде алынатын мысқа бай шлактардың физика - химиялық қасиеттерін зерттеу»

Университет ректорының 2017 жылғы «30» қараша №1597 -м бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі « 17 » мамыр 2017ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы берілістері: мысқа бай шлактардың ликвидус температурасы мен тұтқырлығын анықтау әдістемесі

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) мыстың шлакпен жоғалуына әсер ететін себептер мен факторлар;
- б) шлактардың тұтқырлығын зерттеуге бағытталған әдістемелермен танысу;
- в) тұтқырлықты анықтау үшін вискозиметрде жұмыс істеу дағдысын меңгеру;
- г) зертханалық зерттеулер жүргізуге бастапқы шлактарды дайындау;
- д) алынған зерттеу нәтижелерін талқылау және қорытындылар;
- е) баяндамаға слайд дайындау.

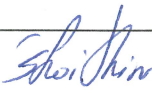
Сызбалық материалдар тізімі: 25 слайд

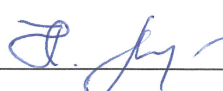
Ұсынылатын негізгі әдебиет: 20 дана

**Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге және консультанттарға ұсыну мерзімдері	Ескертпе
Кіріспе	03.02.2018	
Әдебиеттің аналитикалық шолуы	18.02.2018	
Құрамы мен температурасына байланысты мысқа бай шлактардың тұтқырлығын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер	20.06.2018	
$\text{Cu}_2\text{O} - \text{FeO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ мысқа бай шлакты балқымалардың ликвидус температурасын зерттеу	08.10.2018	
$\text{FeOx} - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ шлак жүйесіндегі мыс тотығының ерігіштігін анықтау	17.02.2019	
Қорытынды	19.05.2019	

Аяқталған магистрлік диссертацияға диссертацияның оларға қатысты бөлімдерін көрсете отырып, нормобақылау және консультанттардың
ҚОЛДАРЫ

Бөлімдер атауы	Консультанттар, Аты-жөні (оқу дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Нормоконтролер	Г.М. Койшина PhD, лектор	30.05.19	

Ғылыми жетекші _____  Н.К. Досмухамедов

Тапсырманы орындауға қабылдады _____ Ж.С.Ахмеджан

Күні _____ «___» _____ 2019 г.

АҢДАТПА

Техникалық әдебиетте жұмыста зерттелген $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйе балқымаларының тұтқырлығы туралы деректер айтарлықтай жоқ. Осы деректердің қажеттілігі, тек бай штейн алудың автогенді технологияларын жасау үшін ғана емес, оған қоса түсті металлургияның мыс мөлшері жоғары шлактарын кедейлендірудің тиімділігі жоғары әдістерін ұйымдастыру кезінде ерекше өзекті болып келеді.

Жұмыста мыс мөлшері жоғары облыста төрт компонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ шлак жүйесінің тұтқырлығын зерттеу және зерттелінді тотықты балқымалардың тұтқырлығына температура мен кальций тотығының әсер ету заңдылықтарын орнату қарастырылған.

Жұмыста негізді шлак $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің ликвидус сызығын анықтау нәтижелері келтірілген.

Тәжірибелік жұмыстың нәтижесінде $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің динамикалық тұтқырлығы зерттелінді. Шлактың температурасын және ондағы кальций тотығының мөлшерін жоғарылатқан кезде, аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайтып, шлак тұтқырлығының төмендейтіні орнатылды. $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің физикалық-химиялық қасиеттерін қарастыра отырып, шлактың оңтайлы құрамын таңдалды.

Сондай-ақ, физика-химиялық процестердің тұрақты өтуі үшін шлактардың аса қолайлы динамикалық тұтқырлығының мәні $1250\text{ }^\circ\text{C}$ кезінде $0,06 - 0,3\text{ Па}\cdot\text{с}$ болып табылатыны анықталды.

АННОТАЦИЯ

В технической литературе данные о вязкости расплавов многокомпонентной системы $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ практически отсутствуют. Потребность в этих данных весьма актуальна для разработки автогенных технологий на богатый штейн, а также при организации высокоэффективных способов обеднения высокомедистых шлаков цветной металлургии.

В работе проведены исследования по определению вязкости многокомпонентной шлаковой системы $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ в области высоких содержаний меди и установлены закономерности влияния температуры и оксида кальция на величину вязкости исследуемых оксидных расплавов.

В работе приведены результаты определения линии ликвидации системы шлака $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при повышении температуры и содержания оксида кальция вязкость шлакового расплава снижается, увеличивая тем самым температурный интервал жидкотекучего состояния. С учетом физико - химических свойств системы $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ был выбран оптимальный состав шлака. Также показано, что наиболее приемлемой для устойчивого протекания физико-химических процессов в шлаковом расплаве является динамическая вязкость равная 0,06-0,3 Па·с при температуре 1250 °С.

ANNOTATION

Technical literature data on the viscosity of melts $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ are virtually absent. The need for these data is particularly highly relevant for the development of autogenous technology in a rich matte, as well as the organization of highly effective methods of depletion vysokomedistyh slags of nonferrous metallurgy.

In the study conducted by the slag viscosity multicomponent systems $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ in the high copper content and the regularities of the influence of temperature and calcium oxide on the value of the viscosity of the investigated oxide melts.

The thesis presents the results of determining the line of elimination of slag content $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$.

As a result of experimental studies of the four-viscosity slag system $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ in the high copper content it found that when the temperature rises and the content of calcium oxide reduced the viscosity of the molten slag, thereby increasing the temperature range of flowable state. Taking into account the physico - chemical properties of the system $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ was selected as the optimum composition of the slag. It also shows that the most appropriate for a sustainable flow of physical and chemical processes is the dynamic viscosity equal 0,06-0,3 Pa · s at 1250 °C.

Кіріспе	5
1 Мыс металлургиясындағы автогенді процестер	7
1.2 Мысты концентраттарын бай штейнге балқыту процестерінің ерекшеліктері	10
1.3 Мыстың шлакпен жоғалымы және шлак тұтқырлығының мыстың жоғалымына әсері	15
2 Тәжірибелік бөлім. $\text{Cu}_2\text{O-FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің тұтқырлығын зерттеу	20
2.1 Тұтқырлықты өлшеу әдістері	20
2.2 Зертханалық қондырғы сұлбасын құрастыру және шлак тұтқырлығын өлшеу әдістемесі	23
2.2.1 Бастапқы шлактарды синтездеу және олардың сипаттамасы	25
2.2.2 Мыс мөлшері жоғары шлактар тұтқырлығын анықтау	31
2.3 $\text{Cu}_2\text{O-FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ шлак құрамының тұтқырлыққа әсерін зерттеу	34
2.4 $\text{Cu}_2\text{O-FeO-CaO-SiO}_2$ жүйесіндегі мыс оксидінің ерігіштігі және мысқа бай шлактардың ликвидус температурасы	35
2.5 Сұйық фазалардың түзілу ерекшеліктері және мыс оксидімен қаныққан $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ шлак жүйесінің тұтқырлығы	38
2.6 Алынған нәтижелердің математикалық өңдеуі	42
3 Ванюков процесінің металлургиялық есептеулері	44
3.1 Екі аймақты Ванюков пешінің тотығу аймағының материалдық балансын есептеу	44
3.1.1 Ванюков балқыту пешінің материалдық балансын есептеуге қажетті бастапқы деректер	44
3.2 Концентраттың рационалдық құрамын есептеу	45
3.3 Штейн құрамы мен мөлшерін есептеу	47
3.4 Флюстер мен соңғы шлак көлемін есептеу	50
3.5 Бөлінетін газдардың құрамы мен көлемін есептеу	51
3.6 Жылулық балансты есептеу	56
3.6.1 Жылулық балансты есептеуге қажетті бастапқы деректер	56
3.7 Түсетін жылуды есептеу	57
3.8 Жылу шығынын есептеу	63
3.9 Қажетті көмір мөлшерін есептеу	66
Қорытынды	70
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	71
А қосымшасы	
В қосымшасы	

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Тұтқырлық – тотықты балқымалардың маңызды қасиеттерінің бірі ретінде, оның құрылымын сипаттайды, технологиялық процестің температуралық режимін, пеш агрегатының өнімділігін және балқыту өнімдерінің толық бөлінуін анықтайды. $\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесі шлағының тұтқырлығын зерттеуге ауқымды көлемдегі жұмыстар жасалды. Дегенмен, мәселен, мыс металлургиясында, мыс бойынша бай штейн алуға бағытталған автогенді процестердің заманауи күйі мен дамуы шлак тұтқырлығын зерттеу шекарасының кеңейтілуін қажет етеді. Бұл, біріншіден, құрамында мыс мөлшерінің жоғары болуымен, шлак құрамы мен құрылымының күрделенуімен және алынатын тотықты балқымалардың физика-химиялық қасиеттерінің ауқымды өзгерісімен байланысты. Бай штейнге автогенді балқыту кезінде, алынатын шлакта мыс мөлшерінің өсуі есебінен, тұтқырлықты анықтау өткір сипатқа ие болады, себебі күрделі көп компонентті $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесін зерттеу қажеттілігі туындайды. Техникалық әдебиетте көрсетілген жүйе балқымаларының тұтқырлығы туралы деректер айтарлықтай жоқ. Осы деректердің қажеттілігі, тек бай штейн алудың автогенді технологияларын жасау үшін ғана емес, оған қоса түсті металлургияның мыс мөлшері жоғары шлактарын кедейлендірудің тиімділігі жоғары әдістерін ұйымдастыру кезінде ерекше өзекті болып келеді.

Берілген зерттеулердің мақсаты. Мыс мөлшері жоғары облыста төрт компонентті $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ шлак жүйесінің тұтқырлығын зерттеу және зерттелінді тотықты балқымалардың тұтқырлығына температура мен кальций тотығының әсер ету заңдылықтарын орнату. $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесіндегі ликвидус сызығының өзгерісін анықтау және $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесінің физикалық-химиялық қасиеттерін қарастыра отырып, шлақтың оңтайлы құрамын таңдау.

Зерттеу әдісі. Зерттеуге негізі көп компонентті $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйеден тұратын шлактар алынды, оларда CaO/SiO_2 қатынасы 0,5-тен 1,0-ге дейін өзгеріп отырды. $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесінің тұтқырлығының температура мен кальций тотығы мөлшерінің өзгеруіне сәйкес тәуелділіктері анықталды.

Зерттеудің негізгі методологиялық принциптері жалпы заңдардың термодинамикалық көзқарастары мен математикалық сипаттамасы болды. Олар $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ көпкомпонентті шлак жүйесінде конденсацияланған (сұйық) фазалардың сапалық және сандық сипаттамаларын сенімді анықтауды және берілген аумақта оның тұтқырлығының, шлак үлгілерінің құрамы мен температуралардың өзгерістерің қамтамасыз етеді. Берілген жұмыста жоғары температурада сұйық орталардың тұтқырлығын анықтаудың ротациялық әдісіне көңіл аударылды. Жоғары температуралық зерттеулер үшін модернизацияланған «BROOKFIELD» маркалы «DV-III+» сериялы ротациялық вискозиметрі

негізінде, балқымалардың динамикалық тұтқырлығын өлшеу бойынша зертханалық қондырғы қолданылды.

Ғылыми жаңалық. Тәжірибелік жұмыстың нәтижесінде $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің динамикалық тұтқырлығы зерттелінді. Шлактың температурасын және ондағы кальций тотығының мөлшерін жоғарылатқан кезде, аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайтып, шлак тұтқырлығының төмендейтіні орнатылды. $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің тұтқырлығының температура мен кальций тотығы мөлшерінің өзгеруіне сәйкес тәуелділіктері анықталды. Температура артқан сайын динамикалық тұтқырлықтың, зерттелген шлактардың барлық құрамдары үшін, күрт төмендейтіні орнатылды. Шлакта мыс мөлшерінің өсу кезінде, жүйенің сұйықтай аққыштық күйінің аралығы ұлғаятыны дәлелденді. $\text{FeO}:\text{SiO}_2 > 1$ және мыс тотығының ерігіштігі шлактарда төмендегенде кезде «шпинельдердің» ірілігі артады, ал шлак мыс тотығына қаныққанда және кальций тотығының мөлшері артқанда шпинельдердің ұнтақталуына әкеледі. Жасалған кешенді талдау, $\text{FeO}_x - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ шлак жүйесіндегі мыс оксидінің ерігіштігі бойынша жүйелі зерттеулер жүргізілді және тұтқырлықты анықтаудың нәтижелері шлакты балқымалардың тұтқырлығына шлактар негізінің әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

1 Мыс металлургиясындағы автогенді процестерге қысқаша шолу

Металлургиялық өнеркәсіпте автогенді деп, қосымша жылу көздері – отын немесе электрэнергиясыз, толығымен ішкі энергетикалық ресурстар есебінен жүзеге асырылатын технологиялық процестерді айтады. Жылулық қабілеттілігі жоғары сульфидті шикізатты өңдеу кезінде, пирометаллургиялық процестің (балқыту) автогендігі өңделетін шихта сульфидтерінің жануының (тотығу) экзотермиялық реакциялар жылуының есебінен жүзеге асырылады. Балқыту кезінде тотықтыру реагенті ретінде ауаны, оттегіге бай үрлеуді немесе техникалық оттегіні қолдануға болады.

Автогенді процестердің негізінде, энергетикалық шығындарды минимизациялайтын, шикізатты кешенді пайдалануды қамтамасыз ететін және ауа мен су бассейндерінің ластануын болдырмайтын технологиялық сұлбаларды құруға болады.

Флотациялық концентраттарды өңдейтін автогенді процестер, технологиялық жағынан да, аппаратуралық жағынан болса да әртүрлі пішінде ұйымдастырылуы мүмкін. Технологиялық жағынан көзқарас бойынша, бұл процестер, біріншіден, сульфидтерді жандыру әдісімен ерекшеленеді. Майда сульфидті концентраттарды газ фазасында (факелде) шашыранды күйде және балқымаларда жандыруға болады.

Аспалы күйде балқыту деп, пештің шыныққан кеңістігіне арнайы жанарғы арқылы үрлеумен бірге берілетін шихта сульфидтерінің жануы кезінде түзілетін оттықта ұнтақталған сульфидті концентраттардың жануы жүретін процесті айтады. Сульфидтердің жану кезінде бөлінетін жылу есебінен, шашыранды шихта қыздырылып, балқытылады. Түзілген тамшылар, тұндырғыш камерада жиналған шлакты балқыма бетіне түседі, мұнда штейн мен шлактың қабаттануы жүреді.

Автогенді процестерді балқымада жүзеге асыру барысында, шихталы материалдар түрлі әдістермен, сульфидті-тотықты балқымасы бар ваннаға енгізіледі, онда олар балқып, ериді, содан кейін сұйық күйдегі сульфидтер балқымаға берілетін үрлеумен тотығады.

Аспалы күйде жүзеге асырылатын автогенді процестерге: Циклонды балқыту, оттекті – аспалы – циклонды – электртермиялық балқыту (КИВЦЭТ), аспалы күйде балқыту және оттекті аспалы балқыту жатады.

Әлемге, «Оутокумпу Оу» (Финляндия) фирмасының аспалы күйде балқыту және «ИНКО» фирмасының оттекті аспалы балқытуы кеңінен танымал. Бұл технологияларды қолданып, әлемдік мыс өндірісінің 20 % шығаратын, әлемде 34 зауыт жұмыс істейді.

Қоршаған ортаны қорғауға қойылатын қатаң талаптарға байланысты, Еуропа елдерінде КИВЦЭТ процесі кеңінен таралуда. Қолдағы деректерге сай, түсті металлургия өнеркәсіптерінің шамамен 70 % өзінің процестерін модернизациялауда және осы процеске көшуде. Еске түсіріп кететін жай - КИВЦЭТ-тің, сонымен қатар, көптеген аспалы күйде жүзеге асырылатын автогенді процестерде қолданылатын Циклонды балқыту процесінің іргелі

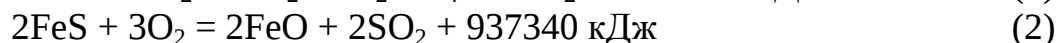
ғылыми негіздері мен аппаратуралық рәсімделуі, алғаш рет Қазақстанда әзірленген.

Балқымада жүзеге асырылатын және өндірісте игерілген автогенді процестерге келесі процестерді жатқызуға болады: «Уоркра» (Австралия), «Норанда», «ТБРЦ» (Канада), «Мицубиси» (Жапония) және «Ванюков процесі» (сұйық ваннада балқыту, КСРО).

Балқымадағы автогенді процестер мерзімді («ТБРЦ» процесі), жартылай үздіксіз («Норанда» процесі) және үздіксіз («Ванюков процесі» мен «Мицубиси») болып бөлінеді.

Қазіргі таңда әлемде 10 өндірістік Ванюков пеші және 6 «Норанда» фирмасының пештері жұмыс істеуде. Соңғы жылдары, Қытайда, Үндістанда, Жапонияда, Перуде, Оңтүстік Кореяда, Германияда және Австралияда енгізілген «Ausmelt» технологиясы («Xstrata», Австралия) кеңінен таралуда. 2004-2005 жылдары аталмыш технология Ресей, Үндістан және Оңтүстік Кореядағы жаңа зауыттарға енгізілді. Берілген технология бойынша Қазақстанда (Өскемен қ.) «Казцинк» ААҚ-да мыс зауытының құрылысы жүзеге асырылуда.

Сульфидті мыс және полиметал концентраттары мен кендерін балқытудың автогенді тәсілдерінің негізінде, шихта сульфидтерінің экзотермиялық тотығу реакциялары және бастысы, темір сульфидтерінің келесі реакцияларымен тотығулары жатыр:



Барлық автогенді процестер, өздерінің мәндеріне сәйкес, тотықтырғыш және біріктірілген процестер болып келеді. Олар бір металлургиялық агрегатта күйдіруді, балқытуды және бөліктеп, немесе толық конвертерлеу процестерін біріктірген. Мұндай шешім шихта құрамындағы күкіртті (бір жерде), рационалдауды және концентрлендіру арқасында газ құрамына өткізуге мүмкіндік береді. Бұл кезде үрлеудегі оттегінің мөлшеріне қарай, SO_2 мөлшері концентратталынған газдар, ал үрлеуге таза техникалық оттегіні қолданса, тіпті таза күкіртті ангидрид алудың мүмкіндігіне жетуге болады.

Автогенді балқытуды жүргізу кезінде, өңделетін материал көлемі мен үрлеу қатынасын өзгерте отырып, десульфидизация дәрежесін кез келген қойылған шектерде өзгертіп отыруға болады. Бұл алынатын штейндер құрамын кең диапозонда өзгертуге, тіпті қара мыс алуға дейін мүмкіндік береді.

Әрбір автогенді процесс, артықшылықтары мен кемшіліктерімен қатар, технологиялық бөлімі мен аппаратуралық құрылымында, өзіне тән ерекшеліктерге ие. Автогенді балқымалардың мәнін және технологиялық, конструктивтік өзгешеліктерін түсіну үшін, аспалы күйде және балқымада

жүзеге асатын, шетелде кеңінен таралған процестерге қысқаша тоқталып кетейік.

1 Кесте – Штейнге балқыту процестерінің негізгі көрсеткіштерінің салыстырмалы талдауы

Көрсеткіштер	Балқытудың түрі					
	СВБ	ОАБ	Оутокумп	КИВЦЭ	Норанд	Шарпыма
Меншікті балқыту, т/м ² тәулігіне	55–80	10	7,5	3–5	11	4–5
Штейндегі Si мөлшері, %	50	40	45–60	50	80	30
Шлактағы Si мөлшері, кедейлендірусіз, %	0,5–0,6	1,2	1–1,5	–	4–7	0,4–0,5
Штейндегі мыс мөлшерінің шлактағы мыс мөлшеріне қатынасы	85	35	50	125	13	75
Шихтаның ылғалдылығы, %	6–8	1	1	1	10–13	6–8
Шихтаның ірілігі, мм.	до 50	0,1	0,1	0,1	до 10	0,1
Шаң шығуы, %	1	6–10	6–10	–	5	1–2
Үрлеудегі O ₂ мөлшері, %	до 95	95	до 40	95	до 25	до 25
Газдағы SO ₂ мөлшері, %	40–60	75	10–12	50–75	16–20	1–2

Жоғарыда көрсетілгендей, өзінің таралуы мен технологиялық шешімінің өңделуі бойынша, «Оутокумпу Оу» (Финляндия) фирмасының аспалы балқыту процесі ең перспективті болып келеді. Алайда, көптеген Еуропа зауыттарының «КИВЦЭТ» технологиясына көшуі, және балқымада жүретін «Норанда», «Уоркра», «Мицубиси» және «Ванюков процесі» (ПВ) сияқты автогенді процестердің бірқатар технологиялық артықшылықтары, болашақ - соңғылардың арттарынан болатынына сендіреді.

Басқа автогенді балқыту процестерінің алдында бірқатар технологиялық артықшылықтары бар мысты алудың «Норанда» және «Мицубиси» үздіксіз процестері - эффективтілігі жоғары және ауаның ластануын төмендететін процестер болып табылады. Алайда, талдау көрсеткендей, бір агрегатта мысты алудың - «Норанда» және «Уоркра» процестері, немесе, бірнеше дәстүрлі әдістермен мыс алудың «Мицубиси» процесінің айтарлықтай кемшіліктері де бар. Біріншіден, олардың аппаратура пішінінің күрделілігі, алынатын шлактарды кедейлендіру немесе флотациялау қажеттілігі, штейнді конвертерлеу және т.б.

Сонымен қатар, аталған процестердің іргелі қиындықтары да бар. Олар, бір уақытта пеште күрделі фазалық жүйелердің түзілуімен байланысты. Мысалы, «Норанда» процесінің конвертер тәріздес бөлек пешінде, бірлескен байланыста біруақытта үш сұйық фаза - мыс, ақ матт және темірсиликатты шлак болады. «Мицубиси» процесінде керісінше - балқыту пешінен бөлініп шыққан темірсиликатты шлак, конвертерлі пеште, сұйық мыспен араласады. Мұндағы бірінші және екінші жағдайда байқалатын қиындықтар, әсіресе,

шлак фазасындағы Fe_3O_4 , Cu_2O және қоспалардың тәртібіне байланысты туындайды.

Біздің көзқарасымыз бойынша, алынатын шикізатта негізгі металл құрамының төмендеуі тенденциясының жоғарлауын ескере отырып, өндіріске енгізу басында бірінші дәрежелі мәселе - заманауи технологияларға қойылатын барлық талаптарға сай келетін, шынайы шлак үйіндісі алынатын автогенді процестерін құру қажеттігі тұру керек.

Қолданыстағы процестерді жетілдіруге және интенсификациялауға бағытталған шешімдерді де әзірлеуді көңілден тыс қалдырмау керек. Кейбір жағдайларда дәл осындай шешімдерді қолдану, минималды капиталды шығындарда, процестің техника-экономикалық көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік береді. Мысалы, осындай бағыттардың біріне, конвертерде сульфидті шикізатты балқытудың автогенді процесін жатқызуға болады.

Қайсыбір автогенді процесті таңдау кезінде, жоғарыда айтылған шарттармен қатар, термодинамикалық көзқарас жағынан әрбір бөлек алынған фазадағы бөлек компоненттердің жүру тәртібін ескеру және оқып білу қажет. Бұл кез келген автогенді процестің жұмыс істеу принципін дұрыс түсінуде үлкен мәнге ие [1].

1.1 Мысты концентраттарды бай штейнге автогенді балқытудың технологиялық ерекшеліктері

Автогенді балқыту технологияларына тән қасиеттердің барлығын сақтай отырып, басқа автогенді процестермен салыстырғанда, ВП-нің көптеген артықшылықтары бар.

ВП-нің өнімділігінің жоғары үлес салмағы, флотационды концентрат пен ұсақ материалдарды балқытуға және шаң шығуының аз мөлшерде болатындығымен өзіне назар аудартады. Штейндердің құрамдары бір-біріне сәйкес болған кезде, ВП-нен алынатын шлактағы мыс мөлшері, басқа - оттегі алаулы балқытудан (ОАБ) және аспалы күйіндегі балқытудан алынатын шлактағы мыс мөлшеріне қарағанда, неғұрлым төмен болады.

ВП-нің пайда болуына, пирометаллургиялық процестердің тиімдеу жолдарын іздестірудегі көп жылдық зерттеулер себеп болды, олар пештің негізгі технологиялық және конструкциялық шешімдерін белгілеуге мүмкіндік берді.

Ваннанның белсенді араласуы мен онда әртүрлі іріліктегі штейн тамшыларының болуы, олардың бір-бірімен соқтығысуына және іріленуіне жоғары мүмкіндіктерді қамтамасыз етеді. А.Д. Васкевич орындаған есептеулер, балқыманы белсенді араластыру кезінде тек нақты өлшемдегі тамшылардың тұрақты болатындығын көрсетті. Бұл кезде, кіші өлшемдегі тамшылар іріленеді, ал ірі тамшылар, керісінше, ұсақталады. Тамшылар өлшемдерінің тұрақтылығы араластыру белсенділігіне, шлак тұтқырлығына және штейн мен шлак шекарасындағы фазааралық тартылысына байланысты.

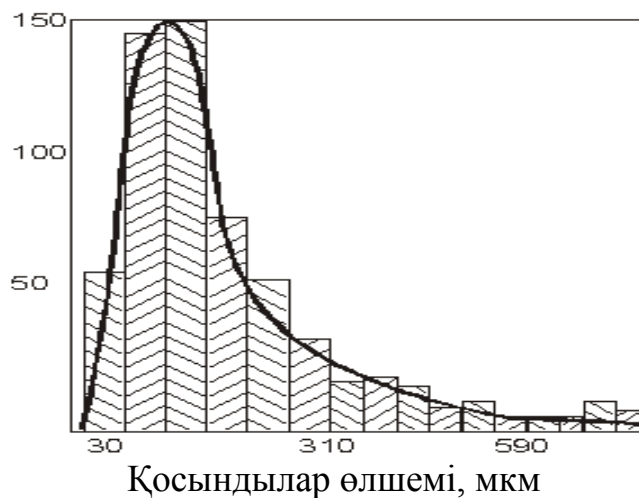
Сұйық ваннада балқыту шартында, процес параметрлерінен және фаза құрамынан тәуелді болып келетін тұрақты тамшылардың диаметрлері нақты болып, 0,5–2,0 мм аралығында жатады. Фурманың жоғарғы аймағында тамшылардың ірілену процесін қарастырған кезде, бұл жерде бөлшектердің ірілігіне қарай, олардың іріктелуінің жүретіндігін ерекше айтып кеткен жөн. Ұсақ штейн бөлшектері шлакқа қарағанда қозғалмайды, сол себептен, фурманың жоғарғы жағында шлакпен бірге жүзіп жүреді. Бөлшектер тек нақты ірілікке (0,5 мм) жеткенде, салмақ күшінің әсерінен қажетті тік жылдамдыққа ие болып қозғала бастайды, содан соң, барботаждау аймағынан фурманың төменгі аймағына түсе бастайды. Осыған байланысты, фурманың төменгі аймағына, негізінен, тек штейннің ірі тамшылары ғана түседі. Әрине, кездейсоқ ұсақ тамшылардың фурманың төменгі аймағына түсіп кетуін толығымен болдыртпау мүмкін емес. Бірақ, Ванюков пешінде, фурмалардан төмен аймағында, ұсақ сульфидті тамшылардың «жуылып» шығуын қамтамасыз ететін қолайлы шарттар құрылған. Жоғарыдан төмен қарай қозғалатын шлақтың әр элементарлы көлемі, шамамен 10^5 – 10^6 ірі штейн тамшыларының соғылуынан өтеді. Әр тамшының бір-бірімен ұрылуы, олардың қосылуына алып келе бермейді. Штейн тамшылары оң зарядталған және олардың зарядтарының тығыздығы жоғары. Тамшылар электростатикалық күштің әсерінен бір-бірінен тебіледі. Ұрылудың тек 10^3 – 10^4 бір бөлігі ғана қосылуға алып келетіндігі есептелген. Сұйық ваннада балқыту шарттарында, шлакпен штейнді молымен шаю кезінде, тамшылардың қосылуының аз мүмкіндігіне қарамастан, шлақтың әрбір элементарлы көлемінде тамшылардың 1000 тиімді ұрылуы қалады. Осыған байланысты пештен шығатын шлакта ұсақ сульфидті бөлшектер мүлдем аз, сондықтан, соңғы алынатын шлактағы мыстың жалпы мөлшері де жоғары болмайды.

Теориялық есептеулер көрсеткендей, А.В.Ванюков пешінің фурмалардың жоғарғы аймағында ~ 98 % бөлшектер коалесценцияланып үлгереді, ал тек 2 %-ға жуығы іріленбеген өлшенді түрінде қалады. Бұл мөлшерлік нәтиже, коалесценция кезінде эффективті ұрылудың жиілігі өте төмен болады деген болжамнан алынған. Қорытындылай келгенде, турбулентті коалесценция барлық бөлшектерді гидродинамикалық тұрақты өлшемдерге дейін ірілетуге үлгереді, ал бұл, өз кезеңінде, металдардың шлактармен механикалық жоғалымының төменгі шамасын анықтайды.

Пеш фурмасының жоғарғы аймағынан алынған массаның құрамының эксперименталдық зерттеулері жұмыстың теориялық талдау нәтижелерін растады. Авторлармен жүргізілген А.В.Ванюков пешінде, фурманың жоғарғы аймағында жүргізілген зондылау, штейннің негізгі бөліктері, диаметрі 0,3–0,5 мм болатын тамшылармен көрсетілгенін, сондай-ақ штейн тамшыларының әртүрлі бөліктерінің құрамдары бірдей екендігін анықтады.

Нормативті құрамды штейн түзілу процесінде тек тамшылар өлшемдерін ғана емес, сонымен қоса, олардың орташа құрамын да ескеру қажет. Сульфидтердің бастапқы минералды бөлшектері әртүрлі мыс мөлшеріне ие болатындығынан және олардың әртүрлі тереңдікте

тотықсыздануының салдарынан, әртүрлі құрамды штейн тамшылары алынады. Балқытудың барлық технологиялық процестерінде штейн, жеке өзіндік фазаға бөлінуге дейін, аспалы тамшылар түрінде болады. Бұл процесс ертеректе, шлакта штейннің коллоидты ерітіндісінің болуы мүмкін емес, деген көзқарасы ретінде қарастырылған.



1 Сурет – Пештегі фурманың жоғарғы аймағынан алынған үлгілердегі штейн қосындыларының, ірілігіне қарай, бөлініп таралуы

Әртүрлі іріліктегі тамшылардың түрлі ерігіштігі мен түрлі еру жылдамдығының салдарынан, шлак фазасында, заттардың ұсақ тамшыдан ірі тамшыларға қарай изотермиялық айдалуы іске асуы керек. Заттардың осындай алмасу заңдылығы Гиббс–Томсон заңынан шығады:

$$\ln \frac{C_1}{C_0} = \frac{2\sigma_{1-2}M}{RTr\rho}, \quad (4)$$

мұндағы C_1 – радиусы r тамшының бетінің үстіндегі аса қаныққан дисперсті фазаның концентрациясы;

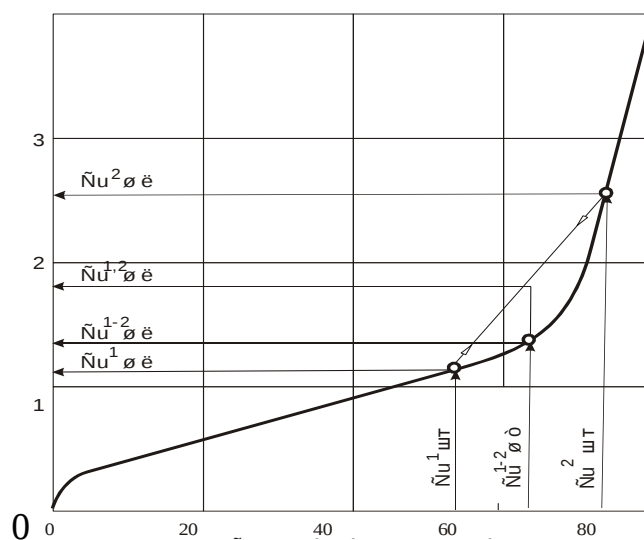
C_0 – дисперсті фаза көлеміндегі аса қаныққан концентрация;

σ_{1-2} – фазааралық тартылыс;

M – заттың молекулалық массасы;

ρ – дисперсті фазаның тығыздығы.

Ұсақ және ірі тамшыларының бетінің үстіндегі концентрацияларының айырмашылығы, еріген компоненттерінің концентрациясы аса үлкен болатын ұсақ тамшылардың бетінен, қаныққан ерітіндідегі металдардың концентрациясы төмен болатын ірі тамшылардың бетіне қарай диффузионды ағынның жүруін туғызады.



Штейндегі мыс мөлшері, масс. %

$$[Cu^{1-2}] = 0,5([Cu^1] + [Cu^2])$$

2 Сурет – $T = 1523 \text{ K}$ және газ фазасында SO_2 мөлшері 60% кезінде шлактағы мыс мөлшерінің штейндегі мыс мөлшерінен тәуелділігі

Егер штейн тамшыларында мыс мөлшері әртүрлі болса, онда шлак фазасында мыс концентрациясының градиенті пайда болады. Шлак тұтқырлығы ($\sim 5\text{--}10 \text{ Пз}$), штейнге ($\sim 5 \text{ сПз}$) қарағанда, екі есе көп, ал шлак ваннасындағы штейннің көлемдік құрамы 10 %-дан аспайды. Бұл жағдайда, масса тасымалдануына негізгі кедергі, шлак фазасында шоғырланған деп болжауға болатыны сөзсіз. Штейн-шлак беттік бөлігінен, шлак көлеміне өтетін мыс ағыны, келесі теңдеумен анықталады:

$$P_{Cu} = 4\pi r^2 \beta (C_{eq} - C_{sl}), \quad (5)$$

мұндағы r – штейн тамшыларының радиусы;

C_{sl} – шлак көлеміндегі мыс концентрациясы;

β – араластыру шартына тәуелді, масса алмасу коэффициенті.

$C_{sl} > C_{eq}$ шарты кезінде, шлактағы мыстың еріген мөлшері азаяды (шлактың кедей штейнмен әрекеттесуі), ал $C_{sl} < C_{eq}$ кезінде - артады (шлактың бай штейнмен әрекеттесуі).

Ваннадағы штейннің көлемдік бөлігін ϕ -ға тең дейік, барлық тамшылардың радиустары бірдей r болсын, онда ваннаның бірлік көлеміндегі штейн тамшыларының саны $n = 3\phi/4\pi r^3$ болады. Құрамы бойынша штейн тамшыларының бөлініп таралуының ықтимал тығыздығын сипаттайтын $f(C_m)$

функциясын енгізейік. Онда, $\int_0^{0,8} f(C_m) dC_m = 1$, ал C_m шамасы, темірлі

штейннен $C_m = 0$ ден, ақ матқа дейін $C_m = 0,8$ өзгереді. Шлактағы мыс балансының теңдеуі келесі түрде болады:

$$\hat{O}_{\emptyset\ddot{E}} (C_{Sl}^0 - C_{\dot{a}q}) = -Vn \int_0^{0,8} \ddot{I}_{\tilde{N}u} f dC_m = -\frac{3\varphi V}{4\pi^3} \int_0^{0,8} \ddot{I}_{Cu} f dC_m, \quad (6)$$

мұндағы $\Phi_{ШЛ}$ – шлак ағыны кг/с;

V – ванна көлемі;

C_{Sl}^0 – шлактағы бастапқы мыс концентрациясы.

(5) теңдеуіне, (6) теңдеуінен Π_{Cu} мәнін қойып, шлактағы мыс балансының жаңа теңдеуін алуға болады:

$$\hat{O}_{\emptyset\ddot{E}} (\tilde{N}_{Sl}^0 - C_{\dot{a}q}) = V \frac{\varphi}{\frac{4}{3}\pi^3} \cdot 4\pi^2 \beta \int_0^{80} (C_{Sl} - C_{eq}) f dC_m. \quad (7)$$

C_{Sl}^0 - шлактағы бастапқы мыс концентрациясының C_m шамасынан тәуелді емес екендігін ескере отырып, (7) теңдеуін C_{Sl} шамасына арнап шешейік. Мұның алдында, $k = 3V\varphi\beta/\Phi_{ШЛ}$ деп белгілеп, келесі теңдеуді құрастыруға болады:

$$C_{Sl} = \frac{C_{Sl}^0 + \frac{3V\varphi}{\hat{O}_{\emptyset\ddot{E}}} \beta \int C_m f dC_m}{1 + 3V\varphi\beta/\hat{O}_{\emptyset\ddot{E}}} = \frac{C_{Sl}^0 + k \int C_m f dC_m}{1 + k}. \quad (8)$$

(8) теңдеуінен көрініп тұрғандай, C_{Sl} шамасына, бастапқы еріген мыс мөлшері мен шлак ағынының ванна көлеміне қатынасы және құрамы бойынша штейн тамшыларының бөлініп таралуы әсер тигізеді Штейндегі мыстың орташа мөлшерін келесі теңдеумен өрнектеуге болады:

$$\bar{C}_m = \int C_m f dC_m. \quad (9)$$

Егер барлық тамшылар бірдей құрамға ие болса, онда $f = \delta(C - \bar{C}_m)$ болады. Бұл өрнекті (9) теңдеуіне қойып, келесі теңдеуді аламыз:

$$C_{Sl} = \frac{C_{Sl}^0 + kC_{eq}(\bar{C}_m)}{1 + k}. \quad (10)$$

$C_{eq}(\bar{C}_m)$ функциясы төменге қарай дөңес болғандықтан, әртүрлі теріс емес $f(C_m)$ функциясы үшін, (10) шарттары орындалғанда, Йенсен теңсіздігін қолдануға болады:

$$C_{eq}(\bar{C}_m) \leq \int C_{eq}(C_m) f(C_m) d\tilde{N}_m. \quad (11)$$

Тепе-теңдік белгісі, $C_{eq}(\bar{C}_m)$ шамасы δ -функциясын сипаттайтын жағдайда ғана қойылады. (4), (5) және (6) теңдеулерінен көрініп тұрғандай, шлактағы мыстың минималды мөлшеріне, барлық штейн тамшыларының құрамы бірдей болған жағдайда ғана жетуге болады.

Алынған нәтижелер, шлактағы еріген мыс мөлшерін төмендету үшін қолданылатын керекті шарттардың бірі. Бұдан шығатын негізгі қорытынды - шлакта еріген мыстың мөлшерін төмендету үшін штейн тамшыларын жеке үздіксіз фазаға бөлудің алдында, олардың құрамдарын орташалау керек [2].

1.2 Шлактармен мыс жоғалымы және шлактардағы мыстың табылу формалары

«Шлактармен түсті металдардың жоғалымы» термині металдардың шлакқа өтуінің үш механизмін және шлактағы жоғалымының екі - механикалық және электрхимиялық формаларын түсіндіреді. Электрхимиялық күйде металдың шлакқа өтуін екі механизммен: еру және тотығумен өткен түсті металдар ионын жатқызуға болады. Шлактармен металдар жоғалымы мәселесін шешу үшін металдардың күйімен қатар, олардың шлактағы мөлшерлік қатынасын білу қажет. Шлактағы металдардың күй сипатамаларын, қысқаша қарастырып өтейік.

Шлактармен металдардың механикалық жоғалымы. Әдетте, шлактармен бағалы металдардың көп бөлігі жұқа механикалық жүзгіндер түрінде жоғалады. Механикалық жоғалымдарға, пеш агрегатында шлак қабаты арқылы тұнуға үлгермеген және шлактармен шығарылатын, бөлек фаза бөлшегі түрінде бағалы компоненттер жоғалымын жатқызады.

Шахталы балқыту шлактарын микроскопиялық зерделеу нәтижесінде, шлактағы штейн бөлшектері өлшемі $5 \cdot 10^{-2}$ - $1 \cdot 10^{-5}$ мм аралықта болатындығы және королектің көп бөлігі аса кіші өлшемдерге ие екендігі анықталды. Алайда, механикалық жоғалымдар мөлшерін, көбінесе салыстырмалы, ірі өлшемі 10^{-2} мм болатын бөлшектердің аз мөлшері анықтайды. Шлактың көп бөлігі, өндірістік пештің алдыңғы горнынан, оған түскеннен кейін, 25 мин соң шығады, ал 45 мин. кейін, шлактың барлық көлемі жоғалады. Горн өлшемі ұлғаюынан тұну уақытының артуы және шлактың қыздырылуы салдарынан оның тұтқырлығының төмендеуі, шлактағы мыс мөлшерін төмендетті.

Шлакта бағалы металдардың механикалық жүзгіндерінің түзілу себептері егжей-тегжейлі жұмыста жазылған. Олар:

а) бастапқы шихтада бағалы компоненттердің төмен концентрациясы және майда сеппелілігі салдарынан, әсіресе, ерітілген балқымаларды процестің өтуі кезінде;

б) процесс барысында металлургиялық жүйелердің тотығу-тотықсыздандыру потенциалының өзгеруімен байланысты және

балқымаларда тотығу және тотықсыздандыру реакцияларының әртүрлі жылдамдығы салдарынан;

в) балқыту температуралары төмен сұйық сульфидтер мен металдардың қатты шихта бойымен дымқылдануы және ағуы нәтижесінде;

г) бағалы ұшқыш компоненттердің жұқа пленка түрінде конденсациялануымен және булану кезінде;

д) сұйық шлакқа шихтаның қатты сульфидтері түскен кезде, температураның күрт өзгеруі нәтижесінде. Ерігіштіктің төмендеуіне әкелетін температураның күрт өзгеруі, балқымадан ұсақ жүзгіндердің құлауының себепкері де болуы мүмкін.

Тәжірибеде шлактарда механикалық жүзгіндер түзілу, негізінде келесі себептермен түсіндіріледі.

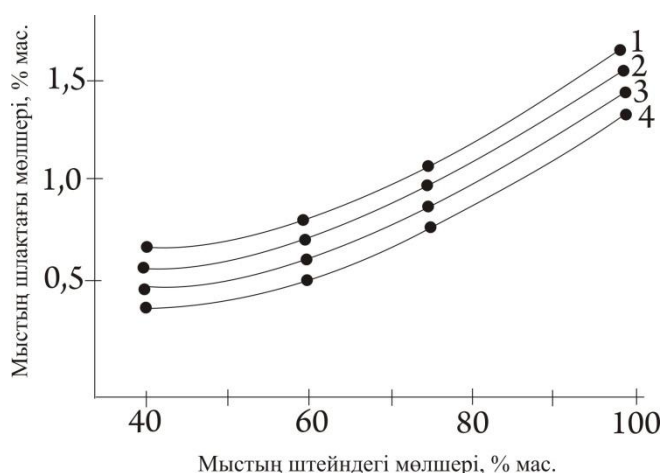
Кесекті флюс материалдары (эктас, кремнезем) бар сульфидті шикізатты балқыту кезінде алдымен, оксидті минералдармен салыстырғанда, балқу температурасы төмен (мырыш сульфидінен басқа) сульфидті материалдар балқиды. Бұл кезде, балқытылған штейн, жоғары дымқылдығыштығы есебінен, кейін қыздыру кезінде, майда штейн тамшыларын түзумен жабылатын оксидті минералдар сынықтарына кіреді.

Балқу ваннасын араластыруы бар пеш агрегаттарында (конвертерлер, балқымада автогенді балқыту типтері) конденсирленген фазалар бөлінуі қиындай түседі, бұл жағдайда штейнді немесе металды фаза майда тамшыларының коалесценциясымен қатар, ванна қатты араластыру салдарынан, ірі тамшыларды ұнтақтау процестері өтеді. [20] жұмысында, балқыту ваннасының меншікті барботаж қуатынан штейнді тамшылардың тұрақты өлшемінің тәуелділігін зерттеу нәтижесінде, ваннаны араластыру меншікті қуаты жоғары болған сайын, штейн-шлакты эмульсияда штейн тамшыларының тұрақты өлшемі кіші болатыны көрсетілді. Өлшемі гидродинамикалық тұрақты өлшемнен асатын штейннің ірі тамшылары, шлак-штейнді эмульсияның интенсивті барботаждалуы кезінде ұнтақталады. Ірі тамшыларды ұнтақтау кезінде, әртүрлі өлшемді тамшылар түзілуі мүмкін. Үлкен және кіші тамшылардың нақты қатынасы шамамен 10:1 болып келеді. Ірі тамшының жоғары деформациясында оның үзілуі, біруақытта, бірнеше жерде майда тамшы түзумен жүруі мүмкін. Осылайша, коалесценция және ұнтақтау арасында динамикалық тепе-теңдік кезінде, шлакта ұсақ дисперсті штейн жүзгіндерінің белгілі бір үлесі кездеседі.

Табиғатта, бір фазада еритін және екі түйісетін фазалардың бірінде мүлдем ерімейтін элементтер немесе қосылыстар болмайды. Элемент немесе қосылыс қасиетіне байланысты, қайсыбір фазада әлсіз немесе күшті еруі мүмкін. Еру дәрежесі, ерітілетін заттың және еріткіштің жеке қасиеттерімен анықталады және таралу коэффициентімен сипатталады. Температура жоғарлаған сайын, түйісетін фазалар арасындағы құрамдастардың физикалық ерігіштігі, процесс энтпропиясы жоғарлау есебінен өседі. Шлакта еріген металды, физикалық еріген және алмасу реакциялары нәтижесінде еріген металды бөліп алу, экспериментті түрде мүмкін емес. Сондықтан, оларды

ортақ атаумен -электрхимиялық жоғалымдар деп біріктіреді. Штейнге балқыту шарттарында, алмасу реакциялары өтуімен туындаған шлактағы мыс ерігіштігін, оксидті және сульфидті жоғалым деп бөлу қабылданған.

Шлакта мыс ерігіштігін зерттеудің ертерек сатыларында, штейнді өлшенді түзілу мүмкіндігі ескерілмеген. Мұның бәрі, алынған деректердің әртүрлі мәніне әкелді, бірақ бұл кезде, шлактағы мыс мөлшері, оның штейндегі мөлшері мен магнетиттің шлактағы мөлшері жоғарлаған сайын, артатынын көрсетті (3, 4 - сурет, сәйкесінше).

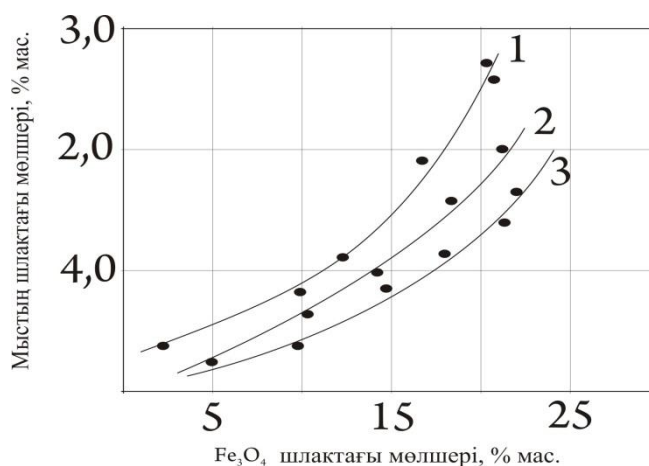


1- 18% SiO₂; 2- 25% SiO₂; 3 – 36% SiO₂; 4 – 40% SiO₂

3 Сурет – Шлактағы мыс мөлшеріне штейн құрамының әсері

Кедей штейн аймағында, шарпыма және шахталы балқыту процесін есептеу үшін, көптеген экспериментті деректерді өңдеу нәтижесінде алынған, (Cu)=0,01 [Cu] шлактағы мыс мөлшерін анықтауға арналған теңдеу кеңінен қолданылды.

Көптеген зерттеушілер, зертханалық эксперимент жүргізу шарттарында механикалық жоғалымдарды жою, балқыту өнімдері арасында металдардың тәртібі мен таралуын зерделеуде принципиалды мәнге ие болғандығына қарамастан, шлактарда механикалық жүзгіндер түзілуіне ерекше мән бермеді. Олардың бар болуы, соңғы нәтижелерді, шлактағы металдың жалпы мөлшерін арттыру жағына және бұзылуына әкелді. Егер штейн балқу температурасы, нақты шлактар балқу температурасынан төмендігін ескерсек, онда эксперимент шарттарында шлак пен штейн бірге балқуы кезінде механикалық жүзгіндер түзілуінің бірнеше себебін атап айтуға болады.



1- 29,44% SiO₂; 2 – 20,24% SiO₂; 3 – 12,83% SiO₂

4 Сурет – Cu-FeO-SiO₂-Fe₃O₄ жүйесіндегі шлактағы мыс ерігіштігінің Fe₃O₄ тәуелділігі. T=1270 °C

Зертханалық эксперимент барысында шлактармен металдардың жоғалымын жоюы, шлакта еріген металдың тотықты құрамдастарын нақты анықтауға, сәйкесінше, оларды төмендетудің қажетті шараларын қабылдауға мүмкіндік береді. Көрсетілген мәселенің шешілуі, жоғалымда металдар еруінің тотықты күйі сульфидті (механикалық) күйінен басым болып келетін, тотығу процестері үшін ерекше маңыздылыққа ие. Бұл, зерттеушілерден белгілі бір түзетулер мен зерттеудің жаңа арнайы әдістемелерінің әзірлеуін талап етті.

Осылайша, шлакта біріншілей штейн жүзгіндерінің түзілуін жою үшін, байланыстағы штейн және шлак фазаларын алунд қайықшасының әртүрлі шетінде орналастырды, кейін бастапқы штейн және шлак жүзгіндері бар қайықшаны аз ғана еңіспен, шлак қайықшаның жоғарғы жағында болатындай етіп, реакторға орнатты. Қажетті температураға жеткеннен кейін, балқытылған және түзілген шлак, балқытылған штейн тамшыларына ағызылуы арқылы жүріп жатты. Мұндай әдіс авторларға, біріншілей штейн жүзгіндерінің түзілуін жоюға мүмкіндік берді. Қажетті уақыт өткен соң, реакторды, қайықшасымен бірге пештен шығарып, суытты. Қатқан шлақтың штейнмен дымқылдануы, шлак беті бойынша жүреді, сондықтан химиялық сараптамаға жіберілетін шлак сынамасы, штейннің түсу мүмкіндігі болмаған төменгі қабаттардан алынды.

Өткен жүзжылдықтың бірінші жартысындағы маңызды мәселе, штейн және шлак үлгілерінде жоғары дәлдікпен Fe³⁺ және Fe²⁺ мөлшерін анықтау болып табылды. Берілген мәселені шешуге және нәтижелердің нақтылығын жоғарлатуына, штейн-шлак балқымаларының физика-химиялық талдау тәсілдерінің дамуы үлкен әсер етті. Өткізілген зерттеулердің жинақталған нәтижелері, әртүрлі процестер үшін, шлактарда электрхимиялық мыс жоғалымын болжамдауға мүмкіндік береді.

Мыс концентраттарын балқытудың технологиялық рәсімделуі сантүрлі болғанда, шлактармен мыстың электрхимиялық және механикалық жоғалымының қатынастарын анықтайтын келесі екі жағдайды бөліп айтуға болады:

- нейтралды және тотықсыздандырғыш шарттарда және әлсіз араластыратын ванналарда (шарпыма пеш, электр балқыту) штейнге концентраттарды балқыту кезінде, келеңсіз жағдайлар туындайды – ұсақ дисперсті штейн жүзгіндерінің түзілуі. Бұл кезде балқыту кедей штейн алумен жүреді және бұл процестерде механикалық жоғалымдар электрхимиялық жоғалымдардан асып түседі;

- барботаждатын ваннада (штейн шлак эмульсиясын қарқынды араластыру есебінен ұсақ дисперсті мыс тамшыларының коалесценциясы үшін қолайлы жағдайлар түзілетін) бай штейнге, мыс концентраттарын автогенді балқыту кезінде, шлактармен мыстың электрхимиялық жоғалым үлесі, механикалық жоғалым үлесінен асып түседі [3].

2 Тәжірибелік бөлім. $\text{Cu}_2\text{O-FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің тұтқырлығын зерттеу

Жоғарыда айтылғандай, тұтқырлық маңызды қасиеттердің бірі бола отырып, балқытылған шлак құрылымын сипаттайды, технологиялық процестің температуралық режимін, пеш агрегатының өнімділігін, балқыту өнімдерінің толық бөлінуін анықтайды. Аз зерттелген шлак жүйелерінің тұтқырлығы бойынша алынған тікелей тәжірибелік деректер ерекше құндылыққа ие, оларға, Ванюков процесі негізінде жаңа технологияны – Ванюков конвертерлеу процесін жасау үшін қажетті, мыс штейндерін үздіксіз өңдеудің мыс мөлшері жоғары болатын шлактар жатады.

$\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесінің шлактарының тұтқырлығын зерттеуге біршама жұмыстар арналды. Алайда әдебиеттерде, $\text{Cu}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйесі балқымаларының тұтқырлығы жөнінде деректер жоқ. Оған қоса, осы деректердің қажеттілігі, Ванюков процесі негізінде үздіксіз конвертерлеу технологиясын жасауда аса маңызды. Мыс мөлшері жоғары шлактардың тұтқырлығы бойынша деректердің жоқтығынан және мыс штейндерін үздіксіз конвертерлеу үшін ұсынылатын шлак құрамының оның динамикалық қасиеттеріне әсерін анықтау мақсатымен, Cu_2O тотығының өзгеріп отыратын 9,7 - 27,2 % масс. мөлшерінде және FeO , SiO_2 ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ фаялит құрамына жақын) концентрацияларының тұрақты қатынасы 2,39 : 1 мен CaO тотығының 7,0-11,8 % масс. мөлшерінде, мыс тотығы – гематит – кремнезем - әктас төрткомпонентті шлак жүйесінің тұтқырлығын зерттеу бойынша жұмыстар жасалды [4].

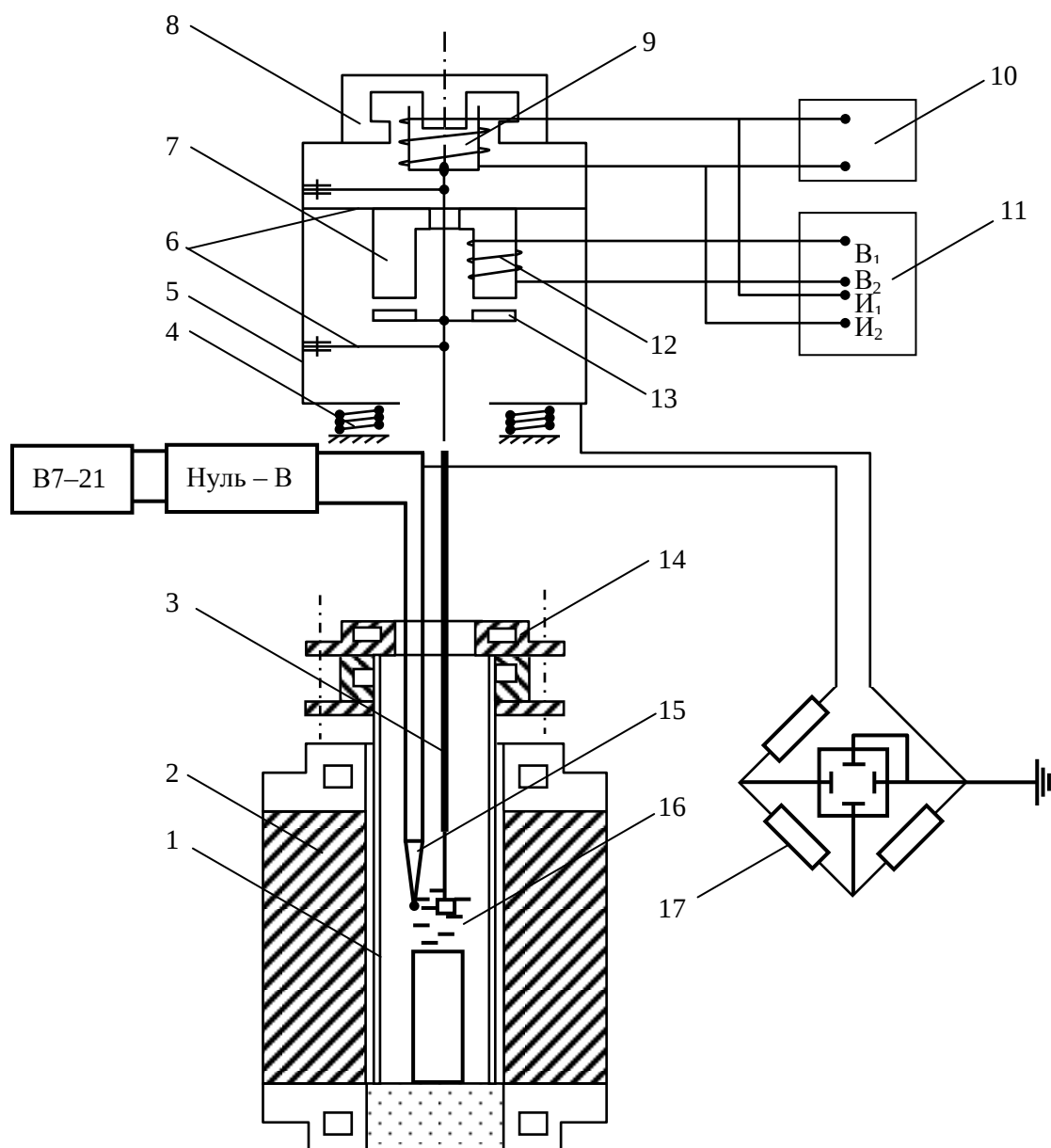
2.1 Тұтқырлықты өлшеу әдістері

Сұйық орталар тұтқырлығын өлшеудің көптеген әдістері белгілі: капиллярлы ағыс әдісі, шарлар құлау әдісі, ротациялық және дірілді әдістер. Алайда жоғары температураларда шлак балқымаларының тұтқырлығын зерттеу үшін соңғы екі әдіс, олардың жоғары әмбебаптылығы мен бастапқы екі әдіс тәжірибесін жүргізу күрделілігіне байланысты, кеңінен таралымға ие болды.

Тұтқырлықты өлшеудің дірілді әдісі. Вискозиметрияның дірілді әдісі, аталмыш дірілді вискозиметр зондын зерттелінді ортаға тиеу кезінде, дұрыс геометриялық пішінді дененің еріксіз тербелістер көрсеткіштерінің өзгерістерін анықтауға негізделген. Осы көрсеткіштердің мәндері бойынша, әдетте құралдың градуирлеу қисығын пайдалана отырып, сұйықтың тұтқырлығын анықтайды. Әдісті мәннің (10^{-3} -100 Па·с) кең аралығында өлшеу үшін қолдануға болады.

Қондырғы конструкциясы жұмыста егжей-тегжейлі келтірілген, ал оның сұлбасы 5-суретте көрсетілген.

Балқымалар вискозиметриясы әдістемесінің жалпы сұлбасы келесідей. Пештің изометриялық зонасының тіреуішіне, зерттелінді заты бар тигельді, төменгі термопараның дәнекерленген жері, алынатын балқыма биіктігінің ортаңғы деңгейінде тұратындай етіп, орнатады. Тигель өлшемі зондты градуирлеу ыдысына ұқсас. Пештің жұмысшы кеңістігін герметизациялау мен вакуумдағаннан кейін, пеш белгілі бір температураға дейін қыздырылады. Бұл кезде бастапқы үлгінің сусыздануы жүзеге асырылады. Жұмысшы кеңістігін, қысымның 30 кПа артық мөлшеріне дейін, тазартылған инертті газбен толтырады, үлгіні балқытады және балқыма құрамы мен температурасын орташаландыру үшін қажетті уақытта біраз ұстап тұрғаннан кейін, оған резонанста тербелетін зонд пен жоғарғы термопараны, микровинтпен пештің орнын ауыстыра отырып, тиейді. Жанасу моменті, дірілді вискозиметр зондының тербеліс көрсеткіштерінің күрт өзгеруі бойынша, анық тіркеледі. Резонанс жиілігін орнатып, сәйкес өлшеу сұлбасына кіретін барлық құралдардың көрсеткіштерін тұрақтандырғаннан кейін, балқыма температурасы мен кейіннен есептеуге қажет болатын барлық тербеліс сипаттамаларын белгілейді. Одан кейін басқа температуралық режим қояды және қайтадан құрал көрсеткіштерін белгілеп алады.



1 – Алундты реактор; 2 –Тамман пеші; 3 – дірілді өзек, оның төменгі бөлігі – қуыс бұрғы; 4 – амортизация серіппелері; 5 – С.В. Штенгельмейер конструкциясының вискозиметр корпусы; 6 – жазық серіппелер; 7 – діріл білігі; 8 – сақиналы магнит; 9 – өлшеу катушкасы; 10 – сандық вольтметр; 11 – автогенератор; 12 – якорь орамы; 13 – діріл якорі; 14 – сумен суытылатын қақпақ; 15 – Pt-PtRh термопарасы; 16 – тигель; 17 – Уитстон көпірі

5 Сурет - Дірілді әдіспен тұтқырлықты өлшеу қондырғысының сұлбасы

Тұтқырлықты өлшеудің ротациялық әдісі. Ротациялау әдістің мәні келесіде, зерттелінді сұйықты геометриялық дұрыс пішінді екі бет арасындағы саңылауға орналастырады. Бір бетті тұрақты жылдамдықпен айналдырады. Бұл кезде айналу қозғалысы сұйық арқылы екінші бетке беріледі. Бір беттен екіншісіне берілетін айналу моменті, сұйық тұтқырлығының өлшемі болып табылады. Айналу моментін өлшеу үшін, екінші бет динамометрлік құрылғымен біріктіріледі. Екінші бет қозғалыссыз болуы мүмкін, бұл жағдайда тұтқырлық сипаттамасы, бірінші айналмалы бетке сұйықпен түсірілетін тежеу моменті болып табылады.

Қазіргі уақытта, шлактар вискозиметриясында электрлі ротациялау вискозиметрлері кеңінен қолданылады. Электрлі ротациялау вискозиметрлерінде, балқымаға тиелетін, ішкі цилиндрдің (шпиндель) айналуы айнымалы немесе тұрақты токпен электрқозғалтқыш көмегімен жүзеге асырылады. Тұрақты жылдамдықпен айналатын шпиндельді балқымаға батырғаннан кейін, қозғалтқыш білігінде балқыма тұтқырлығына тура пропорционал болатын тежеу моменті туындайды. Тежеу моментінің өзгеруі, қозғалтқыштың электрлі тіркелетін сипаттамаларының сәйкес өзгерісін тудырады.

Берілген жұмыста жоғары температурада сұйық орталардың тұтқырлығын анықтаудың ротациялық әдісіне көңіл аударылды. Әдістің бірқатар артықшылықтары бар: өлшенетін мәnnің кең аралығы $10^{-3} - 10^3$ Па·с дейін, материалы мен геометриялық өлшемдері бойынша, әртүрлі цилиндрлік өлшеу элементтерін пайдалану мүмкіндігі, вискозиметрдің қарапайым және сенімді конструкциясы мен оны пайдалану ыңғайлылығы, тұтқырлықты анықтау бойынша есептеулер жүргізусіз, өлшенетін шамалар мәндерінің тікелей алынуы, жоғары нақтылықпен тәжірибелік деректердің алынуымен тәжірибелер жүргізудің салыстырмалы қарапайымдылығы, мәселен: нақтылығы $\pm 1 \%$ (диапазоны), нәтижелер жаңғыртылуы $\pm 0,2 \%$ [5].

2.2 Зертханалық қондырғы сұлбасын құрастыру және шлак тұтқырлығын өлшеу әдістемесі

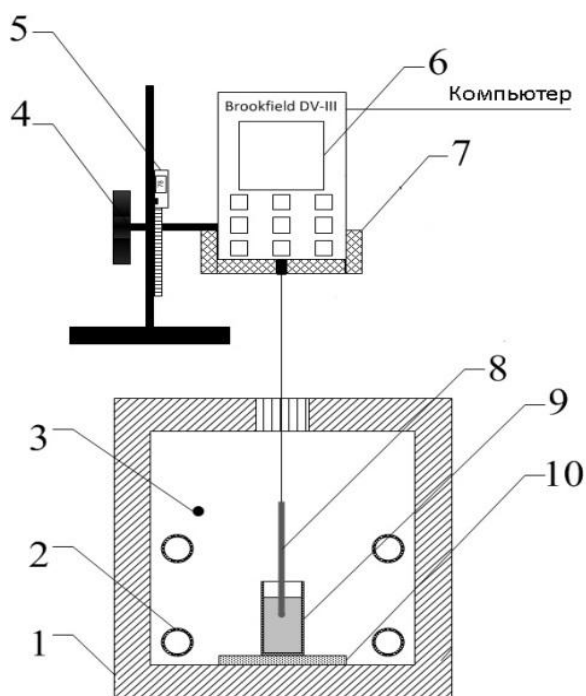
Мыс тотығының мөлшері жоғары болатын шлактар күшті тотықтырғыштар болып табылады, бұл тәжірибе жүргізу шарттарын ауқымды күрделендіреді - өлшеу элементі ретінде дәстүрлі металды цилиндрлерді (мысалы, болат цилиндрлер) пайдалануға мүмкіндік бермейді. Оған қоса, мыс мөлшері жоғары шлактар, металды емес отқа төзімді материалдарын қатысты жоғары өту қабілетіне ие. Осыған байланысты, зерттелінді балқымаларда әртүрлі материалдарын төзімділігін сынау бойынша сынақтар жүргізілді. Кеуектілігі аз алунд қанағаттанарлық қасиеттеріне, вакуумды тығыз немесе балқыған алунд жақсы сипаттамаларға ие мыс мөлшері жоғары шлактардың мұндай ерекше қасиеттерін конвертерлі

Ванюков пешінің конструкциялық материалдарын таңдау кезінде ескеру қажет.

Тәжірибелік зерттеулерде, шлак балқымасында шпиндельдің дымқылдануы есебінен «кері ығыстыру эффектісінің» болмауы мен жоғары коррозияға төзімділігі есебінен, кеуектілігі төмен алундты пайдаланады. Әрбір шпиндельді, тұтқырлығы белгілі қалыпты сұйықтықта алдын ала калибрлейді. Стандартқа сай емес шпиндельдерді калибрлеу реті сипатталған.

Жоғары температуралық зерттеулер үшін модернизацияланған DV-III+ маркалы сериялы BROOKFIELD ротациялық вискозиметрі негізінде, балқымалардың динамикалық тұтқырлығын өлшеу бойынша зертханалық қондырғы 6-суретте көрсетілген. Сынақтар жүргізу кезінде, жоғары температуралық сәулеленуден вискозиметр корпусын қорғау үшін, зертханалық пеш күмбезінің жұмысшы саңылауы, үшқабатты қаңылтырдан жасалған қорғаушы экранның қолданылуымен диафрагмаланған.

Шлак балқымаларының тұтқырлығын, тәжірибелік деректерді басқару, тіркеу, сақтау және өңдеу үшін компьютермен жабдықталған ротациялық вискозиметрден тұратын қондырғыда тотықтыру шарттарында өлшейді. Жұмыс келесі ретпен орындалады. Зерттелінді шлак үлгісі бар, цилиндрлік тигелі алдын - ала орнатылған пешті, балқыма тұтқырлығын өлшеудің температуралық аралығының жоғары шегіне дейін қыздырады. Кейіннен, вискозиметрдің көтеру механизмінің көмегімен, ыстыққа төзімді ERNiCr-3 қорытпасынан (AWS халықаралық жіктелуі) арнайы дайындалған ұзартқышқа бекітілген шпиндельді пешке түсіреді және шпиндель денесі мен шлак балқымасының температурасын теңестіру үшін, 5 мин уақыт аралығында балқымаға тікелей жақындықта (~5 мм қашықтықта) ұстап тұрады. Шпиндельді қыздырғаннан кейін, компьютерде тұтқырлықты өлшеу бағдарламасы қосылады. Бұл кезде айналмалы шпиндель, оның балқымамен жанау моментіне дейін түсіріледі. Жанау моменті вискозиметр көрсеткішінің күрт өзгерісімен белгіленеді, ары қарай электронды штангенциркульмен бақыланатын, берілген балқыма тереңдігіне шпиндельді тиейді, және 1-2 минут аралығында, көрсеткіштерді компьютердің қатты дискісіне бере отырып тұтқырлықты өлшейді. Өлшеулер орындалғаннан кейін, шпиндельді баяу көтереді (7-сурет) және шлак балқымасы деңгейінен 5 мм жоғары орнатады. Одан кейін пеш температурасын келесі зерттелінді мәнге дейін төмендетеді және өлшеулер қайталанады.



1 – электрпеші; 2 – пеш қыздыру силиттері; 3 – терможұп; 4 – вискозиметрдің көтергіш механизмі; 5 – сандық штангенциркуль; 6 – вискозиметр; 7 – вискозиметрдің қосымша қорғаушы қабаты; 8 – шпиндель; 9 – зерттелінді балқымасы бар тигель; 10 – тіреуіш

6 Сурет – Мыс мөлшері жоғары шлак балқымаларының тұтқырлығын өлшеуге арналған тәжірибелік қондырғы сұлбасы



7 Сурет – Тәжірибе жүргізуден кейін алынған шпиндель

2.2.1 Бастапқы шлактарды синтездеу және олардың сипаттамасы

Синтетикалық шлактар, Ч және ЧДА маркалы, мыс, кальций, кремний мен темір тотықтарының шыныққан химиялық таза реактивтерін қорыту жолымен дайындалды. Суытудан кейін, компоненттер бірден берілген мөлшерлеমেде шихталанады, және шихта өлшендісі алунды тигельге тиеледі, ол өз қатарына Nabertherm HTC 03/15 жоғары температуралық муфельді пешке орналастырылады. Пешті ашық жүйеде 1450 °C температураға дейін қыздырады, одан кейін балқыманы 10 мин аралығында ұстап тұрады. Мұндай жоғары температураның таңдалуы, гомогенді тотықты балқымадан металды

мыс бөлінуі жүретін (8-сурет), аса төмен температурада өтетін шлактар синтезі, жүйенің тұрақсыздануына әкелумен шартталған, бұл мыс тотығының екі валентті темірмен тотықсыздану реакциясының (12) өтуіне байланысты болуы мүмкін.



8 Сурет – 1300 °С температурада бастапқы шлак үлгісін синтездеу кезінде металды мыс түзілуі

Пеште балқыманы ұстап тұрғаннан кейін, тигельдерді суда шынықтырады. Бұл, шлак гомогенді болуы және тигель қабырғасынан жақсы бөлінуі үшін қажет. Одан кейін шлақты тигельден алады, ұнтақтайды, 100 мкм ірілігіне дейін ұсақтайды және орташаландырады. Шлак балқымасының жоғары химиялық активтілігін және тигель материалынан алюминий тотығының аз ғана мөлшерінің еру мүмкіндігін ескере отырып, синтезделген шлактарды химиялық талдауға ұшыратады. Бастапқы шлактарын химиялық талдау нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

2 Кесте - Бастапқы шлактардың химиялық құрамы

Шлак	Құрамы, % масс.				
	Cu	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
1	10,6	39,3	16,9	10,2	3,7
2	19,0	34,4	14,3	7,1	6,2
3	27,2	24,2	11,8	7,3	9,9

Мыс мөлшері 10, 19 және 27 % болатын бастапқы шлак үлгілері рентгенді фазалық (РФА) және микрорентгендіспектральді (МРС) талдауларға ұшырайды.

Үлгілердің фазалық құрамын, сцинтилляциялық есептеуіші бар және шағылу рефлексі мен олардың қарқындылығы автоматты жазылатын ДРОН-3М рентгенді қондырғысында зерттейді (9-сурет).



9 Сурет - ДРОН-3М рентгенді дифрактометр

РФА әдісі кристалды заттар арқылы өтетін рентген сәулелерінің дифракциясына негізделген. Әрбір кристалды зат, белгілі бір химиялық құрамы мен элементарлы тор ұяшықтары бойынша атомдардың белгілі бір таралуы бар өзіндік тормен сипатталады. Тор геометриясы жазықаралық қашықтықтардың жиынтығы, ал атомдардың даралығы мен таралуы – дифракцияланған сәулелер қарқындылығы болып келеді. Дифракцияланған кескін химиялық қосылыстың «құжаты» қызметін атқарады. Бірнеше жеке химиялық қосылыстардың қоспасы, жеке фазаларды сипаттайтын, дифракциялық эффектiлердiң қабаттасуы болып келетiн рентгенограмманы бередi. Алынған дифракциялық кескiндi талдай отырып, заттың фазалық құрамын анықтауға болады.

Рентгенограммалар бойынша химиялық қосылыстардың сәйкестендірілуі эталонды рентгенограммалар мен дифракциялық құжаттардың картотекасы негізінде жүргізіледі, олар d/n мәндерінен және белгілі қосылыстар сызықтарының салыстырмалы қарқындылығынан тұратын, кесте түрінде көрсетілген.

Материалдардың фазалық талдауын НИТУ «МИСиС» рентгенография кафедрасында жасалған, «PHAN» рентгенді бағдарламасының көмегімен жүргізеді. Бағдарлама ауқымды фазалар жинақтамасымен жұмыс істейді (он мың). Фазалық талдауды, үлгінің берілген химиялық құрамы белгілі болған жағдайда жүргізеді.

Рентгенді сандық фазалық талдау, зерттелінді фазалар рефлексінің қарқындылығын анықтауға және анықталатын фазалар сызықтарының қарқындылығын өзара салыстыруға негізделген.

РФА басты кемшілігі сезімталдылығының төмендігі болып табылады. 0,5-1 %-дан төмен болатын мөлшерде, қоспаның фазалық құрамдастарын анықтау, әдетте мүмкін емес.

Сандық рентгенді микроталдау, FEI Company (АҚШ) өндірілген, электронды сканерлеу микроскобынан (SEMQuanta 650), екі энергодисперсиялық детектордан EDAXSiliconDriftDetectors және біріктірілген бағдарламалық қамтудан MLASuite тұратын, MLASystem бағдарламалық-аппаратты кешенінде (10-сурет) орындалды.

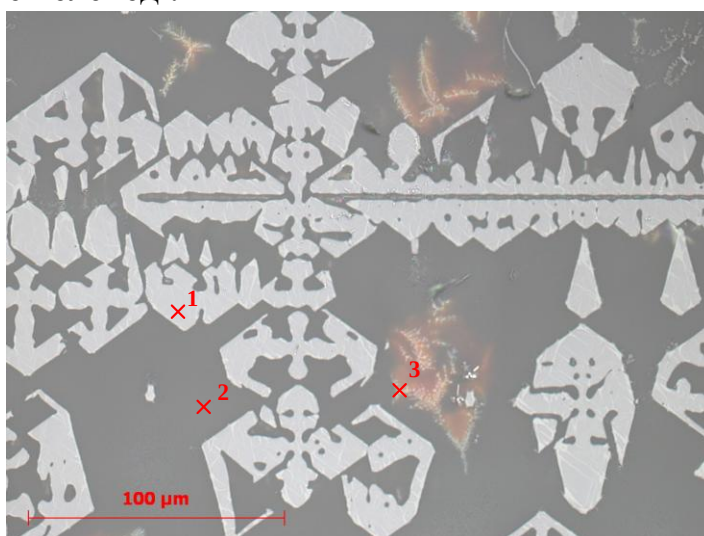


10 Сурет - MLA System бағдарламалық-аппараттық кешен

Қондырғыда энергодисперсиялық спектрометрлердің болуы, жеке нүктелерде сандық рентгенді микроталдау орындауға, сонымен қатар шлиф ауданы бойынша элементтердің таралуы картасын алуға мүмкіндік берді. Таңдалған нүктеде сандық сипаттамалардың анықталуы шағылысқан, немесе басқа сөзбен айтқанда кері шашыраған электрондардың тіркелуі есебінен жүреді. Үлгінің орташа атомдық номері ұлғайған кезде, сынатын шоқтар электрондарының серпімді шашырауы артады, сәйкесінше шағылысқан электрондар үлесі ұлғаяды. Жазық массивті нысананан электрондар шағылысуы нысананың атомдық номеріне тәуелді, яғни бинарлы жүйенің құрамына тәуелді шағылысу коэффициентінің өзгерісі сызықты сипатқа ие, және атомдық номері бойынша қатты ерекшеленетін бинарлы жүйелер үшін шағылысқан электрондар негізінде сандық талдау жүргізуге болады. Заманауи детекторлар $0,1 \cdot Z$ жақсы контраст алуға мүмкіндік береді, бұл нысананың құрамы бойынша микроэртектілігін тиімді анықтауға және зерттеуге мүмкіндік береді.

2, 5 және 9 шлактарының үлгілерінде жүргізілген талдау нәтижелері, сәйкесінше 11, 12 және 13 суреттерде көрсетілген. Келесі фазалар анықталды: $\text{Cu}^{1+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_2$ делафоссит, Cu_2O куприт, CuFe_5O_8 (CuFe_2O_4 және Fe_3O_4 қатты ерітіндісінің негізіндегі шпинель), $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Cu}_2\text{O}$, $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Cu}_2\text{O}$ және $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ тотықтар қорытпаларынан тұратын шыныфаза.

Шлакта мыс концентрациясы жоғарылаған сайын, фазалар саны 3-тен 5-ке дейін ұлғаяды және олардың құрамы өзгереді. Мәселен, 2-9 шлак үлгілерінде шпинель класының CuFe_5O_8 фазасы мыспен және алюминиймен байытылады; $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Cu}_2\text{O}$ тотықтар қорытпасы негізіндегі шыныфаза өз қатарына мыспен байытылады және темір бойынша кедейленеді, бұл кезде 9 шлакта берілген фазада темір концентрациясы нөлге тең және ол (фаза) $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Cu}_2\text{O}$ жүйесінің негізіндегі тотықтар қорытпасына өзгешеленеді.

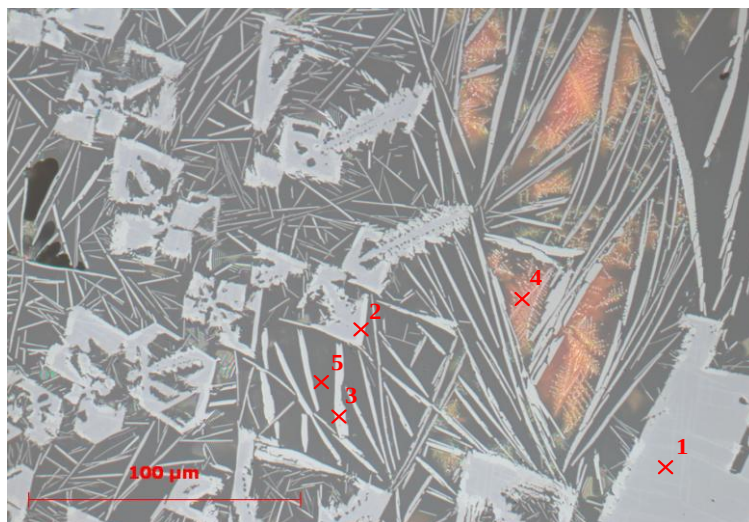


11 Сурет - Шлак 2 микроқұрылымы, ұлғайту – $\times 500$

11 суреттен көрініп тұрғандай, мыс мөлшері 10 % масс. болатын шлак шлифінің көп бөлігі тегіс шыныфазасымен (нүкте 2) және мыс пен темір негізінде кристалданған шпинельмен (нүкте 1) көрсетілген. Куприт (нүкте 3) сирек кездеседі. Айқындалған фазалар құрамы 3-кестеде келтірілген.

3 Кесте - Шлак 2 үлгісі фазаларының сандық құрамы

Нүкте	Фаза	Компоненттер құрамы, % масс.					
		Cu	Fe	O	Al	Si	Ca
1	CuFe_5O_8	6,74	78,49	14,77	-	-	-
2	$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{Cu}_2\text{O}$	8,59	13,91	25,33	5,08	28,18	18,91
3	Cu_2O	95,02	-	4,98	-	-	-

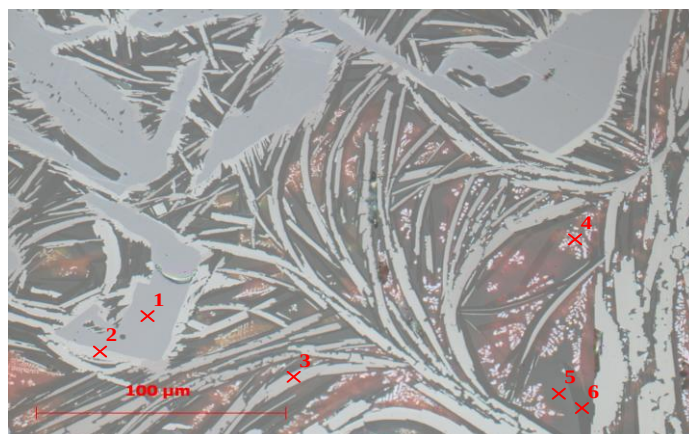


12 Сурет -Шлак 5 микроқұрылымы, ұлғайту – ×500

12 суретте шлакта мыс концентрациясы жоғарылаған кезде фазалар санының ұлғаюы байқалады. Бұл кезде, 2 шлак құрылымымен (11-сурет) салыстырғанда, мыс бойынша аса бай жаңа ұсақ дисперсті фазаның CuFeO_2 туындауы есебінен, CuFe_5O_8 және шыныфаза үлесінің айқын төмендеуі көрініп тұр. Куприт (Cu_2O) үлесі де пропорционалды жоғарылайды. Делафоссит жанында шыныфазадан куприттің бөлінуі тән. 12-суретте көрсетілген фазалардың құрамы 4-кестеде келтірілген.

4 Кесте - 5 шлак үлгісі фазаларының сандық құрамы

Нүкте	Фаза	Компоненттер құрамы, % масс.					
		Cu	Fe	O	Al	Si	Ca
1	CuFe_5O_8	12,38	69,38	14,79	3,45	-	-
2	CuFeO_2	47,71	39,59	10,43	1,77	-	-
3	CuFeO_2	49,17	39,45	10,02	1,36	-	-
4	Cu_2O	83,68	-	16,32	-	-	-
5	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cu}_2\text{O}$	13,09	6,59	24,78	8,15	29,65	17,74



13 Сурет - 9 шлак микроқұрылымы, ұлғайту – ×500

Фазалардың әртүрлілігімен, құрамында 27,2 % Cu масс. болатын 9 шлак микроқұрылымы (13-сурет) ерекшеленеді. Алдында сипатталған үлгідегідей, куприт негізінен делафоссит кристалдану шекаралары бойынша бөлінеді. Құрылым дисперстілігі фазалар санының жалпы ұлғаюына қарамастан, төмендеді [6].

5 Кесте - 9 шлак үлгісі фазаларының сандық құрамы

Нүкте	Фаза	Компоненттер құрамы, % масс.					
		Cu	Fe	O	Al	Si	Ca
1	CuFe_5O_8	19,39	55,30	15,12	10,19	-	-
2	CuFeO_2	52,16	30,37	10,68	6,80	-	-
3	CuFeO_2	51,56	32,41	10,18	5,85	-	-
4	Cu_2O	95,26	-	4,74	-	-	-
5	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cu}_2\text{O}$	21,98	-	24,37	4,58	27,19	21,87
6	$\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	-	-	31,49	21,96	28,21	18,34

2.2.2 Мыс мөлшері жоғары шлактар тұтқырлығын анықтау

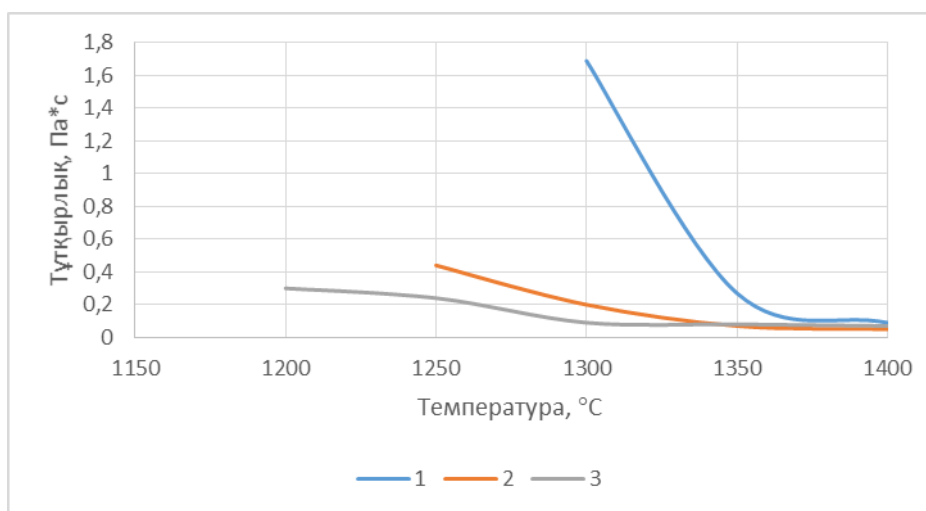
Мыс мөлшері жоғары шлактардың динамикалық тұтқырлығын өлшеу бойынша жүргізілген зерттеулердің барлық нәтижелерін, өлшеу қателері мен сенімділік аралығын анықтау мақсатымен статистикалық өңдеуге ұшыратады. Бұл кезде, жүйелік және кездейсоқ қателердің әсері ескеріледі. Көптеген өлшеу серияларының орташа квадраттық қателігі 10 %-дан аспайды, бұл алынған нәтижелерді сенімді деп санауға мүмкіндік береді. Айта кету керек, 1380 °C жоғары температурада шлак балқымаларының тұтқырлығы, кейбір жағдайларла өлшеу қателіктерінің мәніне сәйкес келетін шамаға дейін төмендейді. Берілген құрамдағы, мыс мөлшері жоғары болатын шлактардың динамикалық тұтқырлығын өлшеудің өңделген нәтижелері 6 кестеде көрсетілген.

Мыс тотығының мөлшері жоғары болатын шлак балқымаларының жоғары агрессивтілігі мен ауқымды өту қабілеттілігі салдарынан, тәжірибелер жүргізу кезінде алундты тигель материалының еруін алдын алу мүмкін болмады (өлшеуіш шпиндель төзімділігі өте жоғары болды), осыған байланысты, шлақтың зерттелінді үлгілерінде Al_2O_3 мөлшері 4 - 12 % масс. құрады. Осылайша, күрделі бескомпонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ шлак жүйесінің тұтқырлығы зерттелді деп санауға болады. Бұл, Ванюков тәсілі бойынша мыс штейндерін үздіксіз конвертерлеу технологиясын жасау үшін алынған деректердің маңыздылығын кемітпейді.

6 Кесте - Мыс мөлшері жоғары шлактардың химиялық құрамы, динамикалық тұтқырылығы мен бастапқы кристалдану температурасы

Шлак	Шлак құрамы, масс. %					Түрлі температура кезіндегі (°C) шлактардың тұтқырлығы, Па·с						Шлактардың кристалдану температурасы, t_k , °C
	Cu	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	1150	1200	1250	1300	1350	1400	
1	10,6	39,3	16,9	10,2	3,7	-	-	-	1,69	0,27	0,09	1285
2	19,0	34,4	14,3	7,1	6,2	-	-	0,44	0,20	0,07	0,05	1250
3	27,2	24,2	11,8	7,3	9,9	-	0,30	0,24	0,09	0,08	0,07	1200

14-суретте зерттелінді мыс мөлшері жоғары шлактар тұтқырлығының температураға тәуелді өзгерісінің нәтижелері көрсетілген. Көрініп тұрғандай, температура артқан сайын динамикалық тұтқырлығы шлақтың барлық құрамдары үшін күрт төмендейді, мұнда жүйенің сұйықтай аққыштық күйінің аралығы үлкен болған сайын, ондағы мыс мөлшері жоғары болады. Мәселен, құрамында 10,6 % мыс болатын 1 құрамды шлак сұйықтай аққыштық күйде 1380 °C жоғары температураларда болады, ал мыс мөлшері жоғары болатын 3 құрамды шлактар 1180-1200 °C дейін сұйықтай аққыш болып қалады.

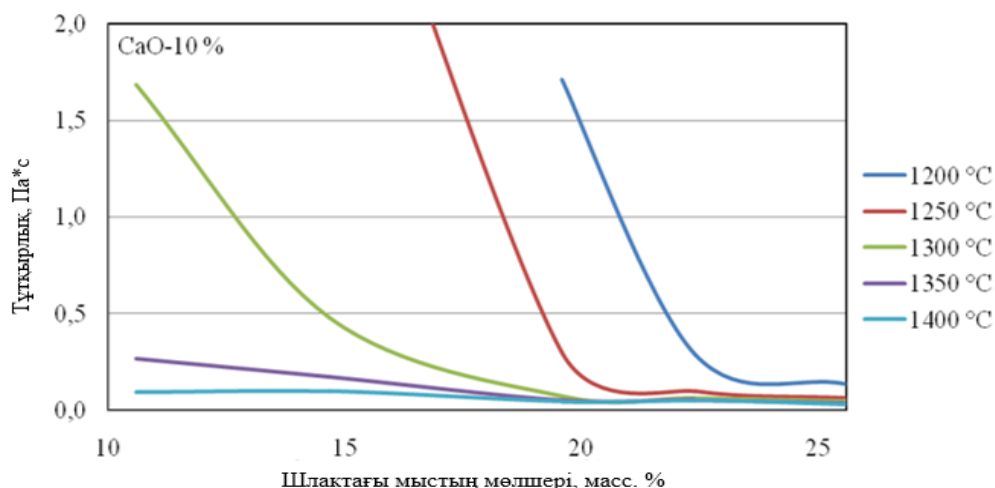


1, 2, 3 – шлак номері

14 Сурет - Мыс мөлшері жоғары шлак тұтқырлығының политермалары

Шлакта кальций тотығы мөлшерінің 7-ден 10 %-ға дейін жоғарылауы, сұйықтай аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайта отырып, шлак тұтқырлығын төмендетеді. Бұл қасиет 3 және 2 қисықтарының жүрісін салыстыру кезінде анық көрінеді: мыс мөлшері төмен (19 % кем) шлак балқымасы, мыс мөлшері жоғары (27,2 %) шлакпен салыстырғанда, аса сұйықтай аққыш болады.

15-суретте, кальций тотығының тұрақты мөлшерінде, $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің шлак тұтқырлығының изотерма нәтижелері көрсетілген. Суретте байқалатын тұтқырлық изотермасы сызықтарының жүрісі, балқымада мыс концентрациясының жоғарылауымен, шлак тұтқырлығының төмендейтіні жөнінде жоғарыда айтылған пікірді растайды.



15 Сурет - Синтетикалық $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ шлактар жүйесінің тұтқырлығының изотермалары. $\text{CaO} = 10\%$

Алынған нәтижелер, көп компонентті шлак жүйелерінің күрделі құраммен сипатталатынын және тұтқырлық пен құрамының арасындағы байланыс бір буынды болып табылмайтынын растайды.

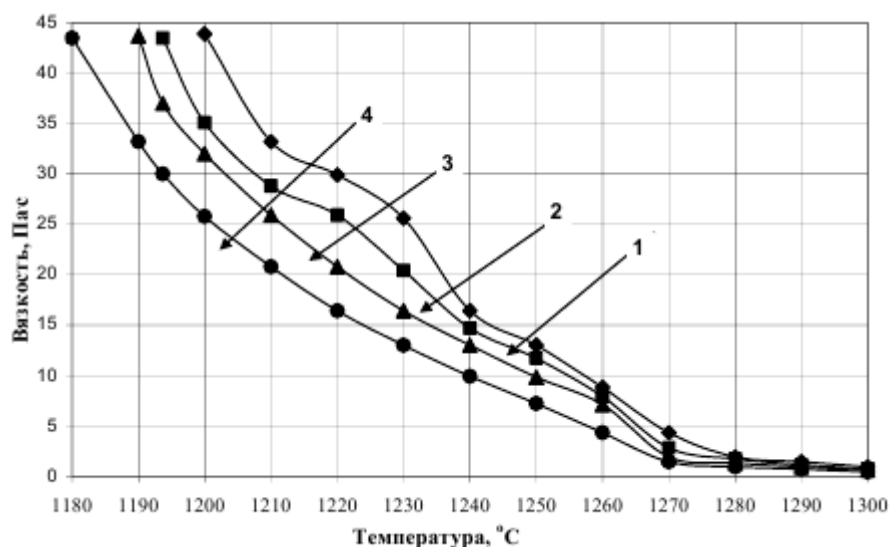
Алынған тәжірибелік деректер техникалық әдебиетте кездесетін нәтижелерді жақсы толықтырады және шлак құрамы мен температураның кең өзгеру аралығында күрделі көпкомпонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің синтетикалық шлактарының динамикалық тұтқырлығын бағалау диапазонын кеңейтеді.

Көпкомпонентті шлак жүйелері болып табылатын тотықты балқымалар үшін, тұтқырлық пен құрамы арасында күрделі байланыс бар. Сұйық шлактар құрылымы жөніндегі иондық пікірге сәйкес, тұтқырлық негізінен ірі, салыстырмалы аз қозғалатын кешенді аниондардың кездесуімен анықталады, олардың күйі мен тұрақтылығы температура мен катиондық ортаға тәуелді болады. Шлактардың микроқұрылымдық талдау деректерін (11-13 суреттер) тұтқырлықтың тәжірибелік мәндерімен салыстыра отырып, мыс және кальций тотығының мөлшері ұлғайған кезде, фазалар санының артуымен және олардың іріленуімен сипатталатын, шлак балқымаларының құрылымдық өзгерісі жүретінін айтуға болады. Кремний-оттекті анионды кешендерінің (сиботаксикалық топтамалар, кластерлер) ықшамдалуы, олардың құрылымына бір валентті мыс катиондарының келесі сұлба бойынша енгізілуі есебінен жүреді, ол барлық балқыманың динамикалық тұтқырлығының төмендеуімен жүреді.

Шлак құрамы тұрақты болған кезде, температураның жоғарылауы оның тұтқырлығының төмендеуіне сөзсіз әкеледі. Зерттелінді мыс мөлшері жоғары шлактарда, кремний мен мыстан басқа кальций мен алюминий катиондары кездеседі, олар жоғарыда көрсетілгендей, шлақтың құрылымдық торының буынаралықтарында болуы мүмкін. Кальций мен алюминийдің оттегімен байланысу күші, кремниймен салыстырғанда, өте төмен. Сондықтан, температура жоғарылаған сайын, мұндай байланыстардың әлсіреуі мен тіпті бұзылуы әбден мүмкін, бұл зерттелінді шлак балқымаларының тұтқырлығының ауқымды төмендеуін түсіндіреді [7].

2.3 $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ шлак құрамының тұтқырлыққа әсерін зерттеу

Температурамен байланысты, шлак пен штейннің бөлінуіне әсер ететін, маңызды параметрлердің бірі оның тұтқырлығы. Температураның өндірістік шлактар тұтқырлығына әсерін, тұтқырлықты 0,1 ден 10 Па·с-қа дейін өлшеуге болатын дірілді визкозиметр қолданылды. Көрсетілген температурадағы 1,5 және 5% аралығындағы қосындысын қосу, тұтқырлықтың 1,5-2 есе төмендеуіне әкеп соғады. Шлактың температурасын 1250 °C және одан да жоғарыға арттырған жағдайда CaO құрылымының шлақтың тұтқырлығына әсері байқалмай қалады.



1- CaO-сыз шлак, 2-1,5% CaO бар шлак, 3-3% CaO бар шлак, 4-5% CaO бар шлак

16 Сурет-Шлакты балқыма тұтқырлығының температурадан және кальций тотығынан әсері

Келтірілген тәжірибелік деректерден көрініп тұрғандай, бастапқы химиялық құрамы мен температурасы балқыманың динамикалық

тұтқырлығына күшті әсер етеді. Физика-химиялық процестердің тұрақты өтуі үшін аса қолайлы динамикалық тұтқырлығына (0,06-0,3 Па·с, 1250 °C кезінде), әктас мөлшерінің 10-12% аралығында орналасқан, мыс мөлшері жоғары болатын (20-30 % Cu) шлактар ие. 1350 °C жоғары температурада тұтқырлығы төмен болатын құрамының аралығы 15 %-ға тең мыс мөлшеріне дейін кеңейеді. Бұл, Ванюков пешінде мыс штейндерін үздіксіз конвертерлеу процесін жүргізу үшін, жоғары тотықтыру жүйесі ретінде берілген балқымалардың қолданылуын ұсынуға мүмкіндік береді.

Осылайша, алынған тәжірибелік деректер ертеректе жасалған зерттеулер нәтижелерін толықтырады және шлак құрамы мен температураның зерттелген өзгеру аралығында, мыс мөлшері жоғары болатын темір-кальций-силикатты тотықтар балқымаларының негізінде, синтетикалық шлактардың динамикалық тұтқырлығын сенімді бағалау диапазонын кеңейтеді [7].

2.4 $\text{Cu}_2\text{O-FeO-CaO-SiO}_2$ жүйесіндегі мыс оксидінің ерігіштігі және мысқа бай шлактардың ликвидус температурасы

Негізді шлактардың FeOx-CaO-SiO_2 және ферритті-кальцийлі шлактардың беттік ликвидус сызығын толықтай зерттелуіне арналған жұмыстардың саны көп. Кейбір сондай жұмыстарда негізді шлак FeOx-CaO-SiO_2 жүйесінің аралық оттегінің парциалдық қысымы ($P_{\text{O}_2} = 10^{-1}$ Па) кезіндегі солидус сызығын зерттеу нәтижелері келтірілген. 1573 К және $P_{\text{O}_2} = 10^{-2}$ Па кезіндегі ликвидус сызығын анықтау нәтижелері келтірілген. [8] жұмысты авторларымен кең диапозонда оттегінің парциалдық қысымы өзгерісі P_{O_2} (10^{-3} , 10^{-2} және 10^{-1} Па) температура 1573 К кезіндегі FeOx-CaO-SiO_2 сұйықтығының изотермалары құрастырылған. Алынған нәтижелер теориялық және практикалық көзқарас жағынан қызығушылық тудырады және түсті металдардың шлакпен аз жоғалуын қаматамасыз ететін оптималды шлак құрамын таңдауға мүмкіндік береді. Дегенмен, келтірілген жұмыстардың нәтижелерінің салыстырмалы талдауы олардың өзара келісімсіздігін көрсетті. [6] жұмыстың авторларының нәтижелері [8, 9] жұмыстардың мәліметтерімен FeOx бұрышында, яғни оттегінің парциалдық қысымының өсуі кезінде вюститтің тұрақты аймағының азаюы, сәйкес келмейді. [7-9] жұмыстарында физика-химиялық модельдеу жолымен тұрғызылған FeOx-CaO-SiO_2 сұйықтығының изотермалар түрлері [8] жұмыстың тәжірибелік мәліметтерімен жартылай сәйкес келеді, бірақ [10] жұмыстың нәтижелерімен принципиалды қарама қайшы келеді. Кез-келген жағдайдағы принципиалды қарама қайшылықтар сұйық шлак фазасында мыстың ерігіштігі бөлігінде қосымша тәжірибелік зерттеулерді қажет етеді. Бұл кезде $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-CaO-SiO}_2$ жүйесін зертеу үлкен қызығушылық тудырады, бұл жүйе туралы мәліметтер әдебиетте аз және мыс тотығына бай жүйе бөлігі жүйеленбеген (I) [11].

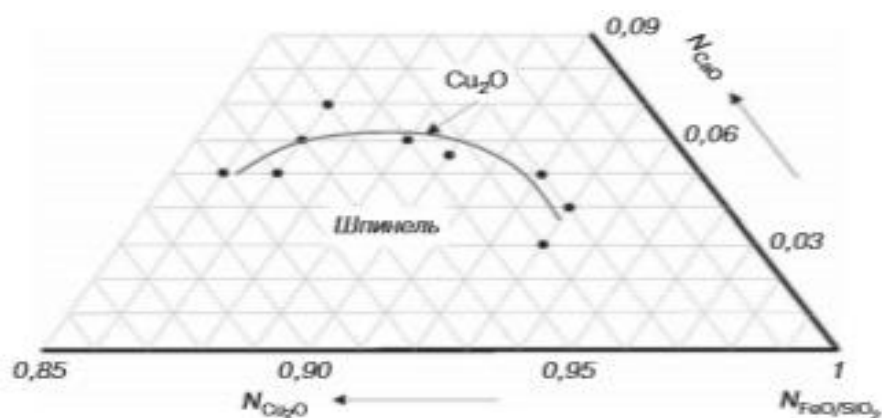
Зерттеу әдісі. Зерттеуге негізі көп компонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйеден тұратын шлактар алынды, оларда CaO/SiO_2 қатынасы 0,5-тен 1,0-ге дейін өзгеріп отырды. Зерттеулер көрсеткендей мұндай шлактар көпіруге аз ұшырайды кальций тотығынсыз шлактарға қарағанда, ал кальций-ферритті шлактарға қарағанда олар отқа төзімді материалдарға аз агрессиялы. Мыс тотығына қаныққан шлактардың ликвидус температурасы (I). Мысқа бай шлактардың 1-9 анықталған ликвидус температуралар нәтижелері 7 кестеде келтірілген (мыс пен темір (жалпы) Cu_2O және FeO есептелінген).

7 Кесте – Мысқа бай шлактардың ликвидус температуралары

Шлак	Химиялық құрамы, % (мас.)				Ликвидус температурасы, °С	
	SiO_2	CaO	FeO	Cu_2O	Қарастырылған жұмыс	[16] жұмыс
1	18,2	7,5	54,3	15,60	1347,5	1350
2	17,7	10,7	52,9	17,80	1287,6	1285
3	16,5	6,8	53,9	21,80	1291,3	1290
4	17,04	12,1	48,5	21,42	1268,7	1270
5	15,5	11,7	47,9	23,19	1251,5	1250
6	15,4	11,98	40,6	24,54	1227,2	1230
7	15,9	8,04	39,2	30,29	1251,3	1250
8	13,2	11,8	38,8	27,14	1183,0	1180
9	13,4	13,9	33,04	33,89	1195,0	1200

Алынған мысқа қаныққан шлактардың ликвидус температурасы нәтижелері [11] жұмыстың нәтижелерінен ($\pm 2\%$) шамалы сәйкес келмейді, бұл шлактағы алюминий тотығының (5–12 %) мөлшерінің зерттеліп отырған параметрге шамалы әсер ететінін дәлелдеді.

1 суретте $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесіндегі ликвидус сызығының өзгеруі оның $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}/\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жазықтығындағы проекциясы түрінде көрсетілген.



17 – Сурет – $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесіндегі ликвидус сызығының өзгерісі

Қолданып отырған графикалық әдіс $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің екі фазалы аймағында (сұйық шлак және қатты тотықтар, шартты түрде «шпинель» деп белгіленген), мыс тотығына қаныққан (I) сұйық шлактардың орналасуын көрнекті (жазықтықта) ұсынуға мүмкіндік береді.

$\text{FeO}:\text{SiO}_2 > 1$ және мыс тотығының ерігіштігі шлактарда төмендегенде кезде «шпинельдердің» ірілігі артады, ал шлак мыс тотығына қаныққанда және кальций тотығының мөлшері артқанда шпинельдердің ұнтақалуына әкеледі.

Ликвидус температурасы сызығына тән болмашы максимумның болуы, ол көрініп тұрғандай бір мезгілдегі кремнезем және кальций тотығы мөлшерлерінің «шпинельдердің» ірілігіне әсері шлактардың мыс тотығына қанығу есебінен деп түсіндіріледі.

Арықарай шлактарда кремнеземнің және кальций тотығы мөлшерлерінің артуы шлакта темір тотығының орнын еріген мыс тотығының басуын күтуге болады, бұл нәтижесінде зерттеліп отырған шлак балқымаларында ликвидус температурасын шамалы төмендетеді.

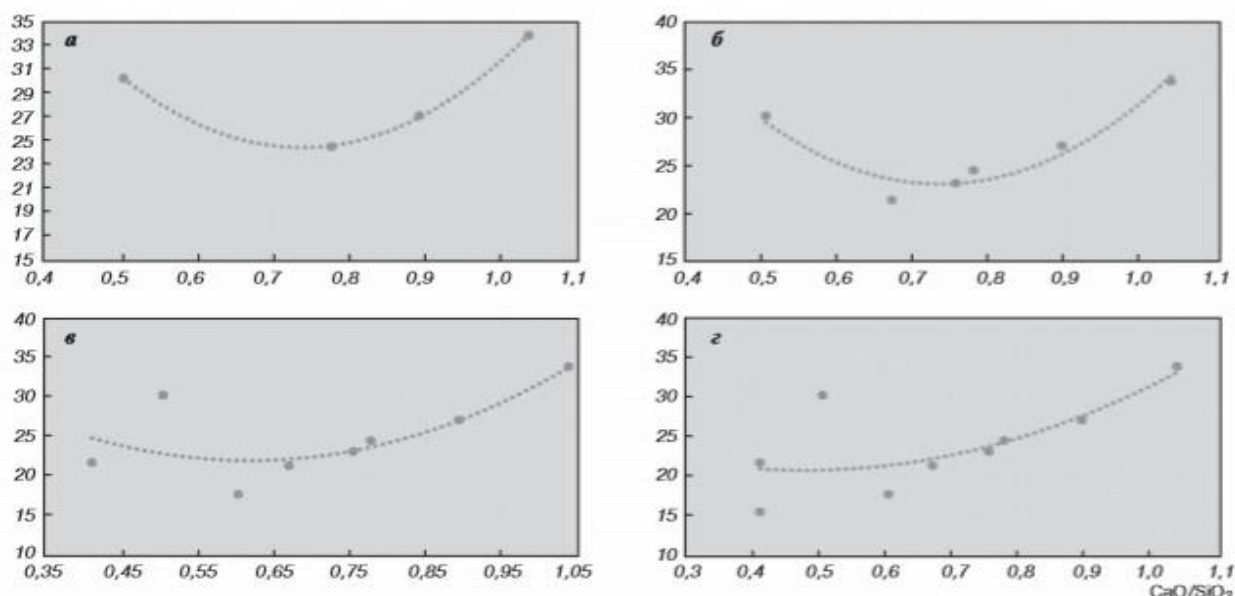
Алынған нәтижелер [6, 9] жұмыстың мәліметтерімен зерттеліп отырған шлактардың мыс тотығына қанығу шекарасында жаман емес сәйкес келеді.

$\text{Cu}_2\text{O} - \text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$ жүйесінде мыс тотығының ерігіштігі (I). Мыс тотығының шлактағы ерігіштігіне кремнеземнің және кальций тотығының әсерін кремнезема (қатынастары CaO/SiO_2 және SiO_2/Fe) зерттеу үшін бастапқы шлактарды синтездеп 1200, 1250, 1300 и 1350 °C температураларда тәжірибелер өткізілді.

18 суретте әртүрлі температуралар үшін зерттелініп отырған шлактарда мыс тотығы мөлшерінің CaO/SiO_2 қатынасы өзгерісі тәуелділігі көрсетілген. Осыдан, алынған нәтижелер көрсеткендей $\text{Cu}_2\text{O} - \text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$ жүйесіне көп мөлшерде кальций тотығын қосқан кезде (CaO/SiO_2 қатынасы өскенде) шлактарда мыс тотығы концентрациясының төмендеуіне әкеледі.

Зерттелініп отырған жүйеде кремнезем мөлшерінің өсуі SiO_2/Fe 0,42-ден 0,46 дейін шлакта мыс тотығының төмендеуіне әкеледі, ол $\text{SiO}_2/\text{Fe} \sim 0,44$ кезінде минимумға жетеді [12].

(Cu_2O құрамы, % (мас.))



a - 1200 °C; б - 1250 °C; в - 1300 °C; г - 1350 °C

18 Сурет - Cu_2O - FeOx - SiO_2 - CaO шлак жүйесінің сұйықтық аймағындағы CaO/SiO_2 қатынасы мыс (I) оксиді ерігіштігінің температурадан тәуелділігі

2.5 Сұйық фазалардың түзілу ерекшеліктері және мыс оксидімен қаныққан $\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ шлак жүйесінің тұтқырлығы

Металлургиялық өндірістің практикасы үшін сұйықтықтың құрылымдық-сезімтал сипаттамасы ретінде тұтқырлық үлкен маңызға ие. Көрнекті металлург А.В. Ванюков атап өткендей: «түсті металлургияда руда мен концентраттардың балқыту кезіндегі металлургиялық процестердің қалыпты бағыты тұтқырлыққа байланысты, немесе керісінше, шлак ағысының жылдамдығының кері мәніне байланысты. Пештердің өнімділігі шлақтың тұтқырлығы мен балқу температурасына байланысты. Силикат балқымаларының тұтқырлығы химиялық реакциялардың кинетикасына және балқыту өнімдерінің бөліну жылдамдығына және сәйкесінше, қалдық шлактардың түсті металдармен жоғалуына үлкен әсер етеді» [13]. Айтылған көзқарас өз өзектілігін осы күнде де жоғалтқан жоқ. Металды тікелей өндіруге арналған автогендік процестер күкірт құрамдылығы төмен (0,5 % -дан аспайтын) қаралы мыс өндіруді қамтамасыз ететін, шлақтың жоғары тотығу әлеуетімен сипатталады. Бұл процестің қалыпты жүргізілуін анықтайтын шлақтың оңтайлы құрамын таңдау мәселесін шешу қажеттілігін тудырады. Алайда, ғылыми әдебиеттерде металлургиялық процестердің негізі болып табылатын FeOx-CaO-SiO_2 шлактар жүйесі өте толық зерттелгеніне қарамастан,

$\text{Cu}_2\text{O-FeOx-SiO}_2\text{-CaO}$ жүйе туралы мәліметтер шектелген. Бұл шлактардың физикалық-химиялық қасиеттері туралы сенімді деректер болмағандықтан, шлақтың оңтайлы құрамын таңдауда белгілі бір қиындықтар туғызады. Бұдан басқа, танымал жұмыстардың нәтижелері бір

бірімен сәйкес келмейді және шлакты балқымаларды мыс (I) тотығымен қанықтыру шегінде жүйелендірілмеген.

$\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ жүйесінің тұтқырлығы туралы шектеулі деректер олардың практикалық қолдануында металды тікелей өндірудің перспективалық процестерін енгізуді қиындатады.

Зерттеу әдістері. Зерттеудің негізгі методологиялық принциптері жалпы заңдардың термодинамикалық көзқарастары мен математикалық сипаттамасы болды. Олар $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeOx}-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ көпкомпонентті шлак жүйесінде конденсацияланған (сұйық) фазалардың сапалық және сандық сипаттамаларын сенімді анықтауды және берілген аумақта оның тұтқырлығының, шлак үлгілерінің құрамы мен температуралардың өзгерістерін қамтамасыз етеді [14].

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Мыс (I) оксидінің ерігіштігіне $\text{FeOx} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ шлактар жүйесінің құрамының (темірдің құрамы 1 моль FeO үшін есептелген) әсерін зерттеу нәтижелері алдыңғы жұмыстарда егжей-тегжейлі сипатталған. Алынған мәліметтер бірдей жағдайларда орындалатын нәтижелерімен салыстырмалы талдау жасауға мүмкіндік береді және шлак құрамының өзгерісінің кең ауқымында $\text{FeOx} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ шлак жүйесінде мыс (I) оксидінің ерігіштігі сандық тәуелділігін анықтайды.

Математикалық өңдеу нәтижесінде алынған теңдеулер:

$$(\text{Cu}_2\text{O}) = 91,92 - 23,56 \text{ FeO/SiO}_2, r = 0,68, \quad (12)$$

$$(\text{Cu}_2\text{O}) = 9,68 + 24,19 \text{ CaO/SiO}_2, r = 0,55, \quad (13)$$

$$(\text{Cu}_2\text{O}) = 70,93 - 18,78 \text{ FeO/SiO}_2 + 11,64 \text{ CaO/SiO}_2, r = 0,72. \quad (14)$$

мұндағы $(\text{Cu}_2\text{O})-\text{FeOx}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ шлак жүйесіндегі мыс (I) оксидінің үлесі (ерігіштігі),%.

(12) және (14) теңдеулерінің корреляциялық коэффициенттерінің r жоғары мәндері шлак балқымасының компоненттерінің мыс оксиді (I) ерігіштігіне әсерін айқын сипатын көрсетеді. Сонымен қатар салыстырмалы төмен корреляция коэффициенті (13) - $r = 0,55$ өзіне назар аудартады. Ресми түрде, осы теңдеуге сәйкес, CaO мөлшерін жоғарылатуымен, шлактағы мыс (I) оксидінің ерігіштігі артады, бұл шлактың балқымалары теориясына сәйкес келмейді. Жалпыға бірдей қабылданған теорияға сай, екінші топтың (Ca^{2+} және Mg^{2+}) активті катиондары-модификаторларының шлак балқымаларына енуі шлактардағы түсті металдардың құрамын азайтады. Шамасы, қаралып жатқан жағдайда бұл үлгі күрделі болып табылады және белгіленген сандық тәуелділік бойынша анық бір мәнді түсіндіріле алмайды.

1-кестеде графикалық иллюстрацияларды жасау үшін пайдаланылған әрбір шлак құрамы [15] сәйкес келетін ликвидус сызықтарының температурасы және $\text{Cu}_2\text{O} - \text{FeOx} - \text{SiO}_2 - \text{CaO}$ зерттелген шлактар жүйесінің үлгілік массиві көрсетілген.

8 Кесте – Мысқа бай шлактардың химиялық құрамы мен ликвидус температурасы

Шлак	Химиялық құрамы, % (мас.)				Ликвидус температурасы, °С
	SiO ₂	CaO	FeO	Cu ₂ O	
1	18,2	7,5	54,3	15,60	1347,5
2	17,7	10,7	52,9	17,80	1287,6
3	16,5	6,8	53,9	21,80	1291,3
4	17,04	12,1	48,5	21,42	1268,7
5	15,5	11,7	47,9	23,19	1251,5
6	15,4	11,98	40,6	24,54	1227,2
7	15,9	8,04	39,2	30,29	1251,3
8	13,2	11,8	38,8	27,14	1183,0
9	13,4	13,9	33,04	33,89	1195,0

Алғашқы деректерді талдау және мыс оксиді (I) мен Al₂O₃ құрамы арасындағы жұптық корреляцияны анықтауға арналған нәтижелерді математикалық өңдеу, ізделінетін мәндер арасында анық тәуелділіктің жоқтығын көрсетті. Соған қарамастан, Al₂O₃ құрамының мыс (I) оксидінің ерігіштігіне шамалы әсері келесі теңдеуді ескереді:

$$(Cu_2O)=55,95-12,21FeO/SiO_2+11,64CaO/SiO_2-5,19CaO/Al_2O_3, r=0,80. (15)$$

Алынған теңдеулер (12) - (15) FeOx - SiO₂ - CaO - Al₂O₃ жүйесіндегі мыс тотығының (I) ерігіштігін болжау үшін және автогендік процестер үшін оңтайлы шлак құрамын таңдау үшін пайдаланылуы мүмкін.

[16] жұмыстың нәтижелерінің математикалық өңдеуіне сүйене отырып, шлактың құрамы мен температурасына байланысты мыс оксидімен қаныққан FeOx - SiO₂ - CaO - Al₂O₃ шлакты балқымалардың динамикалық тұтқырлығын μ болжауға мүмкіндік беретін бірнеше корреляциялық теңдеулер жасалды. Алынған теңдеулердің түрлері:

$$\mu_{1200}^{\circ C} = 11,69 - 0,11Cu_2O - 1,6FeO/SiO_2 - 4,63CaO/SiO_2 + 0,42CaO/Al_2O_3, r = 0,95, (16)$$

$$\mu_{1250}^{\circ C} = 10,74 - 0,15Cu_2O - 2,16FeO/SiO_2 + 0,94CaO/SiO_2 - 0,93CaO/Al_2O_3, r = 0,71, (17)$$

$$\mu_{1300}^{\circ C} = 1,39 - 0,04Cu_2O + 0,12FeO/SiO_2 - 0,62CaO/SiO_2 + 0,28CaO/Al_2O_3, r = 0,90, (18)$$

$$\mu_{1350}^{\circ C} = 2,04 - 0,04Cu_2O - 0,1FeO/SiO_2 - 0,39CaO/SiO_2 - 0,2CaO/Al_2O_3, r = 0,76. (19)$$

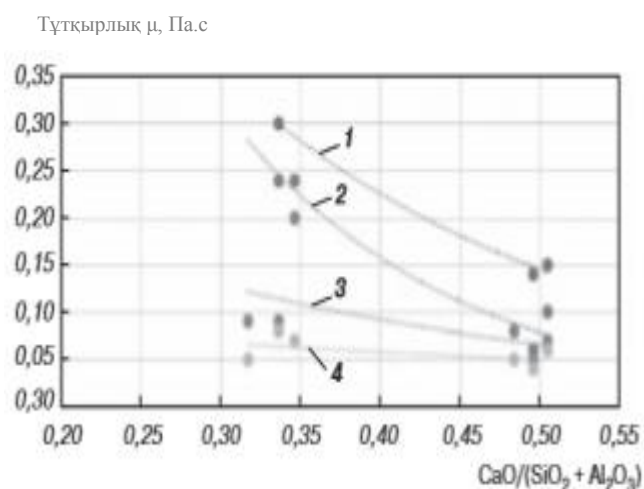
Жасалған кешенді талдау, FeOx-SiO₂-CaO-Al₂O₃ шлак жүйесіндегі мыс оксидінің ерігіштігі бойынша жүйелі зерттеулер жүргізілді және

тұтқырлықты анықтаудың нәтижелері шлакты балқымалардың тұтқырлығына шлактар негізінің әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

Шлактың негізділігін $j_{\text{осн}}$ өрнегімен анықтау мүмкін:

$$j_{\text{осн}} = \% \text{CaO} / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3). \quad (20)$$

Берілген өрнекке сәйкес, ол шлактың негізгі компоненттерінің құрамы бойынша анықталады, бұл олардың әрқайсысының қаралатын бір немесе басқа параметрге өзара әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, 19 – суретте шлак негізінің Cu_2O - FeOx - SiO_2 - CaO - Al_2O_3 шлактар жүйесінің 1200, 1250, 1300 және 1350 °C температура аралықтарындағы динамикалық тұтқырлығына әсері көрсетілген.



1 - 1200; 2 - 1250; 3 - 1300; 4 – 1350

19 Сурет – Cu_2O - FeOx - SiO_2 - CaO - Al_2O_3 шлактар жүйесінің динамикалық тұтқырлығының шлак негіздігінен тәуелділігі, температуралық аралық °C

Мыстың тотығуы және оның оксид түріндегі шлакқа өтуі келесі реакциямен сипатталады:



Реакцияның тепе-теңдік константасы (10) келесі өрнекпен анықталады:

$$K_{(10)} = a_{\text{CuO}_{0,5}} / P_{\text{O}_2}^{0,25} = (\gamma_{\text{CuO}_{0,5}} N_{\text{CuO}_{0,5}}) / P_{\text{O}_2}^{0,25}. \quad (22)$$

Мұндағы $a_{\text{CuO}_{0,5}}$ - шлактағы мыс оксидінің активтілігі;

P_{O_2} – оттегінің парциальдық қысымы, Па;

$\gamma_{\text{CuO}_{0,5}}$ - шлактағы мыс (I) тотығының активті коэффициенті;

$N_{\text{CuO}_{0,5}}$ - шлактағы мыс оксидінің мольдік мөлшері.

Мыс оксидімен (I) қаныққан Cu_2O - FeO_x - SiO_2 - CaO - Al_2O_3 шлак жүйесінің және оның тұтқырлығын зерттеу барысында анықталған нәтижелер мен заңдылықтар ең маңызды практикалық қорытындылардың бірін жасауға мүмкіндік береді: балқу температурасының орынды практикалық ауқымында жұмыс істеу кезінде (1200- 1250 °C) үздіксіз конвертірлеу үрдісі шлак құрамы бойынша жүргізілуі тиіс, % (мас.): 20-25 SiO_2 ; 35-45 FeO ; 10-15 CaO . Бұл $\text{FeO}/\text{SiO}_2 = 1,8$ және $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 0,7$ коэффициенттерін ұстап тұруға мүмкіндік береді, әріқарай шлактағы мыс (I) оксидінің ерітіндісінің ең аз ерігіштігі бар оңтайлы шлак тұтқырлығын $\mu = 0.3-0.5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ қамтамасыз етеді [17].

2.6 Алынған нәтижелердің математикалық өңдеуі

Металлургиялық процесстерді математикалық модельдеуге байланысты әртүрлі мәселелерді шешу кезінде мысқа бай шлактардың тұтқырлығы бойынша алынған нәтижелерді ыңғайлы қолдану үшін оларды аналитикалық тәуелділіктер түрінде көрсеткен жөн.

Тәжірибелік мәліметтерді математикалық өңдеу кезінде 1200-ден 1400 °C дейінгі температуралық аралықта мысқа бай шлактар балқымасы тұтқырлығының мыстың мөлшерінен тәуелділігі регрессивті теңдеуі алынды. Жалпы түрде бұл тәуелділікті үшінші дәрежелі полиномдармен көрсетуге болады (23), (корреляциялау коэффициенті 0,96):

$$\mu = A(\text{Cu})^3 + B(\text{Cu})^2 + C(\text{Cu}) + D \quad (23)$$

мұндағы (Cu) – шлактағы мыстың мөлшері, %;

A, B, C және D – полиномның эмпирикалық коэффициенттері, олардың температурадан тәуелділігі 9 кестеде келтірілген.

9 Кесте – A, B, C және D коэффициенттерінің сандық мәндері

Температура, °C	A	B	C	D
1200	-5,8972	474,8210	-12634,4433	111339,2045
1250	-5,5744	394,1297	-9223,6945	71657,2041
1300	-1,4169	95,7135	-2139,6099	15925,7696
1350	-0,8122	53,5827	-1159,5958	8277,2035
1400	-0,0501	2,9371	-57,6726	428,2160

A, B, C және D коэффициенттері температурадан функциясы болып табылады және оларды аналитикалық теңдеулер түрінде жазуға болады:

$$A = -0,000002451533 \cdot T^3 + 0,009484574286 \cdot T^2 - 12,176868309523 \cdot T + 5184,64886142835; \quad (24)$$

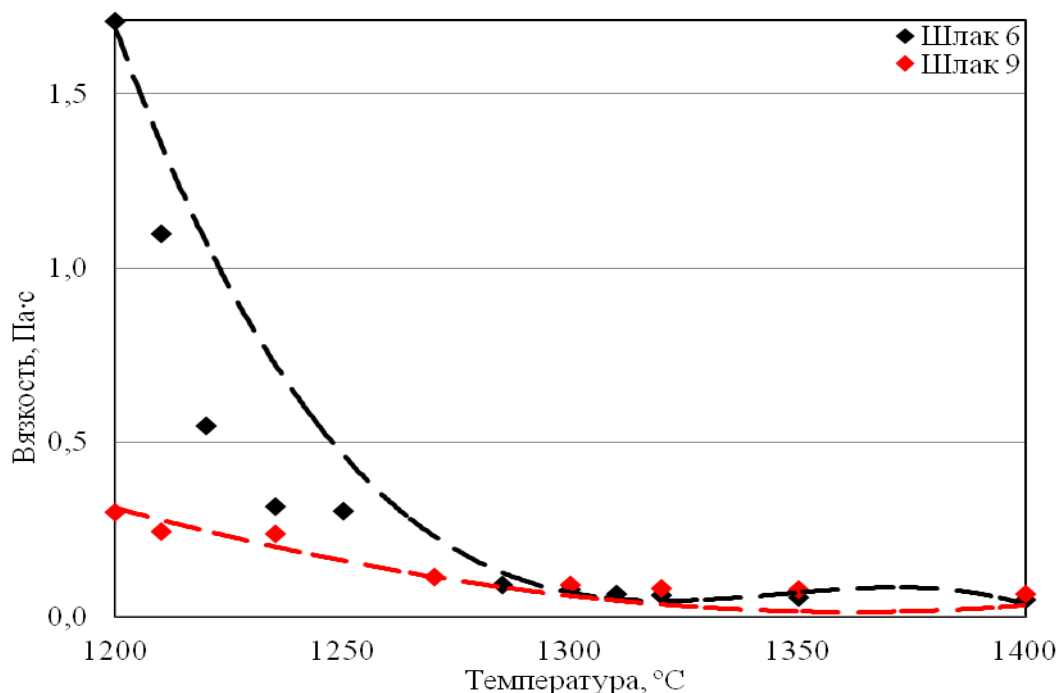
$$B = 0,0001394734 \cdot T^3 - 0,534906922857 \cdot T^2 + 679,873707928544 \cdot T - 286107,140364274; \quad (25)$$

$$C = 0,0023676178 \cdot T^3 + 8,927374514285 \cdot T^2 + 11120,7914596425 \cdot T + 4567910,94630126; \quad (26)$$

$$D = 0,010566008467 \cdot T^3 - 38,014607471428 \cdot T^2 + 44608,1014725463 \cdot T + 16933804,4970666. \quad (27)$$

Келтірілген теңдеулерді мысқа бай шлактардың тұтқырлығын практикалық есептеу үшін міндетті түрде теңдеулердегі сандардың тәртібін сақтауды қажет етеді және айтарлықтай қателікті болдырмау үшін дөңгелектеу рұқсат етілмейді.

20 суретте келтірілген есептелген және тәжірибелік шлак тұтқырлығының температурадан тәуелділіктері мәндері олардың жақсы сәйкестігін көрсетті.



Тәжірибелік «◆» және есептелген «—» мәндері.

20 Сурет – Шлак тұтқырлығының температурадан тәуелділігі

3 Ванюков процесінің металлургиялық есептеулері

3.1 Екі аймағы бар Ванюков пешінің тотығу аймағының материалдық балансын есептеу

3.1.1 Ванюков балқыту пешінің материалдық балансын есептеуге қажетті бастапқы деректер

Концентрат құрамы 10-кестеде келтірілген. Қара мыс өндірісінің барлық сатыларында қолданылатын кварцты және әктас флюстерінің құрамы, сәйкесінше 11 және 12-кестелерде келтірілген. Есептеулер, бастапқыда, өнеркәсіптік тәжірибеден белгілі болып келетін, конвертерлеуге түсетін штейннің құрамы мен мөлшері жөніндегі деректер негізінде шамамен есептелген конвертерлі шлақтың (ары қарай, КШ) ескерілуімен жүргізілді, соңынан итерациялық есептеулер негізінде нақтыланды.

10 Кесте – Балқытуға түсетін концентраттың құрамы

Элемент	Құрамы, %
Cu	14,20
Fe	27,20
Pb	0,70
Zn	4,50
As	0,50
S	34,80
SiO ₂	12,50
CaO	0,60
Al ₂ O ₃	0,30
CO ₂	0,47
Басқалары	4,23
Барлығы	100,00
Ылғалдылық	7,00

11-Кесте – Кварцты флюстің құрамы

Компонент	Құрамы, %
SiO ₂	85,00
CaO	3,00
FeO	5,00
Al ₂ O ₃	4,00
CO ₂	2,35
Басқалары	0,65
Барлығы	100,00
Ылғалдылық	3,00

12-Кесте – Әктасты флюстің құрамы

Компонент	Құрамы, %
SiO ₂	5,00
CaO	48,00
Al ₂ O ₃	1,20
CO ₂	37,65
Басқалары	8,15
Барлығы	100,00
Ылғалдылық	3,00

13-Кесте – Конвертерлік шлақтың құрамы

Элемент	Құрамы, %
Cu	15,00
Pb	2,43
Zn	4,98
As	0,03
Fe	25,18
O	11,69
SiO ₂	20,00
CaO	12,00
Al ₂ O ₃	1,17
Басқалары	7,53
Барлығы	100,00

3.2 Концентраттың рационалдық құрамын есептеу

Қабылдау мен есептеу қарапайымдылығы үшін, есептеуді 100 килограмм концентратқа жүргіземіз.

Концентраттағы мыс халькопирит, ковеллин және халькозин түрінде көрсетілген; темір халькопирит, пирит түрінде; мырыш – сфалерит түрінде; қорғасын – галенит түрінде.

Есептеуде мыстың 49 % халькопирит түрінде көрсетілген деп қабылданған, қалған бөлігі ковеллин және халькозин түрінде. Халькопириттің массасы (28) формуламен есептелді:

$$G_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц}} = 0,85 \times G_{\text{Cu}}^{\text{конц}} \times \mu_{\text{CuFeS}_2} : \mu_{\text{Cu}}, \quad (28)$$

мұндағы $G_{\text{Cu}}^{\text{конц}}$ – концентраттағы мыстың массасы, кг;

μ_{CuFeS_2} – халькопириттің молекулярлық массасы, 183,53 г×моль тең;

μ_{Cu} – мыстың молекулярлық массасы, 63,54 г×моль⁻¹ тең.

$$G_{\text{CuFeS}_2}^{\text{конц}} = 0,85 \times 14,2 \times 183,53 : 63,54 = 36,827 \text{ кг.}$$

Галенит (PbS) пен сфалериттің (ZnS) массасы (29) формуламен есептелді:

$$G_{\text{қос}}^{\text{конц}} = G_{\text{элемент}} \times \mu_{\text{қос}} : \mu_{\text{элемент}}, \quad (29)$$

мұндағы $G_{\text{қос}}^{\text{конц}}$ – концентраттағы қосылыстың массасы, кг;

$\mu_{\text{қос}}$ – қосылыстың молекулярлық массасы, г×моль⁻¹;

$\mu_{\text{элемент}}$ – элементтің молекулярлық массасы, г×моль⁻¹.

Бұдан жоғарыда көрсетілген қосылыстардың массалары құрайды:
 $G_{\text{PbS}}^{\text{конц}} = 0,81$ кг; $G_{\text{ZnS}}^{\text{конц}} = 6,70$ кг.

Пиритте темір мөлшері, (30) формулаға сәйкес концентрат пен халькопирит құрамындағы темір мөлшерінің арасындағы айырмашылық бойынша есептелді:

$$G_{\text{FeS}_2} = (G_{\text{Fe}}^{\text{конц}} - G_{\text{Fe}}^{\text{CuFeS}_2}) \times (\mu_{\text{FeS}_2} : \mu_{\text{Fe}}), \quad (30)$$

мұндағы $G_{\text{Fe}}^{\text{конц}}$ – концентраттағы темірдің массасы, кг;

$G_{\text{Fe}}^{\text{CuFeS}_2}$ – халькопириттегі темірдің массасы, кг;

μ_{FeS_2} – пириттің молекулярлық массасы, 119,99 г×моль⁻¹ тең;

μ_{Fe} – темірдің молекулярлық массасы, 55,85 г×моль⁻¹ тең.

$$G_{\text{FeS}_2} = 35,59 \text{ кг.}$$

Мышьяк As₂S₃ формасында ұсынылған, оның салмағы:

$$G_{\text{As}_2\text{S}_3} = 35,59 \text{ кг.}$$

Ковеллин (CuS) мен халькозиннің (Cu₂S) массасы (31) теңдеудің жүйесі бойынша есептелді:

$$\begin{cases} G_S^{\text{ост}} = G_{\text{Cu}_2\text{S}} \times (\mu_S : \mu_{\text{Cu}_2\text{S}}) + G_{\text{CuS}} \times (\mu_S : \mu_{\text{CuS}}) \\ G_{\text{Cu}}^{\text{ост}} = G_{\text{Cu}_2\text{S}} \times (2 \times \mu_{\text{Cu}} : \mu_{\text{Cu}_2\text{S}}) + G_{\text{CuS}} \times (\mu_{\text{Cu}} : \mu_{\text{CuS}}) \end{cases}, \quad (31)$$

мұндағы $G_S^{\text{ост}}$ – халькозин мен ковеллинде байланысқан күкірттің массасы, кг;

$G_{\text{Cu}_2\text{S}}$ – концентраттағы халькозиннің массасы, кг;

G_{CuS} – концентраттағы ковеллиннің массасы, кг;

$G_{\text{Cu}}^{\text{ост}}$ – халькозин мен ковеллинге байланысқан мыстың массасы, кг;

μ_S – күкірттің молекулярлық массасы, 32,07 г×моль⁻¹ тең;

$\mu_{\text{Cu}_2\text{S}}$ – халькозиннің молекулярлық массасы, 159,15 г×моль⁻¹ тең;

μ_{CuS} – ковеллиннің молекулярлық массасы, 95,61 г×моль⁻¹ тең.

(31) теңдеу жүйесі шешімі нәтижесінде алынды: $G_{Cu_2S} = 1,95$ кг ;
 $G_{CuS} = 0,86$ кг.

SiO_2 , Al_2O_3 секілді компоненттер ереже бойынша қиын минералдарға кірмейді және концентратта сол күйінде болады.

Мыс концентратының рационалдық құрамы есептеуінің нәтижелері 14-кестеде көрсетілген.

14-Кесте – Мыс концентратының рационалдық құрамы

Элемент тер	Минералдар											
	$CuFeS_2$	CuS	Cu_2S	FeS_2	ZnS	PbS	$CaCO_3$	As_2S_3	SiO_2	Al_2O_3	Басқалары	Барлығы
Cu	12,07	0,57	1,56									14,20
Fe	10,62			16,58								27,20
S	12,17	0,29	0,39	19,00	2,20	0,11		0,64				34,80
Zn					4,50							4,50
Pb						0,70						0,70
As								0,5				0,5
SiO_2									12,50			12,50
Al_2O_3										0,30		0,30
CaO							0,60					0,60
CO_2							0,47					0,47
Басқалары											4,23	4,23
Барлығы	34,85	0,86	1,95	35,59	6,70	0,81	1,07	1,14	12,50	0,3	4,23	100,00

3.3 Штейн құрамы мен мөлшерін есептеу

Есептеуде бірқатар жорамалдар мен шектеулер пайдаланылады, олар қажеттілігіне қарай, ары қарай мәтінде көрсетілетін болады. Материалдық балансты есептеу кезінде шаң шығуы ескерілмеген, себебі сульфидті мыс шикізатын өңдеуде өнеркәсіптік Ванюков пештерінде механикалық шаң шығу мәні төмен, және әдетте 1 %-дан аспайды. Оған қоса, ВП ұсталған шаңы әдетте толығымен балқытуға қайтарылады.

Есептеуде, штейн құрамындағы металдар келесі қосылыстар түрінде кездеседі деп қабылданған: мыс Cu_2S түрінде; темір FeS , FeO и Fe_3O_4 түрінде; мырыш – ZnS ; қорғасын – PbS .

Өндірістік тәжірибеден бізге мәлім, ВП штейндерінде басқалардың мөлшері 0,5-1,5 % аралығында ауытқиды, соның негізінде есептеуде басқалардың мөлшері 1 % тең деп қабылданған.

Концентраттан мыс бөлінуі 95 % деп қабылданады, конвертерлі шлактан – 85 %.

Қабылданған бөлінулер үшін штейндегі мыстың массасы (32) формуламен анықталады:

$$G_{шт}^{Cu} = \left(\frac{\varepsilon_{Cu}^{шт} \times G_{Cu}^{конц}}{100} + \frac{\varepsilon_{Cu_{кш}}^{шт} \times G_{Cu}^{кш}}{100} \right), \quad (32)$$

мұндағы $\varepsilon_{Cu}^{шт}$ – штейнге мыстың бөлінуі, %;

$\varepsilon_{Cu_{кш}}^{шт}$ – конвертерлі шлактан штейнге мыстың бөлінуі, %;

$G_{Cu}^{конц}$ – концентраттағы мыстың массасы, кг;

$G_{Cu}^{кш}$ – конвертерлі шламтағы мыстың массасы, кг.

$$G_{шт}^{Cu} = 12,64 \text{ кг.}$$

Штейндегі мыстың құрамы мен мөлшерін біле отырып, (19) формулада көрсетілген штейннің массасын есептеуге болады:

$$G_{шт} = \frac{G_{шт}^{Cu}}{[Cu]} \times 100, \quad (33)$$

мұндағы $G_{шт}^{Cu}$ – штейндегі мыстың мөлшері, кг;

$[Cu]$ – штейндегі мыстың құрамы, %.

$$G_{шт} = 18,06 \text{ кг.}$$

Штейнге өтетін Zn, Pb, As мөлшері (34) формула бойынша анықталады, мұнда «элемент» ретінде Zn, Pb, As және Cu алынады:

$$G_{элемент}^{шт} = \varepsilon_{элемент}^{шт} \times (G_{элемент}^{конц} + G_{элемент}^{кш}): 100, \quad (34)$$

мұндағы $\varepsilon_{элемент}^{шт}$ – штейнге элементтің бөлінуі, %;

$G_{элемент}^{конц}$ – концентраттағы элементтің массасы, кг;

$G_{элемент}^{кш}$ – конвертерлі шламтағы элементтің массасы, кг.

$$[G_{Zn}] = 0,2 \text{ кг;}$$

$$[G_{Pb}] = 0,17 \text{ кг;}$$

$$[G_{As}] = 0,003 \text{ кг.}$$

Басқалардың массасы (35) формулада көрсетілген:

$$[G_{\text{басқ}}^{\text{шт}}] = 0,01 \times G_{\text{шт}}, \quad (35)$$

$$[G_{\text{пр}}^{\text{шт}}] = 0,18 \text{ кг.}$$

Штейндегі оттегінің мөлшері (36) формуламен Аветисян ережесіне жақын табылды:

$$\%[O] = 6,4 - 0,08 \times \%[Cu], \quad (36)$$

мұндағы $\%[Cu]$ – штейндегі мыстың құрамы, %.

$$\%[O] = 0,80 \text{ \%}.$$

Штейндегі оттегінің массасы (37) формуламен есептелді:

$$[G_o] = (\%[O]: 100) \times G_{\text{шт}}, \quad (37)$$

$$[G_o] = 0,14 \text{ кг.}$$

Тәжірибеден бізге мәлім, бай штейнге балқытудан кейін ондағы күкірт мөлшері шамамен 19-23 % құрайды. Есептеуде штейндегі күкірттің құрамы 21 % тең деп қабылданды.

Штейн құрамындағы темір массасы штейн мен штейннің барлық элементтерінің есептелген массалары арасындағы айырмашылықпен анықталады формула (38):

$$[G_{Fe}] = G_{\text{шт}} - [G_{Zn}] - [G_{Pb}] - [G_{As}] - [G_{Cu}] - [G_{пр}] - [G_o] - [G_s], \quad (38)$$

$$[G_{Fe}] = 0,91 \text{ кг.}$$

Жоғарыда есептелген шамалар негізінде, штейн құрамы мен мөлшері бойынша 15-кесте құрылды.

15 Кесте – Штейннің құрамы мен мөлшері

Компонент	кг	%
Cu	12,64	70,00
Fe	0,91	5,02
Zn	0,20	1,09
Pb	0,17	0,94
As	0,03	0,14
S	3,79	21,00
O	0,14	0,80
Басқалары	0,18	1,00
Барлығы	18,05	100,00

3.4 Флюстер мен соңғы шлак көлемін есептеу

Шлак құрамы шлақтың қажетті физика-химиялық қасиеттеріне, сонымен қатар процесті жүргізу мен пайдаланылатын жабдықтың ерекшеліктеріне байланысты таңдалады және балқытуға арнайы компоненттердің – флюстердің қосылуымен реттеледі. Мыс өндірісінде аталмыш флюстер кварц және әктас болып табылады.

Ертеректе алынған, өздігінен балқитын шлак, шлакқа қойылатын талаптарды қанағаттандырмайды, сондықтан оны түзету үшін кварцты және әктас флюстерін қосу қажет, олардың құрамы 10 және 11 кестелерде келтірілген.

Шлакта SiO_2 және CaO мөлшерін және өздігінен балқитын шлак массасын біле отырып, баланстық теңдеу (39) құруға болады. Бірінші теңдеуде кварц массасы, екіншісінде – әктас массасы, үшіншісінде – кварцты флюс, әктас, өздігінен балқитын және соңғы шлақтың жалпы массалары ескеріледі, мұнда әктас пен кварц массасы CO_2 ескеруінсіз алынған.

$$\begin{cases} 0,3 \times Z = 13,30 + 0,85 \times X + 0,05 \times Y \\ 0,11 \times Z = 1,08 + 0,03 \times X + 0,48 \times Y \\ Z = 62,78 + 0,98 \times X + 0,62 \times Y \end{cases}, \quad (39)$$

мұндағы Z – флюстермен соңғы шлақтың массасы,

X и Y – кварцты және әктасты флюстердің массасы.

(39) теңдеулер жүйесіне шешу арқылы, құрғақ кварцты флюс массасы 14,07 кг, құрғақ әктас флюстің массасы – 16,81 кг, соңғы шлак массасы 60,33 кг құрайтыны табылды. CaCO_3 ыдырауынан бөлінетін CO_2 басқа, флюстерде кездесетін барлық қосылыстар шлакқа өтеді, ол бөлінетін газдарда ескерілетін болады.

Алынған соңғы шлак құрамы мен мөлшері 16-кестеде келтірілген.

16-Кесте – Соңғы шлак құрамы мен мөлшері

Компонент	Мөлшері, кг	Құрамы, %
Cu	2,16	2,48
Fe	27,84	32,00
SiO_2	26,10	30,00
CaO	9,57	11,00
O	9,84	11,31
Pb	0,45	0,52
Zn	4,13	4,74%
As	0,04	0,05
Al_2O_3	1,06	1,22
Басқалары	5,81	6,68
Барлығы	87,00	100,00

3.5 Бөлінетін газдардың құрамы мен көлемін есептеу

Тәжірибеге сәйкес, Ванюков мыс қорыту пештерінен бөлінетін газдарда келесі қосындылар негізгі болып табылатыны қабылданған: SO_2 , CO_2 , H_2O , N_2 , Zn , Pb , As .

Оттекті-ауа қоспасының, ары қарай ОАҚ, көлемін есептеу үшін, оттегінің қажеттілігін табу қажет. Ол үшін технологиялық газдардың құрамын анықтау және технологиялық газдарда кездесетін оттегі мөлшерін есептеу қажет. Газ құрамындағы күкірт SO_2 түрінде оттегімен байланысады. Конвертер шлактарымен түсетін оттегінің ескерілуінсіз, бөлінетін газдарда, штейн мен шлак құрамындағы оттегінің қосындысы, балқыту сатысына беруге қажетті оттегінің қажетті мөлшері болады.

Газға өтетін күкірттің жалпы мөлшері, формула (40):

$$G_S^{\text{бөл.газ}} = G_S^{\text{баст}} - G_S^{\text{шт}}, \quad (40)$$

мұндағы $G_S^{\text{баст}}$ – штейн мен конвертерлі шламдағы күкірттің массасы, кг;
 $G_S^{\text{шт.}}$ – мысты штейндегі күкірттің массасы, т.

$$G_S^{\text{бөл.газ}} = 31,00 \text{ кг.}$$

Күкіртпен байланысқан оттегінің массасы (41) формулада көрсетілген:

$$G_O^{SO_2} = G_S^{\text{бөл.газ}} \times \frac{\mu_O}{\mu_S}, \quad (41)$$

$$G_O^{SO_2} = 31,02 \text{ кг.}$$

SO_2 массасы өзімен байланысқан күкірт пен оттегінің массасына тең болады және 62,02кг құрайды.

Бөлінетін газдарға кіретін қосындылар көлемінің есебі, қалыпты шарттар (қ.ш.) үшін келтірілген. Массасы белгілі газ көлемінің есебі (42) формуламен есептеледі.

$$V_{\text{газ}} = G_{\text{газ}} \times V_{\text{газ}}^{\text{қ.ш.}} : \mu_{\text{газ}}, \quad (42)$$

мұндағы $V_{\text{газ}}$ – газ көлемі, м^3 ;

$G_{\text{газ}}$ – газ массасы, кг;

$V_{\text{газ}}^{\text{қ.ш.}}$ – қ.ш. кезінде кез келген газдың 1 молін алатын көлем және 22,4 л тең;

$\mu_{\text{газ}}$ – газдың молекулярлық массасы, кг/кмоль.

(42) формула бойынша SO_2 көлемі тең болады:

$$V_{SO_2} = 21,71 \text{ м}^3.$$

Газ фазасына өтетін Zn, Pb, As мөлшері (43) формула бойынша табылды:

$$G_{\text{элемент}}^{\Gamma} = \varepsilon_{\text{элемент}}^{\Gamma} : 100 \times G_{\text{элемент}}^{\text{келетін}}, \quad (43)$$

мұндағы $G_{\text{элемент}}^{\Gamma}$ – газдағы элементтің массасы, кг;

$\varepsilon_{\text{элемент}}^{\text{чпрод}}$ – газға элементтің бөлінуі, %;

$G_{\text{элемент}}^{\text{келетін}}$ – конвертерлі шлак және бастапқы концентратпен келетін элементтің массасы, кг.

$$G_{Zn}^{\Gamma} = 0,38 \text{ кг};$$

$$G_{Pb}^{\Gamma} = 0,18 \text{ кг}.$$

$$G_{As}^{\Gamma} = 0,44 \text{ кг}.$$

Газдарда CO_2 мөлшері, CO_2 карбонаттар ($CaO \cdot CO_2$) құрамында болатын, әктас және кварцты флюспен және сол сияқты CO_2 кальций карбонатында кездесетін бастапқы концентратпен түседі формула (44):

$$G_{CO_2}^{\text{бөл.газ}} = \frac{\vartheta_{CO_2}^{\text{флюс}}}{100} \times G_{\text{әктас}} + \frac{\vartheta_{CO_2}^{\text{конц}}}{100} \times G_{\text{конц}}, \quad (44)$$

$$G_{CO_2}^{\text{бөл.газ}} = 7,13 \text{ кг}.$$

Сонымен қатар, бастапқы материалдарда, мәселен флюстерде және бастапқы концентратта кездесетін барлық ылғал бөлінетін газдарға өтеді, формула (45):

$$G_{H_2O}^{\text{бөл.газ}} = G_{H_2O}^{\text{кварц}} + G_{H_2O}^{\text{конц}}, \quad (45)$$

$$G_{H_2O}^{\text{бөл.газ}} = 8,48 \text{ кг}.$$

Оттегінің қажетті мөлшері (36) формуламен есептелді:

$$G_O^{\text{қаж}} = G_O^{\text{шт}} + G_O^{\text{шл}} + G_O^{\Gamma} - G_O^{\text{кш}}, \quad (46)$$

мұндағы $G_O^{\text{қаж}}$ – оттегінің қажетті мөлшері, кг;

G_O^X – X өніміндегі оттегінің құрамы, мұндағы X – штейн, шлак, бөлінетін газдар, конвертерлі шлак, кг.

(46) формулаға сәйкес мәндерді қоя отырып, алынды:

$$G_o^{\text{қаж}} = 40,37 \text{ кг.}$$

Үрлеудегі оттегінің құрамы мен массасын біле отырып, үрлеудің қажетті мөлшерін есептеуге болады. Есептеуде оттекті-ауа қоспасын оттегімен байыту 85 % құрайды деп қабылданған.

(37) формула бойынша үрлеудегі оттегінің көлемі құрайды:

$$V_{O_2}^{\text{ОАҚ}} = 28,26 \text{ м}^3.$$

ОАҚ-ғы оттегінің көлемі мен пайыздық құрамын біле отырып, (47) формуламен көрсетілген ОАҚ көлемін табуға болады:

$$V_{\text{ОАҚ}} = \frac{100}{90} \times V_{O_2}^{\text{ОАҚ}}, \quad (47)$$

$$V_{\text{ОАҚ}} = 33,24 \text{ м}^3.$$

ОАҚ азот көлемі ОАҚ жалпы көлемі мен оның құрамындағы оттегі арасындағы айырмашылық бойынша есептеледі, формула (48):

$$V_{N_2}^{\text{ОАҚ}} = V_{\text{ОАҚ}} - V_{O_2}^{\text{ОАҚ}}, \quad (48)$$

$$V_{N_2}^{\text{ОАҚ}} = 4,99 \text{ м}^3.$$

Үрлеу, талап етілетін оттегі құрамын алу үшін қажетті пропорцияда араластырылған, ауа мен технологиялық оттегіден тұрады.

17 Кесте – Ауа мен технологиялық оттегінің құрамдары

	%O ₂ (көлемді)	%N ₂ (көлемді)
Ауа	21	79
Технологиялық оттегі	96	4

Берілген оттегімен байытылған ОАҚ алу үшін, қажетті ауа мен техникалық оттегі көлемі ($V_{\text{т.к.}}$), құралған және төменде келтірілген теңдеулер жүйесінен (49) анықталады.

$$\begin{cases} V_{O_2}^{\text{ОАҚ}} = \frac{21}{100} \times V_{\text{ауа}} + \frac{96}{100} \times V_{\text{т.к.}} \\ V_{N_2}^{\text{ОАҚ}} = \frac{79}{100} \times V_{\text{ауа}} + \frac{4}{100} \times V_{\text{т.к.}} \end{cases}, \quad (49)$$

мұндағы $V_{O_2}^{\text{ОАҚ}}$ и $V_{N_2}^{\text{ОАҚ}}$ – ОАҚ-ғы оттегі мен азоттың көлемі, м³,

21 и 79 – ауадағы оттегі мен азоттың пайыздық құрамы, %,

96 и 4 – техникалық оттегідегі оттегі мен азоттың пайыздық құрамы, %.

(40) теңдеулер жүйесіне $V_{O_2}^{OAK}$ и $V_{N_2}^{OAK}$ мәндерін қоя отырып, келесі мәндерді аламыз:

$$V_{ауа} = 4,88 \text{ м}^3;$$

$$V_{т.к.} = 28,37 \text{ м}^3.$$

Газ массасы есептеуі үшін оның көлемі арқылы (50) формула қолданылды:

$$G_{газ} = \frac{V_{газ} \times \mu_{газ}}{V_{газ}^{н.у.} \times 1000}, \quad (50)$$

мұндағы $G_{газ}$ – газ массасы, т;

$V_{газ}$ – газ көлемі, м^3 ;

$\mu_{газ}$ – газдың молекулярлық массасы, кг/кмоль;

$V_{газ}^{қ.ш.}$ – қалыпты шартта 1 моль газ құрайтын көлем.

Технологиялық газдарды есептеудің нәтижелері 18-кестедегі технологиялық газдардың құрамында көрсетілген. (26) және (34) формулаларының көмегімен жетіспейтін мәндерді анықтаймыз.

18 –Кесте – Технологиялық газдардың құрамы

Компонент	Масса, кг	Көлем, м^3	көлемді. %
SO ₂	62,02	21,71	52,74
H ₂ O	8,48	10,56	25,65
Zn	0,38	0,13	0,31
Pb	0,18	0,02	0,05
As	0,44	0,13	0,32
CO ₂	7,13	3,63	8,82
N ₂	6,23	4,99	12,12
Барлығы	84,85	41,16	100,00

Пештің конструкциясы мен технологиялық сұлбасы бойынша балқыту және тотықсыздандыру зоналарының газдары біріктіріледі және тотықтыру зонасында орналасқан ортақ аптейктен шығарылады. Газдардың қосынды құрамы тотықсыздандырып балқыту есебінде келтірілетін болады.

Барлық алынған деректер материалдық баланстың қорытындысы 12-кестеде келтірілген.

19-Кесте – 100 кг есептелген балқытудың материалдық балансы

Материал	Cu	Fe	S	Pb	Zn	SiO ₂	CaO	As	CO ₂	O ₂	N ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O	Басқалары	Барлығы
Тиелгені:															
1. концентрат	14,20	27,20	34,80	0,70	4,50	12,50	0,60	0,50	0,47			0,30	7,53	4,23	107,53
2. конвертерлік шлак	0,60	1,00		0,10	0,20	0,80	0,48	0,00		0,47				0,30	3,94
3. кварц		0,55				11,96	0,42		0,33	0,16		0,56	0,44	0,09	14,51
4. әктас						0,84	8,07		6,33			0,20	0,52	1,37	17,33
5. ауа										38,90	1,42				40,32
6. технологиялық оттегі										1,46	4,81				6,28
БАРЛЫҒЫ:	14,80	28,75	34,80	0,80	4,70	26,10	9,57	0,50	7,13	40,99	6,23	1,06	8,48	5,99	189,91
Алынғаны:															
1. штейн	12,64	0,91	3,79	0,17	0,20			0,03		0,14				0,18	18,05
2. шлак	2,16	27,84		0,45	4,13	26,10	9,57	0,04		9,84		1,06		5,81	87,00
3. бөлінетін газдар			31,01	0,18	0,38			0,44	7,13	31,01	6,23		8,48		84,85
БАРЛЫҒЫ:	14,80	28,75	34,80	0,80	4,70	26,10	9,57	0,50	7,13	40,99	6,23	1,06	8,48	5,99	189,91
Үйлеспеушілік:	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

3.6 Жылулық балансты есептеу

3.6.1 Жылулық балансты есептеуге қажетті бастапқы деректер

Балқытудың жылулық балансын есептеу кезінде физика-химиялық процестердің жүру ретін нақты сақтайтын болсақ, онда есептеу реті келесідей болуы керек. Біріншіден, бастапқы материалдарды, физика-химиялық әрекеттесулер жүретін температураға дейін қыздыру үшін қажетті жылу, одан кейін – осы температураларда өтетін реакциялардың жылулық эффектілері (бұл кезде әртүрлі физика-химиялық түрленулер әртүрлі температураларда өтуі мүмкін), кейіннен – балқытудың соңғы температурасына дейін реакция өнімдерін қыздыру үшін қажетті жылу есептеледі. Мұндай есептеу жеткілікті күрделі, себебі әртүрлі температуралар үшін барлық кестелік жылухимиялық деректерді қайта есептеуге тура келеді. Берілген есептеулерде қолданылатын, есептеу сұлбасын ықшамдайтын өзге тәсілдеме бар. Бұл тәсілдемеге сәйкес, барлық физика-химиялық процестер келесі жалпы сұлба бойынша өтеді деп болжамданады:

- Пешке тиелетін материалдар бастапқыда химиялық түрленусіз қалыпты температурға ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$ немесе 298 K) дейін суытылады (немесе қыздырылады);

- Одан кейін, қалыпты температурада, балқытудың соңғы өнімдерінің түзілуіне дейін барлық физика-химиялық әрекеттесулер жүреді;

- Түзілген өнімдер қалыпты температурадан, өнімдердің реакциялық зонадан шығатын соңғы температурасына дейін (химиялық түрленусіз) қыздырылады.

Алғашқыда бастапқы заттардың физикалық жылуы (жүйеге қыздырылған бастапқы заттармен түсетін жылу), одан кейін қалыпты температурада $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ (298 K) өтетін реакциялардың жылулық эффектілері (экзотермиялық және эндотермиялық), және ары қарай – реакция өнімдерін, процесті жүзеге асыру температурасына дейін қыздыру үшін қажетті (шығындалатын) жылу (өнімдердің физикалық жылуы) есептеледі. Химиялық реакциялардың жылулық эффектілерін есептеу үшін мұндай сұлбаның қолданылуы кезінде, термодинамикалық деректер кестелерінен алынған, реакциялардың қалыпты энтальпия мәндері пайдаланылуы мүмкін. Мұндай тәсілдеме Гесс заңына қайшы болмайды және жылулық баланстың есептеу ретін қарапайым және қисынды етеді.

Балқытудың жылулық балансын есептеудің ретін келтіру алдында, төменде есептеуге қажетті кейбір бастапқы деректер келтірілген, анықтама деректердің бір бөлігі ары қарай есептеу барысында көрсетілген.

Бастапқы заттар мен балқыту өнімдерінің температураларын келесі түрде қабылдаймыз:

Бастапқы зат..... $15\text{ }^{\circ}\text{C}$

конвертерлік	
шлак.....	1200 °C
шлак	1300 °C
штейн	1300 °C
бөлінетін газдар.....	1300 °C
Әртүрлі заттардың орташа жылусыйымдылық мәндері (C_i) келесі мәнге тең деп қабылданады:	
N_2 (төмен температурада).....	0,329 ккал/(м ³ ×град)
N_2 (жоғары температурада).....	0,338 ккал/(м ³ ×град)
O_2 (төмен температурада).....	0,351 ккал/(м ³ ×град)
O_2 (жоғары температурада).....	0,366 ккал/(м ³ ×град)
Үрлеу (төмен температурада).....	0,344 ккал/(м ³ ×град)
SO_2	0,544 ккал/(м ³ ×град)
CO_2	0,544 ккал/(м ³ ×град)
H_2O	0,434 ккал/(м ³ ×град)
Шихта	0,200 ккал/(м ³ ×град)
Штейн	0,225 ккал/(м ³ ×град)
Шлак	0,300 ккал/(м ³ ×град)

3.7 Түсетін жылуды есептеу

Түсетін жылу баптары:

- бастапқы материалдардың физикалық жылуы,
- тотығу реакцияларының нәтижесінде бөлінетін жылу;
- шлак түзілу реакцияларының нәтижесінде бөлінетін жылу.

Бастапқы материалдардың физикалық жылуы концентрат пен флюстердің, конвертерлі шлак пен үрлеудің физикалық жылуларынан құралады, (51) формула бойынша есептеледі:

$$Q_i = G_i \times C_i \times (t_i - t_0), \quad (51)$$

мұндағы Q_i – i материалының физикалық жылуы, ккал;

G_i – материалдың массасы, кг;

C_i – материалдың орташа жылусыйымдылығы, ккал/(кг·°C);

t_i – i материалының температурасы, °C;

t_0 – стандартты температура, °C.

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Конц.}} = G_{\text{Конц.}} \times C_{\text{Конц.}} \times (T_{\text{Конц.}} - T_{\text{ст}});$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Конц.}} = -215,05 \text{ ккал};$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Флюс}} = (G_{\text{Кварц}} + G_{\text{Эктас}}) \times C_{\text{Флюс}} \times (T_{\text{Флюс}} - T_{\text{ст}});$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Флюс}} = -63,68 \text{ ккал.}$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Конв.шл.}} = G_{\text{Конв.шл.}} \times C_{\text{Шлак}} \times (T_{\text{Конв.шл.}} - T_{\text{ст}});$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Конв.шл.}} = 1391,00 \text{ ккал};$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Үрлеу}} = V_{\text{Үрлеу}} \times C_{\text{Үрлеу}} \times (T_{\text{Үрлеу}} - T_{\text{ст}});$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Үрлеу}} = -160,30 \text{ ккал.}$$

Пешке берілетін материалдардың жалпы физикалық жылуы құрайды:

$$Q_{\text{Физ.}} = Q_{\text{Физ.}}^{\text{Конц.}} + Q_{\text{Физ.}}^{\text{Флюс}} + Q_{\text{Физ.}}^{\text{Конв.шл.}} + Q_{\text{Физ.}}^{\text{Үрлеу}};$$

$$Q_{\text{Физ.}} = 951,00 \text{ ккал.}$$

Реакциялардың өтуі нәтижесінде металлургиялық пеште жылу бөлінетін реакциялар 20-кестеде келтірілген.

20 Кесте – Экзотермиялық реакциялар

Реакция	Реакцияның жылулық эффекті Q, ккал/кмоль
$\frac{1}{2}S_2 + O_2 = SO_2$	70960
$FeS + \frac{3}{2}O_2 = FeO + SO_2$	110250
$ZnS + \frac{3}{2}O_2 = ZnO + SO_2$	105564
$PbS + \frac{3}{2}O_2 = PbO + SO_2$	99761
$As_2S_3 + \frac{11}{2}O_2 = As_2S_5 + 3SO_2$	390853
$Cu_2S + \frac{3}{2}O_2 = Cu_2O + SO_2$	91830
$FeO + \frac{1}{2}O_2 = Fe_3O_4$	76908
$2FeO + SiO_2 = 2FeO \times SiO_2$	22200
$CaO + SiO_2 = CaO \times SiO_2$	21500

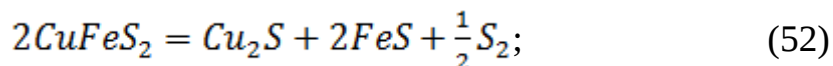
Төменде, әрбір реакция бойынша бөлінетін жылу мөлшерінің есебі келтірілген.

а) элементтік күкірттің тотығуы

Сульфидті шикізатты тотықтырып балқыту барысында, тұрақсыз жоғары күкіртті сульфидті минералдардың (жоғары температураларда) ыдырауы кезінде элементті күкірт түзіледі.

Берілген реакцияның өтуі кезінде бөлінетін жылу мөлшерін есептеу үшін, осы реакция бойынша реакцияға түскен элементті күкірттің мөлшерін табу қажет. Есептеуде, күрделі сульфидтердің ыдырауы кезінде түзілетін барлық элементті күкірт толығымен SO_2 дейін тотығады деп қабылданды. Сонда, бастапқы шикізат құрамында күрделі сульфидті минералдардың көлемін біле отырып, олардың ыдырауынан түзілетін элементті күкірт мөлшерін есептеуге болады.

Халькопирит диссоциациясы келесі (52) реакция бойынша жүреді:



Онда халькопирит диссоциациясы кезінде (53) формула бойынша күкірт бөлінеді:

$$G_{S_{\text{эл}}}^{CuFeS_2} = \frac{G_{CuFeS_2}}{2 \times M_{CuFeS_2}} \times M_S; \quad (53)$$

$$G_{S_{\text{эл}}}^{CuFeS_2} = 3,04 \text{ кг}$$

Ковеллин диссоциациясы келесі (54) реакция бойынша жүреді:



Онда ковеллин диссоциациясы кезінде (55) формула бойынша күкірт бөлінеді:

$$G_{S_{\text{эл}}}^{CuS} = \frac{G_{CuS}}{2 \times M_{CuS}} \times M_S; \quad (55)$$

$$G_{S_{\text{эл}}}^{CuS} = 0,14 \text{ кг}$$

Пирит диссоциациясы келесі (56) реакция бойынша жүреді:



Пирит диссоциациясы кезінде (57) формула бойынша күкірт бөлінеді:

$$G_{S_{\text{эл}}}^{FeS_2} = \frac{G_{FeS_2}}{M_{FeS_2}} \times M_S; \quad (57)$$

$$G_{S_{\text{эл}}}^{FeS_2} = 9,50 \text{ кг}$$

Тотығатын элементтік күкірттің жалпы массасы құрайды, (58) формула:

$$G_S^{O_{\text{оттегі.}}} = G_{S_{\text{эл}}}^{CuFeS_2} + G_{S_{\text{эл}}}^{CuS} + G_{S_{\text{эл}}}^{FeS_2}; \quad (58)$$

$$G_S^{O_{\text{оттегі.}}} = 12,69 \text{ кг}$$

(Күкірттің) тотықсыздандырғыш жануының жылуы (59) формула бойынша есептелді:

$$Q_{\text{жану}}^X = Q_{\text{реакц.}} \times N_X; \quad (59)$$

мұндағы $Q_{\text{реакц.}}$ – реакция жүру кезінде бөлінетін жылулық;
 N_X – реакцияға түскен заттың моль саны.

Элементтік күкірт тотығуынан бөлінетін жалпы жылу мөлшері құрайды, (60) формула:

$$Q_{O_{\text{оттегі.}}}^S = \frac{G_S^{O_{\text{оттегі.}}}}{M_S} \times (Q_{\text{реакц.}}); \quad (60)$$

$$Q_{O_{\text{оттегі.}}}^S = 28132,64 \text{ ккал}$$

б) FeO дейін темір сульфидінің тотығуы

Тотығу нәтижесінде пайда болған FeO мөлшері, (61) формула:

$$G_{FeO}^{O_{\text{оттегі.}}} = G_{FeO}^{\text{Шлак}} + G_{FeO}^{\text{Штейн}} - G_{FeO}^{\text{Конв.шл.}}; \quad (61)$$

$$G_{FeO}^{O_{\text{оттегі.}}} = 25,91 \text{ кг}$$

Сонымен қатар (61) формула бойынша жылу бөлінді:

$$Q_{FeO}^{O_{\text{оттегі.}}} = 51156,95 \text{ ккал}$$

в) реакциялар бойынша қорғасын мен мырыш сульфидтерінің тотығуы:
Тотығу нәтижесінде пайда болған PbO мөлшері, (62) формула:

$$G_{PbO}^{O_{\text{оттегі.}}} = G_{PbO}^{\text{Шлак}} - G_{PbO}^{\text{Конв.шл.}}; \quad (62)$$

$$G_{PbO}^{Оттегі.} = 0,45 \text{ кг}$$

Бұл кезде бөлінетін жылу (62) формуламен анықталады:

$$Q_{PbO}^{Оттегі.} = 217,21 \text{ ккал}$$

Тотығу нәтижесінде пайда болған ZnO мөлшері, (63) формула:

$$G_{ZnO}^{Оттегі.} = G_{ZnO}^{Шлак} - G_{ZnO}^{Конв.шл.} \quad (63)$$

$$G_{ZnO}^{Оттегі.} = 4,13 \text{ кг}$$

Бұл кезде бөлінетін жылу (63) формуламен анықталады:

$$Q_{ZnO}^{Оттегі.} = 6659,20 \text{ ккал}$$

г) Тотығу нәтижесінде пайда болған As₂O₅ мөлшері, (64)формула:

$$G_{As_2O_5}^{Оттегі.} = G_{As_2O_5}^{Шлак} - G_{As_2O_5}^{Конв.шл.} \quad (64)$$

$$G_{As_2O_5}^{Окисл.} = 0,04 \text{ кг}$$

Бұл кезде бөлінетін жылу (64) формуламен анықталады:

$$Q_{ZnO}^{Оттегі.} = 209,22 \text{ ккал.}$$

д) Тотығу нәтижесінде пайда болған Cu₂O мөлшері, (65) формула:

$$G_{Cu_2O}^{Оттегі.} = G_{Cu_2O}^{Шлак} + G_{Cu_2O}^{Штейн} - G_{Cu_2O}^{Конв.шл.} \quad (65)$$

$$G_{Cu_2O}^{Оттегі.} = 2,16 \text{ кг}$$

Бұл кезде бөлінетін жылу (65) формуламен анықталады:

$$Q_{Cu_2O}^{Оттегі.} = 3123,55 \text{ ккал.}$$

е) Тотығу нәтижесінде пайда болған Fe_3O_4 мөлшері, (66) формула:

$$G_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{Оттегі.}} = G_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{Шлак}} - G_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{Конв.шл.}} \quad (66)$$

$$G_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{Оттегі.}} = 4,97 \text{ кг}$$

Бұл кезде бөлінетін жылу (66) формуламен анықталады:

$$Q_{\text{Fe}_3\text{O}_4}^{\text{Оттегі.}} = 2282,65 \text{ ккал.}$$

Тотығу реакцияларының жалпы жылуы құрайды:

$$Q_{\text{Оттегі.}} = 89498,77 \text{ ккал.}$$

Жылу, шлак түзілу реакцияларының өтуі кезінде де бөлінеді.

Есептеуде, конвертерлі және балқыту шлактарының барлық FeO шлактанған деп қабылданған. Сонда шлактанған FeO массасы (67) формуласы бойынша құрайды:

$$G_{\text{FeO}}^{\text{Ошл.}} = G_{\text{FeO}}^{\text{Шлак}} - G_{\text{FeO}}^{\text{Конв.шл.}} \quad (67)$$

$$G_{\text{FeO}}^{\text{Ошл.}} = 22,39 \text{ кг.}$$

Темір шлактану реакциясы бойынша бөлінетін жылу, формула (67):

$$Q_{\text{FeO}}^{\text{Ошл.}} = 4152,79 \text{ ккал.}$$

Шлактанған CaO массасы құрайды:

$$G_{\text{CaO}}^{\text{Ошл.}} = G_{\text{CaO}}^{\text{Шлак}} - G_{\text{CaO}}^{\text{Конв.шл.}}; G_{\text{CaO}}^{\text{Ошл.}} = 9,09 \text{ кг}$$

CaO шлактану реакциясы бойынша бөлінетін жылу, формула (68):

$$Q_{\text{CaO}}^{\text{Ошл.}} = 3483,79 \text{ ккал}$$

Шлак түзілу реакцияларынан түсетін жалпы жылу құрайды:

$$Q_{\text{Ошл.}} = 7636,58 \text{ ккал}$$

Жалпы келетін жылу құрайды:

$$Q_{\text{Келетін}} = 98086,35 \text{ ккал.}$$

3.8 Жылу шығынын есептеу

Жылулық баланстың шығындық баптары:

- балқыту өнімдерінің физикалық жылуы;
- судың қызуы мен булануы;
- эндотермиялық реакциялардың өтуі;
- кессондармен жылу жоғалымдары (суыған суды қыздыруға).

Балқыту өнімдерінің физикалық жылуы – балқыту өнімдерінің қалыпты температурадан соңғы өнім температурасына дейін қыздыру үшін шығындалатын жылу. Балқыту өнімдерінің физикалық жылуы шлак, штейн және бөлінетін газдар жылуынан тұрады. Шлак пен штейннің физикалық жылуын есептеу үшін, әдетте тәжірибе жүзінде анықталатын, өнімдердің орташа жылуsыйымдылықтарының (C_p) мәндерін пайдаланады. Шлак пен штейннің типтік құрамдары үшін C_p тәжірибелік мәндері болмаған жағдайда (жылуsыйымдылық мәндері өнім құрамына тәуелді өзгеріп отырады), кейде, аддитивтілік ережелері мен таза заттардың жылуsыйымдылықтары бойынша деректердің қолданылуына негізделген, жылуsыйымдылықты есептеудің ұқсас тәсілін пайдаланады. Негізінен бұл дұрыс емес, себебі аддитивтілік ережесі идеал ерітінділерге тән, ал өнеркәсіптік шлак пен штейн балқымалары оған жатпайды.

ВП мыс штейндері мен шлактары үшін жылуsыйымдылықтың орташа мәндері (фазалық түрленуді – шлак пен штейн балқуын қоса алғанда) жоғарыда келтірілген. Сонда шлак пен штейнді қыздыру жылуы бізге мәлім формула (54) бойынша есептелуі мүмкін:

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Штейн}} = 5719,53 \text{ ккал};$$

$$Q_{\text{Физ.}}^{\text{Шлак}} = 33279,30 \text{ ккал}.$$

Шлак пен штейнге қарағанда, бөлінетін газдарды қыздыруға қажетті жылу мөлшері, бөлінетін газдардың жеке компоненттерін қыздыру жылуының қосындысы ретінде есептелуі мүмкін, себебі балқыту процестерінен бөлінетін газдардың қасиеттері идеал газдар қасиеттеріне жақын болғандықтан, олар үшін аддитивтілік ережесі тән.

Судың қызуына қажетті жылу келесі түрде есептеледі: алдымен сұйық суды бастапқы температурадан булану температурасына дейін қыздыру үшін қажетті жылу мөлшері, кейіннен су булануына қажетті жылу және одан кейін су буын бөлінетін газдар температурасына дейін қыздыру үшін қажетті жылу есептеледі. Әдетте сұйық суды қыздыру мен оның булану жылуын жеке бапта көрсетеді, ал су буын 100 °C температурадан газ температурасына дейін қыздыру жылуын бөлінетін газдардың физикалық жылуына қосады.

Бастапқы материалдармен түсетін, сұйық су қызуына жұмсалатын жылу (54) формуласымен анықталады:

$$Q_{H_2O}^{Қызу} = 636,16 \text{ ккал.}$$

Берілген су мөлшерінің булануына шығындалатын жылу, (69) формуласы бойынша есептеледі:

$$Q_{H_2O}^{Бул.} = G_{H_2O}^{Бөл.газ} \times Q_{Бул.} \quad (6)$$

$$Q_{H_2O}^{Бул.} = 4571,85 \text{ ккал.}$$

Сұйық судың қыздырылуына және булануына қажетті жалпы жылу құрайды:

$$Q_{H_2O} = 5208,00 \text{ ккал.}$$

Бөлінетін газдардың физикалық жылуы (сұйық су қыздырылуына және булануына қажетті жылу ескерілмейді) (70) формуласы бойынша құрайды:

$$Q_{Физ.}^{Бөл.газ} = (V_{SO_2}^{Техн.газ} \times C_{SO_2} + V_{CO_2}^{Техн.газ} \times C_{CO_2} + V_{N_2}^{Техн.газ} \times C_{N_2}) \times (T_{Газ} - T_{ст}) + V_{H_2O}^{Техн.газ} \times C_{H_2O} \times (T_{Газ} - 100^\circ C) \quad (70)$$

$$Q_{Физ.}^{Бөл.газ} = 63678,15 \text{ ккал.}$$

Балқымада 21-кестеде көрсетілген эндотермиялық реакциялар жүреді.

21Кесте – Жылу жұтумен өтетін реакциялар

Реакция	Реакцияның жылу эффекті -Q, ккал/кмоль
$2FeS_2 = 2FeS + \frac{1}{2}S_2$	64600
$4CuFeS_2 = 2Cu_2S + 4FeS + S_2$	78600
$CuS = \frac{1}{2}Cu_2S + \frac{1}{4}S_2$	10675
$CaCO_3 = CaO + CO_2$	42500

Пирит, халькопирит, ковеллин, әктас диссоциациясына жұмсалатын жылу (62) формуласы бойынша:

$$Q_{FeS_2} = 9591,16 \text{ ккал}$$

$$Q_{CuFeS_2} = 3735,4 \text{ ккал};$$

$$Q_{CuS} = 95,61 \text{ ккал};$$

$$Q_{CaCO_3} = 4059,92 \text{ ккал}.$$

Эндотермиялық реакциялардан жылу мөлшері құрайды:

$$Q_{\text{Энд}} = 17481,74 \text{ ккал}.$$

Кессондармен жоғалымсыз жалпы жылу жоғалымы құрайды:

$$Q_{\text{Шығын. (б/к)}} = 86367,90 \text{ ккал}.$$

Металлургиялық агрегаттың қабырғалары арқылы жылу жоғалымының егжей-тегжейлі есебі – бұл жеке және жеткілікті күрделі мәселе. Тәжірибе деректері бойынша, сульфидті шикізатты штейнге балқытудың өнеркәсіптік Ванюков пеші үшін кессондармен жылу жоғалымының үлесі, пеш өлшемі мен өнімділігіне байланысты жалпы жылу шығынының 12-18 % құрайды. Есептеулерде, кессондармен жылу жоғалымы жалпы жылу шығынының 5 % құрайды деп қабылданған.

Кессондармен жылу жоғалымы (71) реакциясы бойынша анықталады:

$$Q_{\text{Кесс.}} = \frac{Q_{\text{Шығын. (б/к)}}}{(1-0,15)} - Q_{\text{Шығ. (б/к)}}; \quad (71)$$

$$Q_{\text{Кесс.}} = 15241,39 \text{ ккал}.$$

Жалпы жылу шығыны құрайды:

$$Q_{\text{Шығын}} = Q_{\text{Шығын. (б/к)}} + Q_{\text{Кесс.}};$$

$$Q_{\text{Шығын}} = 101609,39 \text{ ккал}$$

Жылулық баланстың үйлеспеушілігі құрайды:

$$Q_{\text{үйлес.}} = Q_{\text{Шығын}} - Q_{\text{Келетін}};$$

$$Q_{\text{үйлес.}} = 3522,94 \text{ ккал}.$$

Жылу жетіспеушілігін отын жағумен немесе оттегі бойынша үрлеудің байытылуын ұлғайтумен өтейді. ВП жылулық балансын реттеудің соңғы тәсілінің қайнар көзі көп емес, себебі көптеген өнеркәсіптік Ванюков

пештерінде оттегінің жоғары мөлшерімен (80 %-дан бастап таза технологиялық оттегіге ~96 % O₂ дейін) үрлеу қолданылады. Сондықтан көптеген жағдайда ВП-де жылулық балансты реттеу үшін отын пайдаланылады. өнеркәсіптік Ванюков пештерінде отын ретінде кәдімгі тас көмір немесе табиғи газ қолданылады.

3.7 Қажетті көмір мөлшерін есептеу

22-кестеде құрғақ массада көмір құрамы және көмір ылғалдылығының ескерілуімен қайта есептелген құрамы келтірілген. Берілген көмір қара мыс өндірісінің барлық өңделімдерінде (балқыту, кедейлендіру, конвертерлеуде) пайдаланылатын болады.

22 Кесте – Көмір құрамы

Көмір құрамы (құрғақ)		Көмір құрамы (ылғалды)	
Компонент	%	Компонент	%
C	75,00	C	71,25
FeO	2,00	FeO	1,48
SiO ₂	10,00	SiO ₂	0,42
CaO	1,00	CaO	9,50
Al ₂ O ₃	2,00	Al ₂ O ₃	1,90
Басқалары	10,00	Басқалары	9,50
Ылғалдылық	5,00	Ылғалдылық	5,00
Барлығы	100,00	Барлығы	100,00

Көмір жанған кезде бөлінетін жылудың бір бөлігі, отынның жану өнімдерінің қызыдырылуына жұмсалады, қалған жылу (тиімді жылу деп аталады) технологиялық процестің жылулық шығымдарының өтеуіне жіберіледі, ол (72) формуламен есептеледі:

$$Q_{\text{эф.}} = Q_{\text{в.р.}} - Q_{\text{Шығындар}} \quad (72)$$

Берілген отын түріне $Q_{\text{в.р.}}$ анықтама материалдарынан алынуы мүмкін, немесе Менделеев формуласымен есептеледі (73):

$$Q_{\text{в.р.}} = 81 \times \theta_{\text{C}}^{\text{уг}} + 300 \times \theta_{\text{H}}^{\text{уг}} - 26 \times (\theta_{\text{O}}^{\text{уг}} - \theta_{\text{S}}^{\text{уг}}), \quad (73)$$

мұндағы $\theta_i^{\text{көм}}$ – ылғалды көмірдегі элементтер құрамы, %.

$$Q_{\text{в.р.}} = 5577,63.$$

(73) (толық жану) реакциясы мен (74) формуласындағы оттегінің үрлеуі және мөлшері көмірдің жануына қажет етіледі:



$$V_0^{i \text{ кг}} = G_i^{1 \text{ кг}} \times V_0 : \mu_i, \quad (75)$$

мұндағы $V_0^{i \text{ кг}}$ – 1 кг көмір құрамында болатын i -компонентті жағу кезінде алынатын оттегі көлемі, м^3 ;

$G_i^{1 \text{ кг}}$ – 1 кг көмірде i -компоненттің массасы, кг.

1 кг көмірді жандыру кезінде (73) формуласына және көмір құрамына сәйкес келесі газ көлемі түзіледі.

$$V_{\text{CO}_2}^{1 \text{ кг}} = 1,330 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{1 \text{ кг}} = 0,062 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{N}_2}^{1 \text{ кг}} = 0,235 \text{ м}^3.$$

Бөлінетін газдардың жылу мөлшері (77) формула бойынша анықталады:

$$Q_{\text{газ}} = 1058,07 \text{ ккал.}$$

Ылғал қыздырылуына және булануына шығындалатын жылу (71, 72) формулалары бойынша құрайды:

$$Q_{\text{су}} = 30,7 \text{ ккал.}$$

Отын жану процесінде SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe және т.б. тұратын күл түзіледі. Есептеуде, берілген компоненттер толығымен шлақтың соңғы құрамына өтеді деп қабылданған. Күлдің жылу мөлшері (73) формула бойынша құрайды:

$$Q_{\text{күл}} = 90,84 \text{ ккал.}$$

1 кг отын қыздыруға қажетті жалпы жылу:

$$Q_{\text{п.с.}} = 1179,61 \text{ ккал.}$$

Тиімді жылу (69) формуласы бойынша құрайды:

$$Q_{\text{эф.}} = 4390,64 \text{ ккал.}$$

Көмірдің қажетті мөлшері (76) формулада көрсетілген:

$$G_{\text{көмір}} = \frac{Q_{\text{үйлес}}}{Q_{\text{эфф}}^1 \text{ кг көмір}}; \quad (76)$$

$$G_{\text{көмір}} = 0,80 \text{ кг.}$$

23-кестеде көмір жануының ескерілуімен, Ванюков пешінде балқытудың қорытынды жылулық балансы келтірілген.

23 Кесте – Балқытудың жылу балансы

Келетін жылу	ккал	%	Жылу шығыны	ккал	%
Отынның жануы	4475,36	4,36	Штейннің жылуы	5179,53	5,05
Концентраттың жылуы	-215,05	-0,21	Шлактың жылуы	33352,19	32,52
Флюстердің жылуы	-63,68	-0,06	Бөлінетін газдардың жылуы	26068,28	25,42
Үрлеудің жылуы	-166,22	-0,16	Ылғалды буланудың жылуы	5232,64	5,10
Тепло угля	-1,60	0,00	Эндотермиялық реакциялардың жылуы	17481,74	17,05
Тотығу реакцияларының жылуы	89498,77	87,27	Кессондармен жоғалымдар	15241,39	14,86
Шлактүзуші реакциялардың жылуы	7636,58	7,45			
Тепло конвертерного шлака	1390,03	1,36			
Барлығы	102554,18	100,00	Барлығы	102555,78	100,00

Жылулық есептердің ескерілуімен жоғарыда есептелген деректер негізінде құрылған балқыту процесінің қорытынды материалдық балансы 23-кестеде көрсетілген.

24 Кесте – Тиелетін көмір ескерілуімен балқытудың материалдық балансы

Материал	Cu	Fe	S	Pb	Zn	SiO ₂	CaO	As	C	O ₂	N ₂	Al ₂ O ₃	H ₂ O	Басқалары	Барлығы
Тиелгені:															
концентрат	14,20	27,20	34,80	0,70	4,50	12,50	0,60	0,50	0,13	0,34		0,30	7,53	4,23	107,53
конвертерлік шлак	0,60	1,00		0,10	0,20	0,80	0,48	0,00		0,47				0,30	3,94
кварц		0,55				11,96	0,42		0,09	0,40		0,56	0,44	0,09	14,51
әктас						0,84	8,07		1,73	4,60		0,20	0,52	1,37	17,33
көмір		0,01				0,08	0,01		0,57	0,00		0,02	0,04	0,08	0,80
қосымша ауа (подсосы)										40,37	1,47				41,84
ауа										1,52	5,00				6,51
БАРЛЫҒЫ	14,80														
Алынғаны:															
штейн	12,64	0,91	3,79	0,17	0,20			0,03		0,14				0,18	18,05
шлак	2,16	27,86		0,45	4,13	26,18	9,58	0,04		9,84		1,08		5,89	87,20
бөлінетін газдар			31,01	0,18	0,38			0,44	2,52	37,72	6,47		8,52		87,22
БАРЛЫҒЫ:	14,80	28,76	34,80	0,80	4,70	26,18	9,58	0,50	2,52	47,70	6,47	1,08	8,52	6,07	192,47

ҚОРЫТЫНДЫ

1. $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің динамикалық тұтқырлығы зерттелді. Шлакта кальций тотығының мөлшері 7-ден 10 %-ға дейін жоғарлаған кезде, сұйықтай аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайта отырып, шлак тұтқырлығының төмендейтіні көрсетілді.

2. $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің тұтқырлығының температура мен кальций тотығы мөлшерінің өзгеруіне сәйкес тәуелділіктері анықталды. Шлакта мыс мөлшерінің өсу кезінде, жүйенің сұйықтай аққыштық күйінің аралығы ұлғаятыны дәлелденді. Зерттелінді мыс мөлшері жоғары шлактар тұтқырлығының температураға тәуелді өзгерісінің нәтижелері көрсеткендей температура артқан сайын динамикалық тұтқырлығы шлақтың барлық құрамдары үшін күрт төмендейді, мұнда жүйенің сұйықтай аққыштық күйінің аралығы үлкен болған сайын, ондағы мыс мөлшері жоғары болады.

3. Физика-химиялық процестердің тұрақты өтуі үшін аса қолайлы динамикалық тұтқырлығының мәні 1250°C кезінде $0,06-0,3 \text{ Па}\cdot\text{с}$ болып табылатыны анықталды.

4. $\text{FeO}:\text{SiO}_2 > 1$ және мыс тотығының ерігіштігі шлактарда төмендегенде кезде «шпинельдердің» ірілігі артады, ал шлак мыс тотығына қаныққанда және кальций тотығының мөлшері артқанда шпинельдердің ұнтақалуына әкеледі. Ликвидус температурасы сызығына тән болмашы максимумның болуы, ол көрініп тұрғандай бір мезгілдегі кремнезем және кальций тотығы мөлшерлерінің «шпинельдердің» ірілігіне әсері шлактардың мыс тотығына қанығу есебінен деп түсіндіріледі. Арықарай шлактарда кремнеземнің және кальций тотығы мөлшерлерінің артуы шлакта темір тотығының орнын еріген мыс тотығының басуын күтуге болады, бұл нәтижесінде зерттеліп отырған шлак балқымаларында ликвидус температурасын шамалы төмендетеді.

5. Мыс оксидімен (I) қаныққан $\text{Cu}_2\text{O} - \text{FeO}_x - \text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ шлак жүйесінің және оның тұтқырлығын зерттеу барысында анықталған нәтижелер мен заңдылықтар ең маңызды практикалық қорытындылардың бірін жасауға мүмкіндік береді: балқу температурасының орынды практикалық ауқымында жұмыс істеу кезінде ($1200-1250^\circ\text{C}$) үздіксіз конвертірлеу үрдісі шлак құрамы бойынша жүргізілуі тиіс, % (мас.): 20-25 SiO_2 ; 35-45 FeO ; 10-15 CaO . Бұл $\text{FeO}:\text{SiO}_2 = 1,8$ және $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 0,7$ коэффициенттерін ұстап тұруға мүмкіндік береді, әріқарай шлактағы мыс (I) оксидінің ерітіндісінің ең аз ерігіштігі бар оңтайлы шлак тұтқырлығын $\mu = 0.3-0.5 \text{ Па}\cdot\text{с}$ қамтамасыз етеді.

6. Алынған нәтижелер, көп компонентті шлак жүйелерінің күрделі құраммен сипатталатынын және тұтқырлық пен құрамының арасындағы байланыс бір буынды болып табылмайтынын растайды. Келтірілген тәжірибелік деректерден көрініп тұрғандай, бастапқы химиялық құрамы мен температура балқыманың динамикалық тұтқырлығына күшті әсер етеді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Полывянный И.Р., Мазулевский Е.Н., Жаманбаев А.Е., Коржумбаев А.Е. Исследование вязкости шлаков коксогазовой шахтной плавки // Комплексное использование минерального сырья, Алматы, – №7, - 1986. – С. 55-58.
- 2 Досмұхамедов Н.Қ., Жүсіпбеков С.С. Мыс металлургиясындағы автогенді процестер: Оқу құралы., Алматы: ҚазҰТУ, - 2012, – 105 б.
- 3 Павлов Р. А., Павлов А. В., Федоров А. Н. Исследования вязкости шлаковых систем вюстит-кремнезем и вюстит-кремнезем-оксид кальция // Цветные металлы, 2000. – № 4. – С. 76–79.
- 4 Колосов А. Г., Ступин А. В., Федоров А. Н., Ванюков А. В. Вязкость железо-силикатных шлаков // Цветные металлы, 1987. – № 3. – С. 44–47.
- 5 Есин О. А., Гельд П. В. Физическая химия пирометаллургических процессов. – Свердловск: Металлургиздат, 1962. – Ч. 1. – 671 с.
- 6 Атлас шлаков : справ. изд. / пер. с нем. под ред. Куликова И. С. – М. : Металлургия, - 1985. – 208 с.
- 7 F. Kongoli, and A. Yazawa. Liquidus Surface of FeO-Fe₂O₃-SiO₂-CaO Slags at Constant CO₂/CO Ratios // Materials Transactions, - 2003. – Vol. 44, No. 10. – P. 2130-2135.
- 8 Васкевич А. Д. Автогенные процессы в пирометаллургии цветных металлов // М.: Бюллетень ВИНТИ по металлургии тяжелых цветных металлов, - 1988. Т.18. С. 3-67.
- 9 Ванюков А. В., Быстров В. П., Васкевич А. Д. Плавка сырья тяжелых металлов в расплаве // Тр. МИСиС, - 1979. – 17 с.
- 10 Мечев В.В., Быстров В.П., Тарасов А.В. Автогенные процессы в цветной металлургии. М.: Металлургия, - 1991. - 417 с.
- 11 Грацерштейн «Организация и планирование производства на предприятиях цветной металлургии», - 1989г. - 317 с.
- 12 Мокий М. С. «Экономика предприятия » - М., Инфра, - 2002 г. 391 с.
- 13 Лебедева К.В. Охрана труда на предприятиях цветной металлургии: Уч. пособие для техникумов. – М.: Металлургия, - 1981. – 392 с.
- 14 Металлургические шлаки и применение их в строительстве. М., изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, - 1962. - 378 с.
- 15 ГОСТ 2184-77. Кислота серная техническая- М: Издательство стандартов, 1978. - 346 с.
- 16 Ванюков А. В. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. Ч. I. Алма-Ата.: Наука, 1980. - 272 с.
- 17 Быстров В.П., Манцевич Н.М., Товкачев С.Е. Использование сульфидизаторов в обеднении медьсодержащих шлаков. // Цветные металлы, 1989. № 6. С.26-29.

А қосымшасы

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ҚазҰТУ ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК КазНУТУ

VESTNIK KazNRTU

№2 (120)

А қосымшасының жалғасы

Главный редактор

И. К. Бейсембетов – ректор

Зам. главного редактора

М.К. Орунханов – проректор по науке

Отв. секретарь

Н.Ф. Федосенко

Редакционная коллегия:

С.Б. Абдыгаппарова, Б.С. Ахметов, З.С. Абишева, Ж.Ж. Байгунчечков-акад. НАН РК, В.И. Волчихин (Россия), К. Дребенштед (Германия), Г.Ж. Жолтаев, С.Е. Кудайбергенов, С.Е. Кумеков, Б. Кенжалиев, В.А. Луганов, С.С. Набойченко – член-корр. РАН, И.Г. Милев (Германия), С. Пежовник (Словения), Б.Р. Ракишев – акад. НАН РК, М.Б. Панфилов (Франция), Н.Т. Сайлаубеков, Н.С. Сеитов - член-корр. НАН РК.

Учредитель:

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Регистрация:

Министерство культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан № 951 – Ж “25” 11. 1999 г.

Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год

Адрес редакции:

г. Алматы, ул. Сатпаева, 22,
каб. 502, тел. 292-63-46 п.
fedossenko @ ntu. kz

$\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҮТҚЫРЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа. Техникалық әдебиетте жұмыста зерттелген жүйе балқымаларының тұтқырлығы туралы деректер айтарлықтай жоқ. Осы деректердің қажеттілігі, тек бай штейн алудың автогенді технологияларын жасау үшін ғана емес, оған қоса түсті металлургияның мыс мөлшері жоғары шлактарын кедейлендірудің тиімділігі жоғары әдістерін ұйымдастыру кезінде ерекше өзекті болып келеді.

Жұмыста мыс мөлшері жоғары облыста төрт компонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ шлак жүйесінің тұтқырлығын зерттеу және зерттелінді тотықты балқымалардың тұтқырлығына температура мен кальций тотығының әсер ету заңдылықтарын орнату.

Тәжірибелік жұмыстың нәтижесінде $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің динамикалық тұтқырлығы зерттелінді. Шлактың температурасын және ондағы кальций тотығының мөлшерін жоғарылатқан кезде, аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайтып, шлак тұтқырлығының төмендейтіні орнатылды. Сондай-ақ, физика-химиялық процестердің тұрақты өтуі үшін шлактардың аса қолайлы динамикалық тұтқырлығының мәні 1250°C кезінде $0,06-0,3 \text{ Па}\cdot\text{с}$ болып табылатыны анықталды.

Түйін сөздер: тұтқырлық, жоғарымөлшерлі шлак, температура.

Кіріспе

Тұтқырлық – тотықты балқымалардың маңызды қасиеттерінің бірі ретінде, оның құрылымын сипаттайды, технологиялық процестің температуралық режимін, пеш агрегатының өнімділігін және балқыту өнімдерінің толық бөлінуін анықтайды. $\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесі шлағының тұтқырлығын зерттеуге ауқымды көлемдегі жұмыстар жасалды [1-7]. Дегенмен, мәселен, мыс металлургиясында, мыс бойынша бай штейн алуға бағытталған автогенді процестердің заманауи күйі мен дамуы шлак тұтқырлығын зерттеу шекарасының кеңейтілуін қажет етеді. Бұл, біріншіден, құрамында мыс мөлшерінің жоғары болуымен, шлак құрамы мен құрылымының күрделенуімен және алынатын тотықты балқымалардың физика-химиялық қасиеттерінің ауқымды өзгерісімен байланысты. Бай штейнге автогенді балқыту кезінде, алынатын шлакта мыс мөлшерінің өсуі есебінен, тұтқырлықты анықтау өткір сипатқа ие болады, себебі күрделі көп компонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесін зерттеу қажеттілігі туындайды. Техникалық әдебиетте көрсетілген жүйе балқымаларының тұтқырлығы туралы деректер айтарлықтай жоқ. Осы деректердің қажеттілігі, тек бай штейн алудың автогенді технологияларын жасау үшін ғана емес, оған қоса түсті металлургияның мыс мөлшері жоғары шлактарын кедейлендірудің тиімділігі жоғары әдістерін ұйымдастыру кезінде ерекше өзекті болып келеді.

Берілген зерттеулердің мақсаты – мыс мөлшері жоғары облыста төрт компонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ шлак жүйесінің тұтқырлығын зерттеу және зерттелінді тотықты балқымалардың тұтқырлығына температура мен кальций тотығының әсер ету заңдылықтарын орнату.

Тұтқырлықты өлшеу әдістемесін таңдау және оның негіздемесі

Мыс тотығының мөлшері жоғары болатын шлактар күшті тотықтырғыштар болып табылады, бұл тәжірибе жүргізу шарттарын ауқымды күрделендіреді – өлшеу элементі ретінде дәстүрлі металды цилиндрды (мысалы, болат цилиндрлер) пайдалануға мүмкіндік бермейді. Оған қоса, мыс мөлшері жоғары шлактар, металды емес отқа төзімді материалдарға қатысты жоғары өту қабілетіне ие. Шлактардың көрсетілген қасиеттерін реактор материалын таңдау кезінде ескеру қажет.

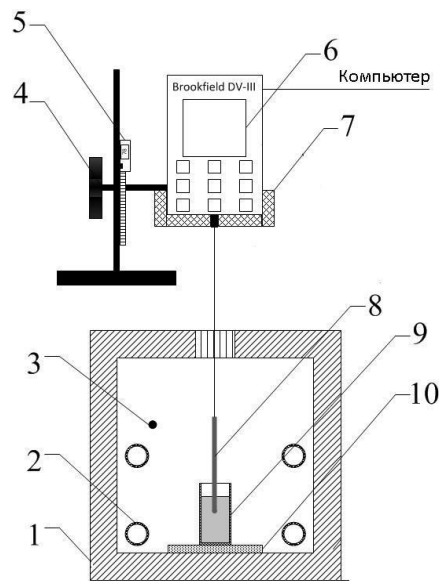
Агрессивті тотықты балқымаларда әртүрлі материалдардың төзімділігін зерттеу бойынша жүргізілген алғашқы сынақтар көрсетуі бойынша, реактор дайындауда тозуға аса төзімді материал кеуектілігі төмен алундты тигель болып табылады, кейіннен ол сынақтар жүргізу кезінде пайдаланылды. Берілген материалдың таңдалуы, оны қолдану кезінде, шлак балқымасында шпиндельдің дымқылдануы есебінен байқалатын, «кері ығыстыру эффектісінің» алдын алуымен шартталады.

Жоғары температуралық зерттеулер үшін модернизацияланған DV-III+ маркалы сериялы BROOKFIELD ротациялық вискозиметрі негізінде, балқымалардың динамикалық тұтқырлығын өлшеу бойынша зертханалық қондырғы 1 суретте көрсетілген. Қондырғы, тәжірибелік деректерді басқару, тіркеу, сақтау және өңдеу үшін компьютермен жабдықталған ротациялық вискозиметрден тұрады. Жоғары температуралық сәулеленуден вискозиметр корпусын қорғау үшін, зертханалық пеш күмбезінің жұмысшы саңылауы, ұшқабатты қаңылтырдан жасалған қорғаушы экранның қолданылуымен диафрагмаланған.

Тәжірибелер әдістемесінің мәні келесіде. Зерттелінді шлак үлгісі бар, цилиндрлік тигелі алдын ала орнатылған пешті, балқыма тұтқырлығын өлшеудің температуралық аралығының жоғары шегіне дейін қыздырады. Кейіннен, вискозиметрдің көтеру механизмінің көмегімен, ыстыққа төзімді қорытпадан (ERNiCr-3) арнайы дайындалған ұзартқышқа бекітілген шпиндельді пешке түсіреді және шпиндель денесі мен шлак балқымасының температурасын теңестіру үшін, 5 мин уақыт аралығында балқымаға тікелей жақындықта (~5 мм қашықтықта) ұстап тұрады. Шпиндельді қыздырғаннан кейін, компьютерде тұтқырлықты өлшеу бағдарламасы қосылады. Бұл кезде айналмалы шпиндель, оның балқымамен жанасу моментіне дейін түсіріледі, ол вискозиметр көрсеткішінің күрт өзгерісімен белгіленеді. Көрсеткіштерді

А қосымшасының жалғасы

компьютердің қатты дискісіне берумен тұтқырлықтың өлшеуін, берілген балқыма тереңдігіне шпиндельді тиеумен жүргізеді, оны электронды штангенциркульмен 1-2 минут аралығында бақылайды. Өлшеулер орындалға балқымасы деңгейінен 5 мм жоғары орнатады. Одан кейін пеш температурасын келесі зерттелінді мәнге дейін төмендетеді және өлшеулер қайталанады.



Сурет 1. Мыс мөлшері жоғары шлак балқымаларының тұтқырлығын өлшеуге арналған тәжірибелік қондырғы сұлбасы

1 – электрпеші; 2 – пеш қыздыру силииттері; 3 – термोजұп; 4 – вискозиметрдің көтергіш механизмі;
5 – сандық штангенциркуль; 6 – вискозиметр; 7 – вискозиметрдің қосымша қорғаушы қабаты;
8 – шпиндель; 9 – зерттелінді балқымасы бар тигель; 10 – тіреуіш

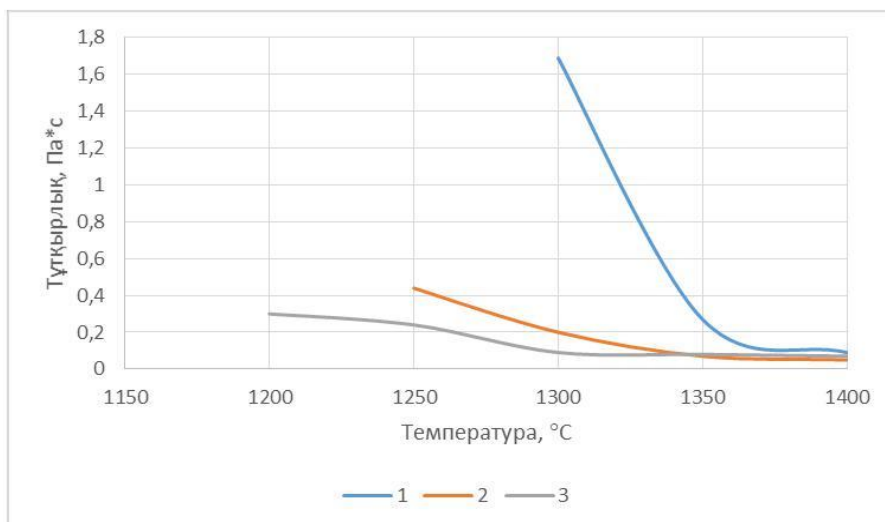
Тәжірибелік зерттеулер нәтижелері мен оларды талқылау

Зерттелінді құрамдарда мыс мөлшері жоғары шлактардың динамикалық тұтқырлығын өлшеу бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижелері 1 кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Зерттеуге алынған шлактардың химиялық құрамы, динамикалық тұтқырлығы және кристалдана басталанатын температурасы

Шлак нөмірі	Шлак құрамы, масс. %					Түрлі температура кезіндегі (°C) шлактардың тұтқырлығы, Па·с						Шлактардың кристалдану температурасы, t_k , °C
	Cu	Fe	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	1150	1200	1250	1300	1350	1400	
1	10,6	39,3	16,9	10,2	3,7	-	-	-	1,69	0,27	0,09	1285
2	19,0	34,4	14,3	7,1	6,2	-	-	0,44	0,20	0,07	0,05	1250
3	27,2	24,2	11,8	7,3	9,9	-	0,30	0,24	0,09	0,08	0,07	1200

Тәжірибелер жүргізу шарттарында алундты тигель материалының еруін алдын алу мүмкін болмады. Шлактың соңғы үлгілерінде Al₂O₃ мөлшері 4 - 12 % масс. құрайды. Осылайша, күрделі бескомпонентті Cu₂O-Fe₂O₃-SiO₂-CaO-Al₂O₃ шлак жүйесінің тұтқырлығы зерттелді деп санауға болады

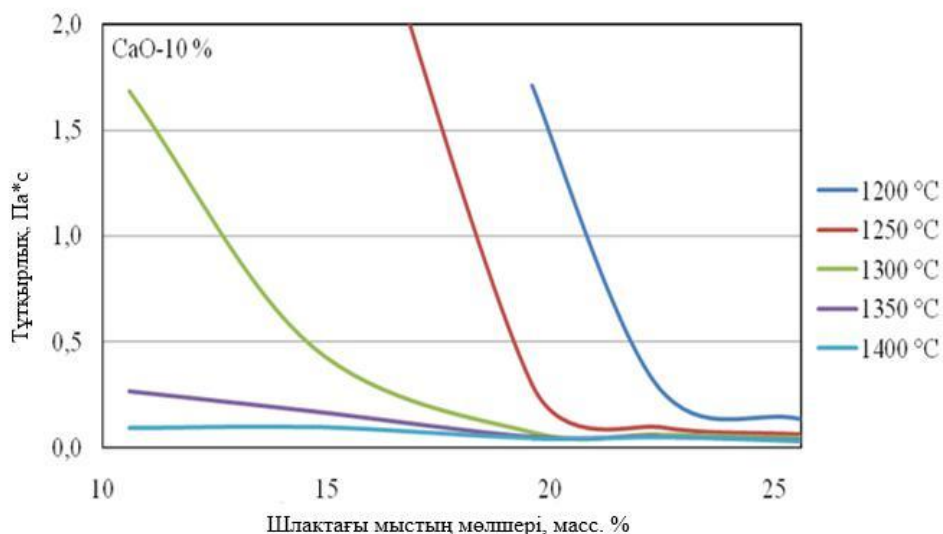


Сурет 2. Мыс мөлшері жоғары шлак тұтқырлығының политермалары
1, 2, 3 – шлак номері

2 суретте зерттелінді мыс мөлшері жоғары шлактар тұтқырлығының температураға тәуелді өзгерісінің нәтижелері көрсетілген. Көрініп тұрғандай, температура артқан сайын динамикалық тұтқырлығы шлақтың барлық құрамдары үшін күрт төмендейді, мұнда жүйенің сұйықтай аққыштық күйінің аралығы үлкен болған сайын, ондағы мыс мөлшері жоғары болады. Мәселен, құрамында 10,6 % мыс болатын 1 құрамды шлак сұйықтай аққыштық күйде 1380 °C жоғары температураларда болады, ал мыс мөлшері жоғары болатын 3 құрамды шлактар 1180-1200 °C дейін сұйықтай аққыш болып қалады.

Шлакта кальций тотығы мөлшерінің 7-ден 10 %-ға дейін жоғарылауы, сұйықтай аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайта отырып, шлак тұтқырлығын төмендетеді. Бұл қасиет 3 және 2 қисықтарының жүрісін салыстыру кезінде анық көрінеді: мыс мөлшері төмен (19 % кем) шлак балқымасы, мыс мөлшері жоғары (27,2 %) шлакпен салыстырғанда, аса сұйықтай аққыш болады.

3 суретте, кальций тотығының тұрақты мөлшерінде, $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің шлак тұтқырлығының изотерма нәтижелері көрсетілген. Суретте байқалатын тұтқырлық изотермасы сызықтарының жүрісі, балқымада мыс концентрациясының жоғарылауымен, шлак тұтқырлығының төмендейтіні жөнінде жоғарыда айтылған пікірді растайды.



Сурет 3. Синтетикалық $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ шлактар жүйесінің тұтқырлығының изотермалары. $\text{CaO} = 10\%$ масс.

А қосымшасының жалғасы

Алынған нәтижелер, көп компонентті шлак жүйелерінің күрделі құраммен сипатталатынын және тұтқырлық пен құрамының арасындағы байланыс бір буынды болып табылмайтынын растайды.

Келтірілген тәжірибелік деректерден көрініп тұрғандай, бастапқы химиялық құрамы мен температура балқыманың динамикалық тұтқырлығына күшті әсер етеді. Физика-химиялық процестердің тұрақты өтуі үшін аса қолайлы динамикалық тұтқырлығына (0,06-0,3 Па·с, 1250 °С кезінде), әктас мөлшерінің 10-12% аралығында орналасқан, мыс мөлшері жоғары болатын (20-30 % Cu) шлактар ие. 1350 °С жоғары температурада тұтқырлығы төмен болатын құрамының аралығы 15 %-ға тең мыс мөлшеріне дейін кеңейеді.

Алынған тәжірибелік деректер техникалық әдебиетте кездесетін нәтижелерді жақсы толықтырады және шлак құрамы мен температураның кең өзгеру аралығында күрделі көпкомпонентті $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің синтетикалық шлактарының динамикалық тұтқырлығын бағалау диапазонын кеңейтеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ көпкомпонентті жүйесінің динамикалық тұтқырлығы зерттелді. Шлакта кальций тотығының мөлшері 7-ден 10 %-ға дейін жоғарлаған кезде, сұйықтай аққыштық күйінің температуралық аралығын ұлғайта отырып, шлак тұтқырлығының төмендейтіні көрсетілді.

2. $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ жүйесінің тұтқырлығының температура мен кальций тотығы мөлшерінің өзгеруіне сәйкес тәуелділіктері анықталды. Температура артқан сайын динамикалық тұтқырлықтың, зерттелген шлактардың барлық құрамдары үшін, күрт төмендейтіні орнатылды. Шлакта мыс мөлшерінің өсу кезінде, жүйенің сұйықтай аққыштық күйінің аралығы ұлғаятыны дәлелденді.

3. Физика-химиялық процестердің тұрақты өтуі үшін аса қолайлы динамикалық тұтқырлығының мәні 1250 °С кезінде 0,06-0,3 Па·с болып табылатыны анықталды.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Полювинный И.Р., Мазулевский Е.Н., Жаманбаев А.Е., Коржумбаев А.Е. Исследование вязкости шлаков коксогововой шахтной плавки // Комплексное использование минерального сырья, Алматы. – №7. – 1986. – С. 55-58.

[2] Ванюков А. В., Зайцев В. Я. Шлаки и штейны цветной металлургии. – М.: Металлургия. – 1969. – С.408

[3] Павлов Р. А., Павлов А. В., Федоров А. Н. Исследования вязкости шлаковых систем вюстит-кремнезем и вюстит-кремнезем-оксид кальция // Цветные металлы. – 2000. – № 4. – С. 76–79.

[4] Линчевский Б. В. Техника металлургического эксперимента. 2-е изд. – М.: Металлургия. – 1979. – 256 с.

[5] Колосов А. Г., Ступин А. В., Федоров А. Н., Ванюков А. В. Вязкость железо-силикатных шлаков // Цветные металлы. – 1987. – № 3. – С. 44–47.

[6] Есин О.А., Гельд П. В. Физическая химия пирометаллургических процессов. – Свердловск: Metallurgizdat. – 1962. – Ч. 1. – С. 671.

[7] Атлас шлаков : справ. изд. / пер. с нем. под ред. Куликова И. С. – М.: Металлургия. – 1985. – С. 208.

[8] F. Kongoli, and A. Yazawa. Liquidus Surface of $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ Slags at Constant CO_2/CO Ratios // Materials Transactions. – 2003. – Vol. 44, No. 10. – P. 2130-2135.

[9] M. Kudo, E. Jak, P. Hayes, K. Yamaguchi, and Y. Takeda. Lead Solubility in $\text{FeO}_x-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ Slags at Iron Saturation // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2000. – VOL. 31B. – P. 15-24.

Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Нурлан Г.Б., Ахмеджанов Ж.С., Токтарова А.Е. **Исследование вязкости системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$**

Резюме. В технической литературе данные о вязкости расплавов многокомпонентной системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ практически отсутствуют. Потребность в этих данных весьма актуальна для разработки автогенных технологий на богатый штейн, а также при организации высокоэффективных способов обеднения высокомедистых шлаков цветной металлургии.

В работе проведены исследования по определению вязкости многокомпонентной шлаковой системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ в области высоких содержаний меди и установлены закономерности влияния температуры и оксида кальция на величину вязкости исследуемых оксидных расплавов.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при повышении температуры и содержания оксида кальция вязкость шлакового расплава снижается, увеличивая тем самым температурный интервал жидкотекучего состояния. Также показано, что наиболее приемлемой для устойчивого протекания физико-химических процессов в шлаковом расплаве является динамическая вязкость равная 0,06-0,3 Па·с.

Ключевые слова: вязкость, высокомедистый шлак, температура.
Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Nurlan G.B., Ahmedzhanov Zh.S., Toktarova A.E. **Study of viscosity of $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$**

Annotation. Technical literature data on the viscosity of melts $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ are virtually absent. The need for these data is particularly highly relevant for the development of autogenous technology in a rich matte, as well as the organization of highly effective methods of depletion high-copper slags of nonferrous metallurgy.

А қосымшасының жалғасы

In the study conducted the slag viscosity of multicomponent systems $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ in the high copper content and the regularities of the influence of temperature and calcium oxide on the value of the viscosity of the investigated oxide melts.

As a result of experimental studies of the four-viscosity slag system $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ in the high copper content it found that when the temperature rises and the content of calcium oxide reduced the viscosity of the molten slag, thereby increasing the temperature range of flowable state. It also shows that the most appropriate for a sustainable flow of physical and chemical processes is the dynamic viscosity equal to $0,06-0,3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ at 1250°C .

Keywords: viscosity, high-copper slags, temperature.

УДК 669.046.582:669.33

Н. Қ. Досмұхамедов, Е. Е. Жолдасбай, Г. Б. Нұрлан, Ж.Ү. Тұрсан, М. М. Байтемір (Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы)

А қосымшасының жалғасы

Chemical and metallurgical sciences

<i>Kim A.S., Akberdin A.A., Isagulov A.Z., Sultangaziyev R.B.</i> SMELTING BORON-CONTAINING STEELS AND CAST BILLETS QUALITY ASSESSMENT	553
<i>Shuhanova Zh.K., Shegenova G.K., Amantaeva D.B., Ohapova K.T., Ibragimova Z.A., Arinova D.</i> THE POSSIBILITY OF DISPOSAL OF SULPHUR WASTE OIL BY USING AS THE CURING AGENT IN TECHNICAL RUBBERS.....	558
<i>Kishibayev K.K., Askarova A.B., Efremov S.A., Kabulov A.T., Tokpayev R.R., Atchabarova A.A., Nechipurenko S.V., Nauryzbayev M.K.</i> OBTAINING ACTIVE CARBON BASED ON FURFURAL AND HIS PROPERTIES.....	561
<i>Zhumabek A. Zh.</i> CHANGES IN PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF OIL IN THE PROCESS OF FIELD DEVELOPMENT.....	569
<i>Rakishev B. R., Dinmuhametova N. S</i> ALLOWANCES OF INCREASE IN PRODUCTION OF THE ACCOMPANYING PRECIOUS METALS OF THEIR POLYMETALLIC ORES OF KAZAKHSTAN	574
<i>Nazarbek U.B., Besterekov U., Tasybaeva Sh.B., Raiymbekov Y.B.</i> FUNDAMENTALS OF TECHNOLOGY AND THE THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE ACID DIGESTION OF PHOSPHORIC SLUDGE.....	579
<i>Meyrbek J. M., Beisenov B. S.</i> THE EGO-SYSTEM TO COLLAPSE SAUCHIHALL HUNG IN THE BUNKERS AND OTHER TANKS.....	587
<i>Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Nurlan G.B., Ahmedzhanov Zh.S., Toktarova A.E.</i> STUDY OF VISCOSITY OF $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$	591
<i>Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Nurlan G.B., Tursan Zh.U., Baitemir M.M.</i> ESTIMATED BALANCE OF AUTOGENOUS SMELTING OF COPPER CONCENTRATES ON THE RICH STEIN AND EVALUATION COPPER LOSSES WITH SLAG.....	596
<i>Zhakupbayev B.Ye., Kulmakhanova A.Sh., Mamyr Ye.Ye., Alzhanova A.Zh., Kolesnikov A.S., Kocherov Ye.N.</i> THERMODYNAMIC MODELING CLINKER PROCESSES FOR THE DEVELOPMENT OF ENERGY- SAVING TECHNOLOGY FOR PORTLAND CEMENT.....	603

Редакторы:

Н.Ф. Федосенко

Верстка на компьютере:

Л. Касжанова

Подписано в печать 20.03.2017 г.

Формат 60x84 1/8. Усл. п.л 40,0.

Тираж 500 экз. Заказ № 179.

Адрес редакции:

ул. Сатпаева, 22, КазННТУ каб. 502, тел. 292-63-46

Департамент по связям с общественностью КазННТУ

Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева

В қосымшасы

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**



ҚазҰТЗУ ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК КазННТУ

VESTNIK KazNRTU

№3 (121)

В қосымшасының жалғасы

Главный редактор
И. К. Бейсембетов – ректор

Зам. главного редактора
М.К. Орунханов – проректор по науке

Отв. секретарь
Н.Ф. Федосенко

Редакционная коллегия:

С.Б. Абдыгаппарова, Б.С. Ахметов, З.С. Абишева, Ж.Ж. Байгунчехов-акад. НАН РК, В.И. Волчихин (Россия), Д. Харнич (США), К. Дребенштед (Германия), И.Н. Дюсембаев, Г.Ж. Жолтаев, С.Е. Кудайбергенов, С.Е. Кумеков, Б. Кенжалиев, В.А. Луганов, С.С. Набойченко – член-корр. РАН, И.Г. Милев (Германия), С. Пежовник (Словения), Б.Р. Ракишев – акад. НАН РК, М.Б. Панфилов (Франция), Н.Т. Сайлаубеков, Н.С. Сеитов - член-корр. НАН РК..

Учредитель:

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Регистрация:

Министерство культуры, информации и общественного согласия
Республики Казахстан № 951 – Ж “25” 11. 1999 г.

Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год

Адрес редакции:

г. Алматы, ул. Сатпаева,
22, каб. 502, тел. 292-63-46
n.fedossenko @ ntu. kz

МЫСҚА БАЙ ШЛАКТАРДАН ТҮСТІ МЕТАЛДАР МЕН ТЕМІРДІ ТАУАРЛЫ ӨНІМДЕРГЕ БӨЛІП АЛУ ӘДІСІ

Аңдатпа. Техникалық әдебиетте мыс бойынша шлактарды кедейлендіру процестерінің жоғары тиімділігіне қарамастан, бұл сұрақ бойынша жаңа технологиялық сұлба құрастыру кезінде барлық бағалы компоненттердің шлактан кешенді бөліп алу жолдарына аса көңіл бөлу қажет. Әсіресе, шлактарды кедейлендіру процесін жүргізудің нақты шарттарында қоспалардың бөлініп таралу тәртібінің зерттелуі, біздің ойымызша, жүйелі болуы тиіс. Бұл мәселенің шешімін табу – техника-экономикалық және экологиялық жағынан аса жоғары қызығушылық тудыратынын айта кеткен жөн.

Жұмыста мысқа бай шлактарды көмір мен CO-CO_2 газ қоспасымен тотықсыздандыру арқылы мыс, қорғасын, мырыш пен мышьякты тауарлы өнімдерге селективті бөліп алу жолдары зерттелді. Бұл мақсатта жұмыста шлактарды екі сатылы кедейлендіру әдісі құрастырылды.

Жұмыста ұсынылып отырған шлакты екі сатылы жолмен кедейлендіру кезінде түсті металдар, темір және мышьякты тікелей өнімдерге максималды бөліп алуға болатыны дәлелденді. Жаңа әдіс бойынша шлакты кедейлендіру барысында мыстың мысты шойынға тікелей шығымы 95%, қорғасын, мырыш және мышьяқтың газға шығымы – 94%, 95% және 97% сәйкесінше құрады.

Түйін сөздер: мысқа бай шлак, кедейлендіру, көмірдің моноотығы, мысты шойын.

Кіріспе

Техникалық әдебиетте кең тараған мыс бойынша шлактарды кедейлендіру процестерінің жоғары тиімділігіне қарамастан [1-11], бұл сұрақ бойынша жаңа технологиялық сұлба құрастыру кезінде барлық бағалы компоненттердің шлактан кешенді бөліп алу жолдарына аса көңіл бөлу қажет. Әсіресе, шлактарды кедейлендіру процесін жүргізудің нақты шарттарында қоспалардың бөлініп таралу тәртібінің зерттелуі, біздің ойымызша, жүйелі болуы тиіс. Бұл мәселенің шешімін табу – техника-экономикалық және экологиялық жағынан аса жоғары қызығушылық тудыратынын айта кеткен жөн.

Осы бағытта орындалған [1,2] жұмыста мыс концентраттарын автогенді балқыту процестерінде өңдеу кезінде алынатын шлактарды көмірмен қосымша тотықсыздандыру арқылы оларды кедейлендіріп, мысты бөліп алу бағытында жүргізілген кешенді зерттеу нәтижелері көрсетілген. Авторлар шлактарды қатты көміртегімен тотықсыздандыру кезінде алынатын фазалар, олардың құрамы және түсті, ілеспелі қоспалардың фазалар арасындағы бөлініп таралуын зерттеп, шлактарды көмірмен тотықсыздандыру кезінде мыс негізінде металл балқымасының (түпкі фаза) бөлініп шығу жолын көрсеткен. Өткізілген зерттеулер нәтижесінде шлакты көмірмен тотықсыздандырып өңдеу кезінде мырыш пен қорғасынның ауқымды дәрежеде шаңға айдалу мүмкіндігін дәлелденіп, процестің оптималды режимдері анықталған. Сонымен қатар, кешенді өткізілген зерттеу барысында мышьяқтың түпкі фазаға ауқымды өтуі және оның түпкі фазадағы тепе-теңдік мөлшері оның шлактағы мөлшеріне тікелей тәуелділігі. Құрастырылған технологиялық тізбекпен нақты өндірістік технология үшін үйінді шлактарынан мышьякты бөліп алу жолы көрсетілгенімен бұл сұлбаның бірнеше кемшіліктері бар. Біріншіден, шлактарды бұл әдіспен кедейлендіру кезінде түсті металдар, темір және мышьякты олардың оксидтерінен тотықсыздандыру үшін көміртегінің шығынының берілген оксидтерді толықтай тотықсыздандыруға алынатын стехиометриялық мөлшерінен 50-200%-ға дейін артық қолдануында. Бұл процесте қолданылатын отынның, яғни көміртегінің, шығымын күрт өсіреді. Сонымен қатар процестің технологиялық тұрғысынан да байқалған кемшіліктерін де айта кеткен жөн. Шлакты кедейлендіру кезінде мыстың тотықсыздану дәрежесі бар болғаны ~50%-ға дейін ғана жеткен. Мышьяқтың мыс негізіндегі түпкі металл фазасында шоғырлануы оның әрі қарай мақсатты түрде пайдалануын шектейді. Процесте оксидтердің көмірмен физика-химиялық әрекеттесуі кезінде бөлініп шығатын газдардың құрамындағы көмір монооксидінің бөлінуі, газдарды толықтай жағып, оны залалдандыру мақсатымен тотығу жолдарын қарастыруды талап етеді. Бұл өз кезегінде процестің материалдық және энергетикалық шығымдарының күрт өсуіне әкеліп соғады.

Жұмыстың негізгі мақсаты – мысқа бай шлактарды көміртегімен тотықсыздандыру арқылы кедейлендіру процесін тотықсыздандырғыш ретінде қосымша көміртегі монооксидін қолдану арқылы ықшамдау және жаңа шарттарда мыс, қорғасын, мырыш пен мышьякты тауарлы өнімдерге селективті бөліп алу жолдарын зерттеу.

Зерттеу әдістемесі

Жұмыста шлак балқымаларын сатылы өңдеу әдісі қолданылды, оның ішінде келесі сатылар кірді: бірінші сатыда шлак балқымасын CO-CO_2 газ қоспасымен тотықсыздандыру өткізілді, осыдан кейін өңделген шлак CO-CO_2 газ қоспасымен интенсивті барботажау кезінде қатты көміртегімен тотықсыздандыру арқылы терең кедейлендірілді.

В қосымшасының жалғасы

Термодинамикалық система мәндерінің өзгеруі бойынша көмірқұрамды тотықсыздандырғыштар мен шлак компоненттерінің арасында жүретін реакциялардың жүру бағытын бағалау өткізілді. Термодинамикалық талдау реакцияның изобара-изотермиялық потенциалдарының (Гиббстың еркін энергиясы) температурадан тәуелділігін ескере өткізілді. Гиббстың еркін энергиясы (ΔG_T°) өзгеруін келесі формула арқылы есептелді:

$$\Delta G_T^\circ = \Delta H_T^\circ - \Delta S_T^\circ \cdot T, \quad (1)$$

мұнда: ΔH_T° , ΔS_T° - энтальпия мен энтропия системаларының сәйкесінше стандартты мәндері;

T – абсолюттік температура, K .

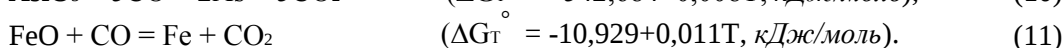
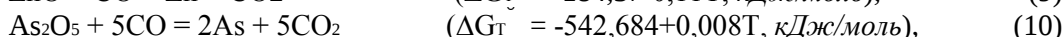
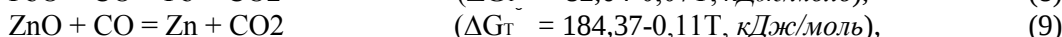
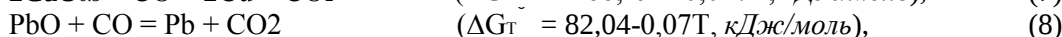
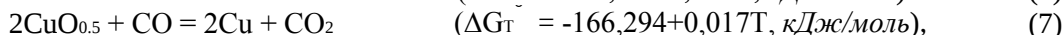
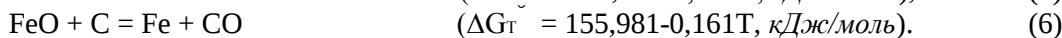
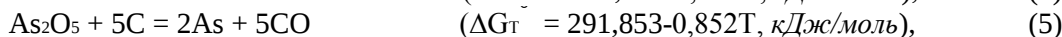
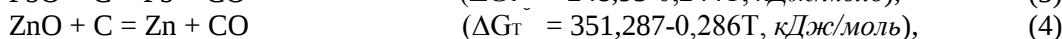
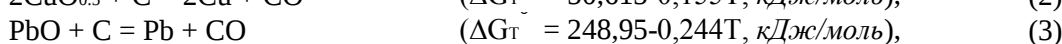
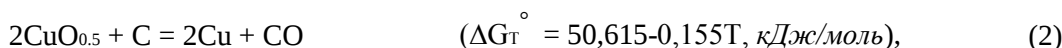
Тәжірибелік зерттеулер, термодинамикалық есептеулер нәтижесін ескере және түсті металдар, темірді және мышьяқты алынатын өнімдерге кешенді бөліп алуға негізделі өткізілді.

Барлық тәжірибелерде келесі құрамды шлак қолданылды: %: Cu -0,85%, Zn -1,12%, As -0,03, Fe -33,91%, SiO₂ -30,95%, CaO -19,5%, Al₂O₃ -0,52% және басқалары – 12,13%.

Тәжірибелік жұмыстар 1273 C температурада жүргізілді.

Түсті металдар, темір, мышьяк оксидтерін көміртегі және көміртегі монооксидімен тотықсыздандыру реакцияларының термодинамикалық есептеулері

Түсті металдар, темір, мышьяк оксидтерін көміртегі және көміртегі монооксидімен тотықсыздандырудың механизмі [2] жұмыста толықтай зерттеліп, төменгі реакциялардың жүруімен түсіндірілген:



1 кестеде (2) - (11) реакцияларының 1273...1573 K температура аралығында есептелген Гиббс энергиясының мәндері көрсетілген.

Кестеден көрініп тұрғандай, қарастырылып отырған реакциялардың топтамасынан, (9), (11) реакцияларынан басқа, қалған реакциялардың жүру мүмкіншілігі едәуір жоғары. (9), (11) реакцияларының 1273...1573 K температура аралығында есептелген Гиббс энергиясының оң мәндері олардың жүруінің мүмкін еместігін көрсетеді.

Кесте 1. (2) - (11) реакцияларының 1273...1573 K температура аралығында есептелген Гиббс энергиясының мәндері

Реакция	ΔG_T° , кДж/моль			
	Температура, K			
	1273	1373	1473	1573
$\text{CuO}_{0.5} + \text{C} = 2\text{Cu} + \text{CO}$	-146,3	-161,54	-178,22	-192,33
$\text{PbO} + \text{C} = \text{Pb} + \text{CO}$	-61,44	-86,06	-110,45	-134,62
$\text{ZnO} + \text{C} = \text{Zn} + \text{CO}$	-13,17	-41,97	-70,6	-99,08
$\text{As}_2\text{O}_5 + 5\text{C} = 2\text{As} + 5\text{CO}$	-791,79	-877,7	-962,86	-1047,26
$\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$	-49,38	-65,61	-81,75	-97,79
$\text{CuO}_{0.5} + \text{CO} = 2\text{Cu} + \text{CO}_2$	-94,39	-92,37	-91,85	-88,84
$\text{PbO} + \text{CO} = \text{Pb} + \text{CO}_2$	-9,53	-16,88	-24,08	-31,14
$\text{ZnO} + \text{CO} = \text{Zn} + \text{CO}_2$	38,73	27,2	15,76	4,4
$\text{As}_2\text{O}_5 + 5\text{CO} = 2\text{As} + 5\text{CO}_2$	-532,24	-531,81	-531	-529,83
$\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$	2,52	3,56	4,62	5,69

В қосымшасының жалғасы

(2), (5), (7) және (10) реакциялардың Гиббс энергиясының жоғары теріс мәндері мыс пен мышьяқты олардың оксидтерінен тікелей тотықсыздандыру кезінде металды мыс пен мышьяқтың түзілетінін айқын көрсетіп тұр.

Шлакты кедейлендіру процесі кезінде жоғары температурада (1473 К) тотықсыздандыру негізінде бөлініп шыққан металды мыс бөліне бастап, балқыманың астында түпкі фазаны түзеді. Бұл жағдайда, мыс оксидін көміртегімен және оның монооксидімен тотықсыздандыру кезінде қарастырылып отырған реакциялардың Гиббс энергиясының мәндері жоғары теріс мәнге тең екендігін ($\Delta G^{\circ}_{1473} = -178,22$ кДж/моль и $\Delta G^{\circ}_{1473} = -91,85$ кДж/моль, сәйкесінше) және Гиббс энергиясының температураның өсуімен артатынын айта кеткен жөн. Авторлардың тұжырымдамасы бойынша металды мыстың бөлініп алынуының алдында түзілетін металды мышьяк ең әуелі газға, ал мыс фазасы пайда болған кезде, Cu-As бинарлық күй диаграммасына сәйкес [3], мыс фазасында еріп, шоғырлана бастайды.

Қорғасын және мырыш оксидтерінің көмірмен тотықсыздандыру реакцияларының Гиббс энергиясының мәндері, кедейлендіру процесінің температурасында (1473 К), жоғары теріс мәндерге ие ($\Delta G^{\circ}_{1473} = -110,45$ кДж/моль и $\Delta G^{\circ}_{1473} = -70,6$ кДж/моль, сәйкесінше). Бұл реакциялардың жүруі металды қорғасын мен мырыштың түзілу жағына қарай ығысқанын көрсетеді. Түзілген металды қорғасын мен мырыш шлакты кедейлендіру кезінде газдарда шоғырланып, ұшады.

Темірдің оның оксидінен тотықсыздандыру тек қана көмірмен жүреді ($\Delta G^{\circ}_{1473} = -81,75$ кДж/моль). (7) реакция бойынша түзілетін металды темір, сұйық металды мыста еріп, түпкі фазада шоғырланады. Түпкі фазада мысты темір фазасы түзіледі. Темір оксидін көмір монооксидімен тотықсыздандыру мүмкін емес, себебі бұл реакцияның Гиббс энергиясы оң мәнге ие.

Тәжірибелік зерттеулер нәтижесі және оларды талдау

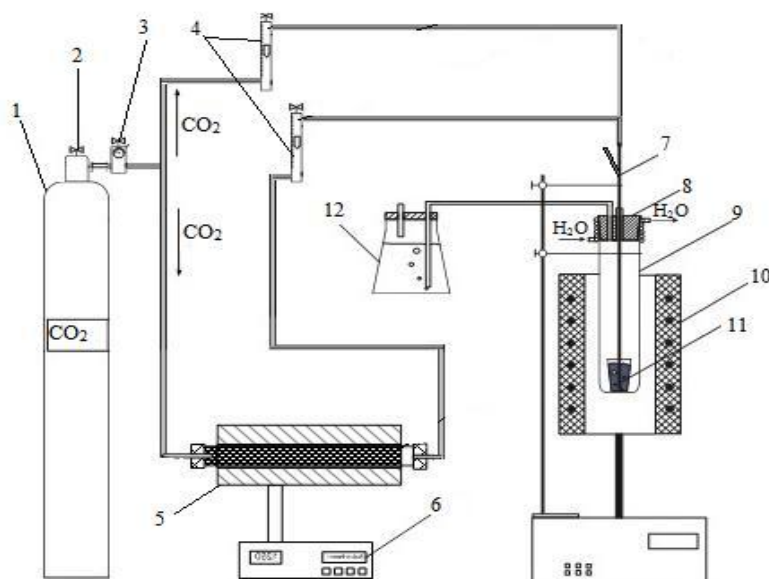
Тәжірибелік зерттеулер негізіне [1] жұмыста қолданылған шлакты кедейлендіру әдісі алынды. Бұл жұмыстың авторлары шлакты көмірмен кедейлендіру арқылы мыс пен темірді түпкі фазаға бөліп алудың әдісін көрсеткен. Алайда, алынған оң нәтижелерге қарамастан бұл әдіс бойынша авторлар мысты түпкі фазаға максималды өткізуге, қаншама тотықсыздандырғыштың мөлшерін ұлғайтса да, қол жеткізе алмады. Сонымен қатар бұл әдіс бойынша қорғасын, мырыш пен мышьяқтың газға максималды шығынын алу да мүмкін болмады. Шлакты кедейлендіру кезінде мышьяк газбен бірге ұшуымен қатар, металды сұйық мыста еріп, түпкі фазада шоғырланды. Кедейлендіруден кейін алынған мысты шойында мышьяк болғандықтан оны әрі қарай тауарлы өнім алу үшін қолдану шектеулі. Анықталған кемшіліктер қосымша тәжірибелік зерттеулерді жүргізуді қажет етеді.

Жұмыста жүргізілген зерттеулерде шлакты екі сатылы жолмен кедейлендіру әдісі қолданылды. Бірішілей кедейлендіру СО-СО₂ газ қоспасымен, екінші сатысы көмір мен СО-СО₂ газ қоспасының қолдануымен жүргізілді. Бұл таңдалған жол бірінші сатыда СО-СО₂ газ қоспасымен мышьяқты толық оксидтен бөліп алып, газдарда шоғырландыруға мүмкіндік береді. Екінші сатыда көмір мен СО-СО₂ газ қоспасымен шлакты кедейлендіру түсті металдар мен темірді максималды тауарлы өнімдерге бөліп алуға мүмкіндік береді.

Тәжірибелерді жүргізу әдістемесі.

Шлактарды кедейлендірудің зертханалық құрылғысының жалпы сұлбасы 1 суретте көрсетілген.

В қосымшасының жалғасы



1 сурет - Шлактарды кедейлендірудің тәжірибелік құрылғысының сұлбасы

- 1 – көмірқышқыл газы бар баллон; 2 – газды вентиль; 3 – газды редуктор;
 4 – ротаметр; 5 – көмірі бар кварцты реактор; 6 – түтікшелі қыздырғыш пеш;
 7 – үрлеу түтікшесі; 8 – сумен суытылатын тығын; 9 – кварцты реактор;
 10 – құбырлы қыздыру пеші; 11 – балқымасы бар тигель; 12 – Дрексель ыдысы.

Құрылғы, номиналды жұмысшы температурасы 1300°C дейін болатын айналмалы құбырлы қыздыру электр пешінен 9 тұрады. Пешке штативте ұстағышпен бекітілген кварцты реактор 8 енгізілген. Бастапқы материалдар тиелген тигельді 10 реакторға орналастырады. Реактор сумен суытылатын резеңкелі тығынмен 7, ауа кірмейтіндей етіп, герметикалық күйінде жабылады. Тығынның суытылуы реактордың жоғарғы бөлігінде оралған резеңкелі шланг арқылы су құбырынан су өткізу арқылы жүзеге асырылады.

Реактордың герметикалық жабылуы тигельді қыздыру кезінде реактордың ішінде кедейлендіру процесінде балқыма үстінде тотықсыздандыру атмосферасын беру мақсатымен қамтамасыз етіледі. Реакторды жабатын тығында екі саңылау бұрғылап тесілген. Бір саңылау арқылы иілгіш емес каналдар құру үшін кварцты түтікшенің қысқа кесіндісі орнатылған. Екінші саңылау каналына, фарфордан жасалған, үрлеу түтікшесі 6 кигізілген.

Үрлеу түтікшесінің каналға кіру орны биіктігі бойынша түтікшені қозғалтуға мүмкіндік беретін термоотырғызу кембриктері көмегімен герметизацияланған. Үрлеу түтікшесі, иілгіш шлангтарымен ротаметр 5 арқылы көмір қышқыл газы 14 бар баллонға қосылған. CO/CO_2 газ қоспасын алу мақсатында көмір қышқыл газы бар баллоннан CO_2 газы екіге бөлініп, газдың бір бөлігі CO газын алуға көмірі бар кварцты реактор 12 орналасқан түтікшелі пешке 13 барса, екінші бөлігі бірден тигельге беріледі. Реактордан шығатын газдар шаң ұстау мен барлық жүйенің герметикалығын бақылауына арналған суы бар Дрексель ыдысы 11 арқылы өткізіледі.

Тәжірибелерді жүргізу әдістемесі 2 сатыдан тұрады. Бірінші сатысында құрамында қоспа металдардан мышьяк пен қорғасынды ұшыру мақсатында CO/CO_2 газ қоспасымен үрлейді. Алдымен алундты тигель түбіне құрамы жалпы массасы 60 г ұсақталған шлак өлшендісі салынады. Шлакпен тигельдің желінуін алдын алу мақсатында бастапқы өлшендіге Al_2O_3 аз мөлшерін қосамыз. Бастапқы өлшендісі бар тигель, электр пешінде орнатылған кварцты реакторға енгізіледі. Фарфордан жасалған үрлеу түтікшесін, оны тігінен төмен қозғалтқан кездегі соңғы қалпы тигель түбіне жететіндей етіп, биіктігінен орнатылады.

Пештің қыздырылуы басталған кезде реакторға CO/CO_2 газ қоспасы беріледі. Реактордың бос кеңістігінің CO/CO_2 газ қоспасы үрлену кезінде (көлемінен бес есе артық мөлшермен есептегенде) реактордан ауа ығыстырылып шығады да пештің жұмысшы аймағында тотықсыздандырғыш атмосфера болады. Пеште қажетті температураға 1300°C қол жеткізгеннен кейін, түтікше тигель түбіндегі балқымаға дейін батырылып, балқыма CO/CO_2 газ қоспасымен үрлене бастайды. Үрлеу үшін пайдаланылған CO/CO_2 газ шығыны барлық сынақтарда тұрақты болып, 3 мл/мин құрады.

В қосымшасының жалғасы

Газбен үрлеу уақыты – 10 мин. Үрлену уақыты аяқталғаннан кейін сынамаларды анализге алады. Ал жартылай тотықсызданған шлакты ары қарай екінші сатыда өңделеді.

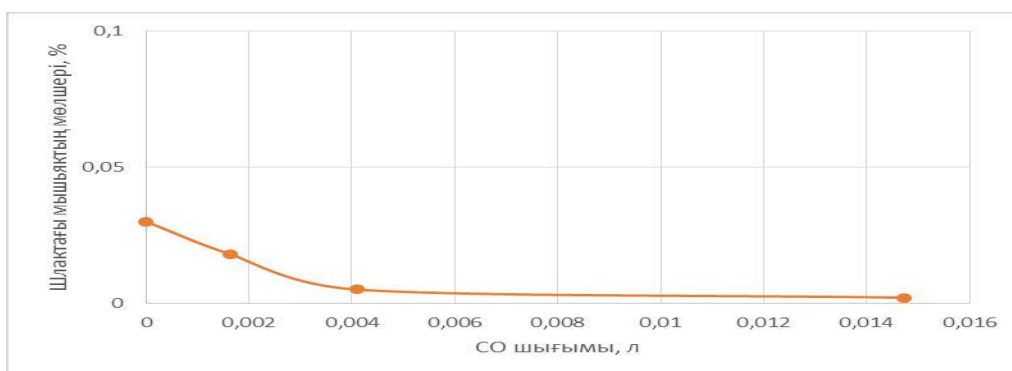
Екінші сатыда шлак балқымасы бар тигельге үрлеу түтікшесінде орналасқан арнайы тесік арқылы көмір салынып, содан соң шлакты газ қоспасымен үрлеу басталады. Бұл кезде көмір шлак құрамындағы мысты, мырышты және темірді тотықсыздандырып түпкі фазаға өткізеді. Сонымен қатар балқымаға көмір салғаннан кейін түтікше балқымаға қайтадан батырылып CO/CO₂ газ қоспасы беріледі. Газбен үрлеу уақыты 20 мин құрайды. Қажетті уақыт өткеннен кейін үрлеуді тоқтатпай, пешті сөндіреміз. Тигель реактордағы тотықсыздандыру атмосферасында суытылады. Пеш суығаннан кейін тигельды реактордан шығарып, бөлме температурасында суда шынықтырамыз. Алынған мысты шойын шлактан бөлінгеннен кейін, алынған фазаларды өлшеуге, содан соң, сандық элементтік талдау жүргізуге жіберіледі.

Шлак сынамасына екіншілей мысты шойын өлшенділері бөлшектерінің (шлакты кристалдандыру кезінде) түсіп кету мүмкіндігін минимизациялау үшін, шлак үлгісін оның көлемінің белгілі бір орындарынан алынады. Химиялық талдауға жіберілетін шлак үлгісі, тигель қабырғаларына, шлак пен мысты шойынның орталық бөлігі мен бетіне жанасатын шлак бөлшектері оған түспейтіндей етіп алынады.

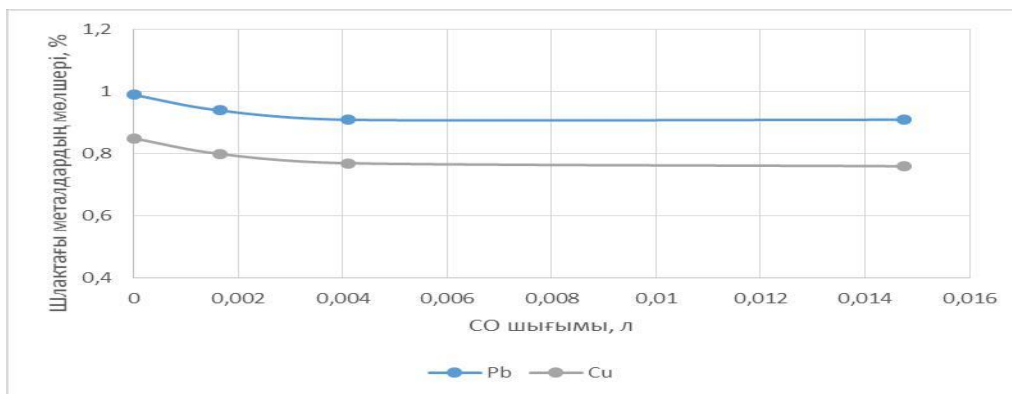
Нәтижелер мен оларды талқылау

Бірінші сатының мақсаты – шлакты CO-CO₂ газ қоспасымен кедейлендіру. Алдын ала жүргізілген тәжірибелердің нәтижесінде мышьяқтың шлакты CO-CO₂ газ қоспасымен кедейлендіру кезінде максималды газға өткізу 7 минутта жететіні анықталды. Сонымен қатар аз мөлшерде қорғасын газға өтуі және мыстың тотықсыздануы жүреді. 2 (А) және (Б) суреттерінде шлакты CO-CO₂ газ қоспасымен кедейлендіру кезінде мышьяк, мыс, қорғасынның мөлшерлерінің CO-CO₂ газ қоспасының шығымынан тәуелділігі көрсетілген. Мышьяк, мыс пен қорғасынның мөлшері, шлакты CO-CO₂ газ қоспасымен үрлеген кезде, 0,03%-дан 0,002%-ға дейін, 0,85%-дан 0,76%-ға дейін және

0,99%-дан 0,91%-ға дейін сәйкесінше төмендеуі көрініп тұр.



А)

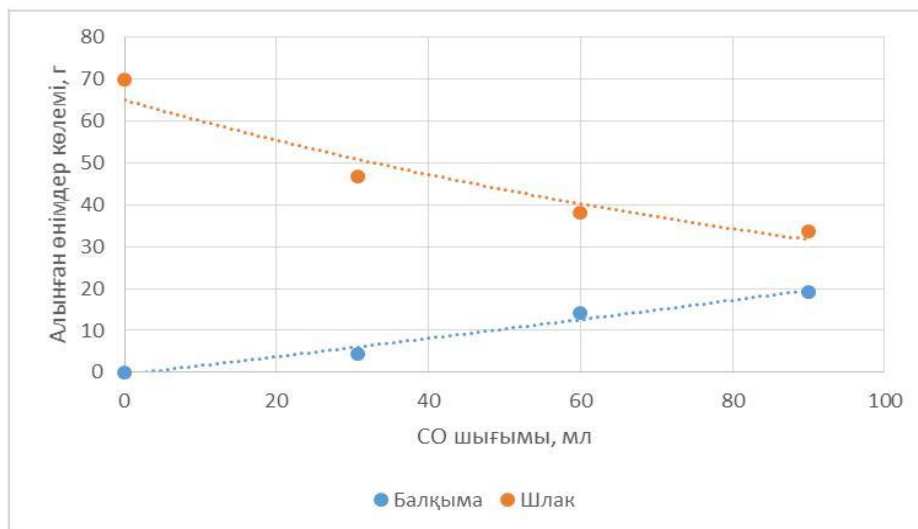


Б)

Сурет 2. Шлактың металл мөлшерлерінің CO шығынынан тәуелділігі
А) – мышьяк; Б) – мыс, қорғасын.

В қосымшасының жалғасы

Шлак, кедейлендірудің бірінші сатысы аяқталғаннан кейін, оны түсті металдар мен мышыяктан толық кедейлендіру мақсатымен екінші сатыға – көмір мен CO-CO_2 газ қоспасымен тотықсыздандыруға жіберіледі. Қатты көмірдің шығыны барлық жүргізілген зерттеулерде тұрақты болды. Көмірдің шығыны түсті металдар мен темірді тотықсыздандыруға керекті стехиометриялық мөлшерінен 10 % тең болып алынды.



3-суретте шлакты толық екі сатылы кедейлендіру бойынша алынған ағымдардың балансы көрсетілген. Алынған өнімдердің химиялық құрамы 2 кестеде көрсетілген.

В қосымшасының жалғасы

Кесте 2. Екінші сатыдан кейін алынған өнімдердің химиялық құрамы

Өнімнің атауы	Металдардың мөлшері, %							
	Cu	Pb	Zn	Fe	As	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
Бастапқы шлак	0,85	0,99	1,12	33,91	0,03	30,95	19,5	0,52
Мысты шойын	2,54	0,04	0,1	93	0,003	-	-	-
Шлак	0,08	0,07	0,104	7,84	0,0012	55,81	35,17	0,94

Жұмыста ұсынылып отырған шлакты екі сатылы жолмен кедейлендіру кезінде түсті металдар, темір және мышыякты тікелей өнімдерге максималды бөліп алуға болатыны дәлелденді. Жаңа әдіс бойынша шлакты кедейлендіру барысында алынған құрамында 2,54 % мысы бар мысты шойын әрі қарай ірі материалдарды ұнтақтауға арналған аспаптардың шарларын дайындау үшін қолданылуы мүмкін.

Мыстың мысты шойынға тікелей шығымы 95%. Қорғасын, мырыш және мышыяқтың газға шығымы – 94%, 95% және 97% сәйкесінше.

Қорытынды

1. Құрамында мыстың мөлшері жоғары шлактарды екі сатылы кедейлендірудің жаңа әдісі құрастырылды. Кедейлендірудің бірінші сатысында көмірдің монототығымен шлактан мышыякты тотықсыздандырып газға ұшыру болды, осыдан кейін алынған шлак арықарай түсті металдар мен темірді көмір және CO-CO_2 газ қоспасымен толықтай кедейлендірілді.

2. Тәжірибелік зерттеулердің нәтижесінде мыстың түпкі фазаға шығыны 95%, қорғасын, мырыш және мышыяқтың газға ұшуы – 94%, 95%, 97% сәйкесінше құрайтыны анықталды.

3. Құрастырылған әдіс бойынша шлактарды кедейлендіру нәтижесінде арықарай максатты қолдануға жарамды өнімдер алынды: мысты шойын байытуда қолданылатын ұнтақтау диірмендерінің шарларын, тастанды шлактар құрылыс материалдарын және қорғасын-мырышты ұшқындар қорғасын өндірісіне қорғасынды және мырышты алуға жөнелтіледі.

ӘДЕБИЕТТЕР

[1] Жолдасбай Е.Е., Сейткулова Ж.Б., Нурлан Г.Б., Курмансейтов М.Б., Досмухамедов Н.К. Автогенді процестерінің мыс құрамды шлактарын тотықсыздандыру арқылы кедейлендіру // Вестник КазНТУ. – 2016. – №2. – С.388-395

В қосымшасының жалғасы

- [2] Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Нурлан Г.Б., Сейткулова Ж.Б. Исследование поведения цветных металлов, железа и мышьяка при восстановительном обеднении богатых по меди шлаков // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – №1, Ч.4. – С.486-491.
- [3] Диаграммы состояния двойных металлических систем // Ред. Лякишева Н.П. –М.: Машиностроение, 1996-2000.
- [4] Мечев В.В., Быстров В.П., Тарасов А.В. Автогенные процессы в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1991.
- [5] Нус Г.С. Обеднительная шлаковая электропечь – технологическое долголетие // Цветные металлы. – 2009. – № 2. –С. 59-61.
- [6] Русаков М.Р. Процессы высокоинтенсивной электроплавки и высокоинтенсивного обеднения шлаков // Новые процессы в металлургии никеля, меди и кобальта. Теория и практика. Труды Института Гипрникель. –М.: Изд. Дом «Руда и металлы». – 2000. – С.126-138.
- [7] Moskalys R.R., Alfantazi A.M. Review of copper pyrometallurgical practice: today and tomorrow // Minerals Engineering. –2003. – V.16. – P.893–919.
- [8] Nagamori M. Metal loss to slag: Part I. Sulfidic and oxidic dissolution of copper in fayalite slag from low grade matte // Metallurgical Transactions. – 1974. – V.5. – P.531-538.
- [9] Norbert L. Piret. Cleaning copper and Ni/Co slags: The technical, economic, and environmental aspects // JOM. – 2000. – V. 8. – P.18-20.
- [10] Hughes S. Applying ausmelt technology to recover Cu, Ni, and Co from slags // JOM. – 2007. – V.52. – P.30-33.
- [11] Demetrio S., Ahumada J., Duran M.A., Mast E. Slag cleaning: The Chilean copper smelter experience // JOM. – 2000. – V.8. – P.20-25.

Досмухамедов Н.К., Жолдасбай Е.Е., Курмансейтов М.Б., Токтарова А.Е., Ахмеджанов Ж.С.

Способ извлечения цветных металлов и железа из богатых по меди шлаков в товарные продукты

Резюме. Несмотря на множество работ в технической литературе, посвященных процессам обеднения по меди шлаков, при разработке нового способа необходимо уделять особое внимание на комплексность извлечения ценных металлов в целевые продукты. Надо сказать, что решение поставленной задачи – вызывает большой интерес со стороны технико-экономических и экологических показателей.

В работе исследованы пути селективного извлечения меди, свинца, цинка и мышьяка в товарные продукты при обеднении высокомедистых шлаков углем и газовой смесью CO-CO₂. С этой целью в работе разработан двух стадийный способ обеднения шлаков.

Установлено, что при обеднении шлаков разработанным двух стадийным способом можно достичь максимального извлечения цветных металлов и железа в целевые продукты. При обеднении шлаков новым способом установлено, что извлечение меди в медистый чугун составило ~95%, извлечение свинца, цинка и мышьяка в газы составило 94%, 95% и 97% соответственно.

Ключевые слова: высокомедистый шлак, обеднение, монооксид углерода, медистый чугун.

Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Nurlan G.B., Toktarova A.E., Ahmedzhanov Zh.S.

Method of extraction of nonferrous metals and iron from the rich copper slag in a commercial product

Annotation. Although a lot of work in the technical literature for to processes of impoverishment copper slags, in the development of a new method is necessary to pay special attention to the complexity of the extraction of precious metals in the desired products. Especially to the specific conditions of the process of impoverishment and study the behavior of impurity metals in depletion. It must be said that the solution of the problem - is of great interest from the technical, economic and environmental indicators.

In the paper the way selective recovery of copper, lead, zinc and arsenic in commercial products at high copper slag depletion of coal slag and a gas mixture of CO, CO₂. To this end, the two developed a method steps slag depletion.

It was found that the depletion of the slag developed two step way possible to achieve the maximum recovery of non-ferrous metals and iron into the desired products. When slag depletion new method found that copper recovery in cupreous iron was ~ 95% and the recovery of lead, arsenic and zinc into gases was 94%, 95% and 97% respectively.

Keywords: high copper slag slag depletion, carbon monoxide, cupreous iron.

В қосымшасының жалғасы

Chemical and metallurgical sciences

<i>Orazbayev B.B., Kenzhebayeva T.S., Orazbayeva K.N., Akulbekova B.T.</i> THE METHOD OF CONSTRUCTING MODELS OF CHEMICAL PROCESSES IN THE CONDITIONS OF SCARCITY AND LACK OF CLARITY OF THE INITIAL INFORMATION AND THE OPTIMIZATION OF THEIR OPERATING MODES.....	565
<i>Zhakupbayev B.Ye., Kulmakhanova A.Sh., Muzdybek M.Ye., Kolesnikov A.S., Kocherov Ye.N., Pernebay Zh.</i> PHYSICO-CHEMICAL STUDIES OF THE COMPOSITIONS OF LOESS-LIKE LOAMS OF THE SHYMKENT DEPOSIT.....	571
<i>Dosmukhamedov N.K., Zholdasbay E.E., Nurlan G.B., Toktarova A.E., Ahmedzhanov Zh.S.</i> METHOD OF EXTRACTION OF NONFERROUS METALS AND IRON FROM THE RICH COPPER SLAG IN A COMMERCIAL PRODUCT.....	575
<i>Dyussebayev D.M., Tulebaeva A.A., Atanova O.V.</i> APPLICATION OF ION-EXCHANGE TECHNOLOGIES IN THE METALLURGICAL INDUSTRY OF KAZAKHSTAN.....	583
<i>Bekeshev A.Z., Bredikhin, P.A., Akhmetova M.K., Kadykova Y.A.</i> THE STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF BASALT FILLED POLYOLEFINS.....	588
<i>Beysembayev O.K., Ivahnenko A.P., Turemuratov R.S., Seidulla Sh.S., Daurenbekova K.P.</i> RESEARCH OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF DEPRESSORS ON THE BASIS OF FINILANTRAUNYLIC ACID, ETHYLENE GLYCOL AND SEBACINE ACID FOR KUMKOL OIL AND DIESEL FUELS ON ITS BASIS.....	594
<i>Kerimkulova A.Zh., Myrzaliyeva S.K., Kurbanova U.</i> REGENERATION OF NATURAL SORBENTS CONTAMINATED BY OIL.....	600
<i>Kaldibayeva G., Kadirbayeva A.A., Iskakova T., Raiymbekov Y.B.</i> RESEARCH STRUCTURE AND PURIFICATION OF BOILED SALT.....	605
<i>Baigenzhenov O.S., Luganov V.A., Chepushtanova T.A., Akbarov M.S., Shakirova D.T., Sarsembaeva M. R.</i> EXTRACTION OF NICKEL FROM ASBESTOS WASTES.....	609
<i>Mytlykbaeva Zh. K., Kaiyrbekov Zh. K., Muktaly D., Seisembekova A. B.</i> OXIDATIVE DESULFURIZATION OF HYDROCARBONS	613
<i>Uzakov Y. M., Taeva A.M., Makangali K. K., Uzakov Y.Y., Baykovuly A.</i> INVESTIGATION OF THE PHYSICO-CHEMICAL COMPOSITION OF CAMEL.....	620
<i>Issagulov A.Z., Kvon Sv.S., Kulikov V.Yu., Sidorina E.A., Nassenov T.E.</i> STUDY OF BORON ON THE HEAT RESISTANCE PROPERTIES OF THE ALLOYS.....	625
<i>Maksutova K., Alibekov A., Zhumagaliyeva A., Doszhanov Ye., Alfe M., Gargiulo V.</i> OBTAINING OF CARBON SORBENTS BASED ON RICE HUSK FOR CAPTURE OF CARBON DIOXIDE.....	629
<i>Shabdan E., Nuraje N., Dikhanbayev K.K.</i> STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF TITANIUM DIOXIDE (TiO ₂), OBTAINED BY MAGNETRON SPUTTERING IN VACUUM.....	634

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу
магистранта группы 6M070900-Металлургия **Ахмеджан Ж. С.**
на тему: «**Исследование физико-химических свойств богатых по меди шлаков
при плавке медных концентратов на черновую медь**»

В диссертационной работе Ахмеджана Ж.С. на основании исследования физико-химических свойств многокомпонентной системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ определено влияние различных параметров: температуры, содержание оксида кальция на ее вязкость, которые имеют принципиальное значение для совершенствования технологического процесса плавки медных концентратов на черновую медь.

В работе проанализирован обширный материал по рассматриваемому направлению исследований, который охватывает технологию действующего производства, последние достижения в теоретических и экспериментальных исследованиях применительно к переработке богатых по меди шлаков медного производства в печи Ванюкова.

Ахмеджан Ж. С. проявил себя достаточно грамотным, вполне сформировавшимся исследователем, способным творчески подходить к решению поставленных научных задач. Им правильно и полно проведены эксперименты по определению вязкости, температуры ликвидус и растворимости оксида меди в системе $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$, экспериментально изучены формы нахождения металлов в шлаках, разработаны практические рекомендации по осуществлению процесса переработки высокомедистых шлаков. Результаты исследований обработаны и представлены в виде таблиц, регрессионных уравнений и графических зависимостей.

Диссертационная работа магистранта заслуживает оценки **отлично** (92%), а Ахмеджан Жарас Сергейұлы присвоения степени «**Магистр**» по направлению подготовки «**Металлургия**».

Научный руководитель
ассоц. профессор, к.т.н.
(подпись, уч. степень, звание)



Досмухамедов Н.К.

2019 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на магистерскую диссертацию
(наименование вида работы)

Ахмеджан Жарас Сергейұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

6M070900 – «Металлургия»
(шифр и наименование специальности)

На тему: «Исследование физико – химических свойств богатых по меди шлаков при плавке медных концентратов на черновую медь»

Выполнено:

- а) графическая часть на _____ листах
б) пояснительная записка на _____ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Диссертационная работа **Ахмеджан Ж.С.** посвящена исследованию вязкости многокомпонентной системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$. В технической литературе данные о вязкости расплавов многокомпонентной системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ ограничены. Потребность в этих данных весьма актуальна для разработки автогенных технологий на богатый штейн, а также при организации высокоэффективных способов обеднения высокомедистых шлаков цветной металлургии.

В работе приведены результаты исследований по определению вязкости многокомпонентной шлаковой системы $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ в области высоких содержаний меди и установлены закономерности влияния температуры и оксида кальция на величину вязкости исследуемых оксидных расплавов. Определены температуры кристаллизации высокомедистых шлаковых расплавов. Установлены оптимальные композиции шлаков $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$, обеспечивающие наличие одной стабильной жидкой фазы насыщенной оксидом меди. Построена линия ликвидус в системе $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$ в виде проекции на плоскость $\text{Cu}_2\text{O}-\text{FeO}/\text{SiO}_2-\text{CaO}$.

Вопрос по работе: Как изменяется температура ликвидус с ростом содержания оксида меди в шлаковом расплаве?

Оценка работы

Выпускная магистерская работа заслуживает оценку **отлично (92%)**, а **Ахмеджан Жарас Сергейұлы** присвоения степени «**Магистр**» по специальности 6M070900 – «Металлургия».

Рецензент

Технический директор «Arna Solution», к.т.н.
(должность, уч. степень, звание)

Рахимбаев Б.С.
(подпись)

«16» Май 2019 г.



Университет:	Satbayev University
Название:	Исследование физико-химических свойств богатых по меди шлаков при плавке медных концентратов на черновую медь
Автор:	Ахмеджан Жарас Сергейұлы
Координатор:	Нурлан Досмухамедов
Дата отчета:	2019-05-14 13:38:21
Коэффициент подobia № 1: ?	4,6%
Коэффициент подobia № 2: ?	1,6%
Длина фразы для коэффициента подobia № 2: ?	25
Количество слов:	3 689
Число знаков:	27 295
Адреса пропущенные при проверке:	
Количество завершенных проверок: ?	34

! К вашему сведению, некоторые слова в этом документе содержат буквы из других алфавитов. Возможно - это попытка скрыть позаимствованный текст. Документ был проверен путем замещения этих букв латинским эквивалентом. Пожалуйста, уделите особое внимание этим частям отчета. Они выделены соответственно.

Количество выделенных слов 39

>>

Самые длинные фрагменты, определенные, как подобные

>>

Документы, в которых найдено подобные фрагменты: из RefBooks 1

>>

Документы,содержащие подобные фрагменты: Из домашней базы данных

>>

Документы,содержащие подобные фрагменты: Из внешних баз данных

>>

Документы,содержащие подобные фрагменты: Из интернета