

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i1.02>

A review of experiments with the aim of eliminating high amounts of phosphorus in the composition of Lisakovsk concentrate

Ye. Mukhametkhan^{*1}, M. Mukhametkhan¹, G.G. Zhabalova¹, S.M. Tleugabulov¹, D.A. Kovalev², G.M. Koishina³

¹Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

²National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

³Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: mukhametkhan.yerlan@mail.ru

Abstract. Currently, the Lisakovsk field is one of the raw material bases of ArcelorMittal Temirtau JSC. However, at present, their use in metallurgical production is limited due to the high content of phosphorus. It was found that phosphorus in Lisakov concentrate is present in the form of various minerals (ooliths, vivianite, hydrogetite) and compounds (iron phosphates, hydrated phosphorus components). By reacting with the gaseous compounds of these different iron phosphates, conditions can be created to reduce excess phosphorus. This article discusses the thermodynamic interaction of iron phosphate with various gaseous components.

The object of the study is the Lisakov gravitational-magnetic concentrate, which contains up to 0.7% phosphorus. Phosphorus in the composition of phosphorus gravitational-magnetic concentrate is added to the mineral vivianite, which represents the compound of hydrogetite with phosphorus pentoxide. When oxidized to a temperature of 900-1000°C, iron phosphate breaks down into iron oxide and phosphorus pentoxide. The released phosphorus pentoxide is a chemically active and mobile substance. Thus, in the future, this phosphorus pentoxide may undergo decomposition under certain conditions.

Considering the insufficiently studied mechanism of annealing and leaching, as well as the shortcomings of the proposed technologies, initiative studies of pyrogydrometallurgical technology for removing phosphorus peroxide content in the Lisakovsk enrichment using annealing and leaching with sulfuric acid were carried out.

Keywords: phosphorus, concentrate, gravimetry, leaching, burning, anhydride.

1. Кіріспе

Қара металлургияның дамуы өндіріс құралдарын жасаудың және халық шаруашылығының барлық дерлік салаларын техникалық жарактандырудың маңызды шарты болып табылады. Металл өндірісін ұлғайту жұмыс істеп тұрған кәсіпорындардың қуатын кеңейту және темір кенін өндіру жөніндегі жаңа кәсіпорындарды игеру есебінен шикізат базасын дамытуды көздейді. Темір кені өндірісіндегі үлес салмағы шамамен 90%-ды құрайтын өндірудің ашық тәсілі келешекте басым болып қалады.

Қазіргі таңда Қазақстандағы темір кенінің қоры 16.6 млрд.т. шамасында бағаланады, бұл әлемдік қордың 8%-ын құрайды. Темір кенінің 90%-ға жуығы Солтүстік Қазақстанның Торғай аймағында шоғырланған, қалған бөлігі Орталық Қазақстанда орналасқан [1].

Республикамызда бекітілген 6 млрд.т. астам қоры бар бірнеше темір кен орны игерілуде:

- Соколов-Сарыбай (Қашарды қосқанда), бекітілген қоры 2500 млн.т. астам; темір мөлшері 38-43%; зиянды қосынды - күкірт;

- Лисаков (ЛКБК), бекітілген қоры 3000 млн.т. астам; темір мөлшері 34-38%; зиянды қосынды - фосфор;

- Атасу (Кентөбе, Қаражал), бекітілген қоры - 800 млн.т. астам; темір мөлшері 48-70%; зиянды қосынды - күкірт;

- Атаңсор, бекітілген қоры 39 млн.т. астам; темір мөлшері 37-57%; зиянды қосындылары жоқ.

Бүгінгі уақытта «АрселорМиттал Теміртау» АҚ комбинатында шойын балқыту үшін келесідей күрделі құрамды қолайсыз темір кенінен дайындалатын шихта қолданылады:

- құрамында күкірт мөлшері көп әрі механикалық беріктігі төмен ССКБК жұмаршақтары мен байытпалары;

- құрамында фосфор мөлшері көп (0.8% дейін) және темір мөлшері аз Лисаков байытпалары;

- темір мөлшері төмен (48.0%-дан аз), марганец пен күкірт мөлшері жоғары байытылмаған атасудың темір-марганец кендері;

- күкірт жоғары мөлшердегі (3.5% дейін) кентөбенің магнетитті кендері.

Байытылмаған кендер бүгінгі күні талғамды алу әдісімен өндіріледі, алайда бұл жақын арада Атасу, Атаңсор, Кентөбе, Балбырауын кен орындарының белсенді баланстан шығып қалуына әкеледі [1-3].

Темір кенді шикізаттың әлемдік нарығында құрамында темірі бар өнімдердің сапасына жоғары талаптар қойылуда, әсіресе, құрамындағы темір мөлшері 65-70% әрі зиянды қосындылар (кремнийдің қос тотығы, күкірт және фосфор) аз мөлшерде болуы тиіс. Осылайша, шетелдік байыту фабрикаларында құрамында 25-44% темірі бар кедей кендерден байыту арқылы

құрамында 64-70.5% темірі бар ірілігі 0-0.044 мм құрайтын байытпалар өндіріледі. Темір кенді шикізаттың сапасының артуы оны байыту кезіндегі қосымша шығындардан әжептәуір көп металлургиялық қайта өңдеуге кететін шығындарды үнемдеуге жол ашады.

Лисаков темір кен орны Қазақстан Республикасының Қостанай облысында шоғырланған. Кеннің басым бөлігі ұсақ түйірлі әр алуан оолиттер түрінде кездеседі. Кендердің негізгі минералы гидрогетит болып табылады [4-7].

Лисаков кен орнының бәсекеге сай келмейтін темір кенді байытпасы (темір ~ 49.2%, фосфор ~ 0.7%, глиноземнің мөлшері ~ 5%) «АрселорМиттал Теміртау» АҚ әзірше шектеулі көлемде (жылына 1.5 млн.т. шамасында) жеткізіледі.

Лисаков байытпасының құрамындағы фосфоры мен темір қатарласып тотықсызданады және фосфор темірмен бірге қалатыны белгілі. Сондықтан төмен фосфорлы Лисаков гравитациялық-магниттік байытпаларының төмен фосфорлы үлгілерін алу процесін ұйымдастыру бүгінгі таңда маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Лисаков кен орны кендерін өңдеудің қолданыстағы технологиялық схемасы гравитациялық және магниттік байыту әдістерінің жиынтығы болып табылады. «Өркен» ЖШС (Лисаков КБК) ағымдағы өндірісінің байытпаларындағы фосфордың орташа мөлшері 0.60-0.75% құрайды. Фосфордың бұндай мөлшері тауарлық темір байытпасы үшін қолайсыз және оны сату нарығын тарылтады. Лисаков гравитациялық магниттік байытпасын оның фосфорсыздануының арқасында жақсарту қазіргі уақытта өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

2. Зерттеу әдістері

Лисаков гравитациялық-магниттік байытпасы сияқты темір кені шикізатындағы фосфордың 0.65-0.80% жоғары мөлшері оны өңдеудің әлемдік проблемасы болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін көптеген ғылыми зерттеулер мен технологиялық әзірлемелер жасалды және орындалды. Бірақ олардың барлығы іс жүзінде фосфорды күкірт қышқылымен шаймалау сияқты гидрометаллургияға негізделген, бұл экологиялық қауіпсіздік пен төмен өндірістік тиімділіктің артуына әкеледі.

Лисаков кен орнының қоңыр теміртасы ашық тәсілмен игерілуде, бұл кенді арзанырақ өндіруді қамтамасыз етеді. «Өркен» ЖШС Лисаков фабрикасында гравитациялық-магниттік тәсілмен гравитациялық-магниттік байытпасын ала отырып, кенді байыту жүргізіледі. Алынған өнім «АрселорМиттал Теміртау» АҚ (Теміртау қ., Қазақстан) агломерациясына келіп түседі. Гравитациялық-магниттік байытпадағы фосфордың жоғарылауына байланысты оған сұраныс шектеулі. «Өркен» ЖШС «АрселорМиттал Теміртау» АҚ құрылымдық бөлімшесі болып табылады. Кен орны 1970 жылдардан бастап игеріліп келеді. Оның негізінде тау-кен байыту комбинаты салынып, жұмыс істейді, оның өнімі құрамында 39-40% темір бар гравитациялық-магниттік байытпа болып табылады. Мұндай байытпаның мөлшері 1 мм-ден аз және құрамында 0.8-0.9% фосфор бар, бұл оны металлургиялық

қайта өңдеуде қолдануды тежейді. Домналық балқыту шарттарында фосфор толығымен дерлік шойын құрамына өтеді. Болат балқыту өндірісінде фосфорды жою үшін шлақты екі рет қалқып алу керек және бұл экономикалық тұрғыдан тиімсіз болып табылады. Шойыннан фосфорды ковштарда жою көптеген шығындарды қажет ететін мәселелі операция екені де белгілі. Сондықтан зерттеушілердің күштері Лисаковск байытпасындағы фосфорды кенді домналық қайта өңдеуге дайындық барысында-ақ жоюды мүмкін ететін жаңа технологияларды іздеуге бағытталған.

Фосфор негізінен ликвацияға бейім, бұл құйманың орталық бөлігінде тұтқырлықтың күрт төмендеуіне әкеледі.

Лисаков темір кені байытпасын дайындау және металлургиялық өңдеу проблемасы оның фосфорлылығында ғана емес, сонымен қатар құрылымдық минерал түзілімдерінде – фосфаттарда да жатыр. Екінші жағынан, бұл минералдардың құрамы мен құрылымын өзгерту мүмкіндігін ашады. Фосфаттар карбонаттар сияқты белгілі бір ыдырау температурасына ие.

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Темір кендерінен фосфорды жоюдың гидрометаллургиялық технологиялары белгілі. Бір ұсыныстарда сода ерітінділерін, ал екіншілерінде кенді сілтілік ерітінділермен, ал келесілерінде тұз қышқылы қолданылады. Испаниялық және француз зерттеушілері бөлме температурасында фосфорды күкірт қышқылымен шаймалауды ұсынады. Мұндай технологияның негізгі кемшілігі – шаймалаудың ұзақтығы (5-25 сағат). Аустралиялық зерттеушілер фосфорды шаймалауды тұрып, 1.0-1.5 сағат бойына 500-600°C температурада алдын ала термиялық өңдеп, одан кейін 60-80°C температурада 2-3 сағат күкірт қышқылымен шаймалауды ұсынады. Тиісінше мұндай технологияның кемшілігі фосфордың ертінді құрамына өтуінің төмендігінде [5-10].

Лисаков байытпасында гидратталған ылғалдың едәуір мөлшері бар екенін көрсетті (12% дейін). Ылғалдың көп бөлігі темір гидраттары түрінде болады және 320-350°C (төмен температуралы гидраттық ылғал) қалыпты температурада ыдырайды. Екінші бөлігі жоғары температурада ыдырайтын фосфор компонентімен байланысты.

Оптикалық микроскопияның көмегімен әр түрлі температурада күйдірілгеннен кейін Лисаков темір кені байытпасының бөлшектеріне сипаттама алынды. Лисаков байытпасының жоғары температурасына тән маңызды сыртқы белгі – бұл оолиттердің бұзылуына әкелетін жарықтар.

Фосфорды жоюды тиімді ету үшін сусыздандыру және жуу жағдайларын жасау қажет. Қоңыр теміртас байытпасы негізінен гидрогетит, кремний қос тотығы, алюминий тотығы, сондай-ақ күрделі алюминий силикат минералдарымен (хлориттер) ұсынылған. Фосфор негізінен гидрогетитпен байланысты, оның Лисаков концентратының оолиттерінде болу формалары туралы консенсус жоқ. Фосфор жеке фазалар түзбейді, байытпада гидрогетиттің құрамында болады және оолит көлемінде біркелкі бөлінеді.

Күйдірілмеген және 400-500°C температураларда күйдірілген байытпалардан фосфор шаймаланбайды. Күйдіру температурасын 800°C дейін және одан әрі арттыра отырып, фосфорды шаймалауға болады. Күйдіру мен шаймалаудың ұзақтығы 1 сағат және күкірт қышқылының ерітіндідегі қанықтығы 5.0% (салмақтық) болғанда шаймаланған байытпадағы фосфор мөлшері 800, 850, 900 және 950°C күйдіру температураларына сәйкес 0.65; 0.58; 0.26 және 0.17% құраған. Осылайша, фосфорды шаю байытпаны жоғары температураларда күйдірген соң ғана мүмкін екені белгілі болды.

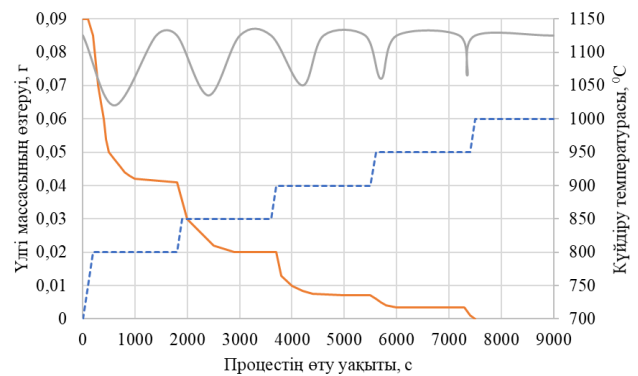
Термогравиметрикалық сараптамаларға сәйкес, байытпаны күйдіру кезінде үлгі массаның жалпы есеппен 12%-ға (100–1000°C температуралар аралығында) азаюы байқалады. Бұл жерде массаның шамамен 10%-ға азаюы 400°C төмен температураларда өтеді және темір тотығымен байланысқан гидрогетиттің ыдырауы кезінде гидраттық ылғалдың бөлінуімен түсіндіріледі. Үлгі массасының 0.3-0.5 %-ға азаюы 400-700°C температуралар аралығында өтеді және бұл бастапқы лисаков кеніндегі табиғи көміртегінің жануымен байланысты. 800-1000°C температуралары шамасында үлгі массасының 2%-ға төмендеуі байқалады. Мұндай температурада арнайы тәжірибелерінде су буы деп танылған газдың бөлінуі орын алады.

Фосфорсыздандырудың қарастырылып отырған технологиясының негізгі ерекшелігіне 800-1000°C температурада күйдіргеннен кейін фосфордың шаймалану қабілетін жатқызуға болады, бұл бастапқы байытпаның құрамындағы жоғары температуралық гидраттық ылғалы бар фосформен байланысқан құраушының кристалдық химиялық түрленуімен байланысты. Фосфор түзуші гидратталған құраушының гидраттық ылғал бөлу арқылы ыдырауы жүрген уақытта ғана фосфордың шайылу қабілеті пайда болады.

Үлгінің берілген қыздыру режиміне сәйкес Лисаков гравитациялық-магниттік байытпасының термогравиметриялық талдауы ыдыраған фосфор құрамдас бөлігінің кинетикасын анықтауға мүмкіндік берді. Үлгі ретінде салмағы шамамен 5 г болатын Лисаков гравитациялық-магниттік байытпасының сынамасы алынған. Сынаманы қыздыру келесі режим бойынша жүргізілді: бөлме температурасынан 500/мин жылдамдықпен 700°C дейін, тұрақты салмаққа дейін келесі экспозицияны берді, содан кейін ол бірдей жылдамдықпен температураны 30 минут ұстай отырып 800°C дейін және сатылы 50°C-тан әр температуралық сатыда 30 минут ұстап тұрып, 1000°C температураға дейін көтерілді. Ішкі және төмен температуралы гидраттық ылғал, сондай-ақ органикалық қоспалар сынаманы 700°C дейін қыздыру кезінде жойылды.

Лисаков байытпасының жоғары температуралық дегидратациясының кинетикасына температураның өзгеруі кезінде үлгі массасын үтірден кейінгі төрт санға дейінгі дәлдікпен үздіксіз анықтауға мүмкіндік беретін NETZSCH STA 449 C Jupiter құралының көмегімен термометрикалық әдіспен зерттеулер жүргізілген. Мұнымен бір уақытта дифференциалды сканерлеу калориметриясы әдісімен үлгі қызған кезде орын алатын жылу әсерлері анықталады. Төмен температуралық гидраттық ылғалды жою мен көміртегінің жанып кетуі үшін үлгі алдын ала тотықтырғыш атмосферада 700°C температурада күйдіріледі. Жүргізілген тәжірибелердің

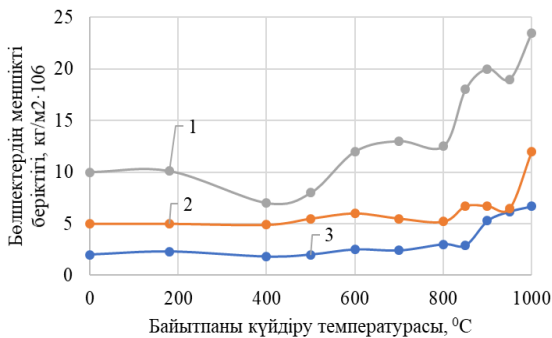
арқасында 800-1000°C температуралары барысында жоғары температуралық гидраттық ылғалдың бөлінуі сатылы түрде өтетініне көз жеткізуге болады: белгілі бір температурада гидраттық ылғалдың кішкене бөлігі бөлінеді (1-сурет). Егер гидраттық ылғалдың барлық салмағын 100% деп алсақ, онда оның әр түрлі температуралар барысындағы бөлінген үлестері мынандай болмақ, %: 54.3 - 800°C, 24.4 - 850°C, 12.2 - 900°C, 5.6 - 950°C және 1000°C кезінде - 3.3. Әрбір температуралық сатыда дегидратация процесі аяқталады, осы арқылы әр температуралық сатыдағы дегидратация процесінің жылдамдығы анықталады. Бұл ретте әр температуралық сатыда температураның әрбір 50°C аралықта өсуіне сай келетін эндотермиялық әсерлер анықталған. Алынған мәліметтердің математикалық өңдеуі әр температуралық сатыдағы жоғары температуралық дегидратацияның ұзақтығын есептеуге мүмкіндік берді, с: 800, 850, 900, 950 және 1000°C температураларда тиісінше 1250, 1110, 910, 670 және 420 с.



Сурет 1. Лисаков байытпасының термиялық сараптамасының мәліметтері: 1 – үлгі массасының өзгеруі, 2 – үлгіні қыздыру режимі, 3 – жылу әсерлерінің қисығы

Оптикалық микроскопия әдісімен Лисаков байытпасын күйдіру барысындағы оолиттердің беттік құрылымдарының өзгеруі бақыланды. Бастапқы байытпада сыртқы бетінде ешқандай көзге көрінетін ақауларсыз шар немесе сопақша сияқты геометриялық формадағы, сонымен қатар бұрыш және кварц бөлшектер бар. 400°C температурада күйдірілген соң бөлшектердің сыртқы беті кеуекті, тығыздалмаған болып келеді, бұл темір тотықтарымен байланысты төмен температуралық гидраттық ылғалдың көп мөлшерде бөлінуіне байланысты. 800-850°C температураларда күйдірілген соң көптеген бөлшектерде кішігірім терең емес жарықтар пайда болады. Ал 900-950°C температураларда күйдіруден кейін жарықтар көбейіп, тереңдей береді. Бұл ретте олиттер жартылай, үшке және төртке бөлінуі арқылы бұзылады. 1000°C температурада күйдірілген соң бөлшектердің беттік қабаттары тығыздалып, тегіс емес жерлер домаланып, жарықтар көбінесе терең болып келеді. Күйдіру температурасы 1000°C асқан соң бөлшектер топтасып өзара біріктіріледі және терең жарықтарға ие болып келеді. Зертханалық жағдайларда және «Өркен» ЖШС Лисаков филиалындағы өнеркәсіптік айналмалы пештерінде бірдей температурада алынған бөлшектерді салыстыру олардың күйдіру кезінде бірдей әрекет ететіндігін көрсетті.

Лисаков байытпасы ауа құрамындағы ылғалды сіңіру қабілетіне ие екенін жүргізілген зертханалық зерттеулерден көруге болады. Күйдіру температурасы артқанда күйдірілген бөлшектердің мұндай қабілеттері төмендей бастайды. Мысалы, күйдірілгеннен кейін бір тәулік өткенде сіңірілген ылғал мөлшері мынандай болмақ, %: 400-600-800-1000°C температуралар барысында 1.76-1.38-1.22-0.03 сәйкесінше. 400 және 600°C температураларда күйдірілген байытпа ауадағы ылғалды ең көп сіңіреді: 9-10 тәулікте тиісінше 6.47 және 5.09%. Ауадағы ылғалды ең көп сіңіру 800°C температурада күйдірген соң 6-7 тәулік өткенде 2.36%-ды және 1000°C температурада күйдірген соң 2-3 тәулік өткенде небәрі 0.04% құрайды.



Сурет 2. Байытпа бөлшектерінің меншікті беріктігінің әр түрлі фракциялар үшін қыздыру температурасына тәуелділігі: 1 – фракция 0,315 – 0,160 мм; 2 – фракция 0,400 – 0,315 мм; 3 – фракция 0,630 – 0,400 мм

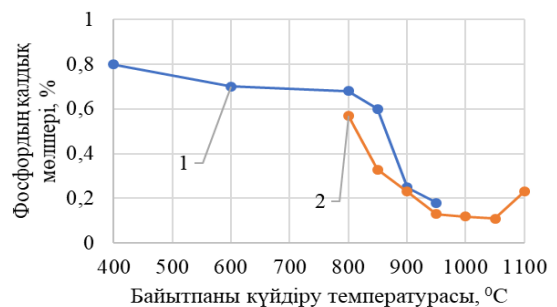
Мұндай деректер температураның жоғарылауымен күйдіру кезінде Лисаков байытпасы бөлшектері тығыздалып, ауадан су буларын сіңіруіне қатысты аз белсенді болатындығын жанама түрде көрсетеді. Лисаков байытпасы бөлшектерінің тығыздалуы бөлшектердің сығымдау беріктігін анықтау әдісімен дәлелденді (2-сурет). 400°C температура барысында бөлшектердің меншікті сығымдау беріктігінің төмендеуі байқалады. Температураның одан әрі өсуімен бөлшектердің меншікті сығымдау беріктігі арта түседі, тіпті 850°C температурадан асқанда ақрынды артады. Дәл осындай жоғары температуралар кезінде жоғары температуралық ылғал бөлініп, нәтижесінде бөлшектерге терең жарықтар түсе бастайды.

Жоғары температураларда Лисаков байытпасын күйдіргенде жарықтардың түзілуі жоғары жүктемелермен байланысты, бұл жүктемелер түйіндер шекарасындағы фосфордың сегрегациясымен бір уақытта орын алатын бастапқы гидрогетиттің гематитке айналуы кезінде мольдік көлемінің күрт азаюы есебінен туындайды. Алайда, гидрогетит-гематит айналымы кезінде кристалдық тордың өзгеруі 300-350°C температураларда, темірмен байланысқан гидраттық ылғал бөлінгенде өтетінін, ал бұл жағдайда бөлшектерде жарықтар түзілмейтінін айта кеткен жөн. Біздің зерттеулеріміз жарықтардың пайда болуының басқа механизмін айтуға мүмкіндік береді, атап айтқанда: жарықтар жоғары температурада бөлшектердің тығыздалуы жағдайында фосфор құрамдас құраушымен байланысты жоғары температуралық гидраттық ылғалының бөлінуі кезінде пайда болатын су буларының жоғары қысымынан пайда болады.

Жүргізілген зерттеулер күйдірудің сапасын бағалау үшін күйдірілген байытпадағы ККМЖ (күйдіру кезіндегі масса жоғалымдары) қалдығы ұсынылады. 1-суреттегі жоғары температуралық гидраттық ылғалдың дегидратациялану кинетикасы бойынша мәліметтерге қарап, жоғары температуралық гидраттық ылғалдың бөлінген үлесі кейінгі шаймалау барысындағы ерітінді құрамына өте алатын фосфор мөлшерін анықтайды деп санауға болады. ККМЖ қалдық шамасы деп анықталатын жоғары температуралық гидраттық ылғалдың қалдық үлесі шайылған байытпадағы қалған фосфор ретінде сипатталады. Сондықтан күйдірілген байытпадағы ККМЖ қалдық мөлшерін күйдірудің сапасын сипаттайтын шама ретінде қолдануға болады. Осы шаманың көмегімен күйдірудің технологиялық режимін баптап, бақылауға болады.

Алынған нәтиже фосфорды жоюдың пирометаллургиялық әдістеріне балама ретінде темір кені байытпаларының фосфорлануының осы бағытының келешектілігін көрсетеді.

Күйдірілген Лисаков байытпасынан фосфорды күкірт қышқылының аз қаныққан ерітіндісімен шаймалау бойынша зерттеулер бұл процестің бірнеше параметрлерге тәуелді екенін көрсетеді: шаймалау ұзақтығы, күкірт қышқылының қанықтылығы, қойыртпақтың температурасы, байытпа бөлшектерінің ірілігі, қойыртпақты араластыру қарқындылығы. Алайда шешуші фактор болып күйдірудің температура деңгейі мен ұзақтығымен анықталатын сапасы саналады. Күйдіру температурасы мен оның ұзақтығы неғұрлым жоғары болған сайын, соғұрлым фосфор түзуші құраушының ыдырауы толығырақ жүріп, фосфордың көбірек бөлігі шаймалау кезінде ерітіндіге өтуі мүмкін фосфордың еркін тотығы формасына енеді. 3-суретте шаймаланған байытпадағы фосфордың қалған мөлшерінің күйдіру температурасына тәуелділігі бейнеленген. 400°C температурада күйдіруден кейін байытпадағы фосфор мөлшері күйдірілмеген байытпа құрамындағы фосфор мөлшерімен шамалас болады. Шаймаланған байытпадағы фосфордың қалдық мөлшері 800°C жоғары температураларда күйдірген кезде айтарлықтай азая бастайды. 900°C температура шамасында күйдіргенде шаймаланған байытпадағы фосфордың қалдық мөлшері 0.24%, ал 950°C күйдіргенде 0.126% құрайды. 1100°C температурада күйдіргенде шаймаланған байытпадағы фосфордың қалдық мөлшері бөлшектердің тығыздалуына орай 0.24% дейін өседі, бұл күкірт қышқылы ерітіндісінің бөлшектерге терең енуіне жол бермейді және дефосфорация дәрежесін нашарлатады.



Сурет 3. Шаймаланған байытпадағы фосфор мөлшерінің күйдіру температурасына тәуелділігі: 1 – зертханалық айналымалы пеш; 2 – муфельді электр пеші

Лисаков кен орнының гидрогетитті темір кендері темір фосфаттары мен апатит түрінде болатын фосфордың жоғары мөлшерімен сипатталады. Байытпаны фосфорсыздандыру технологиясын жүргізу мақсатымен «ӨРКЕН» ЖШС филиалының (Қазақстан, Лисаков к.) аумағында өндірістік қондырғы орнатты. Байытпаны күйдіру табиғи газбен қыздырылатын, диаметрі 4.5 м және ұзындығы 110 м құрайтын айналмалы пеште жүзеге асырылады [9]. Пештің жобалық өнімділігі күйдірілген байытпа бойынша сағатына 80 т.

Пештің үш технологиялық аймағы бар. Кептіру аймағында байытпа 10% бастапқы ылғалдылығынан кептіріледі. Дегидратация аймағында гидрогетитпен байланысқан төмен температуралық гидраттық ылғал жойылады. Күйдіру аймағында фосфор түзуші құраушымен байланысқан жоғары температуралық гидраттық ылғалдың бөлінуі орын алады. Күйдірілген байытпаны суыту диаметрі 3.6 м және ұзындығы 60 м айналмалы барабанда жүреді [9, 10].

Суытқышта екі аймақ бар. Бірінші футеровкамен қапталған аймақта байытпаның қозғалысы барысында салқындату ауамен жүргізіледі, ол жылытылады және табиғи газды жағу үшін пайдаланылатын айналмалы пешке түседі. Екінші, футеровкамен қапталмаған аймақта суыту суытқыштың корпусына сыртынан суарылатын және буландыра салқындату үшін салқындатқыштың ішіне ішінара берілетін сумен жүзеге асырылады. Салқындатылған байытпа шаймалау аймағына келіп түседі. Күйдіру аймағында жобаның 80% өнімділігі кезінде жобалық технологиялық көрсеткіштерге қол жеткізілді. Қазіргі уақытта шаймалау аймағында туындайтын мәселелерге байланысты шаймалауға арналған аппарат құрылымының сәтсіз таңдалуына байланысты жөндеу жұмыстары уақытша тоқтатылған.

Әдебиеттер / References

[1] Mirko, V.A., Kabanov, Yu.A. & Naydenov, V.A. (2002). *Sovremennoye sostoyaniye razvitiya mestorozhdeniy burykh*

zheleznyakov Kazakhstan. Promyshlennost' Kazakhstan, (1), 79-82

[2] Kurunov, I.E. (2017). Prospective development of iron metallurgy in the world and in 21st century. *Proceedings of VII International Congress of Blast Furnace Operators "Metallurgy of Cast Iron and Iron: Challenges of 21st Century", Moscow*

[3] Yusfin, Yu.S., & Pashkov, N.F. (2007). *Metallurgy of Iron. Moscow: Akademkniga*

[4] Kim, V.A. & Tayshegirov, S.T. (2009). Fiziko-khimicheskiye svoystva kontsentratorov burozheleznyakovykh rud Lisakovskogo mestorozhdeniya. *Trudy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-tekhnicheskii progress v metallurgii», Temirtau*

[5] Balapanov, M.K., Mukhambekova, M.K., Rakhimov, A.R. & Baltynova, N.Z. (2003). Povysheniye kachestva kontsentratorov iz rud Lisakovskogo mestorozhdeniya. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-tekhnicheskii progress v metallurgii», Temirtau*

[6] Tleugabulov, S.M., Litkin, D.V. & Klauzer, I.V. (2003). Razrabotka tekhnologii vyplavki kachestvennoy stali iz Lisakovskogo gravitatsionno-magnitnogo kontsentrata. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-tekhnicheskii progress v metallurgii», Temirtau*

[7] Tleugabulov, S.M. & Litkin, D.V. (2002). Razrabotka tekhnologii polucheniya konstruktsionnogo materiala iz Lisakovskogo kontsentrata pryamym vosstanovleniyem. *Tekhnologiya proizvodstva metallov i vtorichnykh materialov, (2), 29-37*

[8] Pchelintseva–Panichkina, O.A. (2005). Osobennosti strukturnykh i fazovo-khimicheskikh prevrashcheniy v oolitovykh mineralakh pri obzhige i vyszchelachivanii Lisakovykh kontsentratorov. *Complex Use of Mineral Resources, (4), 46–53*

[9] Karelin, V.G. (2009). Agregat dlya obzhiga i okhlazhdeniya Lisakovogo kontsentrata. *Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Tvorcheskoye naslediyе B.I. Kitayeva», Yekaterinburg*

[10] Karelin, V.G., Zaynullin, L.A., Artov, D.A., Yepishin, A.Yu. & Naydenov, V.A. (2010). Okhlazhdeniye obozhzhennogo melkozernistogo Lisakovogo kontsentrata vo vrashchayushchemsya barabane. *Stal', (3), 6–7*

Лисаков байытпасының құрамындағы жоғары мөлшердегі фосфорды жою мақсатында жасалған тәжірибелерге шолу

Е. Мухаметхан^{*1}, М. Мухаметхан¹, Г.Г. Жабалова¹, С.М. Тлеугабулов¹, Д.А. Ковалев², Г.М. Қойшина³

¹Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан, Қазақстан

²Украина ұлттық металлургиялық академиясы, Днепр, Украина

³Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: mukhametkhan.verlan@mail.ru

Аңдатпа. Қазіргі уақытта Лисаков кен орны «АрселорМиттал Теміртау»АҚ шикізат базасының бірі болып табылады. Алайда, қазіргі уақытта олардың металлургиялық өндірісте қолданылуы фосфордың көп болуына байланысты шектеулі. Лисаков концентратындағы фосфор әртүрлі минералдар (оолиттер, вивинит, гидрогетит) және қосылыстар (темір фосфаттары, гидратталған фосфор құрамдас бөліктері) түрінде болатыны анықталды. Осы әртүрлі темір фосфаттарының газ тәрізді қосылыстарымен әрекеттесіп, артық фосфорды азайтуға жағдай жасауға болады. Бұл мақалада темір фосфатының әртүрлі газ тәрізді компоненттермен термодинамикалық әрекеттесуі қарастырылады.

Зерттеу объектісі құрамында 0.7%-ға дейін фосфоры бар Лисаков гравитациялық-магниттік концентраты болып табылады. Фосфор гравитациялық-магниттік концентратының құрамындағы фосфор гидрогетиттің фосфор пентаоксидімен қосылысын білдіретін вивинит минералына қосылған. 900-1000°C температураға дейін тотығу кезінде темір фосфаты темір оксиді мен фосфор пентаоксидіне ыдырайды. Шығарылған фосфор пентаоксиді

химиялық белсенді және жылжымалы зат болып табылады. Осылайша, болашақта бұл фосфор пентаоксиді белгілі бір жағдайларда ыдырауға ұшырауы мүмкін.

Күйдіру және шаймалаудың жеткіліксіз түрде зерттелмеген механизмін, сондай-ақ ұсынылатын технологиялардың кемшіліктерін ескере отырып, күйдіруді және күкірт қышқылымен шаймалауды пайдалана отырып, Лисаков байытпасының құрамындағы асқын фосфор мөлшерін жоюдың пиро-гидрометаллургиялық технологиясына бастамашылық зерттеулер жүргізілген.

Негізгі сөздер: фосфор, байытпа, гравиметрия, шаймалау, күйдіру, ангидрит.

Обзор экспериментов проведенных в целях удалений высокого фосфора из Лисаковского концентрата

Е. Мухаметхан^{*1}, М. Мухаметхан¹, Г.Г. Жабалова¹, С.М. Глеугабулов¹, Д.А. Ковалев², Г.М. Койшина³

¹Қарағандинский Индустриальный Университет, Темиртау, Казахстан

²Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, Украина

³Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: mukhametkhan.verlan@mail.ru

Аннотация. В настоящее время Лисаковское месторождение является одной из сырьевых баз АО «АрселорМиттал Темиртау». Однако в настоящее время их использование в металлургическом производстве ограничено из-за высокого содержания фосфора. Установлено, что фосфор в Лисаковском концентрате присутствует в виде различных минералов (оолитов, вивианитов, гидрогетитов) и соединений (фосфатов железа, гидратированных компонентов фосфора). Реагируя с газообразными соединениями этих различных фосфатов железа, можно создать условия для уменьшения избытка фосфора. В этой статье рассматривается термодинамическое взаимодействие фосфата железа с различными газообразными компонентами.

Объектом исследования является Лисаковский гравитационно-магнитный концентрат, содержащий до 0.7% фосфора. Фосфор, содержащийся в гравитационно-магнитном концентрате фосфора, связан с минералом вивианит, который представляет собой соединение гидрогетита с пентаоксидом фосфора. При окислении до температуры 900-1000°C фосфат железа распадается на оксид железа и пентаоксид фосфора. Выделяемый пентаоксид фосфора является химически активным и подвижным веществом. Таким образом, в будущем этот пентаоксид фосфора может подвергаться разложению при определенных условиях.

С учетом недостаточно изученного механизма отжига и выщелачивания, а также недостатков предлагаемых технологий проведены инициативные исследования пиро-гидрометаллургической технологии удаления содержания пероксида фосфора в составе Лисаковской обогащения с использованием отжига и выщелачивания серной кислотой.

Ключевые слова: фосфор, концентрат, гравиметрия, выщелачивание, обжиг, ангидрит.

Received: 19 October 2022

Accepted: 15 February 2023

Available online: 28 February 2023