ӘБЛІҚАС САҒЫНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҒАНДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

SAGINOV TECHNICAL UNIVERSITY 1953



Пән атауы: Ферроқорытпалар өндіру технологиясының негіздері

Дәріс -5 «ФЕРРОСИЛИКОБАРИЙ ҚОРЫТПАСЫ»

техника ғылымдарының докторы, профессор

НУРУМГАЛИЕВ АСЫЛБЕК ХАБАДАШЕВИЧ

Қарағанды, 2026

Дәріс №5
ФЕРРОСИЛИКОБАРИЙ ҚОРЫТПАСЫ

Дәріс мақсаты: Ферросиликобарий балқымасымен танысу және зерттеу

Дәріс жоспары:
1. Бариттік кендер
2. Үрдістің физика-химиялық негіздері
3. Ферросиликобарийді балқыту технологиясы



1. Бариттік кендер

Табиғатта барий кең таралған және пайдалы қазбалардың көп бөлігі болып табылады. Көптеген минералдық қауымдастықтарда кездеседі, көптеген кен жинақтарымен бірге жүреді. Алайда барийдің құрамында тек екі минералды өнеркәсіптік маңызы бар: барий сульфаты-бариты $BaSO_4$ және барий карбонат-витаминінің $BaCO_3$-дің таралуы кезінде айтарлықтай төмен. Соңғы кезде барийлердің екеуі де бариттердің баритоцелестині $BaSr(SO_4)_2$-ге дейін бариумның 30%-на дейін, сондай-ақ барийдің 50%-ын құрайтын $BaSi_2O_5$ санборонитіне ие екендігіне назар аударып жатыр.

Барит және витерит физикалық қасиеттерге ұқсас, бірақ химиялық қасиеттерде айтарлықтай ерекшеленеді. Барит жоғары тығыздықпен (4,2-4,7г/см^3) сипатталады және барий, стронций және қорғасынның күкірт қышқылының қосындыларында кең таралған. Бариттың химиялық құрамы: BaO - 65,7%, CO_3 - 34,3%; тұрақты изоморфты қоспалар - стронций мен кальций. Стронцийдің көп мөлшері бар (30% дейін) сортты баритоцелестті деп аталады. Бариттегі басқа қоспалардан Fe_2O_3, саз, органикалық және басқада механикалық қоспалар әдеттегідей болады. Барит кристалдық формаларды, криптокристаллидтік агрегаттарды, концентрациялы аймақтық құрылымды немесе сфералық және эллипсоидті конструкцияларды радиалды-сәулелендіргіш құрылымымен (сталактит түрінде) құрастырады. Бариттердің түсі әртүрлі. Түссіз кристалдар сирек кездеседі, әдетте гидротермиялық тамырлардың қуысында. Көбіне олар сұр (газдар мен сұйықтықтардың микроскопиялық қосындылары), қызыл (темір оксидтері), сары немесе қоңыр (темір гидроксидтері), қара сұр және қара (битум қоспалары), сирек көкшіл, жасыл және басқа түстер. Кристалдардың жарқырауы - әйнек, жыртылған ұштарда - інжу. Барит кристалдары іс жүзінде суда ерімейтін. Ол HCl-да қыздырылған кезде де ерітілмейді. Витериттің келесі химиялық құрамы бар: BaO - 77,7%, CO_2 - 22,3, кейде стронций құрамында бар. Баритке қарағанда, ол сирек тәуелсіз кен орындарын қалыптастырады, әдетте баритпен бірге кездеседі және, әдетте, баритте кейінірек сақталады және псевдоморфтерді қалыптастырады. Көптеген кен орындарында баритті апериитпен алмастыру орнатылды. Өнеркәсіптегі барит пен витаминді қолдану олардың пайдалы технологиялық қасиеттерімен анықталады:

барий оксидінің жоғары құрамын, тығыздығын жоғарылатуды, рентгенді сіңіру мүмкіндігін. Қазіргі уақытта барит немесе барий қосылыстары қолданылатын әлемде екі мыңнан астам түрлі процестер мен заттар бар. Олар көптеген салаларда қолданылады. Шығарылған барит түрлі изоморфты және механикалық қоспаларды қамтиды және сондықтан сапада өте әртүрлі болады. Өнеркәсіптік пайдалану үшін барит рудалары байытылған: кен рудасын немесе гравитацияны және флотацияны, кейде химиялық өңдеуден кейін. Минералды құрамы бойынша Қазақстандағы барит кен орны баритке (Тайлық, Бестюбе және Жайрем кен орындарындағы Жалайыр, оқшауланған учаскелер) және күрделі сульфид-барит (Бесшубин, Туйук, Ушқатин, Орель және басқалар), онда негізгі компоненттер полиметаллдар болып табылады. Күкіртті-барит кені бар кен орындарының негізгі өнеркәсіптік құны бар. Барит кен орындарының ең көп мөлшері Орталық Қазақстанда орналасқан. Сондай-ақ Оңтүстік Қазақстан мен Кенді Алтайда кен орындары бар. Майқай кен орнының баритінде Ермаковский ферроқорытпа зауытында сплиттер өндірісі игерілді. Павлодар қаласының Баянауыл ауданынан 130км оңтүстік-батысқа қарай орналасқан. Кварц-барит органдарының, тамырлар мен линзалардың кварцит пен квартзсерицит шихталарында кездеседі. Байланысты тау жыныстары рудалық ағзаға елеулі енбейді. $BaSO_4$ және Бюг руда құрамында кең таралған, бірақ олардың әрқайсысының сомасы, әдетте 90-95% құрайды. Барит-кварцтық көп түрліліктің көп көлемді массасының кен орны 2,6-дан 2,9т/м^3 дейінгі, кварц-бариттік - 3,0-ден 4,3т/м^3 дейін орташа мәнмен 3,3т/м^3 аумағында өзгереді. Осылайша кен орнында барийді зиянды қоспасы жоғары екенін және балқымаға кварциттің шығынын төмендетуге мүмкіндік беретін бос мәндегі кремний диоксиді саны жағымды болып келеді. Кен орны тығыз әрі, іріткеннен кейін бөлшектенусіз балқымада пайдаланыла алады, ол әлбетте белгілі бір артықшылықтарға қол жеткізуге мүмкіндік береді. Осылайша географиялық тұрғыдан Қазақстанның бариттері физикалық күйге (тығыз материал), химиялық құрамға ($BaSO_4$ және SiO_2) және қорға кен базасы ретінде барийлік ферробалқытпалар өндірісіне септігін тигізуі ықтимал.

2. Үрдістің физика-химиялық негіздері

Барийлі балқымалар болат және өзге де ұқсас балқытпаларды модификациялау тұрғысынан кең қолданысқа ие болып келе жатыр.

Барий және басқа сұйық жерлік элементтер үшін оттегіге, күкіртке, фосфорға жоғары деңгейде жақын және темір ерітінділерінде беттік аса белсенділікке ие. Осыған байланысты сұйық жерлік элементті балқымалар шаршылық мақсатта және металдың макроструктурасын майдалау тұрғысында қолданылады. Барийдің темірде аз балқуына байланысты көптеген барийлік ферробалқымалар кремниймен қатар дайындалады. Ba-O-C-S-Si жүйесінде физика-химиялық анализ әртүрлі жұмыстарда қарастырылған. Осы ойға сәйкес қарсы ойлар тұжырымдалған, мысалы айтқанда бастапқы элементтердің әсерлесуі силикобарийді алу үшін карботермиялық жүріс пайдаланылады делінеді. Ф.И. Стригунов және тағы басқалар SiO_2-нің жылдамдыққа және барий сульфатының көміртекпен барий сульфидіне дейін толық қайта қалпына келтіруіне әсерін зерттеді. Кремнезем шихтасында аз ғана мөлшерде болуы бұл үрдісті тоқтатып қойды. Осылай, 50 минуттан кейін тәжірибе басталған соң 900°C кезінде және BaSO мен көміртегінің қайта қалпына келу дәрежесі 100 пайыз болған, ал 6 пайыз SiO_2 дәл осы шарттарда қосқанда тек 15% ғана болады. Баритті қайта қалпына келтірудің механизмі келтірілген. Пештің жоғарғы бөліктерінде $BaSO_3$ түзіледі, сәйкесінше ол BaO мен SO_2 ұйқастырады, нәтижесінде BaS пайда болады. SiC арқылы өздігінен төмендеген кремний Ba, BaO және BaS-мен Ba, $2BaO\text{-}SiO_2$ және SiC-мен сәйкестендіріледі. Демек, авторлар көміртегі барийді қалпына келтіретін кремнийді қалпына келтіруге жұмсалады деп санайды. Кейбір авторлардың пікірі бойынша, барий сульфатын көмірмен өзара әрекеттесу кремний әлі қалпына келмейтін температураларда басталады. Осыған байланысты, Ba-O-C-S жүйесінде салыстырмалы түрде төмен температура кезінде (1230°C дейін) келесі реакциялар болуы ықтимал:

$$BaSO_4 + 2C = BaS + 2CO_2;$$
$$BaSO_4 + 4C = BaS + 4CO;$$
$$BaSO_4 + 4CO = BaS + 4CO_2.$$

550°C дейін көміртегі диоксиді азаюы қатты көміртекке қарағанда 550°C жоғары болады. Si-O-C-Ba-S жүйесінде сәйкес, барий сульфиді BaO, SO_2, SiS пайда болуымен өзара әрекеттеседі.

Есептеулердің нәтижесі көрсеткендей, барий сульфиді негізінен кремнеземді диссоциациялану нәтижесінде пайда болған оттегімен өзара әрекеттесуі керек. Барий сульфидінің кремнийлі реакциясы әлдеқайда аз. Барий оксидінің кремниймен реакциясы үшін барынша қолайлы жағдайлар, барий силикаттарының қалыптасуымен бірге орындалады. Барий оксидінің көміртегі мен кремнийлі карбидті реакциялары да белгілі бір даму болуы мүмкін. Аралық өнімдерді (силикаттар, карбидтер) құрмай ферросиликобарийді алуға арналған барлық сұлбалардан, бариймоносиликаттың кремний карбидімен өзара әрекеттесуіне байланысты. Ең сенімді мәлімет - Г.Н.Кожевников, В.А. Панков және басқалар, эксперименталдық көрсеткендей, барий және кремний оксидтерін көміртегі бірлесіп азайту процесі күрделі болып табылады және көптеген аралық өнімдердің, металл фазасының пайда болуы алдында барийдің және карбидтердің (негізінен карборундтың) жоғары негізді силикаттарының қалыптасуы пайда болады. Барийдің пайда болған моносиликаты көміртегімен ортосикат және SiC қалыптастырады. Бариум құрамды шикізат балқытуға арналған табиғи барит болып табылатындықтан, барий сульфаты мен кремнийді көміртекті көміртегімен бірге 1200-2000°C температурада аргон атмосферасындағы графит жылытқышымен біріктіру бойынша эксперименттер жүргізілді, бұл коллоидтық барий алу процесін зерттейді. Бастапқы материалдар жалпы реакцияны жүзеге асыру үшін қажетті мөлшерде араластырылған: $BaSO_4 + 5SiO_2 + 14C = BaSi_2 + 3Si + 14CO + {}^1/_2\ S_2$.

Эксперимент барысында заряд массасының өзгеруі тіркелді, рентген және ИК-спектроскопиямен азайту өнімдері зерттелді. 1000°C кезінде айтарлықтай өзара әрекеттесу басталады, 1200°C кезінде заряд массасының төмендеуі 18% болады, 1 сағат бойы ұстап болғаннан кейін, негізінен, моносилициялық барий, кремний және көміртек болатын. Температура 1500°C-қа дейін жаңа фазалық карборунд пайда болады. 1800°C температурада реакция өнімдерінде көп мөлшерде барий ортосикат және карборунд, сондай-ақ 4% барий карбиді қосылады. Эксперимент температурасының одан әрі артуы заряд массасының төмендеу жылдамдығын күрт арттырды, төмендету өнімдерінде металл фазасы пайда болды. 2000°C температурасында эксперимент жүргізілгеннен кейін барий қалдығы дисилицилден, кремнийден және аз мөлшерде барийдің

ортосикаты мен SiC-ден тұратын болады. Алынған мәліметтер мен термодинамикалық талдау негізінде, барий сульфаты мен кремнийді бірлесіп азайту процесі келесідей схемалық түрде ұсынылуы мүмкін:

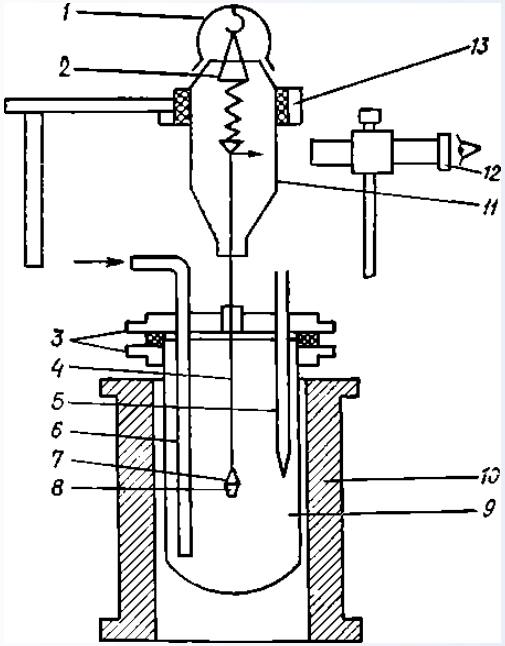
а) 1500°C температураға дейін: $BaSO_4 + SiO_2 + C \longrightarrow BaO \cdot SiO_2 + S_2{}^{+}CO$;

б) 1500-1700°C температура аралығы: $2(BaO \cdot SiO_2) + C \longrightarrow 2BaO \cdot SiO_2 + SiC + CO$;

в) 1800°C жоғары: $2(BaO \cdot SiO_2) + SiC + C \longrightarrow BaSi_2 + CO$.

Бұл реакциялармен қатар, барий карбидінің қалыптасуы және оның кремний мен барийдің оттегі қосылыстарымен, сондай-ақ көміртегі мен карбидтермен кремнийдің субоксидімен өзара әрекеттесуі. Алынған нәтижелерде барий және кремний барий сульфаты мен кремнийден көміртегі азайған кезде, оксидтердің азаюы кезінде металл фазасының қалыптасуы жоғары сапалы силикаттық шлактар мен кремний карбидінің өзара әрекеттесуіне байланысты. Бұл механизм кешенді Si-Ba қорытпасын өндіру кезінде газ фазасының төмендеуінің рөлі төмендейді және осыған байланысты көміртегі оксидтердің агломерациясының тиімділігі төмендейді. Барийдің кішігірім (6% дейін) мазмұны бар жоғары пайыздық ферросиликон негізінде қорытпалар өндірісінде процестердің химиясы жоғарыда көрсетілгеннен өзгеше болады. Бұл жағдайда темірдің силикидтерін одан әрі шығарумен моно-оксид пен кремний карбидінің қалыптасу реакциялары бастысы болады. Ашытқыдағы барий сульфаты жоғары қышытқылы қорытпаларды балқыту кезінде басқа күшейткіштердің әсерінен кварцты модификациялау түрлендіру жылдамдығын арттырады, кремнийді моноксид буы арқылы кремнийді жоюды жылдамдатады. Электрлік доғасының таудағы иондалуы потенциалын төмендетеді. Барит қоспаларын күшейтудің негізгі тиімді факторы газ фазасы мен сұйық фазалық реакциялардың соңғы бөлігіне қайта бөлінуі болып табылады. Ферросиликобарий өндірісінде $BaS0_4$-нің түрлі мазмұнымен кварцті рудаларды пайдалану мүмкіндігін анықтау үшін 200%-дық қорытпаны алу үшін есептелген зарядтың арнайы электр кедергісі мен жұмсартқыш температурасы анықталды. Шихта әртүрлі барит рудаларынан тұрады, барит мөлшері 30-96%, кварцит және кокс.

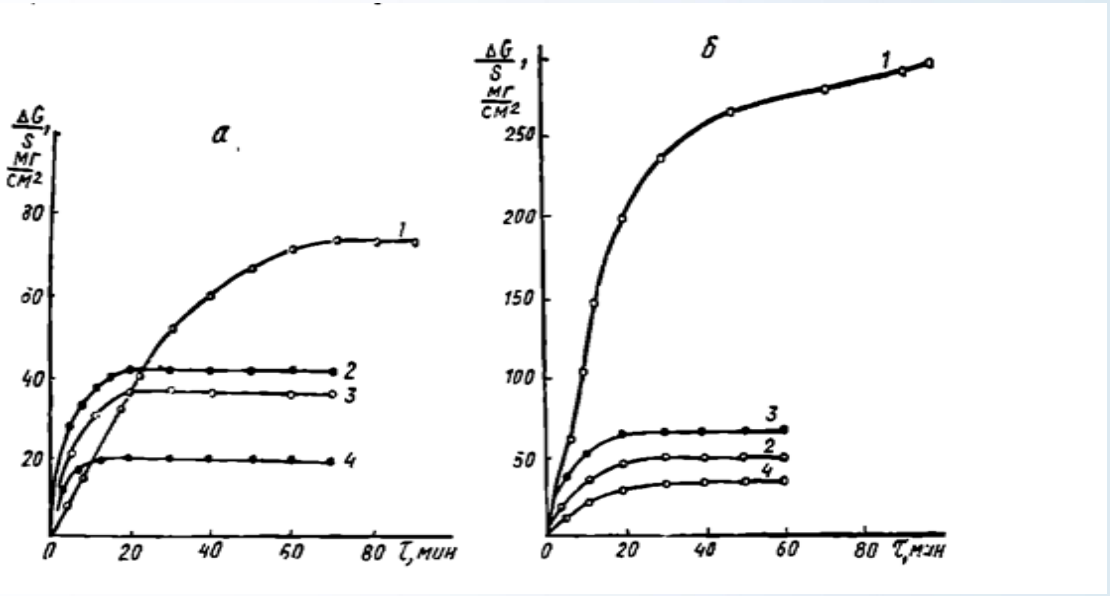
Шихтаның жұмсарту температурасы негізінен берита рудасындағы $BaSO_4$ және $S1O_2$ қатынасы бойынша анықталады. Максималды жұмсарту нүктесі (1630°С) 90% барит пен 3% кварциттен тұрады. $BaSO_4$:SiC > 2 төмендеген кезде, жұмсарту нүктесі азайып, 0,5 қатынасында кем дегенде (1480°С) жетті. Кальций, стронций, темір оксидтерінің құрамында күйдіру эвтектиканың пайда болуына ықпал етеді және зарядтың жұмсартатын температурасын төмендетеді. Әртүрлі композициялардағы барит рудалары бар пакеттік қоспалардың ерекше электр кедергісі ферросиликонның 75% ерітіндісінің зарядының мәндеріне жақын және негізінен руда мен көміртекті бөлшектердің көлеміне байланысты анықталады. Сұйық ферроқорытпаларды тотығу процестерін зерттеу олардың оңтайлы құрамы мен ұтымды пайдалануын анықтау үшін қажет, өйткені сұйық болатқа немесе сұйық темірге енгізілген кезде қорытпа газ фазасын оттегімен тотықтыруға байланысты күйдіріледі. Қышқылдандыру термогравиметриялық әдіспен зерттелген. КСРО-ға Металлургия институтының өлшеу қондырғысының сұлбасы (сурет 1), бақыланатын атмосфераны құруға арналған алынды қабатымен көмірге төзімді пешті қамтиды. Пештен шыққан қаптың соңы газбен қамтамасыз ету түтігі, термопарк және балқымасы бар пышақпен суытылған қақпақшалармен жабылған, молибден көктеміне платина жіптерінде тоқтатылған. Алдын ала есептелген және калибрленген шлихтіге молибден шыны цилиндрге жер қақпағы салынған. Қақпақ пештен бөлек тұрды. Бұқаралық массаның өзгеруі микроскоптың арқасында көктемді созу немесе қысу арқылы белгіленді. Тұрақты массаға алдын ала араластырылған, сынақ үлгісімен алуды тегіс пештің изотермиялық аймағына орналастырылған. Металлдың еруі тазартылған гелия атмосферасындағы пешті баяу қыздыру арқылы жүзеге асырылды. Тотығу өнімдерінің құрамы ИК-спектроскопиямен зерттелді. Fe-Si және Si-Ba тотығулары зерттелді. Кремний негізіндегі қорытпалардың тотығу кинетикасы 1400-1550°С температура диапазонында зерттелген. Бинарлық қорытпалардың тотығу жылдамдығы параболикалық тәуелділікті сақтайды және қорытпадағы және температураның жоғарылауымен кремний құрамының артуымен артады. Ең төменгі тотығу жылдамдығы 20-40% Si бар қорытпалармен қамтамасыз етілген. 850-1430°С температура диапазонында жүргізілген Ba-Si қорытпаларының тотығу жылдамдығын зерттеу, олардың



Сурет 1 - Өлшеу жүйесінің схемасы: 1 - жер асты қақпағы; 2 - молибден сымынан жасалған серіппелер; 3 - сумен салқындатылған қақпақтар; 4 - платина жіп; 5 - термопары; 6 - газбен қамтамасыз ету үшін құбыр; 7 - алюминий оксидінің щеткасы; 8 - зерттелген балқу; 9 - алюминий оксидінен жасалған қақпақ; 10 - көміртегі қарсылық пеші; 11 - молибден шыныдан жасалған қақпақ; 12 - микроскоп; 13 - тұмшапештен тәуелсіз

тотығуының параболикалық заңға бағынғандығын көрсетті. Барий тотығуының белсендіру энергиясы 12,5 ккал / моль (52,25 кДж / моль), кремний бар қорытпалар үшін 36 ккал / моль (150,48 кДж / моль) артады. Ең жоғары тотығу жылдамдығы 20% Ba және 80% Si бар қорытпалардан тұрады. Тотығу өнімдерінде $BaO \cdot 2SiO_2$ және $2BaO \cdot SiO_2$ хромдық қосылыстары бар, олардың қатынасы қорытпаның құрамына байланысты. Құрамында 45% ферросиликон негізіндегі қорытпалардың тотығуы 1-8% барий қосылған. 1 құрамында қорытпалардың тотығуының кинетикалық қисықтары; 2; 4 және 8% барий 1350-1550°C температура диапазонында 2-ші суретте көрсетілген.

Барлық қорытпалар үшін олар параболикалық нысаны бар. Алғашқы 3-тен 5 минутқа дейінгі кезеңде кірістің күрт артуы процестің іс жүзінде аяқталуын тоқтатады, ол тығыз қорғаныш қабатының пайда болуына байланысты. Ерекше ерекшелігі - 8% барий бар қорытпаның тотығу қисықтары. Бұл жағдайда жылдамдықтың жылдамдығы салыстырмалы түрде тегіс. Зерттелген қорытпалардың тотығуының изохорасы 1550°C кезінде 2-ші суретте көрсетілген. Құрамында барийдің кескінін жоғарылату арқылы қорытпаның тотығу жылдамдығын арттыру үрдісі бар. Мұндай қорытпаларда жоғары барий құрамында көп.



Сурет 2 - Fe-Si-Ba қорытпаларының тотығу изотермалары: а - 1350; б - 1550°C; қисықтар 1 - 4 - тиісінше 8,0; 4,0; 2,0; және 1,0 мас. қорытпадағы баррель, %

3. Ферросиликобарийді балқыту технологиясы

Барий қорытпаларын алудың үш тәсілі белгілі: карбо-, силико- және алюминотермиялық. Металлотермиялық тәсілдердің екеуі де елеулі кемшіліктерге ие: барийдің төмен алынуы (40-60%), шлактың үлкен еселігі (>1), қымбат шикізатты пайдалану (алюминий, ферросилиций, барий пероксиді және т.б.), шлактарда барийдің улы қосылыстарының болуы. Ең перспективалы карботермиялық үздіксіз бір сатылы тәсіл болып табылады, ол арзан және тапшы емес шикізатты (барит), қуатты балқыту агрегаттарын пайдалануға, процесті іс жүзінде қожсыз жүргізуге мүмкіндік береді, бұл санитарлық талаптарды қанағаттандыруға мүмкіндік береді. Бұл тәсілді жетілдіру және дамыту процестің химизмін анықтаумен, оның лимиттеуші кезеңін анықтаумен және шикіқұрам материалдарын дайындаумен байланысты. Құрамында барий бар қорытпаларды карботермиялық тәсілмен алу брикеттелген және кесектелген шихта арқылы жүзеге асырылды. Шихта материалдарын брикеттеу әртүрлі түрде жүзеге асырылуы мүмкін: барлық шихта немесе оның жекелеген құрамдастары. Силикокальциймен ұқсас кварцит пешке бөлек қосу арқылы көміртекті барий брикеттеуге болады. Бұл жағдайда кальций карбидінің түзілуіне қолайлы жағдайлар жасалады, қожы бар кремний мен газ фазасының жоғалуы азаяды. Силикобарийді балқытуға арналған жұмыста газ көмірі барит концентратын брикеттеп, пешке коксигі бар кварцит берілді. Алынған силикобарий барий 73% шығарғанда 35% Ba болды. Басқа жұмыста балқыту екі нұсқа бойынша өтті: 1) барит концентраты мен көміртегінен тұратын брикеттермен және жеке кварцитпен; 2) барит концентраты, кварцит және көміртегі бар брикеттермен. Нәтижелерді алу екінші нұсқа бойынша алынды: 30-3496 Ba, 55-6096 Si барий қорытпаға шығару 93% құрады, I базаға электр энергиясының үлес шығыны. т қорытпасы (30% Ba)-12 кВт·сағ. Силикобариді балқыту кезінде шихтаның оңтайлы нұсқасы бойынша брикеттелген кенді термиялық пештің жұмысы кесек материалдарындағы жұмыс істеуден артық болуы тиіс, өйткені брикеттеу бірқатар артықшылықтарды береді: пеш колашниктерінің жұмысын жақсартатын ұсақ фракциялардың болмауы; реагенттерді қалпына келтіруге қатысатын тығыз байланыс; пайдалы өнімдердің аз ұшып кетуі; қалпына келтіру механизміне (әсіресе кешенді қорытпаларды алу кезінде) және т.б. әсер ету мүмкіндігі.

Алайда брикеттеу теріс жағы да болады: ұнтақтау және тотықтыру үшін жабдықтар қажет.; кесектеуге энергия шығынынан шикізат құны артады; ұсақ фракциялардың шығындары пайда болады. Бұдан басқа, бұрын көрсетілгендей, силикобариді балқыту кезінде газофазды қалпына келтіру үлесінің азаюынан Н сұйықтық фазды реакциялардың ұлғаюынан көміртекті оксидтердің тотығуының тиімділігі азаяды. Осыған байланысты КСРО-ға ОА металлургия институты мен Ермак ферроқорытпа зауыты кесек барит кендерінен силикобарийді алудың карботермиялық әдісі технологиясын зерттеуді және әзірлеуді ұсынды. **Жартылай өнеркәсіптік пеште барий қорытпаларын балқыту.** Балқытулар КСРО-ға металлургия институтымен, НИИМ және Ермак ферроқорытпа зауытымен бірге қуаттылығы 1200 кВ·А үш фазалы электр пешінде 68,3-71,2В кернеуінде және 5-6кА токтың күшінде өткізілді. Шикізат ретінде Комбобасор кен орнының барит кені, кварцит, әк және коксик қолданылды. Барит кенінің орташа химиялық құрамы, % : $BaSO_4$-43,2; SiO_2-46,6; CaO-1,18; MgO-0,25; Al_2O_3-3,4; Fe_2O_3-5,7. Екі барий қорытпаларын - ферросиликобария (ФСБ) және ферросиликобарикальция (ФБС) алумен балқытулар жүргізілді, және де әрбір қорытпаны балқытуда әртүрлі нұсқалар бойынша бірнеше кампаниялар жүргізілді. ФСБ балқытуда шихта колошасының құрамы; кг: барит кені 100-110, кварцит 130-200, Кокс сымы 120-165, темір жоңқасы 10-16, нұсқалардың бірінде шихтаға темір жоңқасын енгізбеген. Қалпына келтіргіштің оңтайлы саны кезінде электродтарды отырғызу терең (-600мм) болды, электр жүктемесі тұрақты, ағын оңай ашылды, металдың шығуы белсенді болды. Пештің жұмысы 75% ферросилицияға ұқсайды. Шихтаның ұсақ фракциясы болмаған жағдайда пештің колошнигі жақсы, біркелкі газ бөлумен жұмыс істеді. Пештің жұмысына қалпына келтіргіштің кемшілігі мен артық әсері анықталды. Электродтардың айналасына қалпына келтіргіш жетіспеген жағдайда қождар пайда болды, ол пеште жиналмаған. Шикіқұрамдағы Кокс ілгішінің үлкеюі шлак қалпына келтірілмеді, пешті жуу қажет болды. Қалпына келтіргіш артығымен пештің қалыпты жұмысының бұзылуының алғашқы белгілерінің бірі колошник жүрісінің құрғауы, содан кейін электродтардың отырғызу тереңдігінің 200-300 мм дейін төмендеуі болып табылады.

Шамасы, түбінде карбидтер жиналған. Азайту кезінде, ілінген коксты колоше қалыпты пештің жұмыс қалпына келіп отырды. ФСБ қорытпасын балқыту кезінде барий мен кремнийді шығару шихтадағы темір жоңқасының болуына байланысты болды. Колоштағы жоңқаның мөлшері ұлғайған кезде барийдің қорытпаға өтуі пештің реакциялық кеңістігіндегі температураның біршама төмендеуінен азайған, ал кремнийдің қорытпаға өтуі ұлғайған. темір кремний қалпына келтіру процесінің басталу температурасын едәуір төмендетеді және оны еріте отырып, реакция аймағынан шығарады. Металл массасының 2-4% мөлшеріндегі қож пештен үнемі шығып тұрды.

Ферросиликобария балқымаларының техникалық-экономикалық көрсеткіштері 1-ші кестеде келтірілген. Ферросиликобарикальцийді балқыту ФСБ балқымаларына ұқсас жүргізілді. Негізгі айырмашылықтар шихтаға әк қоспалары және шығарылымдарда шлактың көп мөлшерінің шығуы (15% дейін) болды. Шихта колошының құрамы, кг: барит кені 55-75, кварцит-200, әк 55-75, кокс 155-185, темір жоңқасы-15 бір нұсқадағы темір жоңқасын шикіқұрамға енгізбеді. Шлактың ең көп саны темір жоңқамен жұмыс істегенде шықты. Сондай-ақ, ФСБ қорытпасын балқыту сияқты шихтадағы темір жоңқасы құрамының төмендеуі барий шығаруға оң әсер етті. Кремнийдің қалпына келтірілуіне жоңқалар санының әсері біркелкі емес және шихтадағы кальций оксиді мөлшеріне байланысты болды. Шихтадағы әктің болуы пештің өнімділігін арттыруға алып келді. ФСБК қорытпасын балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштері 2-ші кестеде келтірілген.

Кальций қорытпасында төмен шығарлуы, оның барийге қарағанда, бу серпімділігі жоғары болуына байланысты. Мұндай көрсеткіштер негізінен карботермиялық тәсілмен сілтілі жер элементтері бар қорытпаларды алудың жоғары температуралы процестеріне тән. 7596 ферросилиций белсенді қоспалармен (2-5% барий) балқыту жүргізілді. Кварцит ілмесінен 5-10% мөлшерінде барит кенін жоғары пайыздық ферросилициялау кезінде шихтаға енгізу 2-5% барийден ферросилицияларды алуға мүмкіндік береді. Мұндай ферросилицияның 1т шойынды модификациялау кезінде тиімділікті арттыру есебінен 1,5-2г қалыпты. 1200кВ·А электр пешінде жүргізілген балқымаларды талдау технологиялық процесс жеңіл жүретінін, өнімділікті арттыру және меншікті Шығысты төмендету электр энергиясы қалыпты ферросилициямен салыстырғанда 10% - ға дейін жетеді.

Ферросилицияны балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштері 3-ші - кестеде келтірілген. Процесті сипаттайтын шамалар (элементтерді қорытпаға шығару, 2 және 3 қисықтар) барий қорытпасындағы құрамының өсуімен азаю үрдісі бар деп қорытынды жасау керек. Бұл, ең алдымен, пештің температурасының жоғарылауына байланысты, өйткені барий силицидінің пайда болуы ретінде үлкен энергетикалық шығындарды және элементтердің ұшып кетуін талап етеді. Процестің энергетикалық көрсеткіштерін көрсететін 1 және 4 қисықтар экстремалды сипатқа ие. Электр энергиясының ең аз үлестік шығыны және пештің ең жоғары өнімділігі құрамында 596 барий бар қорытпа үшін алынды. Бұл жағдайда барит кені ферросилицияны балқыту процесінің интенсификаторы рөлін атқарады. Одан әрі барий қорытпасының өсуі кезінде (шихтадағы кварцит/барит кені қатынасының азаюы) пеште барлық 60 үлкенше барий силикаттары түзіледі, металл фазасының пайда болуы қиындайды, осыған байланысты балқыту көрсеткіштері нашарлайды. Алайда ферросиликобарияның 20% балқыту кезінде олар 75% ферросилицияның өндіріс деңгейінде тұр және жоғары пайыздық ферросиликобарияда ғана нашар болады. Балқыту көрсеткіштерін жақсартуға қосымша шихта материалдарын алуға болады. Шихтаға әктас қоспалар аз мөлшерде (шихта массасынан~2%) барийдің қалпына келу процесін күшейтті, оны алу 10,5%-ға өсті, процестің басқа да техникалық-экономикалық көрсеткіштері жақсарды. Мүмкін, CaO пеште BaO, силикатқа қарағанда анағұрлым берік құралады,осылайша барийдің жақсы қалпына келуіне ықпал етеді. Шихтада графитация қалдықтарын пайдалана отырып, барий қорытпаларын балқыту жүргізілді. Кремний бар барий қорытпаларын өндіру электр энергиясының едәуір шығынын талап етеді. Ферросилкобарийді балқытуға оның шығыны 13-16МВт·сағ (46,8-57,6 ГДж). Карборундтың, жоғары негізді барий силикаттарының пайда болуына және металл фазасының пайда болу реакциялары үшін қажетті температураға дейін қыздырылуына жұмсалатын барлық электр энергиясының 4096-ға жуығы жұмсалады және тек 6096 қорытпаның пайда болуына тікелей келеді. Кварцит пен кокстың эквивалентті мөлшерінің орнына шихтаға дайын кремний карбидін енгізу электр энергиясының шығынын айтарлықтай төмендетіп, қорытпаның пайда болуының кинетикалық жағдайларын жақсартуы тиіс.

Кесте 1 - Ферросиликобария 30 және 20% балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Темір жоңқасы жоқ	Темір жоңқасы бар
30% ФСБ		
Науқанның ұзақтығы, тәул.	25	5
Қорытпа алынды, т	26,87	4,88
1 т қорытпаға электр энергиясының шығысы, МВт·сағ (ГДЖ)	15,5(55,8)	16,8(60.5)
Пештің өнімділігі, т / тәул	1,075	0,976
Қорытпаның химиялық құрамы, %:		
Si	60,1	66,0
Ba	28,7	23,8
Элементтерді шығару, %:		
Si	52,6	64,0
Ba	80,0	74,0

Көрсеткіштер	Темір жоңқасы жоқ	Темір жоңқасы бар
20% ФСБ		
Науқанның ұзақтығы, тәул.	20	5
Қорытпа алынды, т	23,7	5.5
1 т қорытпаға электр энергиясының шығысы, МВт·сағ (ГДЖ)	13,6(48,96)	14,1(50,76)
Пештің өнімділігі, т / тәул	1,184	1,093
Қож еселігі	0,12	0,16
Қорытпаның химиялық құрамы, %:		
Si	60,42	64,5
Ba	20,4	18,4
Элементтерді шығару, %:		
Si	60,3	66,2
Ba	88,2	81,1

Кесте 2 - Ферросиликобарийкальция балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Темір жоңқасын қолданумен	Темір жоңқасын қолданбай
Науқанның ұзақтығы, тәул.	13	40
Қорытпа алынды, т	14,4	49.3
1 т қорытпаға электр энергиясының шығысы, МВт·сағ (ГДЖ)	16,63(59,87)	14,83(53,39)
Пештің өнімділігі, т / тәул	1,104	1,233
Қож еселігі	0,19	0,13
Қорытпаның химиялық құрамы, %:		
Si	56,9	61,1
Ba	9,2	10,8
Ca	9,2	10,1
Элементтерді шығару, %:		
Si	52,8	56,4
Ba	72,5	82,0
Ca	32,0	36,8

Кесте 3 - Балқытудың техникалық - экономикалық көрсеткіштері 75% ферросилиций

Көрсеткіштер	Темір жоңқасын қолданумен	Темір жоңқасын қолданбай
Науқанның ұзақтығы, тәул.	13	10
Қорытпа алынды, т	16,97	11,7
1 т қорытпаға электр энергиясының шығысы, МВт·сағ (ГДЖ)	12,69(45,68)	13,9(50)
Пештің өнімділігі, т / тәул	1,31	1,17
Қорытпаның химиялық құрамы, %:		
Si	72,4	75,4
Ba	4,33	-
Элементтерді шығару, %:		
Si	82,9	84,2
Ba	95,4	-

Бұдан басқа, кремний карбиді кез-келген көміртекті қалпына келтіргішке қарағанда айтарлықтай жоғары меншікті электр қарама-қайшылығына ие бола отырып, шихтаның электр қарама-қайшылығын арттырады. КСРО ҒА Орал ғылыми орталығы металлургия институтының ірі зертханалық доғалы электр пешінде жүргізілген зерттеулер, кокс кварцитінің эквивалентті санының орнына 30% кремний карбидін шикіқұрамға енгізу үлестік электр қарама-қайшылығын едәуір арттыратынын, пештің өнімділігін арттыратынын және қорытпаға пайдалы компоненттерді шығаруды төмендетпей электр энергиясының меншікті шығынын төмендететінін көрсетті. Барий қорытпаларын балқыту кезінде өнеркәсіптік ауқымда кремний карбидін қолдану оның жоғары құнына байланысты рентабельді емес. Осы мақсатта электродтарды графитациялау қалдықтарын пайдалануға болады. Мұндай қалдықтардағы кремний карбидінің мөлшері 60%-ға жетеді. Челябі электрометаллургиялық комбинаты жағдайында үйіндіге жылына 8-10 мың тонна графитация қалдықтары шығарылады. Шихтада графитация қалдықтарын пайдалана отырып, ФСБ және ФСБК қорытпаларының жартылай өнеркәсіптік балқытулары қуаты 1200кВ·А пеште жүргізілді. Шихтаның құрамына барит кені, кварцит, коксик және 10-40мм фракцияның графитация қалдықтары (32,3% SiC; 55,2% SiO; 12,1% C) кірді. Кендегі $BaSO_4$ орташа құрамы 39% құрады. Шихтаны бес нұсқамен құрады. Шихта және IV нұсқалар графитация қалдықтарынсыз болды; шихтадағы графитация қалдықтарының құрамы II нұсқасында 11,3%, III - 23,2%, V-25 болды. Барлық нұсқаларда пештің тұрақты электрлік жұмыс режимі және электродтарды терең (-600мм) отырғызу байқалды. Пештің ағуы оңай ашылды, металл Белсенді түсті. Колошник қызметі қиындық болған жоқ. Графитация қалдықтарымен жұмыс істегенде электродтар шығарғанға дейін 20-30 мин бұрын электродтар электродтардың астында металдың жиналуына байланысты жоғары көтерілді. Нұсқаларда және IV мұндай құбылыс байқалмады. Барий ферроқорытпаларын балқыту кезіндегі пештің жұмыс көрсеткіштері 4-ші кестеде келтірілген. Ферросиликобарийді балқыту кезінде шихтаға графитация қалдықтарын енгізу қождың жиілігін қысқартты, кремний алудың кейбір азаюында (Ш нұсқасы) барийдің қорытпаға шығарылуын жоғарылатты. Бұл шихтадағы графитация қалдықтарының шаң тәріздес фракциясы үлесінің салыстырмалы ұлғаюына байланысты.

Кесте 4 - Ферросиликобарияны және ферросиликобарийкальцийді балқыту кезіндегі пештің жұмыс көрсеткіштері

Көрсеткіштер	ФСБ			ФСБК	
	I	II	III	IV	V
Науқанның ұзақтығы, тәул	18	8	6	8	6
Пештің өнімділігі, т / тәул	1,314	1,498	1,904	1,406	1,737
Қорытпаның химиялық құрамы, %:					
Ba	24,39	24,26	29,68	14,97	16,39
Ca	-	-	-	11,02	11,86
Si	46,06	54,12	51,18	53,47	56,73
Элементтерді шығару, %:					
Ba	75,1	79,5	88,6	90,08	91,02
Ca	-	-	-	29,72	29,51
Si	46,06	48,18	36,85	49,92	48,14
1т қорытпаға электр энергиясының шығысы, МВт·сағ (ГДЖ)	12,61 (45,4)	11,27 (40,57)	9,19 (33,08)	11,87 (42,73)	10,64 (38,3)
Қождың еселігі	0,187	0,109	0,060	0,191	0,092

Пештің өнімділігі едәуір (45%-ға дейін) артты, графитацпи қалдықтарымен шихтада жұмыс істеген кезде электр энергиясының үлестік шығыны (тиісінше II және III нұсқалар бойынша 7,8 және 27%-ға) азайды, бұл ретте барий шығару ұлғайды және шихта материалдарының шығыны қысқарды. ФСБК қорытпасын балқыту кезінде графитация қалдықтарының 25%-ын енгізу пештің өнімділігін 23,5%-ға арттыруға, электр энергиясының меншікті шығынын 10,4 70-ке төмендетуге мүмкіндік берді. Пеш жұмысының көрсеткіштерін жақсарту қалдықтарда кремний карбидінің графитациясы болуымен анықталады. Барий сульфаты мен кремнезем көміртегімен бірге қалпына келтіру реакцияларының кинетикасын термодинамикалық есептеулермен және зерттеулермен процесс барий силикаттары мен кремний карбидінің түзілу кезеңі арқылы әрі қарай олардың өзара әрекеттесуімен барий силицидтерін алғанға дейін өтетіні анықталды. Шихтаға дайын кремний карбидін немесе оның құрамында графитация қалдықтары бар енгізу электр энергиясының шығынын азайта отырып, металл фазасының пайда болу процесін тездетеді және жеңілдетеді. Барий қорытпаларын балқытуда графитацни қалдықтарын пайдалануды алдын ала экономикалық бағалау орындалды.

Бақылау сұрақтары:

1. Ферросиликобарий туралы не білесіз?
2. Шикіқұрам материалдары.
3. Ферросиликобарий балқыту технологиясы.

Әдебиеттер тізімі

1. Друинский М.И., Жучков В.И. Получение комплексных ферросплавов из минерального сырья Казахстана. - Алма-ата: Наука, 1988.С. 8-14.
2. Колпаков С.В. // Сталь. 1982. №7. С. 2-6.
3. Лунев В.В., Аверин В.В., Щульте Ю.А. // Теортия и практика получения и применения комплексных ферросплавов. Тбилиси, 1974. С. 156-161.
4. Строганов А.И. // Производство ферросплавов: Сб. Сибирского металлургич. ин-та. Новокузнецк, 1980. С. 5-24.
5. Казачков И.И. // Легирование стали. Киев, 1982. 120с.
6. Морозов А.Н., Хитрик С.И. // Производство ферросплавов: Сб. №2. М., 1973. 400с.
7. Гасик М.И., Игнатьев В.С., Гасик Л.Н. // Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. Киев, 1975. 152с.
8. Строганов А.И., Рысс М.А. // Производство стали и ферросплавов. М., 1974. 400с.
9. Жучков В.И. // Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов. Тбилнсин, 1983. С. 109-114.