

ЖҮНІСҚАЛИЕВ ТАЛҒАТ ТОҚАШҰЛЫ

Қазақстанның жоғары күлді көмірлері мен марганец кендерін қолданып Fe-Si-Mn-Al тобындағы кешенді лигатур өндірісінің теориялық негіздерін дамыту және технологиясын жетілдіру

6D070900 – «Металлургия»

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер:

техника ғылымдарының докторы, ҚарИУ
«Металлургия және материалтану»
кафедрасының профессоры
А.Х. Нурумғалиев

PhD, ҚР МШКҚӨ ҰО филиалы
Ж. Әбішев атындағы ХМИ «Болат
металлургиясы және материалтану»
зертханасы меңгерушісі
Е.К. Мухамбетғалиев

техника ғылымдарының докторы,
профессор, «РГА Орал бөлімінің
металлургия институты» ФМБҒМ
директорының ғылыми жұмыстар
жөніндегі орынбасары, «Болат және
ферроқорытпа» зертханасы меңгерушісі
О.В. Заякин (РФ, Екатеринбург қ.)

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР.....	4
АНЫҚТАМАЛАР.....	5
БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР.....	6
КІРІСПЕ.....	7
1 КРЕМНИЙ, МАРГАНЕЦ ПЕН АЛЮМИНИЙ ҚҰРАМДАС ҚОРЫТПАЛАРДЫ БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІ, КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАНЫ БАЛҚЫТУҒА ҚАЖЕТТІ ШИКІЗАТ БАЗАСЫНА САРАПТАМАЛЫҚ ШОЛУ.....	15
1.1 Қазақстан Республикасында құрамында кремний, марганец, алюминий бар кешенді қорытпаларды балқыту мәселесінің жай-күйі..	16
1.2 Қазақстан Республикасының көмір бассейндері мен кен орындары туралы жалпы мәлімет.....	25
1.3 Қазақстан Республикасының марганец кен орындары туралы жалпы мәлімет.....	31
1 тарау бойынша қорытынды және зерттеу міндеттерін белгілеу.....	35
2 Fe-Si-Mn-Al МЕТАЛДЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ФАЗАЛЫҚ ҚҰРАМЫН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ДИАГРАММАЛЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАНЫ АЛУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ.....	37
2.1 Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің термодинамикалық диаграммалық талдауы.....	37
2.1.1 Құрамында Fe-Si-Mn-Al қорытпасының кристалдануын зерттеудің теориялық негіздемесі.....	37
2.1.2 Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің қос жүйелері қосылыстарының термодинамикалық қасиеттерін талдау.....	40
2.1.3 Fe- Si-Mn-Al металдық жүйесінің үштік жүйелері қосылыстарының термодинамикалық қасиеттерін талдау және триангуляцияны жүргізу.....	47
2.1.4 Fe- Si-Mn-Al металдық жүйесінің тетраэдрациясы.....	52
2.2 Кешенді лигатураны алу үрдісін термодинамикалық модельдеу.....	57
2.2.1 Математикалық жоспарлау мен модельдеуде қолданылатын термодинамикалық модельдеуді жүргізу әдістемесі және бастапқы деректері.....	57
2.2.2 Заттардың таралу үрдісін термодинамикалық модельдеу нәтижелері..	60
2 тарау бойынша қорытынды.....	71
3 КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАЛАРДЫ БАЛҚЫТУҒА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ШИХТА МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН БРИКЕТТІ ЗЕРТТЕУ.....	73
3.1 Кешенді лигатураларды балқытуға арналған шикізат материалдарының сипаттамасы.....	73
3.1.1 Марганец кендерінің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу.....	73
3.1.2 Жоғары күлді көмірдің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу.....	79
3.2 Құрамында марганец бар кендерді брикеттеу процесін зерттеу.....	84

3.3	Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын балқытудың материалдық балансын есептеу.....	87
	3 тарау бойынша қорытынды.....	90
4	Fe-Si-Mn-Al КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАСЫН БАЛҚЫТЫП АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН СЫНАУ.....	92
4.1	Кен-термиялық зертханалық және ірі зертханалық электр пештерінде балқыту үшін шихта материалдарын дайындау.....	92
4.2	Қуаттылығы 150 кВ·А зертханалық кен-термиялық электр пешінде Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын балқыту.....	96
4.3	Қуаттылығы 200 кВА кен-термиялық электр пешінде Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын балқыту бойынша ірі зертханалық сынақтар.....	99
4.4	Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасының техникалық-экономикалық талдауы.....	109
4.5	4.5 Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасының физикалық-химиялық және металлургиялық қасиеттері.....	111
	4 тарау бойынша қорытынды.....	116
	ҚОРЫТЫНДЫ.....	118
	ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	122
	ҚОСЫМША А – Мақсатты патенттік іздеу нәтижесі.....	131
	ҚОСЫМША Ә – Зертханалық сынақтар жүргізу туралы Акт.....	134
	ҚОСЫМША Б – Ірі зертханалық сынақтар жүргізу туралы Акт.....	137
	ҚОСЫМША В – АМТ АҚ алынған мәліметтер.....	140
	ҚОСЫМША Г – Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу туралы Акт.....	142
	ҚОСЫМША Ғ – Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу туралы Акт.....	144
	ҚОСЫМША Д – Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу туралы Акт.....	145

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сәйкес сілтемелер қолданылған:

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

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

МемСт 7.32-2017 – Ақпараттық, кітапханалық және басылымдық стандарттар жүйесі. Ғылыми-зерттеу жұмысы туралы есеп. Құрылым және рәсімдеу ережелері;

МемСт Р 15.011-2005 – Өнімдерді әзірлеу және өндіру жүйесі. Патенттік зерттеу. Мазмұны мен тәртібі;

МемСт 22772.1-96 (ИСО 310-81) – Марганец кені, концентраты және агломераты. Гигроскопиялық ылғалдылықты анықтау әдісі;

МемСт 22772.2-96 (ИСО 4298-84) – Марганец кені, концентраты және агломераты. Жалпы марганецті анықтау әдісі;

МемСт 22772.3-96 (ИСО 312-86) п.4 – Марганец кені, концентраты және агломераты. Марганец диоксидін анықтау әдістері;

МемСт 22772.4-96 (ИСО 7990-85) п.5 – Марганец кені, концентраты және агломераты. Жалпы темірді анықтау әдісі;

МемСт ISO 1171-2012 – Қатты минералды отын. Күлдің құрамын анықтау;

МемСт ISO 5071-1-2013 – Қоңыр көмір мен лигнит. Аналитикалық үлгідегі ұшқыш заттардың шығынын анықтау;

МемСт 22552.1-2019 – Шыны өнеркәсіп үшін кварц құмы, құмтас, кварцит және жильный кварц. Кремний диоксидін анықтау әдістері.

АНЫҚТАМАЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі терминдерге сәйкес анықтамалар мен аудармалар қолданылған:

Оттексіздендіру – металдарда еріген оттегіні және болат құрамындағы зиянды қосындыларды жою, азайту кетіру процесі;

Тотықсыздану – атоммен, молекуламен немесе ионмен электрондарды қосып алу арқылы тотығу дәрежесін төмендететін процесс. Тотықсыздандырғыш көмегімен кен тотықтардан оттегін өзіне қосып және байланыстырып алу;

Физика-химиялық талдау – металдардың, қорытпалардың, қождардың және т.б. күй параметрлеріне тәуелділігін (қысым, температура және т.б.) зерттеу әдістерінің жиынтығы;

Фазалық талдау – талданатын материалдағы фазалардың мөлшерін анықтау және оларды идентификациялау үшін, зерттеудің химиялық, рентгендік құрылымдық және басқа әдістердің жиынтығы.

БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі белгіленулер мен қысқартулар қолданылған:

ҚарИУ	– Қарағанды индустриялық университеті КеАҚ
ХМИ	– ҚР минералды шикізатты кешенді қайта өңдеу ұлттық орталығының филиалы Ж.Әбішев атындағы Химия-металлургия институты;
ИМЕТ	– Ресей Ғылым академиясының Орал бөлімінің Metallургия институты Федералды мемлекеттік бюджеттік ғылыми мекемесі (Екатеринбург қ., Ресей Федерациясы);
КЛ	– кешенді лигатура;
МемСТ	– мемлекеттік стандарт;
ҚР СТ ISO/IEC	– Қазақстан Республикасының Ұлттық стандарты ISO/IEC;
АМС	– Алюмосиликомарганец қорытпасы;
ТТТ	– толық термодинамикалық талдау.

КІРІСПЕ

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

Әлемдік сапа стандарттары жыл сайын артып келеді, оның аясында өндірушілер бәсекеде сапаны жоғалтпай, энергия ресурстары мен қолданылатын материалдарды үнемдеу арқылы металл өнімдерінің құнын төмендетуге тырысады. Осыған байланысты қара металлургияны дамытудың басым бағыттарының бірі табиғи шикізат пен техногендік қалдықтар негізінде көпмақсатты мақсаттағы жаңа материалдар өндірісін ұлғайту болып табылады.

Болаттың сапасын едәуір жақсартуды кремний, марганец және алюминийден тұратын кешенді лигатураларды қолдану арқылы қамтамасыз етуге болатындығы белгілі, олар оттексіздендіру сатысында оттегі мен металл емес қоспалардан тереңірек тазартуға ықпал етеді [1, б. 98-104, 2, б. 63-69 3, б. 495-500, 4, 5, б. 305-313].

Лигатураны оларды құраушы таза металдарынан немесе кендерден, концентраттардан және ферроқорытпа өндірісіне тікелей қолданылмайтын материалдарды балқыту алу арқылы алады. Қара металлургияда лигатура ферроқорытпалардан тек легірлеу үшін ғана емес, сонымен қатар болатты оттексіздендіру және арнайы қорытпалар алу үшін қолданылатындығымен ерекшеленеді. Әдеби дереккөздерге сүйене отырып, біздің пайымдауымызша, бұл дұрыс тұжырым емес, өйткені лигатураның жалпы атауы қорытпаға әсер ету әдісіне (легірлеу, модификациялау, оттексіздендіру, күкіртсіздендіру және т.б.) қолданылмайды. Терминологиялық сөздікте, «лигатура» латынша – «байланыс» дегенді білдіреді. Қазіргі уақытта техникалық әдебиеттерде «модификациялау және легірлеу үшін лигатура» тіркесі қолданылады. Жоғарыда айтылғандардың негізінде ферроқорытпаларды лигатураларға жатады деп айтуға болады [6, 7. б. 37-42].

Болатты және арнайы болатты оттексіздендіру және легірлеуге арналған арнайы қорытпалар өндірісінде кешенді лигатураларды (бұдан әрі мәтінде – «КЛ») пайдалану керек екендігі белгілі [1, б. 98-104]. Бұрын КЛ балқыту агрегаттарында немесе кен термиялық пештен құю кезінде шөміштерде бірнеше ферроқорытпаларды балқыту әдісімен алынған. Алайда, бұл әдіс үнемсіз, өйткені бірнеше ферроқорытпаларды қайта балқытқан кезде қосымша электр энергиясы мен материалдық шығындарға әкеледі, және қоршаған ортаға кері әсерін тигізеді [8, б. 161-162].

Г.В. Медведев пен Т.Д. Такеновтің авторлық еңбектерінде стандартты емес шикізат материалдар: төмен сұрыпты марганец кені, жоғары күлді көмір немесе көмір жыныстарынан КЛ балқыту мүмкіндігі көрсетілген [1, б. 62-90]. Құрамында марганец бар кендерді және энергетикалық мақсаттарда пайдаланылмайтын жоғары күлді көмірді металлургиялық қайта өңдеуге тарту өндірістік кәсіпорындар мен ғылыми-зерттеу орталықтарының бірінші кезектегі міндеттерінің бірі болып табылады.

Fe-Si-Mn-Al КЛ-дың стандартты ферроқорытпаларға қарағанда бірқатар артықшылықтары бар, олар болатты оттексіздендіру процесін жақсартады

(болатта тез ериді), сайып келгенде, болаттың пайдалану қасиеттерін арттырады, ал өңделген металл құрамында металл емес қоспалар ең аз мөлшерде болады. КЛ өндірісі шикізат материалдарының жаңа түрлерін қолдануға, техногенді кондициялық емес шикізат материалдарын қайта өңдеуге, олардың барлық компоненттерін барынша пайдалануға және ферроқорытпаларды алудың аз және қалдықсыз технологияларын әзірлеуге мүмкіндік береді [9, б. 547-552, 10].

Сұйық болатты оттексіздендіру және өңдеу үшін КЛ-ды қолдану тиімділігі теориялық және іс жүзінде дәлелденген. Алайда, қазіргі уақытта Қазақстанның ферроқорытпа саласы металдар нарығына құрамында кремний, марганец және алюминий бар қорытпаларды ұсына алмауды. Осыған байланысты, әсіресе табиғи шикізаттан және (немесе) техногендік қалдықтардан КЛ алу технологиясын әзірлеу өзекті болып табылады.

Қазақстан марганец кені қоры бойынша әлемде үшінші орын алады, бұл ретте олардың негізгі қорлары Орталық Қазақстанда, соның ішінде Атасу, Жезді-Ұлытау кен аудандарының кен орындарынан тұрады [11-12, 13, б. 9-11]. Қазіргі уақытта ірі және орта кен орындарын игерумен қатар марганец және темір-марганец шикізатының болуымен сипатталатын және металлургия өнеркәсібі үшін қосымша шикізат көзі бола алатын шағын кен орындарын геологиялық барлау жүзеге асырылуда. Оларды алдын-ала өңдеусіз және байытусыз стандартты ферроқорытпаларды алу үшін пайдалану темір мен кремнийдің жоғары болуына және өнімділіктің төменділігіне байланысты өндірісте пайдалануға мүмкіндік бермеуде.

Сонымен қатар, коммуналдық-тұрмыстық қажеттіліктер үшін пайдаланылатын жоғары күлді көмір қорларын металлургиялық өңдеуге тарту құрамында Si және Al бар қорытпалар мен лигатуралар алуды ұйымдастыру перспективті бағыттардың бірі болып табылады. КЛ балқыту үшін техникалық және химиялық құрамы бойынша Сарыадыр (Теңіз-Қоржынкөл бассейні), Борлы (Қарағанды бассейні) кен орындарының және де алғаш рет осы бағытта қолданылып отырған Жамантұз кен орнының көмірлері неғұрлым сәйкес келеді [14, 15, б. 142-147, 16, б. 243-244, 17, б. 23-53].

КЛ алу технологиясының оңтайлы шешімдеріне қарамастан, бұрын жүргізілген ғылыми-зерттеу жұмыстары барысында қорытпаның өздігінен шашырауына және болат балқыту өндірісінің алынатын КЛ-ға қойылатын талаптарға байланысты бірқатар проблемалар анықталды. Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту кезіндегі технологиялық тиімсіз жақтарының бірі де бірегейі – қорытпаның сууы кезінде, қалыптарға құйылғаннан кейін өздігінен шашырай бастауында. Қорытпа алдымен жарылып, содан кейін ұнтақ түрінде ыдырайды. Шашыраудың негізгі себептері ретінде қорытпаның қайта кристалдануы кезіндегі көлемді өзгерістер деп саналады [1, б. 62-68; 2, б. 66-69]. Сонымен қатар, қорытпаның шашырауына бейімділік фосфор мен алюминийдің бір мезгілде болуы болып табылатынын келтіреді. Бұл мәселенің негізгі себепін анықтау термодинамикалық диаграммалық талдауды қолдана отырып, алынатын қорытпаның фазалық құрамын зерттеу болып саналады [18-20].

Осылайша, табиғи шикізат пен техногендік қалдықтардан құрамында кремний, марганец және алюминий бар қорытпаларды алуды зерттеуге арналған ғылыми-зерттеу әзірлемелерінің бастапқы базасының болуына, сондай-ақ ұзақ жылдарға жеткілікті шикізат базасының бар болуына қарамастан, бүгінгі таңда Fe-Si-Mn-Al КЛ өндірісінің нақты технологиясы ұсынылмаған.

Тақырыпты әзірлеу негіздемесі және бастапқы деректер

Қазіргі уақытта болат өндірісінің әлемдік көлемі жылына шамамен 2 млрд. тонна. 2021 жылы Қазақстан 4,4 млн.т болат өндірді, осылайша болат өндірісін өткен жылмен салыстырғанда 15%-ға (2020 ж. - 3,8 млн. т) арттырды. Оның ішінде 1,49 млн.тоннасы экспортталды, бұл 2020 жылмен салыстырғанда 24%-ға артты [21]. Болат өндірісі көлемінің өсуі болатты оттексіздендіру және өңдеу үшін қолданылатын ферроқорытпалар өндірісін ұлғайтуды талап етеді. Алайда, жоғары сапалы марганец шикізаты мен кокстелетін көмірдің тапшылығы жағдайында ферроқорытпа өндірісіне тікелей қолданылмайтын марганец кендерін өңдеудің және жоғары күлді көмірді пайдаланудың тиімді технологиялық тәсілдерін іздестіру мәселесі болып отыр. Мәселені шешудің перспективті бағыттарының бірі стандартты емес шикізат негізінде Fe-Si-Mn-Al КЛ өндірісін ұйымдастыру болып табылады.

Сонымен қатар, құрамында кремний, марганец және алюминий бар КЛ қолдану энергия ресурстары мен қолданылатын материалдарды үнемдеу есебінен, болаттың сапасын жоғалтпай металл өнімінің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл сапалы сипаттаманы марганец, кремний дәстүрлі ферроқорытпаларын және техникалық таза алюминийді алмастыра отырып, лигатура алу үшін құрамында марганец бар кендерді және жоғары күлді көмірді металлургиялық қайта өңдеуге тарту арқылы шешуге болады.

Диссертациялық жұмыста Қазақстан Республикасы Үкіметінің жанындағы Ұлттық ғылыми кеңестің, «Геология, минералды және көмірсутек шикізатын өндіру және қайта өңдеу, жаңа материалдар, технология, қауіпсіз бұйымдар мен конструкциялар» басым бағыты бойынша, соның ішінде «Табиғи шикізат пен техногендік қалдықтарға негізделген көпмақсатты мақсаттағы жаңа материалдар» мамандандырылған ғылыми бағыты бойынша жүргізілген Қазақстанның жоғары күлді көмірі және марганец кендерін қолдана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ өндіру технологиясын жетілдіру бойынша зерттеу нәтижелері келтірілді.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу қажеттілігін негіздеу

Құрамында марганец пен кремний бар ферроқорытпалардың стандартты маркаларын, сондай-ақ болатты оттексіздендіру және өңдеу кезінде қолданылатын алюминийді алудың қолданыстағы технологиялары, шикізат құрамына жоғары сапалы табиғи шикізат және қымбат материалдар (жоғары сортты кен материалдары, алюминий ұнтағы және металлургиялық кокс) пайдаланылады. Сонымен бірге жоғары күлді көмірдің, сондай-ақ алдын ала өңделмеген және байытылмаған құрамында марганец бар кендердегі негізгі элементтерді кешенді лигатура құрамындағы кремний, марганец және алюминийдің арзан көзі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Ал ол өз

кезегінде стандартты ферроқорытпаларды толық немесе жартылай ауыстырға мүмкіндік туғызып, оларды өндіруде қолданылатын қымбат жоғары сапалы материалдарға деген сұранысты азайтады. Жоғарыда аталған негіздемелер осы ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізуді қажет етті.

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

Ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу барысында әдебиеттер мен патенттік зерттеулерге шолу жасалды. Шолу нәтижелері металлургиялық қайта өңдеуге ферроқорытпа өндірісіне тікелей пайдаланылмайтын марганец кенін және энергетикалық емес жоғары күлді көмірді тарта отырып, құрамында кремний, марганец және алюминий бар КЛ алу мәселесінің кенінен зерделенгеніне қарамастан және оны балқыту, сонымен қатар болатты оттексіздендіру кезінде қолдану технологиясының ұсынылмағанын көрсетті.

Жоғарыда баяндалғандардың негізінде Қазақстанның жоғары күлді көмір мен марганец кендерін қолдана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ өндірудің теориялық негіздерін дамыту және технологиясын жетілдіру жөніндегі ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізудің қажеттілігі туралы қорытынды жасауға болады.

Диссертацияның метрологиялық қамтылуы жөніндегі мәліметтер

Зерттеу жұмысын орындау кезінде сынамаларды дайындау және іріктеу МемСТ-ке сәйкес жүргізілді. Барлық бастапқы шихта материалдары мен алынған қорытпаның тәжірибелік үлгілеріне химиялық талдау ҚР СТ ISO/IEC 17025-2007 талаптарына сәйкес химиялық және физикалық талдаулардың заманауи сертификатталған әдістемелерімен және тиісті стандартталған аспаптармен, аттестатталған сынақ жабдықтарымен және өлшеу құралдарымен қамтамасыз етілген ҚР аккредиттеу жүйесінде аккредиттелген сынақ орталығының сертификатталған зертханасында жүргізілді.

Зерттеу жұмыстарын орындау үшін КарИУ «Металлургия» оқу-ғылыми-өндірістік орталығы» өнеркәсіптік алаңы мен ХМИ эксперименттік-өндірістік учаскесіндегі ғылыми-зерттеу жұмысына қажетті материалдық-техникалық зерттеу инфрақұрылымы пайдаланылды.

Бастапқы шихта материалдары мен ақырғы өнімдердің фазалық құрамы мен құрылымын зерделеу және талдау кезінде жұмыстың бір бөлігі ИМЕТ базасында жоғары және төмен температуралы камералар жиынтығымен, поликапиллярлы оптика жүйесімен жабдықталған жапондық XRD 7000C рентгендік дифрактометрінде, сондай-ақ «Академик Е. А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті» КеАҚ базасында өрістік эмиссиясы бар катодты FEG SEM (TESCAN MIRA3) сканерлейтін электрондық микроскопта және «Назарбаев Университеті» АҚ базасында көпфункционалды Rigaku SmartLab рентгендік дифрактометрінде жүргізілді.

Тақырыптың өзектілігі

Жұмыстың өзектілігі жоғары сапалы металдар мен металл бұйымдарын өндірудің ұлғаюымен, сондай-ақ Қазақстан Республикасының тікелей ферроқорытпа өндірісіне қолдануға жарамсыз құрамында марганец бар кендерді және энергетикалық емес жоғары күлді көмірді металлургиялық қайта өңдеуге тарту болып саналады.

Жоғары сапалы металдар мен металл бұйымдарын өндірудің көлемінің ұлғаюымен қатар сапа да жыл сайын артып келеді, оның аясында өндірушілер бәсекеде сапаны жоғалтпай, энергия ресурстары мен қолданылатын материалдарды үнемдеу арқылы металл өнімдерінің құнын төмендетуге тырысуда. Болаттың сапасын жақсартуды құрамында кремний, марганец және алюминий бар КЛ-ды қолдану арқылы қамтамасыз етуге болады, олар оттектендіру сатысында болатты оттегі мен металл емес қоспалардан терең тазартуға ықпал етеді.

Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқыту бойынша бұрын ғылыми-зерттеу жұмыстары шихта құрамында марганец кенін, жоғары күлді көмірді, кварцитті және т. б. пайдалана отырып, жүргізілген. Шикізат материалдарындағы үш және одан да көп компоненттерді балқыту кезінде процесті реттеудің қиындығы және КЛ өздігінен шашырауының белгісіздігі тұрақты технологиялық режимге шығуға мүмкіндік бермеді. Қазіргі уақытта жинақталған практикалық тәжірибе, жүргізілген теориялық зерттеулер КЛ-ды балқыту мәселесін жаңа тұрғыдан шешуге мүмкіндік беруде. Ал химиялық құрамы бірнеше элементтен тұратын КЛ-ды табиғи шикізат материалдарынан және техногенді материалдардан бір сатылы карботермиялық қожсыз тәсілмен алудың әлемдегі аналогтары кездеспейді.

КЛ алу технологиясын әзірлеу Қазақстан Республикасының тікелей ферроқорытпа өндірісіне қолдануға жарамсыз марганец кен орындарының өндірісін арттыруға және жаңадан кен орындарды әзірлеуді ұйымдастыруға, сондай-ақ бұрын халық шаруашылығы секторында ғана пайдаланылатын көмір кен орындарын өндіру көлемін ұлғайтуға мүмкіндік береді. Жоғары күлді көмірді пайдалана отырып, КЛ өндіру технологиясын игеру Қазақстанның ферроқорытпа өндірісінің ұзақ мерзімді шикізат базасы ретінде Қазақстанның көмір кен орындарының рөлін айқындайды.

Тақырыптың жаңалығы: теориялық және эксперименттік зерттеулер нәтижесінде тыныш және жартылай тыныш болат өндірісінде оттектендіргіш ретінде қолдануға бағытталған тікелей ферроқорытпа өндірісіне қолдануға жарамсыз марганец кені немесе марганец кені және кокс қалдығынан дайындалған брикет пен энергетикалық тұрғыдан жарамсыз болып табылатын жоғары күлді көмірден өздігінен шашырауға ұшырамайтын КЛ-ды алу технологиясы әзірленді.

Жұмыстың өзге ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы

Диссертациялық жұмыста келтірілген ғылыми-зерттеу жұмыс нәтижелері Қазақстан Республикасы Үкіметінің жанындағы Ұлттық ғылыми кеңестің «Геология, минералды және көмірсутек шикізатын өндіру және қайта өңдеу, жаңа материалдар, технология, қауіпсіз бұйымдар мен конструкциялар» басым бағытымен тығыз байланысты және АР08052301 – «Жоғары белсенді Al-Mn-Ca-Si элементтерінен тұратын қорытпамен металл емес қоспалардан тазарту және өңдеу жолымен сапалы болат құю өндірісі технологиясын әзірлеу» жобасы бойынша 2020-2022 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша жас ғалымдарды гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты – ҚР-дың құрамында марганец бар шихта материалдарынан және жоғары күлді көмірлерінен Fe-Si-Mn-Al құрайтын кешенді лигатуралар алу технологиясын әзірлеу болып табылады. Бастапқы шихта материалдары мен алынған өнімдердің физикалық-химиялық сипаттамаларын зерттеу. Кешенді лигатураны балқыту процесінің ұтымды технологиялық параметрлерін анықтау.

Зерттеу нысаны – ҚР құрамында марганец бар кендерден және жоғары күлді көмірлерінен өздігінен шашырамайтын Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды алу процесі болып табылады.

Зерттеу пәндері – бастапқы шихта, оның ішінде тікелей ферроқорытпа өндірісіне қолдануға жарамсыз марганец, жоғары кремнийлі кендер, энергетикалық емес жоғары күлді көмір, марганец кені мен кокстен алынған брикет, сондай-ақ Fe-Si-Mn-Al негізіндегі кешенді лигатура болып табылады.

Зерттеу міндеттері және олардың ғылыми-зерттеу жұмысын орындаудағы орны

Диссертациялық жұмыстың бірінші тарауында марганец кенін және жоғары күлді көмірді тотықсыздандырғыш ретінде пайдалана отырып, КЛ (АМС) балқыту технологиясы, олардың болат өндірісінде қолданылуы жөніндегі мәселенің қазіргі жай-күйіне қысқаша талдау жүргізілді. Fe-Si-Mn-Al негізіндегі КЛ-дың осы уақытқа дейін технологиясының жасақталуына кедергі, негізгі кемшілігі айқындалды. КЛ-ды балқыту үшін шихта материалдарының Қазақстан Республикасындағы перспективті шикізат базасы бойынша аналитикалық шолу жүргізілді. Мәселенің жай-күйі мен ұсынылған технологиялардың анықталған кемшіліктерін талдау негізінде қорытынды жасалып, зерттеу міндеттері белгіленді.

Екінші тарауда термодинамикалық диаграммалық талдау әдісімен жасалған теориялық зерттеулердің нәтижелері келтірілген, Fe-Si-Mn-Al төрт компонентті металл жүйесіне фазалық талдау жасалып, жүйенің тетраэдрациясы жүргізілді, нәтижесінде 56 қарапайым тетраэдр анықталды. Термодинамикалық диаграммалық талдау нәтижелері бойынша осы жұмыстың бірінші бөліміндегі негізгі кемшіліктердің бірі де бірегейі ретінде көрсетілген алынған қорытпаның шашырауына әсер ететін аймақ анықталды.

Математикалық жоспарлауды және технологиялық процестерді модельдеудің әмбебап модульдері бар термохимиялық HSC Chemistry бағдарламалық кешенін қолдана отырып, толық термодинамикалық талдау (ТТТ) негізінде КЛ алудың технологиялық процесі болжамдалды.

КЛ-дың негізгі элементтерінің қорытпаға ауысуының оңтайлы жағдайларын іздеуде екінші ретті айналмалы жоспарларға негізделген зерттеу әдісі қолданылды, тиісті регрессия теңдеуін алу және оңтайландыру параметрлерінің геометриялық бейнесін құру Стьюдент критерийі бойынша, ал теңдеудің адекваттылығы Фишер критерийі бойынша анықталды. Алынған мәліметтер төртінші бөлімде КЛ зертханалық және ірі зертханалық балқыту кезінде қолданылды.

Үшінші тарауда зертханалық жағдайда бастапқы шихта материалдарына металлургиялық бағалау жүргізілді: марганец кендерінің жұмсару дәрежесі мен

көміртекті шихта материалдарының меншікті электрлік кедергісі анықталды. Кендегі марганецтің мөлшері неғұрлым көп болса, жұмсарту процесі жоғары температура аймағында жүретіндігі және жұмсару процесінің температура аралығы азаятындығы анықталды. Құрамында көміртегі бар материалдардың электр кедергісін зерттеу бойынша алынған нәтижелер кен термиялық пештерде зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізу үшін базалық және негіз қалаушы мәлімет ретінде анықталды.

Төртінші тарауда зертханалық зерттеулердің және екінші тарау бойынша алынған теориялық тұжырымдар нәтижелері негізінде қуаттылығы 150 және 200 кВ·А зертханалық және ірі зертханалық кен термиялық пештерде феррокорытпа өндірісіне тікелей жарамсыз марганец кендерін, құрамында марганец бар брикеттерді және жоғары күлді көмірді пайдалана отырып, КЛ-ды балқыту технологиясы әзірленді. Қуаттылығы 150 кВ·А зертханалық пеште жүргізілген тәжірибелік сынақтар ұсынылған шихта материалдарын пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқытып алыну мүмкінділігі айқындалды. Ал қуаттылығы 200 кВ·А ірі зертханалық кен термиялық пеште сынақтар сериясы жүргізілді, құрамында марганец бар кеннен, брикеттерден және жоғары күлді көмірден КЛ алудың принципті мүмкіндігі айқындалды және технологиясы пысықталды.

Зерттеудің әдістемелік базасы

Диссертациялық жұмысты орындау кезінде қолданылатын зерттеулер мен талдаулардың негізгі әдістеріне мыналар жатады:

– зерттелетін жүйенің термодинамикалық диаграммалық талдауы үшбұрышты тетраэдрге беттестіру әдісімен геометриялық тетраэдрациялар негізінде жүргізілді;

– Гиббс энергиясын азайтуға және термодинамиканың вариациялық қағидаттарына негізделген HSC Chemistry (Outokumpu, Финляндия) бағдарламалық кешенінің «Equilibrium Compositions» модулін тікелей қолдана отырып Fe-Si-Mn-Al құрайтын КЛ-ды балқыту процесін термодинамикалық модельдеу;

– адекватты регрессия теңдеуін анықтау және екінші ретті рототабельді жоспарларға негізделген параметрлердің геометриялық бейнесін құру;

– МемСт 26517-85 сәйкес марганец кеннің жұмсаруының басталу температурасын және жұмсарудың температуралық аралығын анықтау;

– РФА УрБ ИМЕТ әдістемесін қолдана отырып, әртүрлі кен орындарының жоғары күлді көмірлерінің меншікті электр кедергісін анықтау;

– қуаттылығы 150 және 200 кВА кен термиялық электрлі пештерде кешенді лигатураны балқыту;

Бастапқы шихта материалдары мен ақырғы өнімдердің фазалық құрамы мен құрылымын зерттеу және талдау үшін:

– жоғары және төмен температуралы камералар жиынтығы мен поликапиллярлы оптика жүйесі бар XRD7000C (Shimadza, Жапония) рентгендік дифрактометр (РФА УрБ ИМЕТ, Екатеринбург қ. РФ);

– өрістік эмиссиясы бар катодты FEG SEM (Tescan MIRA3) сканерлейтін электронды микроскоп (Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті);

– көпфункционалды Rigaku SmartLab рентгендік дифрактометр («Назарбаев Университеті» АҚ) қолданылды.

Қорғауға шығарылған қағидалар:

– КЛ-дың фазалық-құрылымдық құрылымы негізінде қорытпаның шашырауын зерттей отырып, Fe-Si-Mn-Al металл жүйесінің термодинамикалық диаграммалық талдау нәтижелері;

– технологиялық процестерді модельдеудің әмбебап модульдері бар термохимиялық бағдарламалық кешенді қолдана отырып, КЛ-ды алу процесін термодинамикалық модельдеу нәтижелері;

– КЛ алу үшін құрамында марганец бар әртүрлі кен орындары мен жоғары күлді көмір кендерінің физикалық-химиялық қасиеттері бойынша алынған жаңа эксперименттік деректердің нәтижелері: марганец кенінің жұмсаруының бастапқы, соңғы және температуралық аралықтары, жоғары күлді көмірдің меншікті электр кедергісі;

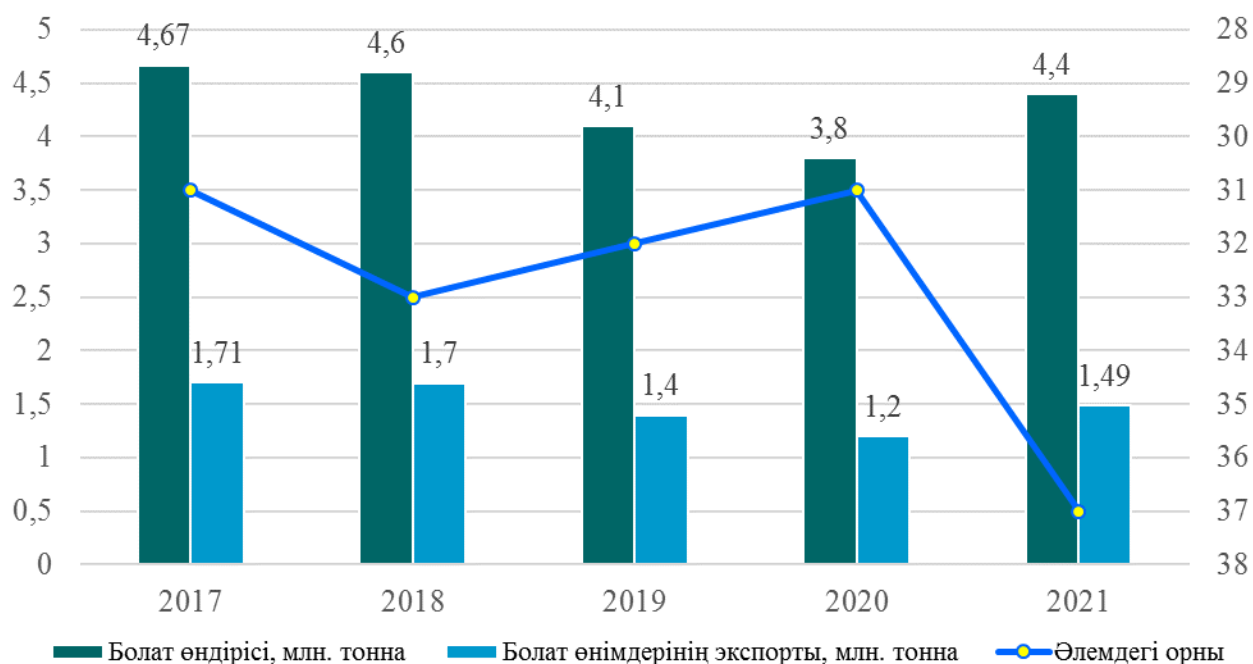
– жоғары температуралар кезінде микроқұрылымды зерттей отырып, құрамында марганец бар кен мен кокс қалдықтарынан алынған брикеттердің оңтайлы құрамын анықтау бойынша зерттеу нәтижелері;

– марганец кені, брикет пен жоғары күлді көмірді пайдалана отырып, лигатура үлгілерін алуда, қуаттылығы 150 және 200 кВ·А кен термиялық пештерде жаңа кешенді лигатураның зертханалық және ірі зертханалық сынақтар нәтижелері;

– Fe-Si-Mn-Al құрайтын жаңа КЛ-дың физикалық-химиялық және металлургиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері.

1 КРЕМНИЙ, МАРГАНЕЦ ПЕН АЛЮМИНИЙ ҚҰРАМДАС ҚОРЫТПАЛАРДЫ БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІ, КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАНЫ БАЛҚЫТУҒА ҚАЖЕТТІ ШИКІЗАТ БАЗАСЫНА САРАПТАМАЛЫҚ ШОЛУ

Қара металлургияның дамуының басымдық бағыты жоғары сапалы металдар мен металл бұйымдарды өндіру көлемін ұлғайту болып табылады. Металлургия өнеркәсібі – Қазақстан экономикасының жетекші салаларының бірі. Ал металлургиялық өнеркәсіптің негізгі өнімдерінің бірі – болат. Қазақстанда болатты өндірудің негізгі өндірушісі болып қара металлургия алпауыты «АрселорМиттал Теміртау» АҚ саналады. Қазақстан Республикасының соңғы бес жылдағы (2017-2021 ж.ж.) болат өндірісінің көлемі, болат өнімдерінің экспорты мен әлемде алатын орны [21], 1.1-суреттегі графикте көрсетілген. Жалпы алғанда Қазақстан Республикасының әлемдік болат өндірістегі үлесі 0,21-0,26 % шамасында.



Сурет 1.1 – Қазақстан Республикасының болат өндірісінің 2017-2021 жылдардағы потенциалы

Әлемдік болат өндірісіне деген сапа стандарттары жыл сайын артып келеді, оның аясында өндірушілер бәсекеде сапаны жоғалтпай, энергия ресурстары мен қолданылатын материалдарды үнемдеу арқылы металл өнімдерінің құнын төмендетуге тырысады. Болаттың сапасын жақсартуды, оттегімен өңделген болатты өттегі мен металл емес қоспалардан терең тазартуға ықпал ететін, құрамында кремний, марганец және алюминийден тұратын кешенді қорытпаларды немесе лигатураларды қолдану арқылы қамтамасыз етуге болады. Қазақстанның ферроқорытпа саласын дамыту бағыттарының бірі ферроқорытпа өндірісіне тікелей қолданылмайтын

материалдар: құрамында темір мен кремнийдің мөлшері жоғары марганец кендері мен жоғары күлді көмірді металлургиялық қайта өңдеуге тарта отырып, Fe-Si-Al-Mn негізінде КЛ балқыту болып табылады.

Ферроқорытпалар мен КЛ болат пен арнайы қорытпалардың өндірісінде оттексіздендіру үшін, металл емес қоспаларды жою үшін және болатты легірлеу мен құрамын түзету үшін қолданылады. Тарихи деректерге сүйенсек, КЛ бірнеше ферроқорытпаларды балқыту жолымен дайындалды. Алайда, бұл әдіс үнемсіз, себебі дайын ферроқорытпаны қайта қыздырып, балқыту және өңдеу керек. Бұл энергия мен материалдардың айтарлықтай шығынына әкеледі және қоршаған ортаны ластауы мүмкін. Сондықтан КЛ стандартты ферроқорытпаларды алу технологиясы негізінде, тікелей табиғи және техногенді шикізаттан тотықсыздандырып алып балқытуға болатындығы болжанды [3, б. 495-500].

Соңғы фактор бірнеше элементтерді бірлесіп тотықсыздандыру, олардың белсенділігінің едәуір төмендеуіне (элементтерді ең жақсы бөліп алу) және балқу температурасына (эвтектиканың түзілу және т.б.) негізделген. Қорытпаларды тікелей өндіруде болатқа элементтердің тиімді тотығуын және жеткізілуін қамтамасыз ететін, жекелей FeSi, FeMn және Al қолдану кезінде мүмкін емес, құрамында кремний, марганец және алюминий бар, КЛ технологиясын құру кезінде бұл қасиетті едәуір жақсартуға болады [7, б. 37-42, 8, б. 161-162].

Г.В. Медведев пен Т.Д. Такеновтің авторлық еңбектерінде [1, б. 62-68] ферроқорытпа өндірісінде тікелей қолданылмайтын шикізат материалдарынан: құрамында марганеці бар төмен сұрыпты марганец кенінен, жоғары күлді көмірден және көмірлі жыныстардан тұратын КЛ балқыту мүмкіндіктері көрсетілген. Бір балқыту агрегатында бірнеше қиын және жеңіл тотықсызданатын элементтерді бірге тотықсыздандыру арқылы КЛ-ды қожсыз үрдіспен алудың өзіндік артықшылығы байқалды.

1.1 Қазақстан Республикасында құрамында кремний, марганец, алюминий бар кешенді лигатураларды балқыту мәселесінің жай-күйі

Болат балқыту өндірісінде негізінен кремний мен марганец ферроқорытпа түрінде және алюминий техникалық таза түрінде тұтынылады. Әлемде 1 млрд. тонна болатты өндіру кезінде металлургия саласындағы кремний мен алюминийдің шығыны таза металға қайта есептегенде, сәйкесінше 5 млн.т және 1,5 млн. т шығынды құрайды. Кремний мен алюминийдің көрсетілген мөлшерін алу үшін табиғи шикізаттың таза түрлерінің (каолинит, кварц, боксит және кокс) едәуір көлемі, сондай-ақ 110 млрд.кВт·сағаттан астам электр энергиясы жұмсалады [22].

Ферроқорытпа саласы болат балқыту өндірісімен қатар дамып келеді және бұл бағыт жалғасын табады, өйткені ферроқорытпалар мен лигатуралардың негізгі тұтынушысы болат пен арнайы қорытпалар өндірісі және машина жасау саласы болып табылады. Тот баспайтын болатты қолданудың тез өсуі хром (FeCr) және никель (FeNi) ферроқорытпа өндірісінің

өсуіне әкелді, орташа жылдық өсу қарқыны жылына кемінде 5% құрайды. Бұл тот баспайтын болаттың шектеулі болуына байланысты, яғни бастапқы легірлеуші материалдарға, әсіресе Cr, Ni және Mo-ға сұраныс болады. Басқа ауқымды өндіріске ие FeMn, FeSi және SiMn ферроқорытпаларына келетін болсақ, сұраныс төмен легірленген көміртекті болатпен көбірек байланысты. Өсім жылына орта есеппен 2% болады деп күтілуде. Мұндай өсу қарқыны 2% болған кезде әлемде жыл сайынғы болат өндірісі 2040 жылға қарай 2 500 млн. тоннадан асады деп күтілуде, бұл ферроқорытпа өнеркәсібінің түрлі секторларында айтарлықтай өсуді білдіреді.

Қазіргі уақытта өнеркәсіпте болатты оттексіздендіру үшін ферроқорытпалардың дәстүрлі маркалары: ферросилиций ФС45, ФС65, ФС75; ферромарганец ФМн70, ФМн78 мен жоғары сапалы шикізаттан алынған техникалық таза алюминий қолданылады.

Болашақта ферроқорытпалар мен лигатуралардың маркалары мен сапасына қойылатын талаптар қандай болады? Ферроқорытпалардың негізгі құрамы бастапқы шикізатқа, өндіріс технологиясына, тапсырыс берушілердің тілектері мен талаптарына байланысты. Алынған ферроқорытпалардың бағасы алынатын болаттың құрамына тікелей әсер етеді. Болат өндірушілер өзіндік құны төмен сапалы өнім шығаруы керек. Бұл әсіресе жоғары тоннажды тыныш және жартылай тыныш болат маркаларын өндіруде көрінеді. Болаттың тыныш және жартылай тыныш маркаларын өндіру FeSi, FeMn, SiMn ферроқорытпаларынсыз, сондай-ақ металл емес қоспалардан болатты оттексіздендіру және өңдеу үшін қолданылатын техникалық таза алюминийсіз мүмкін емес. Ферроқорытпалардың жоғарыда аталған түрлерін: ферросилиций ФС45, ФС65, ФС75; ферромарганец ФМн70, ФМн78 және техникалық таза алюминий өндіру үшін жоғары сапалы табиғи шихта материалдары мен көп мөлшерде энергия шығындары талап етіледі.

Бүгінгі таңда ХМИ ғалымдары ферроқорытпа өндірісіне тікелей қолдануға жарамсыз марганец кені мен жоғары күлді көмірді металлургиялық өндіріске тарта отырып, КЛ алу технологиясын белсенді түрде дамытып, жетілдіруде. Бұл марганец кені мен жоғары күлді көмірден құрамында Si, Mn және Al тұратын КЛ (АМС) алудың принципті мүмкіндігін зерделеген ғалым-зерттеушілер еңбектерінің жалғасы болып табылады. Өкінішке орай, қорытпаны алу технологиясын жолға қою мен өндірістік ағынға ферросиликоалюминий (ФСА) [14] ретінде қою мүмкін оңай емес, себебі, пайдаланылатын шикізат материалдары: марганец кені мен жоғары күлді көмірдің химиялық және минералогиялық құрамының әртектілігі; алынатын қорытпаның өздігінен шашырау себебінің нақты анықталмауы және де осы құбылысты неғұрлым егжей-тегжейлі зерттелуді талап етеді. Сонымен қатар, болат балқыту мен машинажасау саласында Fe-Si-Mn-Al КЛ химиялық құрамына қойылатын стандарттар мен техникалық шарттар әлі әзірленбеген.

Кеңес Одағының қалыптасу кезеңінде де жоғары сапалы болат бойынша Бірінші Бүкілодақтық конференцияда (1933 ж.) кешенді оттексіздендіргіштерді қолданудың орындылығы анықталды. Алайда, кешенді қорытпалар КСРО-да да, шетелдік капиталистік елдерде де ауқымды өндіріске ие болмады. Бірақ

зерттеу нәтижелері болатты оттексіздендіру үшін күрделі қорытпаларды, соның ішінде АМС қолданудың өте тиімді екенін көрсетті [23-28].

АМС кешенді қорытпаларымен оттексіздендіру дәстүрлі оттексіздендіргіштермен ферромарганец, ферросилиций және алюминиймен салыстырғанда құрамында металл емес қосындылары аз болат алуға мүмкіндік береді. АМС кешенді қорытпасының оңтайлы құрамы, %: 10 Mn, 10 Si, 10 Al және 20 Mn, 20 Si, 10Al деп көрсетілген [24].

А.М. Самарин сұйық болатта кремний мен алюминий элементтері бір уақытта болған кезде оттексіздендіру қабілетін анықтаудың басымдылығын және АМС кешенді қорытпасы түріндегі оттексіздендіргіштерді қолданудың орындылығын атап өтті [26]. Зерттеуші ғалымдар Ф.П. Еднерал, А.М. Самарин және т.б. АМС кешенді қорытпасы оттексіздендіргіш ретінде оң сипаттамаларға ие екенін анықтады [25, 27]. Мысалы, Mn:Si:Al – 4:1:0,4 қатынастағы АМС кешенді қорытпасы болаттың диффузиялық оттексіздендірілуін оттексіздендіру кезеңінің басында тұндырумен алмастыру үшін оттексіздендіруді жылдамдатуға және металл емес қоспаларды жоюға, сондай-ақ күкіртсіздендіру кезеңінің ұзақтығын қысқартуға мүмкіндік береді. Бұл жұмыстың тұжырымы болаттағы оттекті қоспалардың құрамы оттексіздендіру процесінде АМС кешенді қорытпасындағы Mn:Si қатынасы артқан сайын азаяды. Mn:Si:Al – 6:1:0,25 қатынастағы АМС кешенді қорытпасымен оттексіздендірілген болаттың құрамында Mn:Si:Al - 1:1:0,25 қатынастағы қорытпамен оттексіздендірілген болатқа қарағанда үш есе аз тотықтар бар екендігі анықталды, яғни кешенді қорытпадағы марганецтің мөлшері және марганецтің кремнийге мен алюминийге қатынасы елеулі мәнге ие екендігін көрсетеді. С. Н. Голубев және т.б. зерттеушілердің еңбектерінде алғаш рет қандай шикізат материалдарынан кешенді оттексіздендіргішті алу қажеттілігі, әртүрлі әдістермен және шикізат материалдармен алынған нәтижелері төмендегідей [29]:

1) Тоқ өткізгіш түбі бар бір фазалы тотықсыздандыратын шахталық электр пешінде балқыту. Шикізат материалдары: марганец кені, боксит, кварцит, темір жоңқалары және ағаш көмір;

2) Алюмотермиялық әдіспен пештен тыс балқыту ваннасында балқыту. Шикізат материалдары: марганец кені, кварцит, күйінді, калий және алюминий нитраты;

3) Бірге балқыту. Шикіқұрам материалдары: көміртекті ферромарганец, 45% ферросилиций, техникалық таза алюминий және болат жоңқалар.

1.1-кестеде қолданылған АМС КЛ –дың химиялық құрамы келтірілген.

Кесте 1.1 – АМС кешенді қорытпасының химиялық құрамы, %

Әдіс	Mn	Si	Al	C	P	S
1	25,2-26,7	12,6-13,2	5,3-5,7	3,6	0,4	0,01
2	22,24	15,45	5,40	0,28	0,019	0,21
3	23-27	12-19	5,6-5,8	1,8	0,25	0,15

Болатты оттексіздендіру кезінде дайын болаттағы оттегі мен металл емес қоспалардың мөлшері АМС кешенді қорытпасын өндіру әдісіне байланысты емес екендігі анықталды, ал АМС кешенді қорытпасын пайдалану кезінде болаттың тазалығы тек бір оттексіздендіргішпен салыстырғанда артатындығы анықталды. Ғалымдар қорытпаның құрамының өзгеруі металл емес қоспалармен ластануға әсер етпейтінін атап өтті.

Электр доғалы және мартен пештерінде болатты балқыту кезінде АМС КЛ қолдану Ф.П. Еднерал, З.М. Калинина, А.И. Комиссаров, Н.В. Кейс еңбектерінде зерттелген [30-33]. Болатты электр доғалы балқыту кезінде АМС КЛ оттексіздендіру кезеңінің басында металлға енгізілді, ал Челябинск металлургия зауыты жағдайында болат мартен пешінің шөмішінде алдын-ала оттексіздендірілді. Қолданылған АМС КЛ құрамы: 60-78% Mn, 11-17% Si 4-7% Al шегінде болды.

Кремнийдің 10% және алюминийдің 5% тұрақты құрамы кезінде марганецтің құрамын 10%-дан 60%-ға дейін өзгерте отырып, болатты АМС КЛ-мен оттексіздендіру жүргізілді [34]. Нәтижесі көрсеткендей, КЛ болаттың оттегі мен металл емес қоспалардан тазалығын едәуір арттыратынын көрсетті. Кешенді болаттағы марганецтің мөлшерінің жоғарылауы жоғарыда аталған сипаттамаларға оң әсер етеді.

И. П. Казачков, Д.Я. Поволоцкий және т. б. ғалымдар АМС КЛ -ды шөміште оттексіздендіру үшін және болатты алдын-ала оттексіздендіру үшін қолданды, оның нәтижелері болаттың ұсақ бөлшектелген металл емес қоспалардың басым болуымен алынғанын және металл емес қоспамен байланысты дайын металл өнімдерінің ақаулығы салыстырмалы түрде азайғанын көрсетеді [35, 36, б. 13-17].

Болаттың тыныш және жартылай тыныш маркаларынан басқа, АМС КЛ 12ХНВА және 18ХНВА хромды болаттарын оттексіздендіру үшін де қолданылды. Оң нәтиже доғалы пеште оттексіздендіру кезеңінің ортасында 18ХНВ болатын оттексіздендіру болды [7, б. 37-42].

Шет елдердің (АҚШ, Жапония, Англия, Франция, Италия және т.б.) тәжірибесінде КЛ-ды, соның ішінде Si, Mn және Al қорытпаларын алу және қолдану тәжірибесі бар. Дайын өнімнің сапасын жақсарту және қара металлургияда техникалық таза алюминийді тұтынудың азайғаны сипатталады [37, 38].

Жапонияда құрамында: 18-22% Si, 18-22% Mn және 18-22% Al бар қорытпа бірге балқыту әдісімен алынған. Бұл әдістің елеулі кемшілігі жоғарыда айтылғандай, балқытып алудың қымбаттығында. Алынған КЛ тек ерекше жағдайларда ғана қолданылады және жаппай өндірілген болаттарды оттексіздендіруде қолдануға экономикалық жағынан тиімсіз. АҚШ пен Италияда марганец мөлшері жоғары кендердің жетіспеушілігін ескере отырып, оттексіздендіру технологиясын жеңілдету және болаттың сапасын жақсарту мақсатында марганецтің кремнийге қатынасы 2-2,5 болатын қорытпаның өндірісі ұйымдастырылды. Құрамында марганец пен кремний бар және оттексіздендіруде қолданылатын қорытпалардағы Mn/Si қатынасы ерекше

мәнге ие. Ферросилицийді қолданбайтын нәтижеге қол жеткізуге болады, бірақ болаттың мұндай сорттары аз.

Ферроқорытпа саласында шикізатты кешенді қайта өңдеу тиімділігін арттыруға дайындалған шикіқұрамды (кен мен тотықсыздандырғышты бірге брикеттеу) қолдану ықпал етеді. Қождағы элементтердің белсенділігін арттыратын қождамалардың жаңа түрлерін пайдалану арқылы, мысалы, құрамында сілтісі бар қождамалар; үйінді қождарды қосымша тотықсыздандыру, шикізат материалдарын дайындау, тасымалдау, құймаларды құю және бөлу кезінде пайдалы компоненттердің механикалық шығындарын азайту және т.б.

КСРО-да кесектелген материалдар іс жүзінде қолданылмады. Сонымен қатар, шетелде (АҚШ, Жапония, Оңтүстік Африка) хром қорытпаларын, ферросилицийді алу үшін брикеттелген шихта қолданылды [38-39]. Кеңес зерттеушілері (А. П. Ем, С. И. Хитрик, А. Т. Хвичия және т. б.) жүргізген эксперименттер ферросилиций, марганец және басқа ферроқорытпаларды өндіруде брикеттелген шикіқұрамды қолданудың тиімділігін көрсетті [40-43].

Осылайша, барлық дерлік АМС КЛ-мен оттексіздендіру зерттеулері, қорытпаның жеке дәстүрлі оттексіздендіргіштермен салыстырғанда, сөзсіз артықшылықтары бар екенін көрсетті. АМС КЛ-дың оңтайлы құрамына қатысты зерттеушілердің пікірлері бірдей емес және бір-біріне қайшы келеді. Марганецтің мөлшері сәйкесінше 10%-дан 78%-ға дейін, кремний 10-20 %, алюминий 4-10% аралығын құрайды. Бірақ АМС КЛ-мен болатты оттексіздендіру бойынша жоғарыда аталған зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, дайын өнімді оттектен және металл емес қоспалардан тазарту үрдісін жылдамдататындығы анықталды.

АМС КЛ-ды кешенді оттексіздендіргіш түрінде қолдану бойынша аналитикалық шолудың нәтижелері көрсеткендей, болаттың құрамында металл емес қоспалардың мөлшерінің төмендеуіне әкелетдігін көрсетеді. Болатты кешенді оттексіздендіру идеясы болатты оттексіздендіру өнімдері сұйық түрінде алынады, өйткені әртүрлі оттексіздендіргіштердің екі-үш тотығы оңай балқитын фазаны құрайды, ал металл емес қоспалар оттексіздендіру өнімдері ретінде оңай үлкейіп, сұйық металдан бөлініп шығады. Мұндай технология дәстүрлі оттексіздендіргіштердің бірін толығымен немесе ішінара алмастыра отырып, КЛ-ды пайдалану арқылы жүзеге асырылады.

Болатты АМС КЛ-мен оттексіздендіру келесі мәселелерді шешуге мүмкіндік береді:

- металл емес қоспаларды азайту есебінен болаттың сапалық көрсеткішін жоғарылату;
- кешенді оттексіздендіргіштің бір компонентінің пайдалану тиімділігін басқа компоненттермен қорғау арқылы арттыруға мүмкіндік береді;
- металл емес қоспаларды металдан шығаруды жеңілдету мақсатында олардың құрамы мен морфологиясын жақсарту;
- дайын өнімнің қасиеттеріне металл емес қосындылардың зиянды әсерін азайту.

АМС КЛ-ды алу туралы, сондай-ақ КЛ-ды қолдану нәтижелері туралы мәліметтер Химия-металлургия институтының ғалымдары Г.В. Медведев пен Т.Д. Такеновтің «Сплав АМС» ғылыми еңбегінде толығырақ келтіріледі, онда алюминосиликомарганец КЛ-ды алу процесін зертханалық, эксперименттік және технологиялық зерттеу нәтижелері берілген. АМС КЛ-ды алу кезінде қолданылатын шикізат материалдары марганец кені мен жоғары күлді көмірдің барлық жетекші элементтерін пайдалану бойынша теориялық негіз қаланды. Химия-металлургия институты Ермаков (Ақсу), Ақтөбе және Зестафон (Грузия) ферроқорытпа зауытымен бірлесіп әзірлеген АМС КЛ балқыту бойынша техникалық-экономикалық және технологиялық көрсеткіштері келтірілген. Нәтижесінде құрамында Si, Mn және Al бар АМС КЛ жоғары күлді көмір мен марганец кенін қожсыз көміртекті (карботермиялық) процеспен бірге тотықсыздандыру жолымен алынды [1, б. 75-98]. Сонымен қатар М.И. Друинский мен В.И. Жучковтың «Қазақстанның минералды шикізатынан кешенді ферроқорытпаларды алу» ғылыми еңбегінде тек қана АМС КЛ ғана емес, осы типтегі қорытпалар (ФСА, ФАСК, АХС және т.б.) туралы да толық ақпараттар мен ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері келтірілген [2, б. 62-70].

Ғылыми еңбекте КЛ-ды алу процесінің физикалық-химиялық негіздері қарастырылаған, шикізат материалдарына қойылатын талаптар келтірілген және қорытпаны алу үшін кендерді өңдеу әдістері талданған. Кешенді ферроқорытпаларды алу технологиясы тек АМС ғана емес, сонымен қатар хром, барий, кальций негізіндегі және ФСА КЛ-дарды да сипаттайды. Болат өндірісінде қолдану үшін кешенді ферроқорытпаларды қолдану технологиясы ұсынылады [2, б. 85-111].

АМС КЛ-ды балқыту технологиясын әзірлеудің негізі болат балқыту және машина жасау саласының металлургиялық алыптары пайда болған КСРО-ның шығыс өңірлерін жоғары сапалы марганец бар ферроқорытпалармен қамтамасыз ету үшін Орталық Қазақстанның марганец кен орындарын тарту жөніндегі идея болды. Марганец ферроқорытпаларын өндіруді тұтынушыларға жақындату міндеті тұрды. Кендердің сапасын бағалау және құрамында марганец бар шикізат негізінде марганец ферроқорытпаларын өндіруді ұйымдастыру тек Қазақстанда ғана емес, Сібір мен Оралда да марганец өндірістерін өндіруге қойылатын талаптарға сәйкес келмеді. Кендегі марганецтің төмен мөлшері, көп сатылы байыту және қайта өңдеу сұлбасы өндірілген ферроқорытпалардан өнімнің өзіндік құны 1,5-2 есе асатын болатындығын анықтады.

Құрамында марганец бар кендерді КЛ-ға қайта өңдеу схемасы барлық қолданыстағы технологиялық қайта өңдеу сұлбаларының перспективтісінің бірі болды. АМС КЛ-ды балқыту үшін құрамында марганец бар Қазақстанның кендерінен басқа, Никополь (Украина) және Чиатур (Грузия) кен орындарының төмен сұрыпты концентраттары да пайдаланылып сыналды. Марганец кендерін өңдеудің маңыздылығы бүкілодақтық ауқымға ие болды. [1, б. 62-64 44, 45, 46, б. 17-20].

АМС КЛ-ды балқыту кен мен көмірдің барлық негізгі тотықтарын кешенді пайдаланумен, қорытпаға негізгі барлық элементтерін бөлініп өтуінің (74,5-90,0% Mn, 75,2-88,0% Si, 69,1-80,4% Al) жоғарғы коэффициентімен және де бөліп алу коэффициентімен сипатталады, дайын өнімге кететін кен шығынының төмендігімен сипатталады [31, 32]. Сонымен қатар, қожсыз балқыту (еселігі 0,1) шикізат материалдарының барлық тотықтарын толық тотықсыздандырып фосфорсыздандыру әдісі де болып саналады, яғни фосфорды балқытудың газ тәрізді өнімдеріне өткізуге себебін тигізеді.

ҚазКСР ҒА-ның XX ғасырдың 60-80 жылдары жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша марганец кені мен жоғары күлді көмірден АМС КЛ-ды қожсыз үрдіспен алу кезінде мынадай артықшылықтарға ие екендігі анықталды:

- қолданыстағы технологиялар бойынша марганец ферроқорытпаларын балқыту жөніндегі шикізаттық материалдарға (ферромарганец, силикомарганец) қойылатын талаптарға сәйкес келмейтін марганец кендерін АМС КЛ-ды балқыту кезінде қолдануға болады;

- тотықсыздандырғыш ретінде энергетика және өнеркәсіп салаларында пайдаланылмайтын жоғары күлді көмір қолданылады;

- марганец кені мен жоғары күлді көмірді кешенді тотықсыздандыру кезінде барлық тотықтар қорытпа көзі ретінде қызмет етеді, яғни бос кен жынысы мен көмір күлі құрамындағы кремний мен алюминий де КЛ түзілуіне қатысады;

- АМС КЛ-ды балқыту кезіндегі фосфорсыздану процесі силикомарганецті сол кеннен немесе концентраттан балқытуға қарағанда жоғары;

- марганецтің игерілуі стандартты марганец бар ферроқорытпаларды балқыту кезінде 50%-дан АМС КЛ-ды балқыту кезінде 90%-ға дейін артады;

- басты тиімді жағы АМС КЛ-ды қожсыз балқыту үшін шикізат сапасына қойылатын талаптардың төмендеуі. Өйткені марганец кені құрамындағы марганецтен басқа, кремний мен алюминий де кешенді оттексіздендіргіш құрамында бағалы болып саналады;

- әзірленген технология бойынша АМС КЛ-ды алу үшін шикізат материалдарын өңдеу кезінде байыту, агломерациялау, кокстеу, ұнтақтау және т.б. сияқты қоршаған ортаға зиянын тигізетін процестерге сұраныс азаяды.

Технологиялық тұрғыдан ең тиімсіз жағы болып АМС КЛ-дың балқыту кезінде құймақалыптарға құйылғаннан кейін салқындау кезінде үгітілуі, өздігінен шашырауы болып табылады. Қорытпа алдымен жарылып, содан кейін ұнтақ түрінде ыдырайды. Шашыраудың негізгі себептері ретінде қорытпаның қайта кристалдануы кезіндегі көлемді өзгерістер деп саналады [1, б. 64-68; 2, б. 66-67]. Зерттеушілер А.М. Якушев, В.А. Кудрин, Н.В. Толстогузов, Х.Г. Пурцеладзе және т.б. қорытпаның үгітілуіне бейімділік фосфордың (max. 0,048%) және алюминийдің бір мезгілде болуы болып табылады деп есептейді [18, 46, б. 17-20, 47-49]. Сондай-ақ, үгітілуге белгілі бір химиялық құрамы бойынша ферромарганец, ферросилиций, ферросиликоалюминий сияқты

бірқатар ферроқорытпалардың қасиеті бар екенін атап өткен жөн [36, б. 13-17, 50, 51]. Бұл ферроқорытпаларда үгітілудің себебі әртүрлі, мысалы, ферромарганецте – марганец карбидінің тұрақсыздығы немесе алюминийдің болуы, ал ферросилицийде – қорытпаны құрайтын фазалардың көлемді өзгеруі.

Жоғарыда көрсетілген теріс көрсеткіштер зерттеушілердің Ақтөбе және Зестафон ферроқорытпа зауыттарының пештерінде ауқымды ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізгеніне қарамастан АМС КЛ алуды одан әрі терең зерттеуді талап етуде [1, б. 12-17, 2, б. 89-93].

Қазақстан Республикасы Тәуелсіздік алғаннан кейін болат балқыту өндірісін қайта жарактандыруға байланысты болатты оттектендіру үшін жергілікті шикізатты пайдалану, құрамында кремний, марганец және алюминий бар жаңа КЛ-дың өзектілігі анағұрлым перспективті болды. Осыған байланысты Химия-металлургия институтында ғылыми негіздерді дамыту және құрамында кремний, марганец және алюминий ғана емес, барий және хром бар КЛ-ды балқытуды жетілдіру бойынша жұмыстар жалғастырылды. Нәтижесінде құрамында жоғары күлді көмір мен көмірлі жыныстардан алынған Si және Al бар қорытпаның өндірісі өнеркәсіптік ауқымда жеткізілді.

Бұл жоғары күлді көмірді құрамында көміртегі бар материалдар ретінде пайдалану, сондай-ақ көмірдің күлінен Si және Al қорытпаға өткізу мүмкіндігі кешенді қорытпаларды қолдану кезінде жоғары күлді көмірді шикізат материалы ретінде пайдалану мүмкіндігін дәлелдейді.

Құрамында Si, Mn және Al бар қорытпаны балқыту бойынша тың нәтижелер әлемдік WoS пен Scopus базасына кіретін және Республикалық ғылыми басылымдарда, ғылыми зерттеулерде келтіріледі [9, 15, 52-58, 59, б. 107-110].

Fe-Si-Al-Mn КЛ -ды алудың оңтайлы технологиясын анықтау үшін қуаты 0,2 мВА кен термиялық пеште сынақтар сериясы және «АиК» ЖШС-нің ферросиликоалюминий өндіру зауытында балқыту проценіне апробациялау жүргізілді. Нәтижесінде 62% MnO_2 марганец кенін және 52% жоғары күлді көмір жынысы пайдалану кезінде 10-15% Mn, 55-58% Si, 15-20% Al, 15-20% Fe бар қорытпа алынды. Жетекші элементтердің игерілуі: Si – 88%, Mn – 90% Al – 80% құрады [16, б. 267-270].

ХМИ базасында 2000 жылдан бастап Орталық Қазақстанның әртүрлі жоғары күлді көмірі мен жоғары кремнийлі марганец кендерін пайдалана отырып, құрамында Mn, Si және Al бар қорытпаны балқыту бойынша ҒЗЖ қайта жалғасын тапты. Онда алдын ала өңдеусіз марганец ферроқорытпаларының стандартты маркаларын өндіру үшін жарамсыз төмен сұрыпты жоғары кремнеземді марганец кендері алюмосиликомарганец қорытпасын балқытып алудың оң ерекшеліктері анықталып, ҚР патентімен расталды [15, б. 118-142, 57, б. 816-819].

«Жомарт» кен орындарының жоғары кремнийлі марганец кендерін және «Борлы» мен «Сарыадыр» кен орындарының жоғары күлді көмірлерін пайдаланған кезде 10-15% Mn, 55-58% Si, 15-20% Al құрайтын алюмосиликомарганец КЛ алынды. Алюмосиликомарганец қорытпасын өндіру кезінде негізгі элементтердің шикізат материалдарынан қорытпаға өтуі Si –

87%, Mn – 92% және Al – 85% құрап, жоғары көрсеткіштерге жеткендігін атап өту керек [15, б. 118-142, 57, б. 816-819, 58].

Қазақстаннан басқа посткеңестік республикаларда тау-кен металлургия өнеркәсібінің техногенді және екіншілік қайталама ресурстарынан (құрамында марганец бар шаң, қож, қождардың дымқыл сепарациялау шламдары, электролиттік марганецтің қостотығын өндіру шламдары, болат прокат цехтарының күйінділері, екіншілік алюминий өндірісінің құрамында алюминий бар қожы, «Ткибул» кен орнының жоғары күлді көмірін байыту қалдықтары және т.б.) тұратын кешенді кремний, марганец және алюминий қорытпаларын әзірлеумен және зерттеумен Фердинанда Тавадзе атындағы Металлургия және материалтану институты айналысады (Грузия) [58].

Эксперименттік балқымалардың нәтижелері Грузияның тау-кен металлургия өнеркәсібінің жоғарыда аталған техногендік және құрамында металл бар екіншілік қайталама ресурстарын электрокарботермиялық қайта өңдеу арқылы КЛ-ды балқыту технологиясының талаптарын қанағаттандыратынын көрсетеді. КЛ-дың алынған сынамалары: 26-32% Si; 17-25% Al; 28-50% Mn, 6-14% Fe; 0,6-1,3% C және 0,02-0,09% P құрайды.

Грузияның техногенді және екіншілік қайталама тау-кен металлургиялық ресурстарынан алюмосиликомарганец балқытуын зерттеу және талдау тау-кен металлургия өнеркәсібінің қалдықтары алюмосиликомарганец қорытпасын балқыту үшін пайдаланылуы мүмкін екенін көрсетті. Сондай-ақ құрамында кремний, марганец және алюминий бар КЛ-ды қолданудың тағы бір бағыты тазартылған ферромарганецті балқыту кезінде тотықсыздандырғыш ретінде пайдалану болып табылады, мұнда КЛ дәстүрлі түрде қолданылатын силикомарганецті ферроқорытпасын шикізат материалдары құрамынан ауыстыра алады. Техникалық-экономикалық көрсеткіштері жоғары бағаланған [46, б. 17-20, 59, б. 107-110, 60].

Мақсатты патенттік іздеу МемСТ 15.011-2005 сай қорытпаны алу әдісі мен пайдаланылған шихта материалдары бойынша, сондай-ақ КЛ бойынша практикалық деректерді анықтау үшін жүргізілді. Іздеу алдын ала жұмыс көлемін бағалау және зерттелетін тақырып бойынша ғылыми-техникалық ақпарат алу үшін жүргізілді. Зерделеу Қазақстан, РФ (КСРО) патенттерінің базаларының интернет ресурстарын пайдаланылып, жүргізілді, нәтижесі А қосымшада келтірілген. Іздеу тереңдігі 40 жылды құрады.

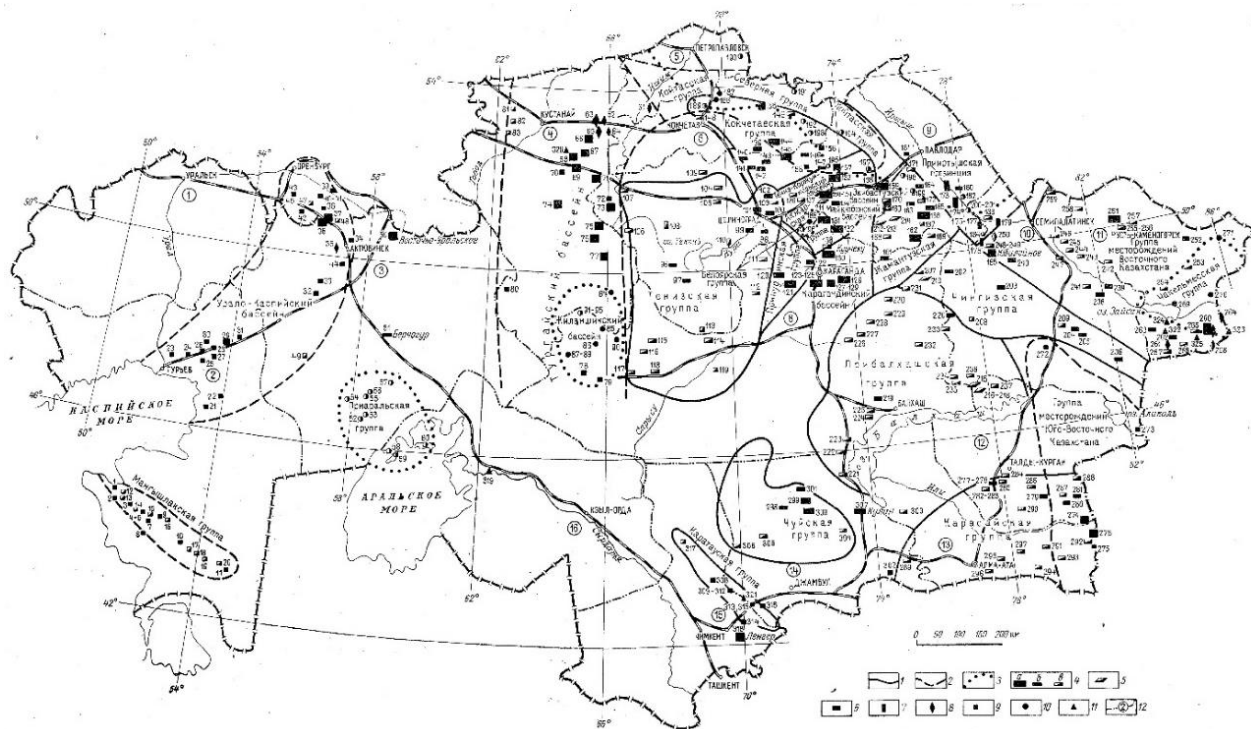
Диссертациялық жұмыста теориялық негіздерді әзірлеу және КЛ-ды балқыту технологиясын дамыту ұсынылады, ол дәстүрлі қорытпаларға қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие оттексіздендіргіштердің дәстүрлі түрлерінің бірін толығымен немесе ішінара алмастыра алады, әсіресе бұл металды металл емес қоспалардан тазарту және оттексіздендіру процесінің кинетикасында айқын көрінеді.

Диссертациялық жұмыста болатты оттексіздендіру кезінде металл емес қоспалардан тазарту процесінің кинетикасында айқын басымдыққа ие дәстүрлі оттексіздендіргіштердің (FeMn, FeSi, SiMn) бірін толығымен немесе ішінара алмастыра алатын Fe-Si-Mn-Al КЛ теориялық негіздерді әзірлеу және КЛ-ды балқыту технологиясын дамыту ұсынылады [61].

1.2 Қазақстан Республикасының көмір бассейндері мен кен орындары туралы жалпы мәлімет

Кез-келген елдің экономикасын дамытудың негізі отын мен энергияны қажет ететін өнеркәсіп болып табылады. Сондықтан көмір өнеркәсібі экономиканың барлық секторларын, әсіресе электр энергиясын дамытудың негізі болып табылады, өйткені көмірді пайдалану арқылы елдің электр энергиясының 74% өндіріледі. Бұл Қазақстанның ішкі нарығында тұтынылатын көмірдің 51%-ы (70%-дан астам). Өнеркәсіп ішкі нарықта тұтынылатын көмірдің тек ~5% тұтынады, ал қалған ~14 коммуналдық қажеттіліктер үшін қолданылады. Өндірілген көмірдің шамамен 30%, яғни 34,02 млн тонна келесі елдерге: Ресей, Швейцария, Беларусь, Украина, Қырғызстан, Өзбекстан, Ұлыбритания, Түркияға экспортталады [62-64].

Бүгінгі таңда Қазақстан көмір қоры бойынша әлемнің он елінің қатарына кіреді. Дәлелденген көмір қоры 33,6 млрд тонна, бұл жалпы әлемдік көлемнің ~4%-ын құрайды. Дәлелденген қорлардың жалпы көлемінде қоңыр көмір көлемінің үлес салмағы 62%-ды, ал қалған 38%-ын тас көмір құрайды. Көмір өндіру көлемі бойынша Қазақстан жыл сайын әлемдегі көшбасшылардың ондығына кіреді. World's Top Export халықаралық агенттігінің деректері бойынша Қазақстан көмір экспорттаушылардың Топ-15 ішінде 13 орынға ие.

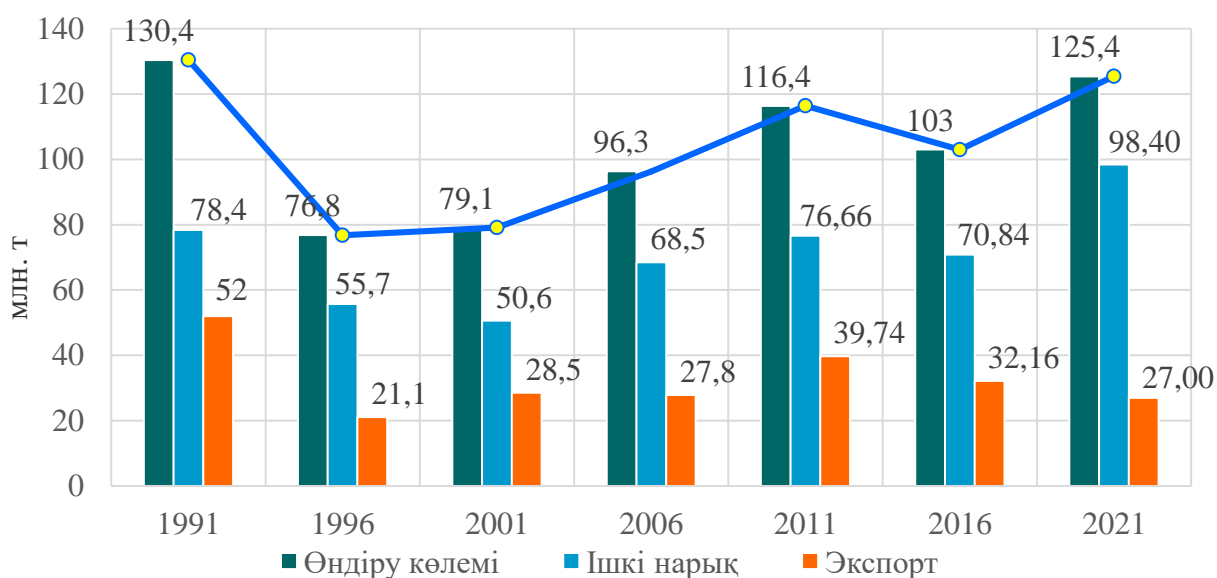


Сурет 1.2 – Қазақстан Республикасының көмір кен орындарының картасы

Қазақстанда 300-ден астам көмір бассейндері (1.2-сурет), кен орындары мен көмір көріністері анықталды. Көмір қорының 90%-ға жуығы республиканың солтүстігінде және орталық бөлігінде, негізінен Қарағанды

және Екібастұз көмір бассейндерінде шоғырланған. Тас көмір Қарағанды, Екібастұз, теңіз-Қоржынкөл бассейндерінде және Қаражыра, Күйікек, Борлы және т.б. кен орындарында, Торғай, Төменгі Іле, Майкөбен бассейндеріндегі және басқа да кен орындарында өндіріледі. Кокстелетін көмірді «АрселорМиттал Теміртау» АҚ көмір департаменті Қарағанды бассейнінде өндіреді және оның көп бөлігін (95%) комбинаттың өзі тұтынады [65].

Тәуелсіздік жылдарында (1991-2021 жж.) көмір өндіру көлемінің өсуі мен құлдырауы байқалады (1.3-сурет). Елдің көмір өнеркәсібіне жүргізілген талдау көрсеткендей, көмірді ішкі нарыққа бөлу, яғни өндірістік-технологиялық және коммуналдық-тұрмыстық қажеттіліктер үшін 2001 жылдан бастап тұрақты өсіп келеді деп санауға болады. Бірақ та, коммуналдық-тұрмыстық қажеттіліктер үшін көмірді тұтыну жыл сайын Қазақстан Республикасын газдандырудың 2015 - 2030 жылдарға арналған бас схемасына сай төмендейтінін атап өту қажет [63-64].



Сурет 1.3 – Қазақстан Республикасында көмір өндіру динамикасы, ішкі және сыртқы нарыққа шығару

Қазақстанда 49 жер қойнауын пайдаланушы жұмыс істейді, оның 18-ы өндірімен айналысады, 10-ы барлау жұмыстарын, қалғаны делдалдық жұмыстарды жүргізеді (1.2-кесте). Кокстелетін көмірдің және аса құнды маркалардың қорлары Қарағанды көмір бассейні шегінде шоғырланған. Екібастұз көмір бассейнінің шегінде республиканың энергетикалық көмір қорларының негізгі бөлігі орналасқан. Ақтөбе, Ақмола, Алматы, Шығыс Қазақстан, Жамбыл және Түркістан облыстарында жергілікті маңызы бар көмірдің едәуір қоры бар [63, 66, б. 7-9].

Қарағанды көмір бассейні 4 көмір бассейнінен: Қарағанды, Шерубайнұра, Тентек пен Верхнесокурский, сондай-ақ 7 көмір: Борлы, Шұбаркөл, Қушоқы, Жалын, Завьяловский, Қияқты мен Самар кен орнынан тұрады.

Кесте 1.2 – ҚР пайдаланылатын көмір кен орындарының қысқаша сипаттамасы

№	Кен орнының атауы	Түрі	Күлділігі А, %	Қоры, мың. т			Жер қойнауын пайдаланушы
				А+В+С ₁	С ₂	баланстантыс	
1	Алакөл	Өтпелі (қоңырдан тасқа дейін)	7 – 15,8	30 463,1	2 440,0	2 101,7	«Фирма Мадина» ЖШС
2	Борлы	Тас көмір	31 – 44	342 708,0			«Корпорация Қазақмыс» ЖШС
3	Верхнесокурское	Қоңыр көмір	8,1 – 22,6	563 774,2		1 232,0	«SAT Coal» ЖШС «Разрез Кузнецкий» ЖШС «ГРК «Қараотын» ЖШС
4	Жалын	Тас көмір	14,5 – 27,3	49 081,0			«Сарыарка-Energy» ЖШС
5	Жамантүз	Қоңыр көмір	45,1 – 60		6 578,9		«Директ» ЖШС
6	Қаражыра	Тас көмір	15,7	859 498,4	40 422,0	28 083,0	«Қаражыра ЛТД» ЖШС
7	Кендірлік	Тас көмір және қоңыр көмір		16 293,1	10 756,9	3 130,2	ЗДП «Кварц», ТОО «Сайкан»
8	Қияқты	Қоңыр көмір	27,6	31 270,0			«НК «СПК «Сарыарка»АҚ
9	Қушоқы	Тас көмір	34 – 45	18 786,0			«Корпорация Қазақмыс» ЖШС
10	Мамыт	Қоңыр көмір	13 – 32	607 469,42	723 284,0	105 524,5	«Қызыл Каин Мамыт ЖШС «НК «СПК «Ақтобе» АҚ
11	Ойқарағай	Қоңыр көмір		37 919,7	25 369,0		«ТЭК «Беркут» ЖШС
12	Орловское	Қоңыр көмір	16	1 097 379,0	59 079,0		«Тобол-Тағам» ЖШС
13	Приозерное	Қоңыр көмір	18	363 045,1		56 250,0	«Казахстанско-Российская компания «Разрез Приозерный» ЖШС
14	Сарыадыр	Тас көмір	30 – 40	164 727,0	94 799,0		«Гамма» ЖШС
15	Сарыкөл	Қоңыр көмір	> 45	383 850,0	22 542,0	440 310,0	«Гамма» ЖШС
16	Талдыкөл	Қоңыр көмір	31,3 – 38	32 916,0		6 394,0	«Гамма» ЖШС
17	Шөптікөл	Қоңыр көмір	14,5 – 23,0	1 260 827,0		791 056,0	«Майкубен-Вест» ЖШС
18	Шұбаркөл	Тас көмір	4 – 20	1 488 367,0	476 259,0	28 967,0	«Шұбаркөл көмір» АҚ

Шығыс Қазақстан облысының шегінде мемлекет балансында 6 кен орны: Маңырақ (Көксу көмір), Қаражыра, Қадыр, Қадыр (тас көмір) Алакөл, Жамантұз (қоңыр көмір) және Кендірлік (жанғыш тақтатаc). Ақмола облысында Теңіз-Қоржынкөл алабындағы қоңыр көмір кен орны. Жамбыл облысында Кұлан таскөмір кен орны, Түркістан облысында Таскөмірсай кен орны бар. Алматы облысында Ойқарағай қоңыр көмір кен орны, Ақтөбе облысында Мамыт кен орны орналасқан.

Тек коммуналдық-тұрмыстық қажеттіліктер үшін немесе баланстан тыс пайдаланылатын жоғары күлді көмірді металлургиялық өңдеуге тарту құрамында Si және Al бар қорытпалар мен лигатуралар алуды ұйымдастыру жөніндегі перспективті бағыттардың бірі болып табылады. КЛ балқыту үшін техникалық және химиялық құрамы бойынша Сарыадыр кен орнының (Теңіз-Қоржынкөл бассейні), Борлы (Қарағанды бассейні) және Жамантұз кен орнының көмірі техникалық және химиялық құрамы бойынша келеді.

Сарыадыр кен орындары. Сарыадыр кен орны Теңіз-Қоржынкөл бассейніне жатады. Бассейн күрделенген қайталама қатпарлы үлкен брахисинклинальды құрылым түрінде (1.4-сурет). Бассейн аумағында Сарыадыр кен орнынан басқа: Қосмұрын, Қызылсор, Бозшасор және Центральное кен орындары да бар [66, б. 57-58].

Сарыадыр кен орнының көмірлілігі жалпы 7 көмір қабатынан тұратын Ашляр және Қарағанды қойнауқаттары шөгінділерімен байланысты, олардың үшеуі жұмыс істейтіні (1.3-кесте).

Кесте 1.3 – Сарыадыр кен орнының көмірлілігі [66, б. 57-58].

№	Қойнауқат атауы	Қойнауқат саны		Қойнауқат қуаттылығы, м	
		Барлығы	Соның ішінде жұмыс істейтіні	Барлығы	Соның ішінде жұмыс істейтіні
1	Нижний	1	-	1,8	-
2	Надежный	1	1	12,5	12,5
3	Спутник	1	1	1,4	1,4
4	Пятиметровый	1	1	4,4	4,4
5	Тонкие	3	-	1,1	-
Барлығы		7	2	21,1	18,3

«Надежный» және «Спутник-II» қойнауқаттарының өте күрделі құрылымымен және салыстырмалы тұрақсыздығымен сипатталады. «Пятиметровый» қойнауқаттарының тұрақты және қарапайым құрылымымен ерекшеленеді.

Бекітілген баланстық қорлар А+В+С₁ санаты бойынша – 164 727,0 мың тоннаны, С₂ санаты бойынша – 94 799,0 мың тоннаны құрайды.

Борлы кен орны. Борлы кен орындары турней ярусның түзілімдерінде жатыр және келесі қабаттарға бөлінеді: Ашляриская, Қарағанды және Надкарагандинская. Төменгі карбонның Визе-Серпухов сатысының көмірлі кен

орындары бүйірлік бұрыштары 5-10° болатын жазық ендік (8-ден 2,5 км-ге дейін) штрихты құрайды (1.5-сурет). Төменгі көмір горизонтындағы топырақтың максималды шөгугі 220 м [66, б. 46-49].



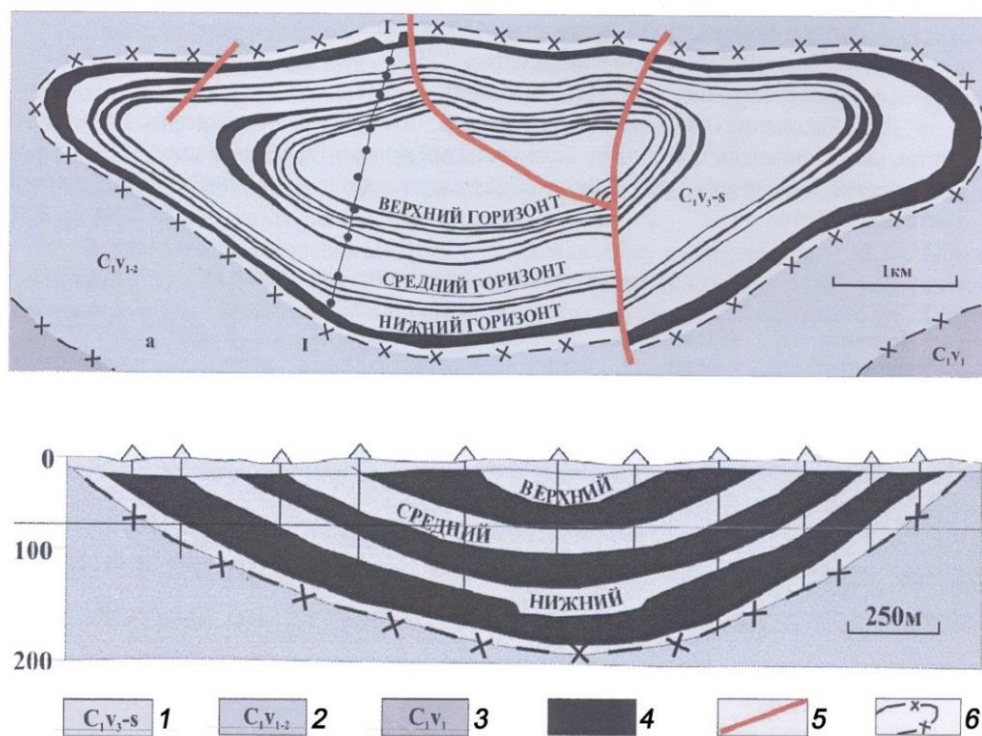
1 – владимир және керей свиталары, 2 – қарағанды свитасы, 3 – ашлярик және аққұдық свиталары, 4 – довизей шөгіндісі, 5 – перм және триасовті интрузиялар, 6 – қарағанды свитасының көмір горизонты және көмір қойнауқаты, 7 – тектоникалық бұзылу, 8 – кен орындар (I – Бозшасар, II – Қосмұрын, III – Қызылсор, IV – Сарыадыр, V – Центральное)

Сурет 1.4 – Сарыадыр кен орнының геологиялық сұлбалық картасы

Өнеркәсіптік көмірлілігі Қарағанды қойнауқаты тілігінің төменгі бөлігімен байланысты, онда көмірдің 11 қабатын қамтитын үш жақын көмір горизонты орналасқан, оның 5-еуі жұмыс істейтіні. Жұмыс қабаттарының жалпы қуаты орта есеппен 37,4 м құрайды (1.4-кесте).

Кесте 1.4 – Борлы кен орнының көмірлілігі [66, б. 46-49]

№	Қойнауқат атауы	Қойнауқат саны		Қойнауқат қуаттылығы, м	
		Барлығы	Соның ішінде жұмыс істейтіні	Барлығы	Соның ішінде жұмыс істейтіні
1	Верхний В ₁ -В ₆	6	1	20	2
2	Средний С ₁ -С ₃	3	3	14,2	14,2
3	Нижний Н ₁ -Н ₂	2	1	22,6	21,2
Барлығы		11	5	56,8	37,4



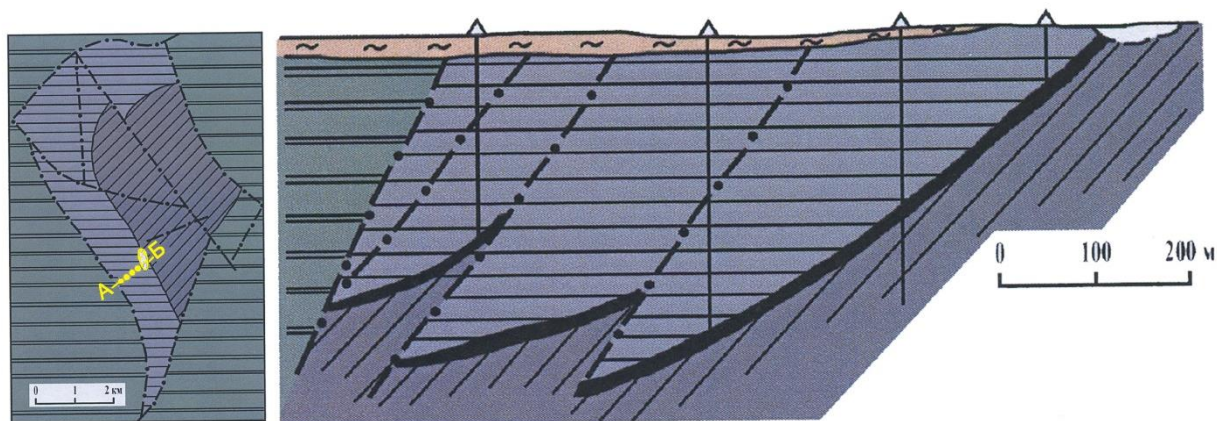
1 – қарағанды свитасы 2 – ашлярик свитасы 3 – аққұдық свитасы 4 – көмір, көмір горизонты,
5 - тектоникалық бұзылу 6 – свиталардың шекарасы

Сурет 1.5 – Борлы кен орнының геологиялық сұлбалық картасы

Кен орнының көмірлері заттық құрамы бойынша гумисинді болып табылады. Көмір массасының күлділігі 31-44%, қатардағы көмір 39-47% құрайды. Күл отқа төзімді және жоғары абразивті қасиеттерге ие. Күкірттің мөлшері 0,4-1,1%, ал фосфордың мөлшері 0,01-0,02%. Жұмыс отынының жануының төменгі жылуы 3580-4780 ккал/кг. Барлық қабаттардың көмірі «К» маркасына жатады, бірақ күлдің жоғарылығына және өте қиын байытылуына байланысты кокстеуге жарамсыз. Нәтижесінде олар тек энергетикалық отын ретінде қолданылады.

Кен орнының қорын сандық бағалау кезінде ең төменгі қалыңдығы 1,0 және күлділігі 55% құрайтын түзілімдер баланстық болып жіктеледі. А+В+С₁ санаты бойынша бекітілген баланстық қорлар – 342 708,0 мың тоннаны құрайды.

Жамантұз кен орны. Жамантұз кен орны Аямалайсор, Батыршасор, Айбике сияқты кен орындарымен бірге Жамантұз тобындағы бірқатар көмір көріністеріне кіреді [66, б. 71-72]. Кен орны ежелгі карбон түзілімдері арасында қысылған тектоникалық блоктар сериясы болып табылады. Көміртекті Қарағанды қойнауқатының түбімен қалыңдығы 20-30 м (көмір 8-10 м) көмір горизонты шектелген. Ең өнімділігі жоғары қабат (10 м дейін) көкжиектің төменгі бөлігінде орналасқан (1.6-сурет).



- 1 2 3 4 5 6 7 8
- 1 – палеоген шөгінділері 2 – қарағанды свитасы 3 – ашлярик және аққұдық свиталары, 4 – довизей шөгіндісі, 5 – көмір қойнауқабаты 6 – тектоникалық бұзылу, 8 – кен орны

Сурет 1.6 – Жамантүз кен орнының геологиялық сұлбалық картасы

Жоғары күлді көмір 40,1-45%. Көмірлі аргиллитке күлі 45,1-60% тау жыныстары жатады. Күлдің химиялық құрамы алюмосиликатты. Қабат бойынша байытылған көмірдің ұшпа заттарының шығымы 7,0-10,8%-ға тең. Көмір бірікпейді. С₂ санаты бойынша бекітілген баланстық қорлар 6578,9 мың тоннаны құрайды.

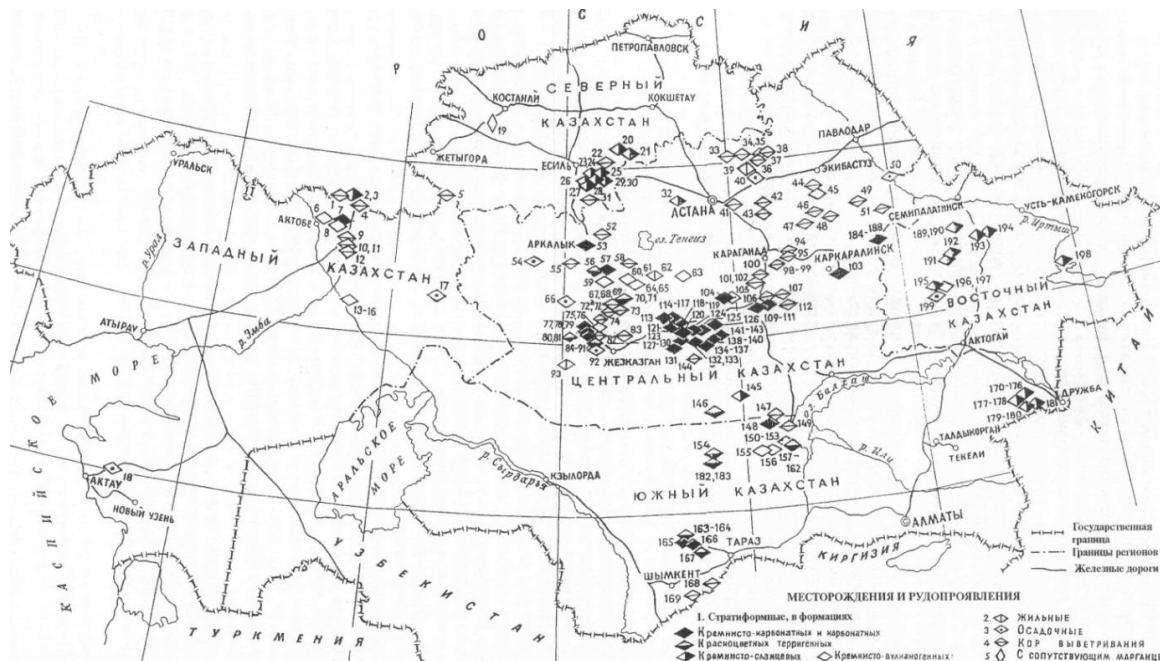
Бекітілген баланстық қорлар С₂ санаты бойынша – 6 578,9 мың тоннаны құрайды.

1.3 Қазақстан Республикасының марганец кен орындары туралы жалпы мәлімет

Қазақстан стратегиялық маңызы бар, онда елдің экономикалық қауіпсіздігінің негізін құрайтын пайдалы қазбалар тобына жатқызылған марганец шикізатының мол қоры бар және марганец кендерінің жалпы қорлары бойынша Қазақстан әлемде үшінші орын алады (Украина мен ОАР-дан кейін). Қазақстанда марганецтің 300-ден астам кен орны мен кен көріністері тіркелген (сурет. 1.7) [67]. Республика балансында марганец кендерінің 38 кен орны қолданысқа жарамды, олардың 16-ы пайдаланылады (1.5-кесте), ал қалған 22 кен орны барланған және резервте тұр. Қорлардың шамамен 60%-да марганец 10-20%, 30%-да марганец 20-30%, 11%-да 30%-дан асады. Кендердің барлық түрлеріне фосфордың (0,02-0,08%) және күкірттің (0,1-0,3%) төмен құрамы тән [13, б. 9-11, 68, б. 62-65].

Марганец кендері анықталған қорлары бойынша Қазақстан әлемде үшінші орын алады, ал өндіру бойынша – сегізінші, әлемдік марганец қорының 8%-ы Қазақстанның үлесінде. Марганец өнімдеріне сұраныс артып келеді. Қазақстандық қорлар тотықты темір-марганец және карбонатты-тотықты

марганец кендерінен тұрады. Өнеркәсіптік санаттар бойынша марганец кендерінің расталған қорларының үлесі шамамен 700 млн тоннаны құрайды, оның ішінде 200 млн тоннаға жуығы ашық игеруге жарамды, 500 млн тонна жер асты үшін. Марганецтің орташа мөлшері – 19,4%, әлемнің көптеген елдерінің кендеріне (30-50% Mn) қарағанда төмен [68, б. 62-65].



Сурет 1.7 – Қазақстан Республикасының марганец кен орындарының картасы

Республиканың марганец кендері олардың құрамында фосфор мен күкірттің аз болуымен және зиянды қоспаларының мышьяк пен сурьманың іс жүзінде болмауымен, минералогиялық құрамы бойынша едәуір бөлігі тотықты минералды құрамды болып ерекшеленеді, бұл оларды посткеңестік аймақтағы негізгі марганец өндірушілер Украина мен Грузия елдерінің кендеріне қарағанда сапалығымен (зиянды қоспалардың аз болуы) ерекшелендіреді. Ең басты кемшілігі - темір мөлшерінің жоғары (2-ден 30%-ға дейін), ал жекелеген кен орындарында қорғасын мен мырыштың (0,01÷0,4%-ға дейін) болуы.

Әртүрлі кен орындарындағы марганец кендерінің металлургиялық сипаттамалары туралы ақпарат сөзсіз қызығушылық тудырады. Құрамында марганец бар кендер химиялық құрамы мен минералдардың метатұрақтылығымен ерекшеленетіні белгілі, бұл олардың тотықсыздану қабілетіне әрдайым әсер етеді [68, б. 62-65, 69, б. 521-524]. Диссертациялық жұмыста құрамында Fe-Si-Mn-Al КЛ алу үшін «Теміртау электрометаллургиялық комбинаты» ЖШС ұсынған «Богач» және «Есімжал» кен орындарының марганец кендеріне химиялық және рентгенофазалық талдау жүргізілді, сондай-ақ КЛ балқыту үшін технологиялық және өндірістік көрсеткіштерді анықтайтын кеннің жұмсару температурасын анықтау мақсатында ғылыми-зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Кесте 1.5 – ҚР пайдаланылатын марганецті кен орындарының қысқаша сипаттамасы

№	Кен орнының атауы	Құрамында марганец бар минералдар *	Mn _{общ}	Fe _{общ}	SiO ₂	Қоры, мың. т			Жер қойнауын пайдаланушы
						A+B+C ₁	C ₂	баланстантыс	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Боғач	1, 4, 7, 8, 13, 14	26,60 – 31,80	1,90 – 8,90	12,02 – 19,80		2 193,4	1 007,2	«Теміртау электрометаллургиялық комбинаты» ЖШС
2	Большой Ктай	1, 4, 7, 8	9,78 – 23,31	12,38 – 31,58	17,87 – 22,34	6 600,0			«Сарыарка-IRON» ЖШС
3	Большой Ктай ТМО	1, 8	1,42 – 9,50	20,11 – 37,47	20,15 – 45,94	6 600,0			«Сарыарка-IRON» ЖШС
4	Восточный Камыс	1, 5, 7, 8, 11	10,0 – 45,0	1,0 – 20,0		0,013	0,007	11 012,45	«ТНК «Казхром»АҚ
5	Есімжал	1, 7, 9	36,0 – 42,13	4,30 – 7,80	6,95 – 9,95	699,84	421,1	305,5	«Теміртау электрометаллургиялық комбинаты» ЖШС
6	Западный Қаражал	1, 5, 11	20,37	9,45	21,52	285 655,0	63 664,0	100 625,0	«Өркен» ЖШС
7	Западный Камыс	1, 7	17,81 – 26,23	1,88 – 5,16	38,59 – 41,3	1 488,6	1 771,5	9 851,2	«Арман-100» ЖШС
8	Жезді қалдық қоймасы	1, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14	8,83 – 9,08	2,78 – 3,12		1 804,7	673,9		«Корпорация Фосстис» ЖШС
9	Жомарт	1, 5, 10, 11, 12	21,0 – 26,0	5,47 – 9,11	13,95 – 26,32	2 567,7	6 165,1	5 743,4	«Жайремский ГОК»АҚ
10	Қарамола	1, 2, 5, 6, 8, 10, 12	26,0	0,90 – 1,71	53,2	233,4	215,0		«Тентек»ЖШС
11	Қаратас	1, 4, 7, 8	16,10 – 30,90	6,0 – 15,0	12,0 – 26,80			33,7	«Достау-Литос» ЖШС
12	Полуденное	1, 3, 7, 8	11-72 – 34,32	5,98 – 26,16	15,63 – 49,90	62,8			«Арман» ЖШС

Кесте 1.5 жалғасы

13	Тур	4, 7, 8	10,0 – 40,0			2 184,5	1 425,6	2 584,3	«ТНК «Казхром»АҚ
14	Үшқатын III	1, 4, 5, 6, 7, 8, 14	2,32 – 44,26	1,74 – 42,79	11,76 – 23,92	70 805,5	115 224 ,7	23 079,1	«Жайремский ГОК»АҚ
15	Үшқатын I	5, 8, 14	8,20 – 18,80	28,60 – 40,70		18 746,3	446,4	656,4	АҚ «Жайремский ГОК»
16	Шойынтас	3, 4, 6, 8	29,07 – 39,0	~ 7,19	< 13,54		95,06		Металлтерминалсервис» ЖШС

*минерал атауы:

1 – Браунит ($Mn_2O_3 \cdot MnSiO_3$);

2 – Бустамит ($(Mn, Ca)_3[Si_3O_9]$);

3 – Вад ($MnO_2 \cdot nH_2O$);

4 – Вернадит ($(MnO_2)(Mn, Fe, Ca)(O, OH)_2 \cdot nH_2O$);

5 – Гаусманит ($Mn^{2+}Mn^{23+}O_4$);

6 – Манганит (MnO);

7 – Пирролюзит (MnO_2);

8 – Псиломелан ($mMnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$);

9 – Рамсделит (MnO_2);

10 – Родонит ($(Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg, Ca) \cdot SiO_3$);

11 – Родохрозит ($MnCO_3$);

12 – Тефроит (Mn_2SiO_4);

13 – Фриделит ($Mn_{82}Si_{16}O_{15}(OH)_{10}$);

14 – Якобит ($Mn^{2+}Fe^{3+}2O_4$);

Боғач кен орны. «Боғач» кен орны Қарағанды облысында орналасқан. Кенді минералдар браунит (негізгі), гематит, сирек анкерит, фриделит, якобсит; кенді емес минералдар – кальцит, кварц, хлорит, гипстен тұрады. Тотыққан марганец кендерінің кен минералдары – пиролюзит, псиломелан, вернадит, гематит, сирек голландит, гетит, браунит, якобсит; кенді емес минералдар – кварц, каолинит, слюда, кальцит және дала шпаттары. Бекітілген баланстық қорлар А+В+С₁ санаты бойынша – 2 193,5 мың тоннаны, С₂ санаты бойынша – 1007,323 мың тоннаны құрайды [13, б. 56-58, 69, б. 521-524].

Кен орны Сарысу-Теңіз шоғырында Айдагарлин синклиналына орналасқан Кен құраушылар - қызыл түсті әктастардан құралған фаменнің жоғарғы горизонты, кей жерлерде қатты кремнийлі. Кендер горизонттың ортаңғы бөлігін құрайды.

Марганец кендеріндегі элементтердің орташа құрамы, %: 26,6 Mn; 1,9 Fe; 12,02 SiO₂; 0,063 TiO₂; 1,34 Al₂O₃; 28,32 CaO; 0,71 MgO; 0,019 P; 0,13 S; 0,031 Zn; 0,011 Cu; 0,63 Ba, ал тотыққан кендерде 31,8 Mn; 8,9 Fe; 19,8 SiO₂; 0,19 TiO₂; 5,6 Al₂O₃; 1,3 CaO; 0,5 MgO; 0,047 P; 0,057 S; 0,15 Pb; 0,077 Zn; 0,021 Cu және 1,52 Ba құрайды.

Есімжал кен орны. Кен орны Шығыс Қазақстан облысында бұрынғы ядролық полигон аумағында орналасқан. Есімжал кен орны 1944-1946 жылдар аралығындағы Мұржық марганец кен орнының жеке учаскесі ретінде барланды. Тәуелсіздік жылдары геологиялық барлау жұмыстары 1995-2002 жылдар аралығында жүргізілді. Кен түрі бойынша кен орны стратиформды және ашық тәсілмен игеріледі. Кен орынның кендері тотыққан. Бекітілген баланстық қорлар А+В+С₁ санаты бойынша – 699,84 мың тоннаны, С₂ санаты бойынша – 421,1 мың тоннаны, ал баланстан тыс. С₂-305,5 мың т. тоннаны құрайды [13, б. 138-140, 69, б. 521-524].

Марганец кендерінің қойнауқаты кен орындарының әктас горизонтында орналасқан, бұл өз кезегінде қызыл түсті құмтас, аргиллит, алевролит және фаменский деңгейіндегі түйіндерден тұрады. Жер бетіндегі кен орны бірнеше ондаған метрден бірнеше жүз метрге дейінгі аралықта кен емес материалдармен бөлінеді. Кен орны үш Дәулетпай, Оңтүстік Қостерек және Ұзынбұлақ учаскелеріне бөлінген.

Марганец кендеріндегі элементтердің орташа құрамы, %: 36,0-42,13 Mn; 4,30-7,80 Fe; 7,23-9,95 SiO₂; 0,82 Al₂O₃; 17,2 CaO; 0,71 MgO; 0,017 P, 0,014 S.

1 тарау бойынша қорытынды және зерттеу міндеттерін белгілеу

Әдеби шолудан теориялық негіздерді дамыту және жетекші элементтердің арзан көздері болып табылатын жоғары күлді көмір мен марганец кендерін қолдана отырып, құрамында Fe-Si-Mn-Al КЛ өндіру технологиясын жетілдіру ресурстарды ең ұтымды және үнемдейтін технология болып табылады.

Қазақстандағы көмір кен орындары географиялық орналасуы, физикалық қасиеттері, химиялық құрамы және қорлары бойынша кремний алюминий

қорытпаларын өнеркәсіптік өндіру үшін кен базасы бола алады. Көмір термиялық процестің техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне шихтаның құрамы мен дайындығы үлкен әсер етеді. Салыстырмалы түрде арзан шихта материалдарын қолдану және кремний, марганец пен алюминийді қорытпаға өткізудің жоғары дәрежесі Fe-Si-Mn-Al КЛ өзіндік құнын едәуір төмендетуге мүмкіндік берді.

Ғалымдар бұрын жүргізген тәжірибелік-өнеркәсіптік деректер құрамында Fe-Si-Mn-Al бар КЛ-ды алудың қағидатты мүмкіндігін көрсетеді, алайда жұмыстың технологиялық режимдері соңына дейін зерттелмеген және жалпы өндіріс технологиясы пысықталмаған.

Осы диссертациялық жұмыс теориялық негіздерді дамыту және жоғары күлді көмірлер мен тікелей ферроқорытпа өндірісіне қолдануға жарамсыз құрамында марганец бар кендерді қолдана отырып, КЛ өндіру технологиясын жетілдіру мәселелеріне арналған, оның шешімі келесідей ғылыми және ғылыми-техникалық міндеттерді орындауды қамтиды:

- Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің фазалық-құрылымдық құрылымын зерттеу мақсатында термодинамикалық-диаграммалық талдау жүргізу;

- КЛ балқыту кезінде жаңа деректерді болжау және алу мақсатында әмбебап модульдері бар термохимиялық бағдарламалық кешенді қолдана отырып, термодинамикалық модельдеу жүргізу;

- құрамында марганец бар әртүрлі кен орындары кендері мен жоғары күлді көмір кендерінің физикалық-химиялық және металлургиялық қасиеттерін анықтау;

- құрамында марганец бар әртүрлі кен орындары кендерінің жұмсаруының бастапқы, соңғы және температуралық аралықтарын анықтау;

- жоғары күлді көмір кендерінің көмірлерінің меншікті электр кедергісін анықтау;

- марганец кендерін және жоғары күлдің көмірді пайдалана отырып, қорытпа үлгілерін ала отырып, зертханалық сынақтар жүргізу;

- марганец кендері мен жоғары күлді көмірден КЛ алу технологиясын жасақтау және пысықтау;

- Fe-Si-Mn-Al негізінде жаңа КЛ-дың физикалық-химиялық және металлургиялық қасиеттерін зерттеу.

2 Fe-Si-Mn-Al МЕТАЛДЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ ФАЗАЛЫҚ ҚҰРАМЫН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ДИАГРАММАЛЫҚ ТАЛДАУ ЖӘНЕ КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАНЫ АЛУ ПРОЦЕСІН МОДЕЛЬДЕУ

2.1 Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің термодинамикалық диаграммалық талдауы

2.1.1 Құрамында Fe-Si-Mn-Al қорытпасының кристалдануын зерттеудің теориялық негіздемесі

Құрамында темір, кремний, марганец және алюминий бар кешенді қорытпалар шағын өндірісте әртүрлі елдерде балқытылады. Балқытудың негізгі әдісі индукциялық пештерде ферросилиций, силикомарганец және алюминийді балқыту болып табылады. Балқыту әдісімен балқыту кезінде жоғары қаржылық шығындарға қарамастан, Fe-Si-Mn-Al қорытпасы болатты өңдеу кезінде оның жоғары тиімділігіне байланысты жоғары сұранысқа ие.

Қорытпаның тиімділігі оның бір мезгілде болатты оттексіздендіру мен қатар легірлеу кезінде болат балқымасының қасиеттеріне жан-жақты әсер етуінде. 2.1-кестеде әртүрлі әдеби көздердегі ғылыми-зерттеу мәліметтерінен алынған қорытпаның түрлі құрамы берілген. Кестеде келтірілген мәліметтерден барлық эксперименттік жолмен алынған кешенді қорытпаларда Mn:Si қатынасы 1-ден 7-ге дейін өзгертіндігін атап өтуге болады.

Құрамында Fe-Si-Mn-Al бар кешенді қорытпасы химиялық құрамына бірыңғай талаптар әзірленбеген. Бұл қорытпаның әртүрлі шикізатты қолдана отырып, тек зерттеу сынақтарында балқығандығына байланысты.

Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпа тәжірибелік сынақтар кезінде өзін жағымды жағынан көрсетті, онда болатты оттексіздендіру өнімдеріне кешенді әсер ету мен тазартудың артықшылықтары ерекше айқын көрінетіндігін айта кету керек.

Бұл кешенді қорытпаға болат балқыту кәсіпорындары тарапынан сұраныс жақсы болады. Бұл келесі артықшылықтарға байланысты:

– болатты оттектен және металл емес қосындылардан терең тазарту есебінен болат өнімінің сапасын арттыру қамтамасыз етіледі;

– құрамында Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпасы құрамының кешенділігі жеңіл балқытын және болат көлемінен неғұрлым толық жойылатын металл емес қосындылардың қалыптасуына ықпал етеді;

– қорытпаның физикалық-химиялық қасиеттері тығыздығы мен балқу температурасына байланысты алюминийдің пайдалы қолданылуы артады.

Алюминийді кремниймен мен марганецпен бірге темірмен қолдану техникалық таза алюминийдің шығынын азайтуға көмектеседі, оның дәстүрлі болатты оттексіздендіру технологиясында пайдалы қолданылуы 30%-дан аспайды.

Бұл қорытпаның тиімділігіне қарамастан, оны жаппай өнеркәсіптік өндіру әлі ұйымдастырылмаған. Атап айтқанда, марганец кендері мен жоғары

күлді көмірді пайдалана отырып, карботермиялық балқытуға негізделген өндірістер туралы деректер жоқ.

Мұның басты себебі – балқытудың тиімді және оңтайлы әдістерінің болмауы, сондай-ақ құрамында Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпасының химиялық құрамын нақты шектейтін техникалық шарттардың болмауы.

Кесте 2.1 – Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпаларының химиялық құрамы, %

№	Химиялық құрамы, %					
	Fe	Si	Mn	Al	Mn:Si	Mn:Al
1	Қалғ.	10-20	10-20	10	1	1-2
2	Қалғ.	8-12	42,58	21-38	3.5-5.3	1.1-2
3	Қалғ.	11-13	75,78	4,5-5,5	5.8-6.8	13.7-16.8
4	Қалғ.	20-40	20-40	2-10	1	4-10
5	Қалғ.	40	40,7	5,7	1	7.1
6	Қалғ.	27-31,2	22,9-31,1	3,9-7,7	0.9-0.8	4-5.8
7	Қалғ.	18-22	18-22	18-22	1	1
8	Қалғ.	10-12	65-72	4-6	6	12-16
9	Қалғ.	44,75-48,14	21,09-29,17	9,51-14,52	0.6-0.4	2-2.2
10	Қалғ.	24,6-37,5	17-25,7	0,95-13,9	0.6-0.6	1.8-17.8
11	Қалғ.	30,1	20,7	7,6	0	2.7
12	15-20	55-58	10-15	15-20	0.2-0.1	0.6-0.75
13	20,6	33,1	26,4	14,5	0	1.8
14	5,9-14,3	26,5-32,3	28,4-50,2	17,4-25,5	1.5-1.0	1.6-1.9
15	10-50	13-30	30-60	7-15	2	4-4.2

Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпасының ұсынылған құрамы мен химиялық қасиеттері бойынша әдеби деректерді талдау кешенді қорытпаларға келесі талаптар қойылатындығын көрсетеді [70-72]:

1) Болатты өңдеу үшін қолданылатын кешенді қорытпалардың балқу температурасы – (кристалданудың басталу температурасы) 1673К аспауы тиіс;

2) Жетекші элементтердің толық сіңуіне және кешенді қорытпаның еру жылдамдығына әсер ететін қорытпаның тығыздығы 4000 – 7000 кг/м³ аралығында болуы керек (тығыздықтың аралығының үлкен болуы қорытпаның фракциялық ірілігіне байланысты);

3) Оттексіздендіруге арналған кешенді қорытпаларда оттегіне химиялық тартқыштығы бар Mn, Si және Al элементтері болуы тиіс және металл емес қосындыларды барынша жоюды қамтамасыз етуі тиіс;

4) Кешенді қорытпалармен оттектендіру кезінде болат минималды түрде салқындауы керек, бұл кешенді қорытпа құрамындағы темірдің мөлшеріне байланысты;

5) Кешенді қорытпа механикалық берік, кеуектілігі төмен, шашырамайтын (үгітілмейтін) болуы тиіс.

Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпаға арналған көптеген зерттеулер бұл қорытпаның бір жағымсыз қасиетін көрсетеді – бұл салқындату және сақтау кезінде шашырауға бейімділігі.

Қорытпаның физикалық қасиеттерін (шашырауға бейімділік, балқу температурасы, тығыздылығы) зерттеу бойынша ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелері бойынша А.М. Самарин, М.И. Гасик, W. Koch, В.А. Мчедлишвили, С.Н. Голубев келесідей деректерді келтіреді: құрамында 60-70% марганец, 5-15% кремний, 8-20% алюминий және 0,4-тен 2%-ға дейін көміртегі бар, алюминий мен кремнийдің жалпы мөлшері $\Sigma_{Si+Al} = 22\div 23\%$ -дан аспайтын кешенді қорытпалар (алюминий-марганец-кремний (АМС) жеткілікті берік және сонымен бірге ұсақтауға оңай, яғни қолдануға ыңғайлы [2, б. 63-70, 73-75]. Алюминий мен кремнийдің мөлшері $>30\%$ -дан асса, беріктілігі азаяды. Көміртегі мөлшері жоғарылағанда да, олар оңай ыдырайды.

АМС кешенді қорытпаларының шашырауға бейімділігі оларда марганец 40-50%, кремний 10-20%, алюминий 8-10% және көмір 0,75-1,0% аз болған кезде төмендейді. Кремний мен алюминийдің жалпы мөлшері $\Sigma_{Si+Al} = 19\div 30\%$ құрады.

Құрамында 30-50% кремний және 30-40% марганец, 10% алюминий, 0,6-0,75% көміртегі бар кешенді қорытпаларда кремний мен марганец мөлшері артады. Қорытпалардың барлық топтарындағы фосфордың мөлшері 0,1-0,2% құрады. Барлық зерттелген қорытпаларда жарылуға және одан әрі шашырауға бейімділік байқалды.

АМС кешенді қорытпасының шашырау себептерін С. Н. Голубев, Н.В. Кейс, А.И. Комиссаров өз еңбектерінде тереңірек зерттеген [76, 77]. Осы деректер бойынша құрамында 30%-дан астам кремний, 3%-дан жоғары алюминий және 0,05%-дан жоғары фосфор бар АМС кешенді қорытпалары фосфидтер мен карбидтердің ауа ағынымен өзара әрекеттесуі салдарынан ауада сақталған кезде ұнтақталып шашылып қалатындығы айтылған және де кешенді қорытпаның шашырауын 0,3-0,6%-ға дейін магниймен модификациялау арқылы алдын алуға болатындығы көрсетілген.

Кешенді қорытпаны балқытудың ұтымды технологиясы, ең алдымен, барлық элементтерді тиімді пайдалануды қамтамасыз ететін оның физикалық-химиялық қасиеттеріне қойылатын талаптармен анықталады.

Осыған байланысты Fe-Si-Mn-Al металл жүйесін зерттеу қорытпалардың құрамындағы кристалл фазаларын және олардың бұзылуына әсерін анықтауға үлкен қызығушылық тудырады.

Бұл өте маңызды, өйткені Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпаның кейбір қосылыстарына тән қорытпаның жарылуы және одан әрі ұнтаққа айналуы, болатты өңдеу кезінде оларды пайдалану технологиясына теріс әсер етеді.

Экономикалық жағынан қорытпаның шашырауы қайтарымсыз шығын болып табылады, өйткені ұсақталған ұнтақ қорытпасы беткі қабаттың ұлғаюына байланысты ауадағы оттегімен қатты тотығады. Сонымен қатар, металл фазасының құрамы біртіндеп азаяды да кремний мен алюминий тотықтарының мөлшері артады.

Ұнтақ күйінде Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпасын қазіргі заманғы үлкен тонналы үрлеуге арналған арнайы түтікшелері жоқ қондырғыларда (конверттерде, шөміштерде) болатты тікелей өндеуде қолдану тиімсіз, себебі ұнтақтың негізгі бөлігі ауаның жылы ағыны үрленіп жоғалады.

Осыған сүйене отырып, құрамында Fe-Si-Mn-Al бар кешенді қорытпаның кристалдануын зерттеу ыдырауға ұшырамайтын құрамын анықтау және толық түсіну үшін ерекше қызығушылық тудырады.

Fe-Si-Mn-Al металл жүйесін зерттеу темір, кремний, марганец және алюминийдің әртүрлі қатынастарындағы қорытпаның фазалық құрамын дұрыс түсіну және белгілі бір қасиеттері мен сипаттамалары бар өнімдерді алу үшін маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Fe-Al-Si-Mn металдық жүйесі темір мен марганецтің силицидтері мен алюминидтерінен, сондай-ақ күрделі интерметалдық үштік қосылыстардан тұрады.

Fe-Si-Mn-Al металл жүйесі Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпасының құрамына қатысты іс жүзінде зерттелмеген, ғылыми жұмыстар бар, онда жүйе тек қос диаграммалардың қосылыстары бар мәліметтер негізінде қарастырылған, бұл нақтылауды қажет етеді. Қарастырылып отырған Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінде 6 қос жүйені: Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Al, Mn-Si, Al-Si, Al-Mn және 4 үштік жүйені: Fe-Si-Al, Si-Mn-Al, Fe-Mn-Si, Al-Mn-Si талдау қажет. Қос жүйелер бойынша зерттеулер бар және диаграмманы көптеген ғалымдар егжей-тегжейлі сипаттайды [78-93].

2.1.2 Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің қос жүйелері қосылыстарының термодинамикалық қасиеттерін талдау

Әдеби дереккөздерде және бағдарламалық кешендердің электронды анықтамалық базасында темір және марганец силицидтері, темір және марганец алюминийі үшін Гиббс энергиясының мәндері туралы көптеген термодинамикалық мәліметтер, сондай-ақ үштік қосылыстар туралы ақпарат бар. Бұл деректерде көбіне қарама-қайшылықтар кездеседі, ал кейбір қосылыстар үшін олар мүлдем жоқ.

Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің үштік қосылыстары үшін Гиббс энергиясының мәні (ΔG°_{298}) әдеби дереккөздерде жоқ. Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Al, Mn-Si, Al-Si және Al-Mn қос жүйелерінің қосылыстары үшін ΔG°_{298} жекелеген әдеби мағыналары да күмән тудырады.

Екінші жағынан, жоғарыда аталған қос жүйелердің қосылыстары үшін түзілудің стандартты энтальпиясының мәні (ΔH°_{298}) сәйкес келеді және әртүрлі зерттеушілер пікірлерінде де алшақтық жоқ.

Стандартты жағдайлар үшін (25°C) энтропияның өзгеруі (ΔS°_{298}) минималды және іс жүзінде ΔG°_{298} және ΔH°_{298} мәндерінің айырмашылығы (2.1) формулаға сәйкес әсер етпеуі керек:

$$\Delta G^{\circ}_{298} = \Delta H^{\circ}_{298} - T \cdot \Delta S^{\circ}_{298} \quad (2.1)$$

Яғни, ΔG°_{298} және ΔH°_{298} мәндері стандартты жағдайларда салыстырмалы түрде жақын болуы керек. Мұны 2.2-кестенің деректерінен көруге болады, мұнда ΔG°_{298} және ΔH°_{298} темір силицидтері үшін мәндері салыстырмалы түрде жақын.

Кесте 2.2 – Темір силицидтері үшін ΔH°_{298} және ΔG°_{298} мәндерінің салыстырмалылығы

№	Қосылыс	ΔH°_{298} , кДж/моль	ΔS°_{298} , Дж/моль	дерек көз	ΔG°_{298} , кДж/моль	ΔH°_{298} мен ΔG°_{298} айырма шылығы, %	Балқу нүктесі
1	FeSi (66,6/33,3)	-78,85	44,685	[94]	-78,430	0,53	1683 К
2	FeSi ₂ (50/50)	-81,17	55,647	[94]	-78,405	3,41	1493 К
3	Fe ₃ Si (85,7/14,3)	-93,72	103,596	[94]	-94,597	0,92	1813 К
4	Fe ₅ Si ₃ (76,9/23,1)	-244,35	209,618	[94]	-249,343	2,0	1373 К

Сонымен қатар қос жүйелердегі жеке қосылыстар үшін, балқу температурасында үлкен айырмашылық бар элементтер, атап айтқанда Fe-Al және Al-Mn жүйелер үшін Гиббс энергиясының есептелген мәндеріндегі қателік айтарлықтай.

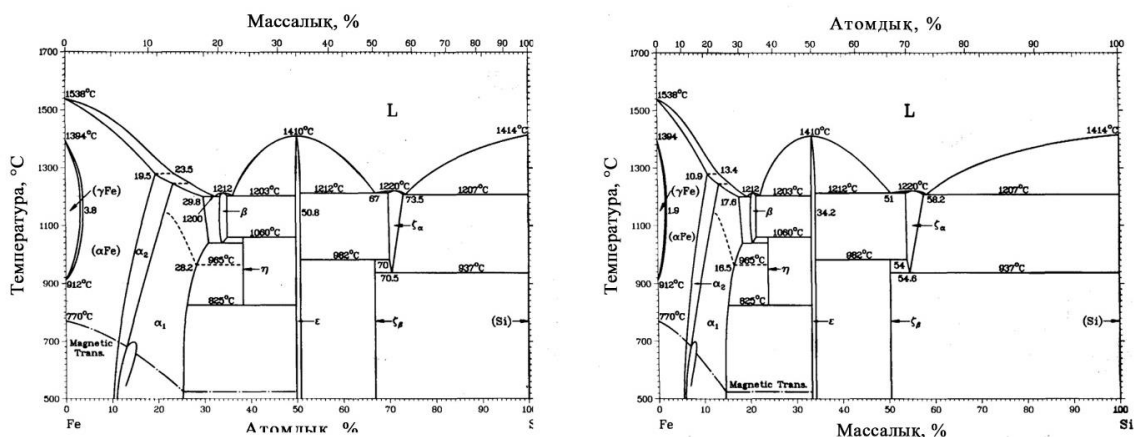
Сондықтан осы диссертациялық жұмыста Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесін термодинамикалық диаграммалық талдау кезінде мүмкін болатын алмастырушы реакциялардың энергиясын есептеу интерметалдық қосылыстардың пайда болуының стандартты энтальпиясы негізінде жүргізілді.

Fe-Si жүйесі. Fe-Si жүйесінің балқымалары эксперименталды түрде де, әртүрлі модельдік көріністерді қолдану арқылы да кеңінен зерттелген. Бұл оларды жаңа модельдерді сынау және қорытпалар мен лигатуралардың термодинамикалық қасиеттерін анықтаудың жаңа әдістерін әзірлеу кезінде негізгі объектілер ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Теміркремнийлі фазалар металлургия үшін маңызды объектілердің бірі болып табылады, Fe-Si қоспаларының термохимиялық қасиеттерін білу болат пен ферроқорытпа өндірісінде де қажет.

Fe-Si жүйесінің диаграммасын зерттеуге әлем ғалымдарының 70-тен астам еңбегі арналған. Жүйенің қорытпаларында ғылыми зерттеу нәтижелері негізінде ұсынылған темір негізіндегі кремнийдің (γ -Fe және α -Fe) қатты ерітінділері, сондай-ақ интерметалдық фазалар Fe₂Si(β), Fe₅Si₃(η), FeSi(ϵ), FeSi₂(HT) және FeSi₂(BT) анықталды..

Fe-Si күй диаграммасы (2.1-сурет) концентрацияның толық интервалында эксперименттік және әдеби деректердің негізінде құрастырылған [81, б. 135-138, 88, б. 1107-1108].

Ферросилицийдің кейбір құрамдары қалыпты жағдайда сақталғанда, ұнтақталып шышылатындығы тәжірибеден және әдебиеттік мәліметтерден белгілі. Қорыптаның шашырау себебі қатты күйде ішкі құрылымдық өзгерістер және одан әрі тотығу процесі болып табылатындығы анықталды.



Сурет 2.1 – Fe-Si жүйесінің күй диаграммасы

Ферросилицийді іс жүзінде пайдалану кезінде құрамында кемінде 33,3% кремний бар қорытпалар шашырауға ұшырайтыны анықталды. Бұл барлық қорытпаларында құрамында фазалық құрамы ауыспалы кремний мөлшері 52-58%-ға тең, Курнаковтың ұсынысы бойынша француз ғалымы Лебонның құрметіне аталған – лебоит фазасы кездеседі. Н.Х. Абрикосовтың, Н.В. Гельдтің және т.б. еңбектерінде бұл фазаның FeSi₂ қосылысына жақын екі модификациясы бар: ξ_α – жоғары температуралық модификациясы және ξ_β – төмен температуралық модификациясы екендігі нақтыланып айтылады [95, 96].

Сонымен қатар алюминий, фосфор және кальций қоспаларының қатысуымен де қорытпалар фазасы қарқынды шашырауға ұшырайтыны анықталды [97]. Авторлардың пікірінше, қорытпалар алюминий мен фосфордың бір мезгілде қатысуымен ғана ыдырауға бейім, бұл лебоитте еріген кезде алюминий мен фосфордың Fe-Si-P-Al төрттік ерітіндісін түзілетіндігімен түсіндіріледі. Ауа ылғалының әсерінен ерітінді фосфорлы сутектің едәуір мөлшерін шығарумен ыдырайды.

Лебоиттің ыдырауы оның көлемінің едәуір ұлғаюымен жүреді және ферросилицийдің шашырауына ықпал ететін ішкі кернеулердің себебі болып табылады. Қорытпаның құрамы лебоит фазасынан алыстаған сайын (кремний мөлшерінің төмендеуі не жоғарылауы жағына қарай) ферросилицийдің тұрақтылығы артады, бұл қорытпадағы лебоит мөлшерінің азаюымен түсіндіріледі.

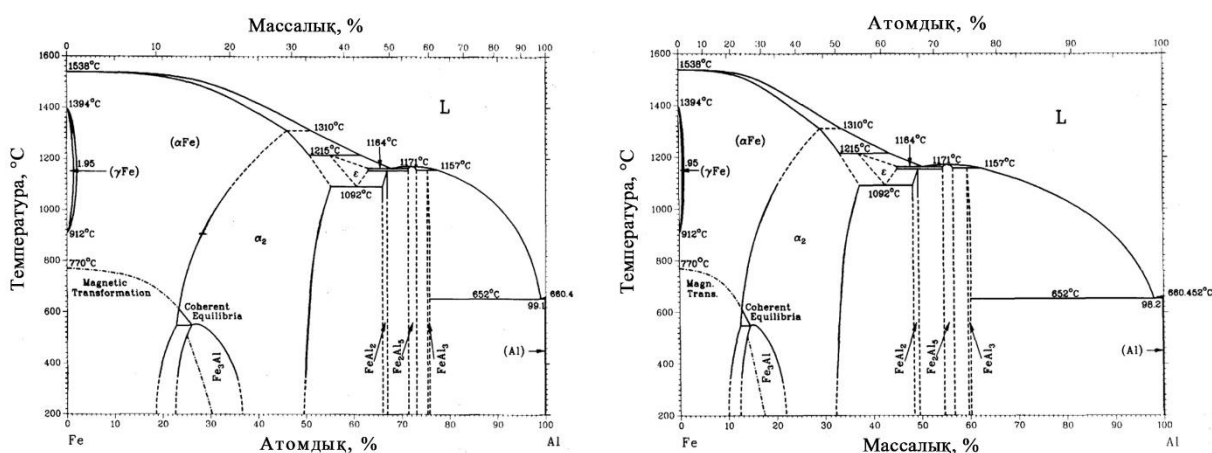
Қалыпты температура 25°C жағдайында Fe-Si жүйесінің фазалық диаграммасын талдау нәтижесінде жүйеде 5 интерметаллдық фаза: Fe₃Si, Fe₅Si₃,

FeSi, FeSi₂, Fe₃Si анықталды. 2.3-кестеде термодинамикалық-диаграммалық талдау жүргізу үшін ең сенімді ретінде темір силицидтері үшін қабылданған ΔH°₂₉₈ мәндер келтірілді [81, б. 135-138, 88, б. 1107-1108].

Кесте 2.3 – Fe-Si жүйесінің қосылыстары үшін қабылданған ΔH°₂₉₈ мәндері

№	Формула	Қатынасы, масс %		ΔH° ₂₉₈ , кДж/моль	Дереккөз
		Fe	Si		
1	Fe ₃ Si	85,64	14,36	-93,72	[94]
2	Fe ₅ Si ₃	76,82	23,18	-244,35	[94]
3	FeSi	66,54	33,46	-78,85	[94]
4	FeSi ₂	50,15	49,85	-81,17	[94]
5	FeSi ₃	53,99	46,01	-154,45	[98]

Fe-Al жүйесі. Fe-Al жүйесінің күй диаграммасы ферросиликоалюминий және ферроалюминий қорытпаларының құрамдас бөлігі болып табылады. Fe-Si диаграммасы жүйесі сияқты Fe-Al жүйесіне де көптеген зерттеулер жүргізілген [78, б. 106-111, 79, 81, б.15-20, 82]. Оның күй диаграммасы α-Fe кристаллизациясының аймағының кеңдігімен сипатталады. α₂(FeAl) фазасының реттелеген аймағы жеке бөліктерге бөлінеді. Жүйе бес тұрақты фазаны қамтиды, атап айтқанда: Fe₃Al, FeAl₂, FeAl, Fe₂Al₅, FeAl₃ және Fe жағынан да, Al жағынан да шектеулі қатты ерітінділермен шектелетін гомогенді аймақтан тұрады [81, б. 15-20, 85, 86, б. 144-148]. Бұл деректер расталған және Илиных пен Моивеевтің еңбектерінде де кездеседі [99]. Fe-Al күй диаграммасы (2.2-сурет) концентрацияның толық интервалында эксперименттік және әдеби деректердің негізінде құрастырылған [81,82, 86-88, б. 111-112].



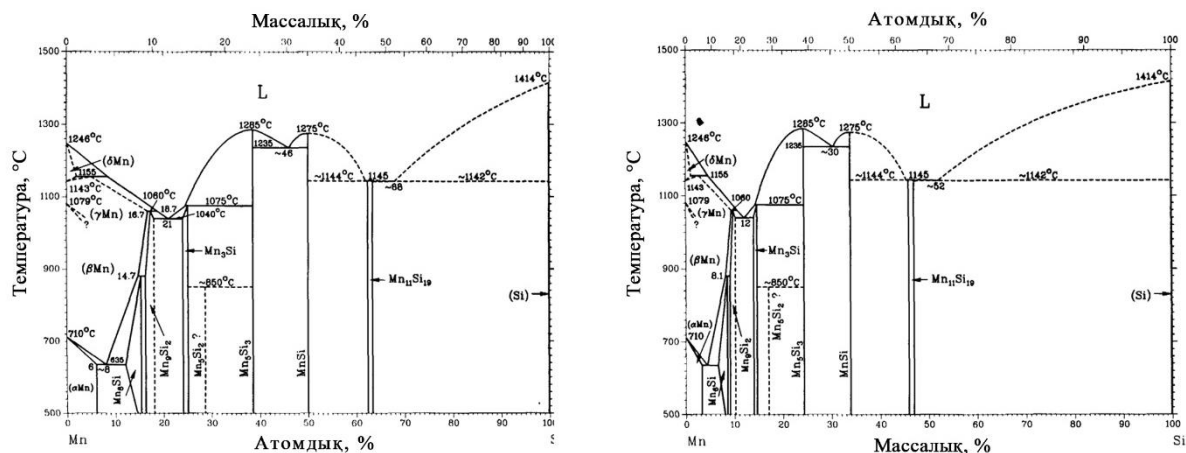
Сурет 2.2 – Fe-Al жүйесінің күй диаграммасы

Fe-Al фазалары бар қорытпаларды зерттеу және пайдалану жөнінде ақпарат келтірілген әдеби және практикалық деректерде қорытпаның шашырауы туралы мәліметтер жоқ. Қалыпты температура 25°C жағдайында Fe-Si жүйесінің фазалық диаграммасын талдау нәтижесінде жүйеде 5 интерметаллдық фаза: FeAl₃, Fe₂Al₅, FeAl₂, FeAl және Fe₃Al анықталды. 2.4-кестеде термодинамикалық-диаграммалық талдау жүргізу үшін ең сенімді ретінде темір алюминидтері үшін қабылданған ΔH^o₂₉₈ мәндер келтірілді [81, б.15-20, 86, б. 144-148, 87, б. 111-112, 94, 100 б. 468-480].

Кесте 2.4 – Fe-Al жүйесінің қосылыстары үшін қабылданған ΔH^o₂₉₈ мәндері

№	Формула	Қатынасы, масс %		ΔH ^o ₂₉₈ , кДж/моль	Дереккөз
		Fe	Al		
1	Fe ₃ Al	86,13	13,87	-62,00	[94]
2	FeAl	67,42	32,58	-50,21	[94]
3	FeAl ₂	50,86	49,14	-78,45	[94]
4	Fe ₂ Al ₅	45,29	54,71	-200,00	[94]
5	FeAl ₃	40,83	59,17	-111,63	[94]

Mn-Si жүйесі. Mn-Si күй диаграммасына жоғарыда аталған күй диаграммалары сияқты көптеген зерттеу жұмыстары арналған. Ең толық мәліметтер А. Gokhale, Н. Okamoto, А.Н. Зайцев, М.А. Земченко және т.б. ғалымдардың ғылыми еңбектерінде келтірілген [101-103]. Күй диаграммасын құру үшін термиялық, микроскопиялық және рентгендік анализдердің нәтижелері, сондай-ақ есептелініп алынған мәліметтер қолданылған. Mn-Si күй диаграммасы (2.3-сурет) концентрацияның толық интервалында эксперименттік және әдеби деректердің негізінде құрастырылған [78, б. 1010-1012, 86, б. 383-385, 88, б. 1584-1588, 104].



Сурет 2.3 – Mn-Si жүйесінің күй диаграммасы

Жүйеде жеті интерметалдық фаза бар: олардың ішінде Mn_5Si_3 және $MnSi$ сәйкесінше 1238,2 және 1269,6°C температурада ериді, $v(Mn_9Si_2)$, Mn_3Si , $Mn_{11}Si_{19}$ перитектикалық реакциялар арқылы, $R(Mn_6Si)$ және Mn_5Si - перитектоидтық реакциялар бойынша қалыптасады. Сонымен қатар, Mn_3Si 677°C температурада полиморфты түрленуден өтеді.

$Mn-Si$ фазалары бар қорытпаларды зерттеу және пайдалану жөнінде ақпарат келтірілген әдеби және практикалық деректерде қорытпаның шашырауы туралы мәліметтер жоқ. Қалыпты температура 25°C жағдайында $Mn-Si$ жүйесінің фазалық диаграммасын талдау нәтижесінде жүйеде келесі интерметаллдық фазалар Mn_6Si , Mn_9Si_2 , Mn_3Si , Mn_5Si_3 , $MnSi$, Mn_2Si_3 және $Mn_{11}Si_{19}$ анықталды. 2.5-кестеде термодинамикалық-диаграммалық талдау жүргізу үшін ең сенімді ретінде марганец силицидтері үшін қабылданған ΔH°_{298} мәндер М.И. Гасик еңбектерінен алынды [100]. Mn_9Si_2 және $Mn_{11}Si_{19}$ үшін ΔH°_{298} мәндерін бір типті қосылыстардың термодинамикалық аддитивтік әдісін қолдана отырып, есептелінді.

Кесте 2.5 – $Mn-Si$ жүйесінің қосылыстары үшін қабылданған ΔH°_{298} мәндері

№	Формула	Қатынасы, масс %		ΔH°_{298} , кДж/моль	Дереккөз
		Mn	Si		
1	Mn_6Si	92,15	7,85	-101,90	[98]
2	Mn_9Si_2	89,80	10,20	-322,46	аддитивтілік
3	Mn_3Si	85,44	14,56	-123,85	[98]
4	Mn_5Si_3	76,53	23,47	- 200,83	[98]
5	$MnSi$	66,17	33,83	-77,82	[98]
6	Mn_2Si_3	56,60	43,40	-164,90	[98]
7	$Mn_{11}Si_{19}$	53,11	46,89	-981,35	аддитивтілік

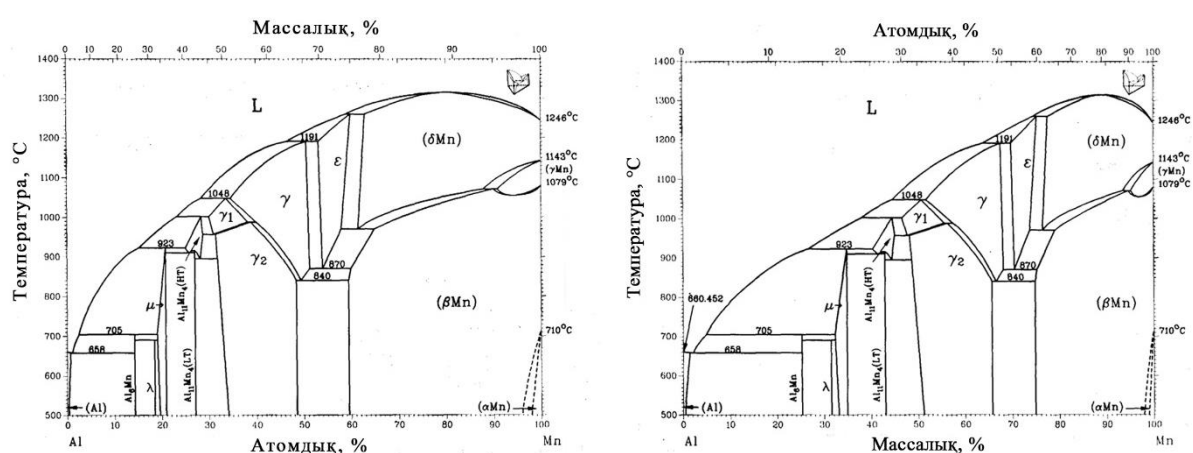
Al-Mn жүйесі. $Al-Mn$ күй диаграммасы Н. Kono, W. Koster, M.A. Taylor және т.б. ғалымдардың еңбектерінде келтірілген жұмыс нәтижелеріне негізделген [105-109, 110, б. 385-392]. Диаграмманы құру үшін дифференциалды, термиялық, металлографиялық, рентгенографиялық, дилатометриялық, электронды микроскопиялық талдау, магниттік тартылыс пен беріктікті өлшеу әдістері қолданылды. $Al-Mn$ күй диаграммасы (2.4-сурет) концентрацияның толық интервалында эксперименттік және әдеби деректердің негізінде құрастырылған [87, б. 131-132, 111].

$Al-Mn$ фазалары бар қорытпаларды пайдалану жөніндегі әдеби және практикалық деректерде қорытпаның шашырауы туралы мәліметтер жоқ.

Қалыпты температура 25°C жағдайында $Al-Mn$ жүйесінің фазалық диаграммасын талдау нәтижесінде жүйеде келесі интерметаллдық фазалар $MnAl_6$, $MnAl_4$, $MnAl_3$, Mn_4Al_{11} , және $MnAl$ анықталды. 2.6-кестеде

термодинамикалық-диаграммалық талдау жүргізу үшін ең сенімді ретінде марганец алюминидтерінің ΔH°_{298} мәндері алынды [112, б. 435-436].

Al-Si жүйесі. Al-Si күй диаграммасына көптеген зерттеулер арналған, олардың жұмыстарына J.L. Murray мен A.J. Alister өздерінің ғылыми еңбектерінде толық ақпарат келтірілген және диаграмманың графикалық түрде 2.5-суретте көрсетілген [87, б. 194-195, 113 б. 175-203]. Al-Si жүйесінде химиялық интерметалдық қосылыстар жоқ және барлық композициялар бойында қатты ерітінді пайда болады. Бұл жүйе компоненттердің бір-біріне қатты күйде аздап ерігіштігі бар қарапайым эвтектикалық типке жатады. Жекелеген зерттеулердің көптеген нәтижелері бір-бірімен жақсы үйлеседі. Балқу температурасы $577,2^{\circ}\text{C}$ жағдайда құрамында 12,3-12,7% Si кезде эвтектика түзіледі.



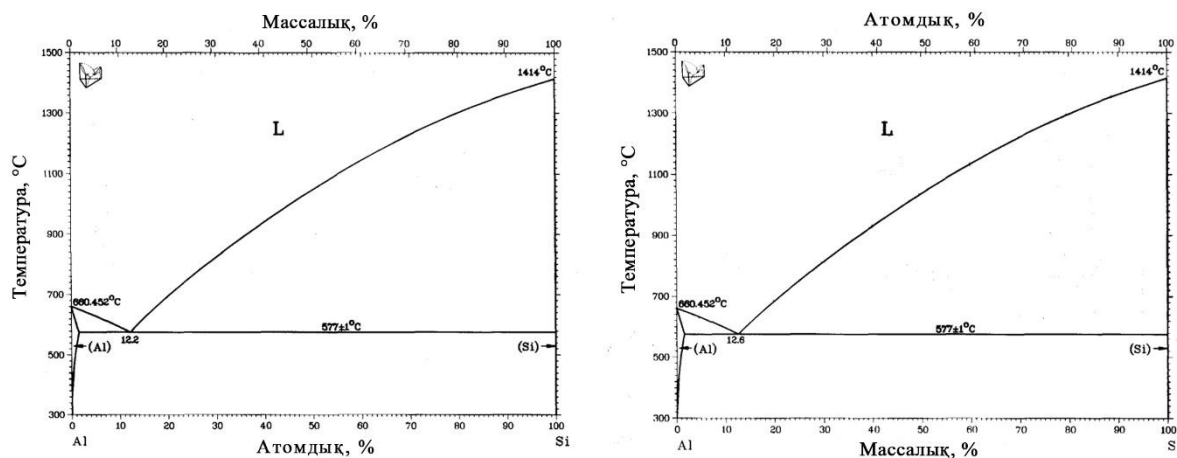
Сурет 2.4 – Al-Mn жүйесінің күй диаграммасы

Кесте 2.6– Al-Mn жүйесінің қосылыстары үшін қабылданған ΔH°_{298} мәндері

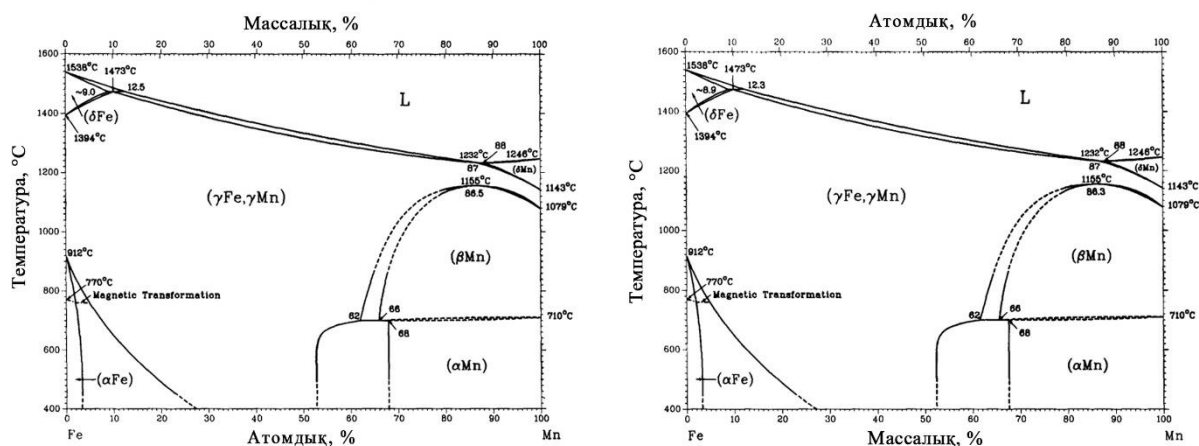
№	Формула	Қатынасы, масс %		ΔH°_{298} , кДж/моль	Дереккөз
		Mn	Al		
1	MnAl_6	25,34	74,66	-110,00	[112, б. 435-432]
2	MnAl_4	33,73	66,27	-104,40	
3	MnAl_3	40,43	59,57	-101,60	
4	$\text{Mn}_4\text{Al}_{11}$	42,54	57,46	-358,70	аддитивтілік
5	MnAl	67,06	32,94	-96,00	аддитивтілік

Fe-Mn жүйесі. Fe-Mn күй диаграммасы туралы ақпарат О.А. Банных, П.Б. Будберг пен С.П. Алисованың ғылыми еңбектерінде жинақталып беріледі [82, 88, б. 1078-1079]. Fe-Mn күй диаграммасы 2.6 суретте көрсетілген. Екі перитектикалық емес түрлендірулер қорытпа жүйесінде жүретіні анықталды. Осы жүйенің жекелеген қорытпаларының термодинамикалық қасиеттері

бойынша Fe-Mn күй диаграммасын есептеу оның эксперименттік мәліметтер бойынша құрылған диаграммамен жақсы сәйкестігін көрсетті [113 б. 175-203, 114]. Fe-Mn жүйесінде химиялық интерметалдық қосылыстар жоқ.



Сурет 2.5 – Al-Si жүйесінің күй диаграммасы



Сурет 2.5 – Fe-Mn жүйесінің күй диаграммасы

2.1.3 Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің үштік жүйелері қосылыстарының термодинамикалық қасиеттерін талдау және триангуляцияны жүргізу

Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесіне қатысты ғылыми жарияланымдар негізінен белгілі бір диаграмма жүйесі үшін жеке-жеке қарастырылды. Негізінен, бұл зерттеулер кремний, темір және марганец қоспалары аз алюминийге қатысты жүргізілді. Яғни, алюминий мөлшері 90%-дан асатын салаларға басты назар аударылды.

Біз алғаш рет Fe-Si-Mn-Al жүйесінің тетраэдрін қос және үштік жүйесінің қосылыстарын қолдана отырып, зерттедік. Ол үшін Fe-Si-Mn-Al жүйесінің әр үштік құрамдас бөліктері Fe-Si-Al, Si-Mn-Al, Fe-Mn-Si және Al-Mn-Fe түрінде бөлінуімен (триангуляциясымен) бөлек қарастырылды.

Үштік жүйелер қосылыстарының жиынтығын триангуляциялау [115] жұмыстарда сипатталған әдіс бойынша жүргізілді, онда 4 жақын қосылыс үшін алмастырушы реакциялар әдісі қолданылды. Бұл жағдайда компоненттер арасындағы реакция таңдалған төрт нүктенің диагональдары бойынша бір-біріне қарама-қарсы орналасқан екі қосылыстың қосындысы түрінде жасалады. Егер химиялық реакциялардың термодинамика заңына сәйкес реакция нәтижесі бойынша стандартты энтальпия оң мәнді болса, онда бастапқы компоненттер арасында қосылады, егер теріс нәтиже алынса, онда реакция өнімдері арасы сызықпен қосылады.

Реакциялардың пайда болуының стандартты энтальпиясын есептеу нәтижесінде тұрақты жұптасқан қосылыстар анықталады және үштік жүйе бірге түзілетін фазалардың тұрақты үшбұрыштарына бөлінеді.

Fe-Si-Al жүйесі. Fe-Si-Al металл жүйесін зерттеу Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды алу үшін, сондай-ақ темірдің кремнийге, кремнийдің алюминийге және алюминийдің темірге әртүрлі қатынасы бар фазалық құрамды дұрыс түсіну үшін маңызды міндеттердің бірі болып табылады.

Соңғы сенімді ақпарат Т. Макаевтың диссертациялық жұмысында келтірілген, онда осы жүйенің қосылыстарына толық шолу жүргізілген [116 б. 66-90, 117, б. 81, 135-138, 83, 84, 118]. Зерттеу жүйені триангуляциялаудың үш нұсқасын ұсынады: Fe-Si-Al [25]. Өнеркәсіптік құрамдардың ферросиликоалюминий қорытпасына қатысты $FeAl_3Si_2$ үштік қосылысының бар болатындығы анықталды, бұл «PANalytical» фирмасының (Нидерланды) «Empyrean» дифрактометрінде рентгенофазалық талдау жүргізумен расталды. Шын мәнінде, жұмыстың авторы TCAL $Fe_3Al_{11}Si_6$ деректер базасында $FeAl_3Si_2$ қосылысының болуын растады, стехиометрия бойынша $FeAl_3Si_2$ -ге сәйкес келеді [117, б. 81, 135-138, 82-84]. Сондықтан жұмыста триангуляцияның соңғы екі нұсқасын сенімді деп санауға болады мұнда ферросиликоалюминий қорытпасының құрамында $FeAl_3Si_2$ үштік қосылысы бар [116 б. 73-77].

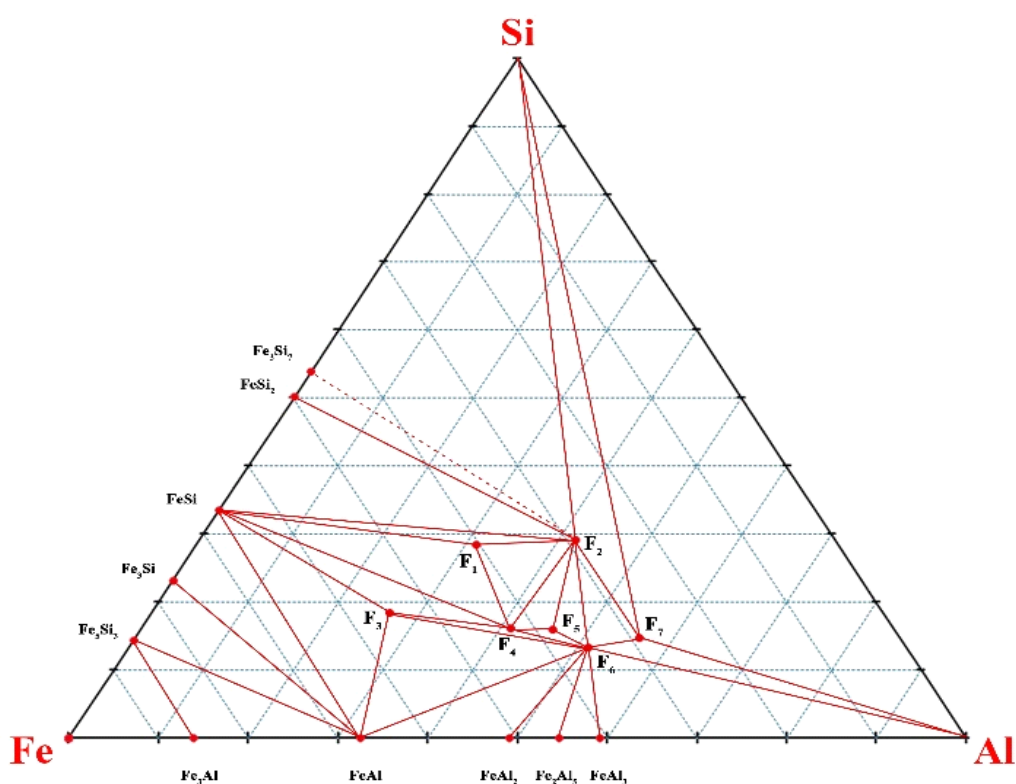
Осылайша, әдеби деректерді талдау Fe-Al-Si жүйесінде микроқұрылымды зерттеу және рентгендік фазалық талдау әдістерімен анықталған тұрақты үштік қосылыстар бар екенін көрсетеді.

Fe-Al-Si жүйесінің үштік қосылыстары үшін ΔG°_{298} мәні әдеби дереккөздерде жоқ, сондықтан Гиббс стандартты энергия мәндерінің орнына 2.7-кестеде келтірілген үштік қосылыстардың пайда болу энтальпиясының мәндері есептеуде қабылданған [116 б. 71-77].

Fe-Al-Si үштік жүйесінің триангуляциясын жүргізу кезінде Fe-Si, Al-Si, Fe-Al жүйелерінің күй диаграммалары мен $Fe_xAl_xSi_x$ -тің 7 үштік қосылыстарынан жиырма бес аймақ пайда болды: 1) Si- Fe_3Si_7 - F_2 ; 2) Fe_3Si_7 - $FeSi_2$ - F_2 ; 3) $FeSi_2$ - $FeSi$ - F_2 ; 4) $FeSi$ - F_1 - F_2 ; 5) $FeSi$ - F_4 - F_1 ; 6) F_1 - F_4 - F_2 ; 7) $FeSi$ - F_3 - F_4 ; 8) $FeSi$ - $FeAl$ - F_3 ; 9) $FeSi$ - Fe_5Si_3 - $FeAl$; 10) Fe_5Si_3 - Fe_3Si - $FeAl$; 11) Fe_3Si - Fe_3Al - $FeAl$; 12) Fe_3Si - Fe - Fe_3Al ; 13) $FeAl$ - F_6 - F_3 ; 14) F_3 - F_4 - F_6 ; 15) F_4 - F_5 - F_2 ; 16) F_5 - F_6 - F_2 ; 17) F_6 - F_7 - F_2 ; 18) F_4 - F_6 - F_5 ; 19) $FeAl$ - $FeAl_2$ - F_6 ; 20) $FeAl_2$ - Fe_2Al_5 - F_6 ; 21) Fe_2Al_5 - $FeAl_3$ - F_6 ; 22) $FeAl_3$ - Al - F_6 ; 23) Al - F_7 - F_6 ; 24) Al - Si - F_7 ; 25) Si - F_2 - F_7 (2.7 сурет).

Кесте 2.7 – Fe-Al-Si жүйесінің үштік қосылыстарының түзілу энтальпиясының есептік мәндері

№	Формула	Белгіленуі	Қатынасы, масс %			ΔH°_{298} , кДж/моль	Дерек көз
			Fe	Al	Si		
1	$\text{Fe}_5\text{Al}_8\text{Si}_7$	F ₁	40,37	31,21	28,42	-492,86	[116 б. 71-77, 119]
2	FeAl_3Si_2	F ₂	28,94	41,95	29,11	-190,01	
3	$\text{Fe}_3\text{Al}_3\text{Si}_2$	F ₃	54,99	26,57	18,44	265,28	
4	$\text{Fe}_4\text{Al}_8\text{Si}_3$	F ₄	42,67	41,23	16,10	-459,46	
5	$\text{Fe}_6\text{Al}_{15}\text{Si}_5$	F ₅	38,07	45,98	15,95	-670,67	
6	$\text{Fe}_4\text{Al}_{12}\text{Si}_3$	F ₆	35,38	51,28	13,34	-580,78	
7	FeAl_4Si	F ₇	29,11	56,25	14,64	-141,40	



Сурет 2.7 – Fe-Al-Si жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы

Si-Mn-Al жүйесі. Үштік қосылыстардың қалыптасуы мен тұрақтылығы туралы ақпарат өте қайшылықты, ал әртүрлі авторлар алған Si-Mn-Al құрылымы туралы ақпарат фазалардың саны мен олардың арасындағы фазалық тепе-теңдіктің табиғаты бойынша ерекшеленеді [100 б. 468-480]. Жалпы алғанда, жұмыста жеті үштік қосылыс $\text{Mn}_4\text{Al}_3\text{Si}_2$; $\text{Mn}_3\text{Al}_3\text{Si}_2$; $\text{Mn}_3\text{Al}_3\text{Si}_4$; $\text{Mn}_3\text{Al}_8\text{Si}_9$; $\text{Mn}_4\text{Al}_9\text{Si}_3$; $\text{Mn}_3\text{Al}_9\text{Si}$; $\text{Mn}_3\text{Al}_{12}\text{Si}$; $\text{Mn}_2\text{Al}_9\text{Si}_2$; $\text{Mn}_3\text{Al}_{15}\text{Si}_2$ қарастырылады. Олардың ішінде, М.И. Гасиктің зерттеуі бойынша $\text{Mn}_4\text{Al}_3\text{Si}_2$ қосылысы полиморфты түрлендірулер болуы мүмкін, бұл кристалданудан металдың жарылуына әкеледі, бірақ қайта кристалдану кезінде жаңа қосылыстардың пайда болуы мүмкін [120].

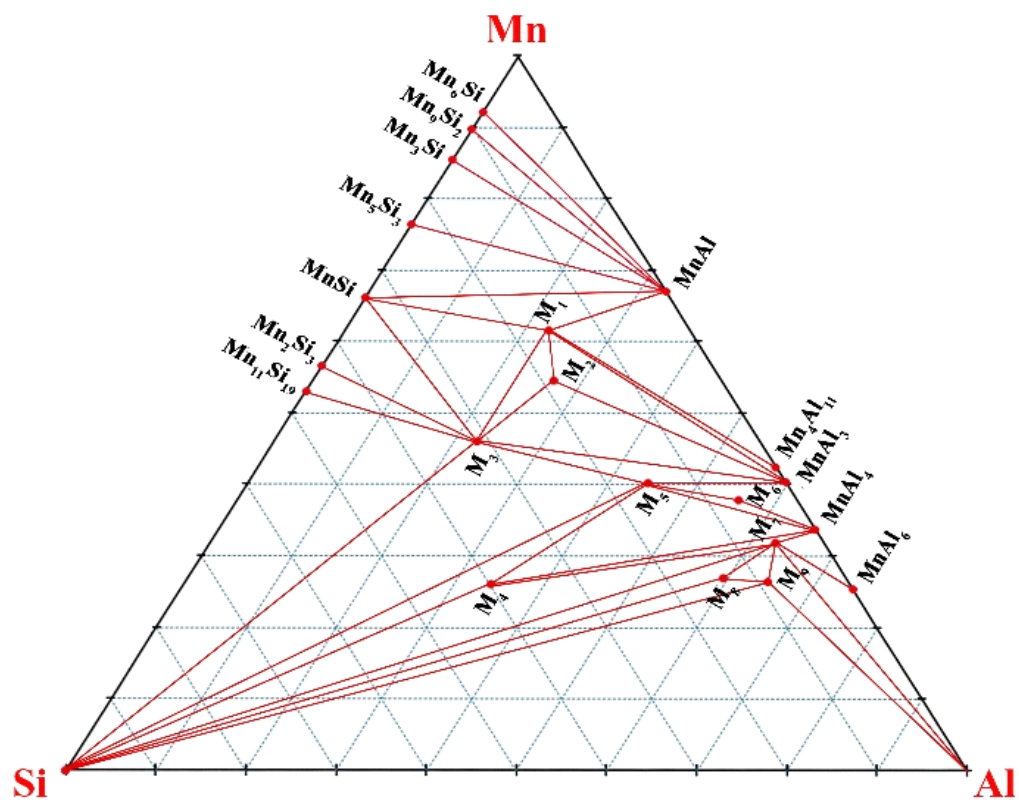
Si-Mn-Al жүйесінің үштік қосылыстары үшін ΔG°_{298} мәндерінің мәні әдебиттік дереккөздерде жоқ, сондықтан жоғарыда айтылғандай, есептеу қосылыстардың пайда болу энтальпиясының мәндерін қолдану арқылы жүргізілді. Si-Mn - Al жүйесінің үштік қосылыстарының түзілу энтальпиясын біз бір типті қос қосылыстардың түзілу энтальпиясының термодинамикалық аддитивтік әдісін қолдана отырып анықтадық. Есептеу нәтижелері 2.8-кестеде келтірілген.

Si-Mn-Al үштік жүйесінің триангуляциясын жүргізу кезінде Al-Si, Al-Mn, Mn-Si жүйелерінің күй диаграммалары мен $Mn_xAl_xSi_x$ -тің 7 үштік қосылыстарынан отыз бір аймақ пайда болды: 1) Mn-Mn₆Si-MnAl; 2) Mn₆Si-Mn₉Si₂-MnAl; 3) Mn₉Si₂-Mn₃Si-MnAl; 4) Mn₃Si-Mn₅Si₃-MnAl; 5) Mn₅Si₃-MnSi-MnAl; 6) MnSi-M₁-MnAl; 7) MnSi-M₃-M₁; 8) M₃-M₂-M₁; 9) MnSi-Mn₂Si₃-M₃; 10) Mn₂Si₃-Mn₁₁Si₁₉-M₃; 11) Mn₁₁Si₁₉-Si-M₃; 12) Si-M₅-M₃; 13) Si-M₄-M₅; 14) Si-MnAl₄-M₇; 15) Si-M₈-M₇; 16) Si-M₉-M₈; 17) Si-Al-M₉; 18) M₈-M₉-M₇; 19) Al-M₉-M₇; 20) Al-M₇-MnAl₆; 21) MnAl₆-M₇-MnAl₄; 22) M₄-M₇-MnAl₄; 23) MnAl₄-M₄-M₅; 24) MnAl₄-M₅-M₆; 25) MnAl₄-M₆-MnAl₃; 26) MnAl₃-M₆-M₅; 27) MnAl₃-M₅-M₃; 28) MnAl₃-M₃-M₂; 29) MnAl₃-M₁-M₂; 30) MnAl₃-M₁-MnAl₁₁; 31) Mn₄Al₁₁-M₁-MnAl (рисунок 2.8).

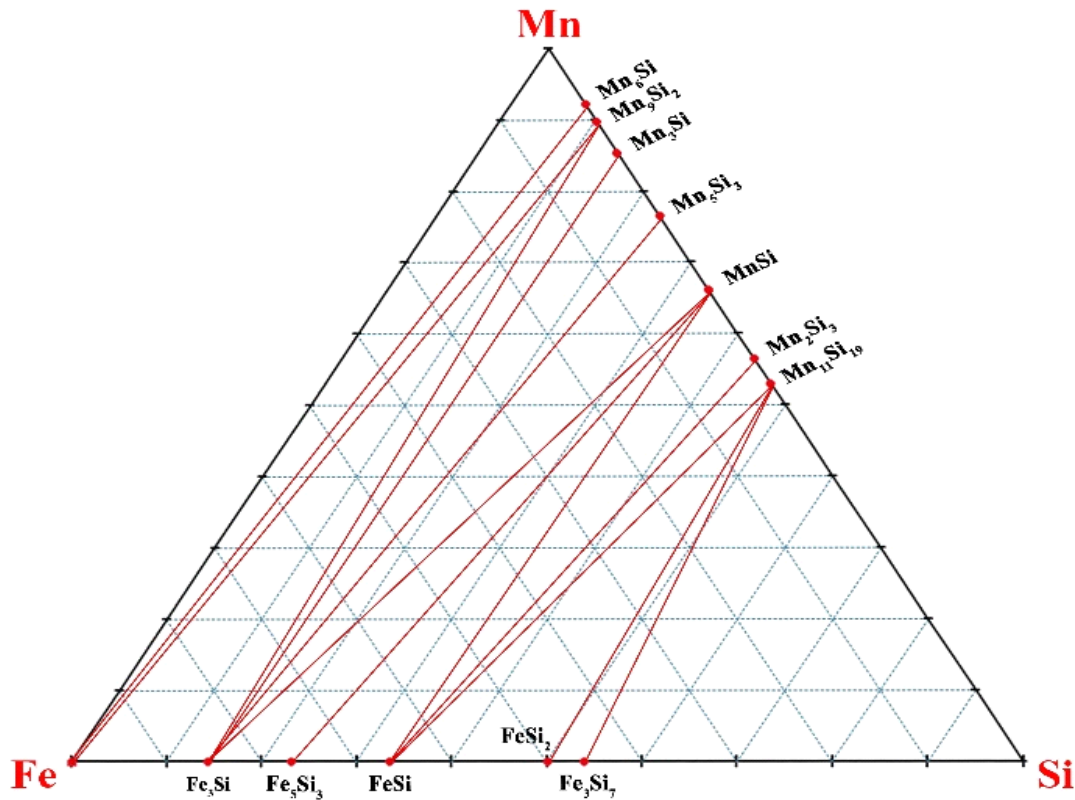
Кесте 2.8 – Si-Mn-Al жүйесінің үштік қосылыстарының түзілу энтальпиясының есептік мәндері

№	Формула	Белгіленуі	Қатынасы, масс %			ΔH°_{298} , кДж/моль	Дерек көз
			Mn	Al	Si		
1	Mn ₄ Al ₃ Si ₂	M ₁	61,58	22,68	15,74	-274,52	[110, б. 385-392]
2	Mn ₃ Al ₃ Si ₂	M ₂	54,59	26,81	18,60	-181,32	
3	Mn ₃ Al ₃ Si ₄	M ₃	46,02	22,60	31,37	-351,68	
4	Mn ₃ Al ₈ Si ₉	M ₄	26,02	34,08	39,90	-237,5	
5	Mn ₄ Al ₉ Si ₃	M ₅	40,19	44,41	15,41	-376,5	
6	Mn ₃ Al ₉ Si	M ₆	37,82	55,73	6,45	-289,42	
7	Mn ₃ Al ₁₂ Si	M ₇	31,90	62,67	5,44	-297,82	
8	Mn ₂ Al ₉ Si ₂	M ₈	26,87	59,39	13,74	-104,92	аддитивтілік
9	Mn ₃ Al ₁₅ Si ₂	M ₉	26,34	64,68	8,98	-214,92	аддитивтілік

Fe-Mn-Si жүйесі. Fe-Mn-Si үштік қосылыстарының болуы туралы ақпарат жоқ. Қос қосылыстар негізінде Fe-Mn-Si үштік жүйесінің триангуляциясын жүргізу кезінде Fe-Mn, Fe-Si және Mn-Si жүйелерінің күй диаграммаларынан он үш облыстың түзілуі анықталды: 1) Fe-Mn-Mn₆Si; 2) Fe-Mn₆Si-Mn₉Si₂; 3) Fe-Mn₉Si₂-Fe₃Si; 4) Fe₃Si-Mn₉Si₂-Mn₃Si; 5) Fe₃Si-Mn₃Si-Mn₅Si₃; 6) Fe₃Si-Mn₅Si₃-MnSi; 7) Fe₃Si-MnSi-Fe₅Si₃; 8) Fe₅Si₃-MnSi-FeSi; 9) FeSi-MnSi-Mn₂Si₃; 10) FeSi-Mn₂Si₃-Mn₁₁Si₁₉; 11) FeSi-Mn₁₁Si₁₉-FeSi₂; 12) FeSi₂-Mn₁₁Si₁₉-Fe₃Si₇; 13) Fe₃Si₇-Mn₁₁Si₁₉-Si (2.9 сурет).

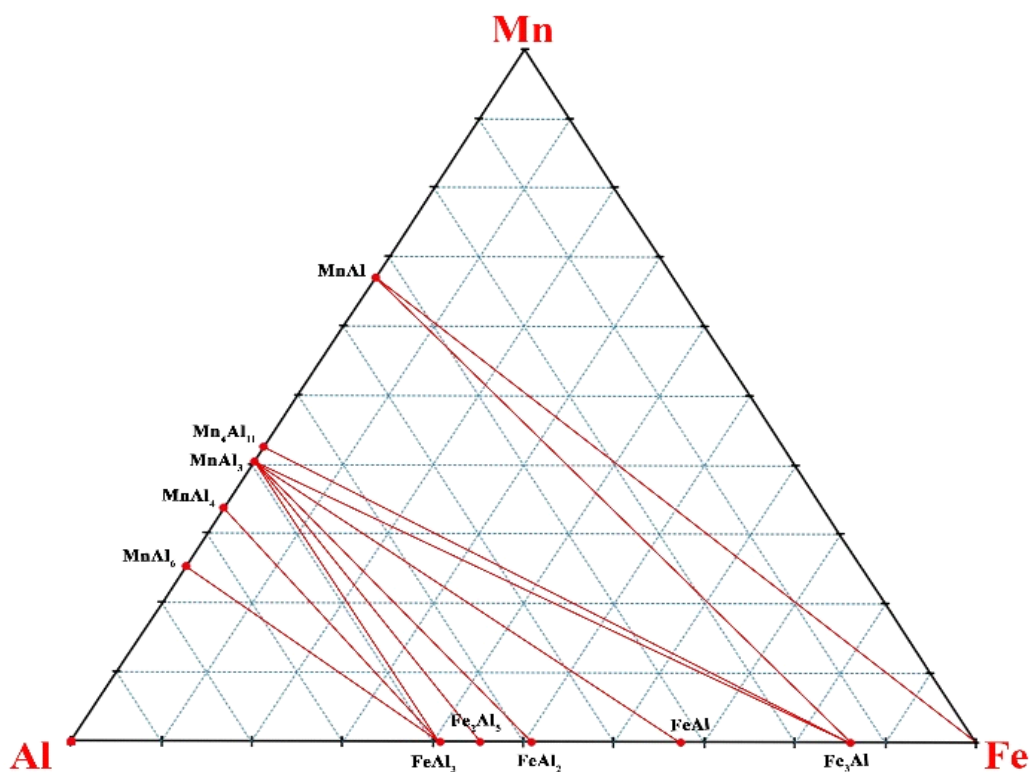


Сурет 2.8 – Si-Mn-Al жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы



Сурет 2.9 – Fe-Mn-Si жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы

Al-Mn-Fe жүйесі. Al-Mn-Fe үштік қосылыстарының болуы туралы ақпарат жоқ. Қос қосылыстар негізінде Al-Mn-Fe үштік жүйесінің триангуляциясын жүргізу кезінде Al-Mn, Fe-Mn және Fe-Al жүйелерінің күй диаграммаларынан он бір облыстың түзілуі анықталды: 1) Al-MnAl₆-FeAl₃; 2) MnAl₆-MnAl₄-FeAl₃; 3) MnAl₄-MnAl₃-FeAl₃; 4) MnAl₃-Fe₂Al₅-FeAl₃; 5) MnAl₃-FeAl₂-Fe₂Al₅; 6) MnAl₃-FeAl-FeAl₂; 7) MnAl₃-Fe₃Al-FeAl; 8) MnAl₃-Mn₄Al₁₁-Fe₃Al; 9) Mn₄Al₁₁-MnAl-Fe₃Al; 10) MnAl-Fe-Fe₃Al; 11) MnAl-Mn-Fe (2.10 сурет).



Сурет 2.10 – Al-Mn-Fe жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы

Осылайша, Si-Mn-Al үштік жүйесіндегі үштік қосылыстар үшін түзілу энтальпиясының мәні алғаш рет есептелінді.

Зерттеу жұмысында екілік жүйелер (Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Al, Mn-Si, Al-Si, Al-Mn) және үштік жүйелер (Fe-Si-Al, Si-Mn-Al, Fe-Mn-Si және Al-Mn-Fe) қарастырылады. Тұрақты бірге түзуші үштік фазаларды анықтай отырып, үштік жүйелердің триангуляциясы жүргізілді.

2.1.4 Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің тетраэдрациясы

Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесі Fe-Fe-Si-Al, Si-Mn-Al, Fe-Mn-Si және Al-Mn-Fe төрт жеке үш компонентті жүйеден тұратын Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің тетраэдрациясы негізінде төрт компонентті жүйенің фазалық құрамының диаграммасы құрылды (2.10-суреттер). 2.9-кестеді зерттелген жүйелердің барлық қарапайым үшбұрыштарының тізімі берілген.

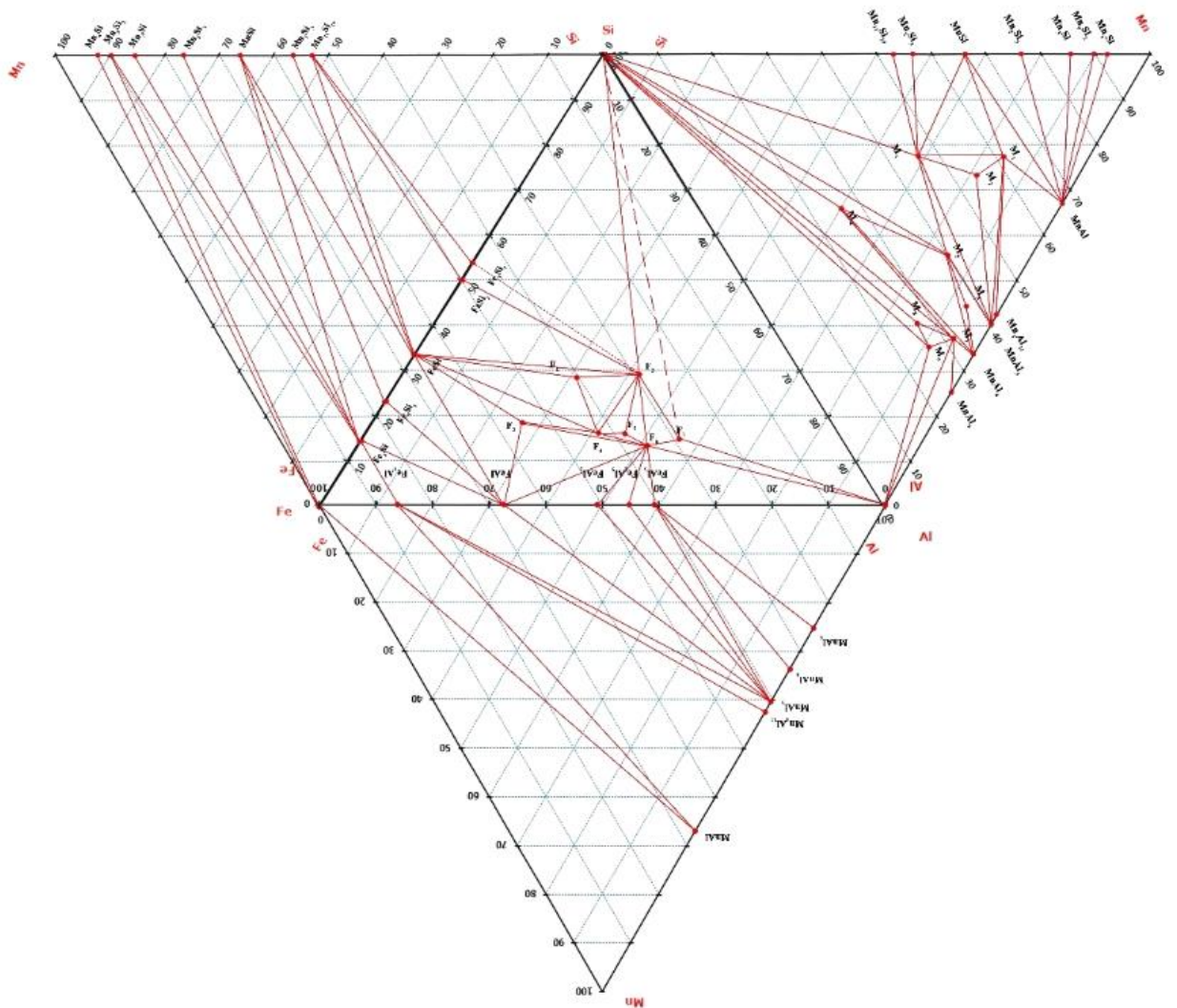
Кесте 2.9 – Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінде анықталған қарапайым үшбұрыштар

Fe-Si-Al	Si-Mn-Al	Fe-Mn-Si	Al-Mn-Fe
Si-Fe ₃ Si ₇ -F ₂	Mn-Mn ₆ Si-MnAl	Fe-Mn-Mn ₆ Si	Al-MnAl ₆ -FeAl ₃
Fe ₃ Si ₇ -FeSi ₂ -F ₂	Mn ₆ Si-Mn ₉ Si ₂ -MnAl	Fe-Mn ₆ Si-Mn ₉ Si ₂	MnAl ₆ -MnAl ₄ -FeAl ₃
FeSi ₂ -FeSi-F ₂	Mn ₉ Si ₂ -Mn ₃ Si-MnAl	Fe-Mn ₉ Si ₂ -Fe ₃ Si	MnAl ₄ -MnAl ₃ -FeAl ₃
FeSi-F ₁ -F ₂	Mn ₃ Si-Mn ₅ Si ₃ -MnAl	Fe ₃ Si-Mn ₉ Si ₂ -Mn ₃ Si	MnAl ₃ -Fe ₂ Al ₅ -FeAl ₃
FeSi-F ₄ -F ₁	Mn ₅ Si ₃ -MnSi-MnAl	Fe ₃ Si-Mn ₃ Si-Mn ₅ Si ₃	MnAl ₃ -FeAl ₂ -Fe ₂ Al ₅
F ₁ -F ₄ -F ₂	MnSi-M ₁ -MnAl	Fe ₃ Si-Mn ₅ Si ₃ -MnSi	MnAl ₃ -FeAl-FeAl ₂
FeSi-F ₃ -F ₄	MnSi-M ₃ -M ₁	Fe ₃ Si-MnSi-Fe ₅ Si ₃	MnAl ₃ -Fe ₃ Al-FeAl
FeSi-FeAl-F ₃	M ₃ -M ₂ -M ₁	Fe ₅ Si ₃ -MnSi-FeSi	MnAl ₃ -Mn ₄ Al ₁₁ -Fe ₃ Al
FeSi-Fe ₅ Si ₃ -FeAl	MnSi-Mn ₂ Si ₃ -M ₃	FeSi-MnSi-Mn ₂ Si ₃	Mn ₄ Al ₁₁ -MnAl-Fe ₃ Al
Fe ₅ Si ₃ -Fe ₃ Si-FeAl	Mn ₂ Si ₃ -Mn ₁₁ Si ₁₉ -M ₃	FeSi-Mn ₂ Si ₃ -Mn ₁₁ Si ₁₉	MnAl-Fe-Fe ₃ Al
Fe ₃ Si-Fe ₃ Al-FeAl	Mn ₁₁ Si ₁₉ -Si-M ₃	FeSi-Mn ₁₁ Si ₁₉ -FeSi ₂	MnAl-Mn-Fe
Fe ₃ Si-Fe-Fe ₃ Al	Si-M ₅ -M ₃	FeSi ₂ -Mn ₁₁ Si ₁₉ -Fe ₃ Si ₇	
FeAl-F ₆ -F ₃	Si-M ₄ -M ₅	Fe ₃ Si ₇ -Mn ₁₁ Si ₁₉ -Si	
F ₃ -F ₄ -F ₆	Si-MnAl ₄ -M ₇		
F ₄ -F ₅ -F ₂	Si-M ₈ -M ₇		
F ₅ -F ₆ -F ₂	Si-M ₉ -M ₈		
F ₆ -F ₇ -F ₂	Si-Al-M ₉		
F ₄ -F ₆ -F ₅	M ₈ -M ₉ -M ₇		
FeAl-FeAl ₂ -F ₆	Al-M ₉ -M ₇		
FeAl ₂ -Fe ₂ Al ₅ -F ₆	Al-M ₇ -MnAl ₆		
Fe ₂ Al ₅ -FeAl ₃ -F ₆	MnAl ₆ -M ₇ -MnAl ₄		
FeAl ₃ -Al-F ₆	M ₄ -M ₇ -MnAl ₄		
Al-F ₇ -F ₆	MnAl ₄ -M ₄ -M ₅		
Al-Si-F ₇	MnAl ₄ -M ₅ -M ₆ ;		
Si-F ₂ -F ₇	MnAl ₄ -M ₆ -MnAl ₃		
	MnAl ₃ -M ₆ -M ₅		
	MnAl ₃ -M ₅ -M ₃		
	MnAl ₃ -M ₃ -M ₂		
	MnAl ₃ -M ₁ -M ₂		
	MnAl ₃ -M ₁ -MnAl ₁₁		
	Mn ₄ Al ₁₁ -M ₁ -MnAl		

Fe-Si-Mn-Al жүйесінің толық тетраэдрациясы үшін осы жүйені құрайтын қарапайым тетраэдрлерді табу қажет болды. Фазалық құрамның диаграммаларын құрудың екі әдісі бар. Бірінші әдіс геометриялық болып табылады, бұл тетраэдр үшін өте күрделі, себебі пайда болған фазалардың көптігі. 2.9-кестеде көрсетілген мәліметтерден көріп отырғанымыздай, жүйе 80 үшбұрыштан тұрады. Барлық коннодтарды дұрыс ұстау және үшбұрыштардың шекараларының қиылысын жіберіп алмау немесе көрмеу өте қиын. Сондықтан біз белгілі әдістерінің бірі үшбұрыштың тетраэдрге жабылуының қолдандық.

Бұл екі бірдей фазасы бар үшбұрыштарды іздеуден тұрады «егер жақын үштік жеке жүйенің екі үшбұрышы екі бірдей фазаға ие болса, онда олар тетраэдр түзеді және т.б.». 2.9-кестедегі мәліметтерге сәйкес алдымен қосылыстардың алғашқы екі бағанын қарастырамыз және екі бірдей фазасы бар

үшбұрыштарды табамыз, оларды жазамыз. Әрі қарай, екінші және үшінші бағандардың фазалық қосылыстары қарастырылады. Осы әдіс негізінде елу алты тетраэдрдің болуы анықталды (2.10-кесте).



Сурет 2.11 – Fe-Si-Mn-Al жүйесінің фазалық құрамының диаграммасы

2.10-кестеде Fe-Si-Al-Mn жүйесіндегі қарапайым тетраэдрлердің тізімі және шартты бір бірлікке тең бастапқы төрттік жүйенің көлеміне қатысты олардың көлемі көрсетілген.

Жалпы жүйені бөлу барлық белгілі қосылыстар ескеріле отырып, жүзеге асырылды. Төрт компонентті жүйені бөлу нәтижелері бойынша қарапайым тетраэдрлердің салыстырмалы көлемінің қосындысы шартты бір бірлікті құрады, бұл жүргізілген тетраэдрацияның дұрыстығын көрсетеді.

Жүргізілген есептеулердің нәтижелері (2.9-кесте) Fe-Si-Mn-Al металл жүйесінің фазалық құрылымының диаграммасының тетраэдрациясының дұрыстығын растайды. 2.12-суретте Fe-Si-Al-Mn төрт компонентті жүйенің тетраэдрі көрсетілген.

Кесте 2.10 – Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесіндегі тетраэдрлердің тізбесі және шартты бір бірлікке тең олардың көлемі

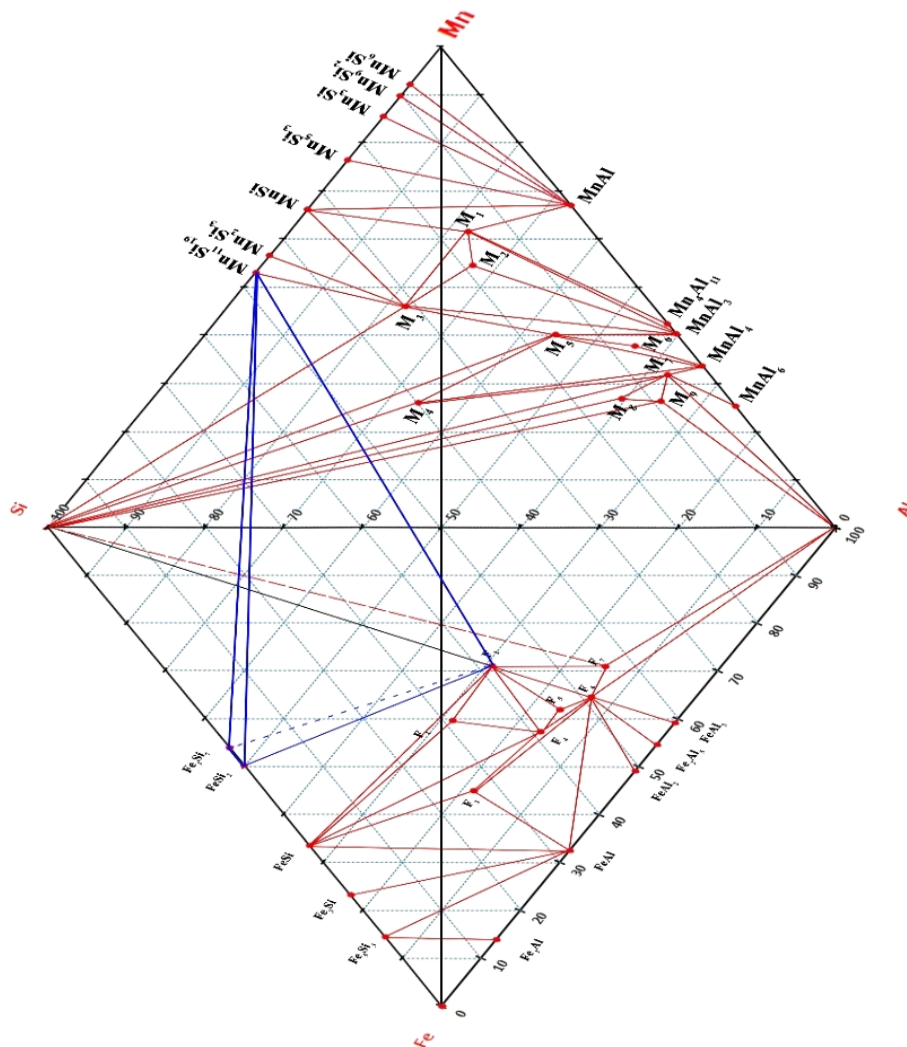
№	Тэтраэдры	Көлемі	№	Тэтраэдрлар	Көлемі
1	Si-Fe ₃ Si ₇ -F ₂ -Mn ₁₁ Si ₉	0,116356	29	Fe ₃ Si-Mn ₃ Si-MnAl-Mn ₅ Si	0,025065
2	FeSi ₂ -Fe ₃ Si ₇ -F ₂ -Mn ₁₁ Si ₉	0,008677	30	Fe ₃ Si-Mn ₃ Si-MnAl-MnSi	0,059887
3	FeSi ₂ -FeSi-F ₂ -Mn ₁₁ Si ₉	0,036933	31	Fe ₃ Si-M ₁ -MnAl-MnSi	0,014704
4	F ₁ -FeSi-F ₂ -M ₃	0,003658	32	Fe ₃ Si-M ₁ -M ₃ -MnSi	0,030352
5	F ₁ -FeSi-F ₄ -M ₃	0,015307	33	M ₃ -M ₂ -M ₁ -Fe ₃ Si	0,005535
6	F ₁ -F ₂ -F ₄ -M ₃	0,006422	34	MnSi-Mn ₂ Si ₃ -M ₃ -FeSi	0,014428
7	FeSi-F ₃ -F ₄ -MnAl ₃	0,006435	35	Mn ₁₁ Si ₉ -Mn ₂ Si ₃ -M ₃ -FeSi	0,00526
8	FeSi-F ₃ -FeAl-MnAl ₃	0,016113	36	Mn ₁₁ Si ₉ -Si-M ₃ -F ₇	0,034922
9	FeSi-Fe ₅ Si ₃ -FeAl-MnSi	0,049261	37	M ₅ -Si-M ₃ -F ₇	0,032996
10	Fe ₃ Si-Fe ₅ Si ₃ -FeAl-MnSi	0,095044	38	M ₅ -Si-M ₄ -F ₇	0,006298
11	Fe ₃ Si-Fe ₃ Al-FeAl-MnAl ₄	0,009075	39	Si-M ₄ -M ₇ -F ₇	0,015784
12	Fe ₃ Si-Fe ₃ Al-Fe-MnAl	0,013431	40	Si-M ₈ -M ₇ -F ₇	0,006059
13	FeAl-F ₆ -F ₃ -MnAl ₃	0,017125	41	Si-M ₈ -M ₉ -F ₇	0,005186
14	F ₄ -F ₆ -F ₃ -MnAl ₃	0,000713	42	M ₇ -M ₈ -M ₉ -F ₇	0,000829
15	F ₄ -F ₅ -F ₂ -M ₃	0,002896	43	Al-M ₈ -M ₉ -F ₇	0,00344
16	F ₆ -F ₅ -F ₂ -M ₃	0,002709	44	Al-M-MnAl ₆ -F ₇	0,003976
17	F ₆ -F ₇ -F ₂ -M ₃	0,004219	45	MnAl ₆ -M ₇ -MnAl ₄ -FeAl ₃	0,001851
18	F ₄ -F ₆ -F ₅ -M ₃	0,000572	46	M ₄ -M ₇ -MnAl ₄ -F ₇	0,00088
19	FeAl-F ₆ -FeAl ₂ -MnAl ₃	0,008866	47	M ₄ -M ₅ -MnAl ₄ -F ₇	0,010998
20	Fe ₂ Al ₅ -F ₆ -FeAl ₂ -MnAl ₃	0,003009	48	M ₆ -M ₅ -MnAl ₄ -F ₇	0,000627
21	Fe ₂ Al ₅ -F ₆ -FeAl ₃ -MnAl ₃	0,002418	49	M ₆ -MnAl ₃ -MnAl ₄ -FeAl ₃	0,00175
22	Al-F ₆ -FeAl ₃ -MnAl ₆	0,013729	50	M ₆ -MnAl ₃ -M ₅ -F ₇	0,001128
23	F ₇ -F ₆ -MnAl ₆ -Al	0,003284	51	M ₃ -MnAl ₃ -M ₅ -F ₃	0,005089
24	F ₇ -Si-M ₉ -Al	0,084923	52	M ₃ -MnAl ₃ -M ₂ -Fe ₃ Si	0,029251
25	F ₇ -Si-M ₃ -F ₂	0,018758	53	M ₁ -MnAl ₃ -M ₂ -Fe ₃ Si	0,01467
26	Fe-Mn ₆ Si-MnAl-Mn	0,025991	54	M ₁ -MnAl ₃ -Mn ₄ Al ₁₁ -Fe ₃ Al	0,002839
27	Fe-Mn ₆ Si-MnAl-Mn ₉ Si	0,007567	55	M ₁ -MnAl-Mn ₄ Al ₁₁ -Fe ₃ Al	0,033254
28	Fe ₃ Si-Mn ₃ Si-MnAl-Mn ₉ Si	0,012391	56	Fe-MnAl-Fe ₃ Si-Mn ₉ Si ₂	0,04706
Барлығы					1,000

Біз есептеген Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің фазалық құрамдарының диаграммасы негізінде (2.12-сурет) құраушы фазалардың бірі лебоит фазасы (Fe₂Si₅) болып табылатын тетраэдрлік аймақ анықтады. Бұл аймақ (көк түспен белгіленген) FeSi₂-FeSi-F₂-Mn₁₁Si₉ фазаларымен шектелген және көлемі 0,036933 бірлік (~ 3,7%).

Анықталған аймақ, көлемі аз болғанына қарамастан, Fe-Si-Mn-Al КЛ бар өнеркәсіптік құрамдар аймағының көп бөлігінде созылып жатыр. Сондықтан Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқыту лебоит кристалдануының анықталған аймағына кірмейтін қосылыстарды ескере отырып жасалуы керек.

Осылайша, фазалық қатынастар диаграммаларын құра отырып, Fe-Si-Mn-Al жүйесінің термодинамикалық-диаграммалық талдауы жүргізілді. Fe-Si-Mn-Al жүйесі үшін төрттік фазалық аймақтар анықталды.

Fe-Si-Mn-Mn металдық жүйесі үшін фазалық күй диаграммасы алғаш рет үш еселік интерметалдық қосылыстарды $Fe_5Al_8Si_7$; $FeAl_3Si_2$; $Fe_3Al_3Si_2$; $Fe_4Al_8Si_3$; $Fe_6Al_{15}Si_5$; $Fe_4Al_{12}Si_3$; $FeAl_4Si$; $Mn_4Al_3Si_2$; $Mn_3Al_3Si_2$; $Mn_3Al_3Si_4$; $Mn_3Al_8Si_9$; $Mn_4Al_9Si_3$; Mn_3Al_9Si ; $Mn_3Al_{12}Si$; $Mn_2Al_9Si_2$; $Mn_3Al_{15}Si_2$ пайдалана отырып бөлінді.



Сурет 2.12 – Fe Fe-Si-Mn-Al металл жүйесінің тетраэдрі

Мүмкін болатын алмастырушы реакциялардың энергетикасын есептеу негізінде жүргізілген Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің тетраэдрациясы Fe-Si-Mn-Al КЛ-да лебоит фазасының қайта кристалдануы салдарынан жарылып, шашырайтын төрт бұрышты аймақты ($FeSi_2$ - $FeSi$ - F_2 - $Mn_{11}Si_9$) анықтауға мүмкіндік берді.

Теориялық есептеулер негізінде алынған нәтижелер Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды өндіру үшін үлкен қолданбалы рөл атқарады және шашырауға ұшырамайтын қорытпаларды балқытуға мүмкіндік береді.

2.2 Кешенді лигатураны алу үрдісін термодинамикалық модельдеу

Термодинамикалық модельдеу (бұдан әрі мәтін бойынша – «ТМ») жоғары температурада химиялық құрамы күрделі жүйелердің химиялық және фазалық түрленуін зерттеу кезінде ғылыми-зерттеу және өндірістік тәжірибеде маңызды рөл атқарады әрі кеңінен қолданылады [121-123].

ТМ-дің артықшылығы оның әмбебап сипатында, бұл жеке заттардың термохимиялық және термодинамикалық қасиеттері туралы бір ғана анықтамалық ақпарат негізінде жүйенің химиялық құрамы бойынша еркін зерттеуге мүмкіндік береді. Бұл қасиеттер көптеген инженерлік қосымшаларға тән температура диапазонында газ тәрізді, конденсацияланған және иондалған күйдегі химиялық қосылыстардың кең спектріне белгілі [124-125].

ТМ-ді қолдану химиялық және фазалық өзгерістерді ескере отырып, температура мен қысымның кең диапазонында күрделі гетерогенді, көп элементті, көп фазалы жүйелердің құрамы мен қасиеттерін сандық түрде модельдеуге және болжауға мүмкіндік береді [126].

ТМ-де конденсацияланған жеке заттар ретінде оларды құрайтын атомдардың еселік саны бар қосылыстар қабылданады. Бөлшек стехиометриялық коэффициенттері бар заттар ерітінді болып саналады. Конденсацияланған фазалардың құрамына қатты (кристалды немесе аморфты) және сұйық күйдегі қосылыстар кіреді. Бірдей химиялық формуласы бар, бірақ әртүрлі фазаларға кіретін жеке заттар әртүрлі құрама заттар болып саналады. Газ фазасының құрамдас бөліктері молекулалар, радикалдар, атомдар, иондар және электронды газдар болып табылады.

Бұл арзан және пайдалы бағдарламалық кешен, қымбат сынақтар мен тәжірибелік зерттеулер қателіксіз жүргізудің оңтайлы алғышарттарын табуға көмектеседі.

КЛ-ларды балқыту процесінің ТМ 29000-нан астам химиялық қосылыстар үшін энтальпия (H), энтропия (S) және жылу сыйымдылығы (C) туралы ауқымды термохимиялық дерекқорды қамтитын HSC Chemistry [94, 127, 128] бағдарламалық кешенінің көмегімен жүргізілді. HSC Chemistry бағдарламалық кешеніне 10-нан астам модуль кіреді. Диссертациялық жұмыста Гиббс энергиясы минималдық принципіне негізделген тепе-теңдікті есептеу әдісіне негізделген Equilibrium Compositions модулі қолданылды.

2.2.1 Математикалық жоспарлау мен модельдеуде қолданылатын термодинамикалық модельдеуді жүргізу әдістемесі және бастапқы деректер

ТМ жүйесі Гиббс энергиясын минималдық және термодинамиканың вариациялық принциптеріне негізделген HSC Chemistry (Outokumpu, Финляндия) бағдарламалық кешенін қолдана отырып, зерттелді [94]. Бағдарламалық кешен SGTE (Scientific Group Thermodata Europe) консорциумының идеологиясы бойынша зерттеу жасайды. SGTE консорциумы Германия, Канада, Франция, Швеция, Ұлыбритания және АҚШ-тың бейорганикалық және металлургиялық жүйелерге арналған термодинамикалық

мәліметтер базасын жасаумен және оларды практикалық мәселелерді шешу үшін қолданумен айналысатын ғылыми орталықтарынан тұрады. Көп компонентті тотық пен металл жүйесінің тепе-теңдік құрамы «Equilibrium Compositions» модулін қолдану арқылы (тепе-теңдік құрамы) 500-2200°C температура аралығында 100°C қадаммен және 1 атм-ге тең газ фазасының қысымымен анықталды. Есептеу үшін Гиббс энергиясының минималдық потенциалының «GIBBS» бағдарламасының алгоритмі қолданылды, ол келесі 2.1-2.3 формулаларымен есептеледі. Жүйенің газ фазасында тепе-теңдік құрамын іздеудің есептеу процедурасын тездету үшін бейтарап қоспа ретінде 2,24 м³ N₂ (gas) қолданылды.

$$G(\mathbf{x}) = \sum_{a=1}^f * \sum_{j=1}^{ia} X_j \left(C_j + \ln \left(\frac{X_j}{X_a} \right) + \ln \gamma_j \right) \rightarrow G(\mathbf{x})_{min} \quad (2.1)$$

заттың массалық тепе-теңдіктерінің сызықтық теңдеулер жүйесі түріндегі шектеулер кезінде:

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} X_j = b_i \quad (2.2)$$

және нормалау шарты бойынша

$$\sum_{j=1}^{La} X_j = X_a \quad (2.3)$$

мұндағы f – жүйе фазаларының жалпы саны;

b_i – жүйедегі тәуелсіз компоненттің жалпы саны;

i – жүйенің a фазасындағы J тәуелсіз компоненттерінің санын көрсететін сандар массасы;

n – жүйенің тәуелсіз компоненттерінің саны;

C_j – эмпирикалық термодинамикалық функция;

X_a – жүйеде a фазасындағы мольдерінің жалпы саны;

$\frac{X_j}{X_a}$ – a фазасындағы тәуелді компоненттің моль үлесі;

γ_j – компоненттің белсенділік коэффициенті.

Термодинамикалық жүйенің тепе-теңдік параметрлері Лангранж функцияларын және Ньютонның дәйекті жуықтау әдісін қолдана отырып, барлық шектеулерді ескере отырып, экстремумды табу туралы математикалық есепті шешумен анықталады.

Жоғары күлді көмір, кварцит, марганец кендері мен кокс қалдықтарынан тұратын брикет ТМ жүргізу үшін бастапқы шихта материалдары ретінде пайдаланылды. HSC Chemistry бағдарламалық кешенімен жұмыс істеу кезінде бастапқы ақпарат зерттелетін жүйеде заттардың сандық (кг) таралуы түрінде ұсынылды (2.10 және 2.11-кестелер). Содан кейін HSC Chemistry бағдарламалық кешеніне арнайы әзірленген бағдарлама негізінде өзара

әрекеттесу өнімдері бойынша элементтің тепе-теңдік дәрежесі (α , %) анықталды [129]. Ол үшін есептеулер келесі формула бойынша жүргізілді:

$$\alpha_{i_{\text{эл}}} = \frac{G_{\text{прод}} \cdot \frac{m \cdot A_{i_{\text{эл}}}}{M_i}}{G_{\text{иск}} \cdot \frac{n \cdot A_{i_{\text{эл}}}}{M}} \cdot 100 \quad (2.4)$$

мұндағы $G_{\text{баст}}$ – бастапқы жүйеде элементтің массасы, кг;
 $G_{\text{өнім}}$ – алынған өнімдегі элементтің массасы, кг;
 M - i элементтегі бастапқы заттың молекулалық массасы;
 $A_{i_{\text{эл}}}$ – i элементтің атомдық массасы;
 n – бастапқы заттағы i элемент атомдарының саны;
 m – соңғы заттағы i элемент атомдарының саны;

Кесте 2.10 – Шихта материалдарының техникалық құрамы

Шихта материалы	A ^c	V ^c	W	C _T
Брикет	68,59	14,94	5,58	16,47
Көмір	43,39	22,05	2,7	31,86

Кесте 2.11 – Шихта материалдарының химиялық құрамы

Шихта материалы	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S
Брикет	4,039	11,91	1,235	33,84	10,42	0,64	0,01	0,01	0,84	0,025	0,032
Көмір	2,423	28,46	9,745	0,000	0,764	1,50	0,46			0,04	
Кварцит	1,02	96,6	0,5		1,24	0,62					0,005

КЛ негізгі элементтерінің қорытпаға ауысуының оңтайлы жағдайларын іздеуде екінші ретті айналмалы жоспарларға негізделген зерттеу әдісі қолданылды [130], тиісті регрессия теңдеуін алу және оңтайландыру параметрлерінің геометриялық бейнесін құру [131] (теңдеу коэффициенттерінің маңыздылығы) Стьюдент критерийі бойынша, ал теңдеудің адекваттылығы Фишер критерийі бойынша анықталды.

Ротатабельді жоспарлау деп регрессия теңдеуімен болжанған жауап ауытқуы бар жоспарлау (шығу параметрі) эксперимент орталығынан тең қашықтықта орналасқан барлық нүктелер үшін тұрақты болатын жоспарлауды атайды.

$$\sqrt{2} = 1,414 \quad (2.5)$$

Композициялық жоспар ротатабельді болуы үшін жұлдызды иықтың мөлшерін мынадай жағдайда таңдайды:

$$a = 2^{\frac{k}{4}} \quad k < 5 \text{ кезінде} \quad (2.6)$$

$$a = 2^{\frac{k-1}{4}} \quad k > 5 \text{ кезінде} \quad (2.7)$$

немесе жалпы жағдайда

$$a = 2^{\frac{k-p}{4}} \quad (2.8)$$

мұндағы k – факторлар саны;

p – репликалардың бөлшектілігі (ПФЭ үшін $p = 0$, жартылай реплика үшін $p = 1$, репликаның төрттен бірі үшін $p = 2$ және т. б.).

2.12-кестеде марганец кендері мен кокстың қалдықтарынан дайындалған брикет, жоғары күлді көмір мен кварциттен КЛ балқыту кезінде параметрлердің тәуелсіз факторларының бастапқы мәндері көрсетілген. Барлық тәжірибелерде марганец кендері мен кокстың қалдығынан алынған брикеттің салмағы 100 кг және тұрақты болады.

2.2.2 Заттардың таралу үрдісін термодинамикалық модельдеу нәтижелері 2.13-2.16-суреттерде 100 кг брикет, 100 кг көмір және 29,8 кг кварцит (бұдан әрі мәтін бойынша – «Б-К-К») бар қарастырылып отырған жүйеде құрамында темір, кремний, марганец және алюминий бар заттардың сандық (кг) таралуына температураның әсері көрсетілген. Алынған нәтижелерден қорытпадағы темір FeSi түрінде кездеседі, ол 1300°C температурада қалыптаса бастайды деп айтуға болады. Сондай-ақ аз мөлшерде басқа темір силицидтері пайда болады: Fe₃Si, FeSi₂, FeSi_{2,43} және FeSi_{2,33}. 2.14-суретте құрамында кремний бар заттардың пайда болуының графикалық материалы көрсетілген. Кремний, темір силицидтерінен басқа, кальций мен марганец силицидтері және элементтік кремний түрінде де кездеседі.

ТМ нәтижелеріне сәйкес құрамында марганец бар фазалар тепе-теңдік жағдайында марганец силицидтері Mn₁₁Si₁₉, MnSi, Mn₅Si₃, Mn₃Si түрінде болады. Марганец силицидтерінің бүкіл массасынан негізгі бөлігі Mn₁₁Si₁₉-ға келетінін айта кеткен жөн. Алюминий ТМ нәтижесі көрсетіп тұрғандай алюминидтері CaAl₂, CaAl₄ және Al түрінде болады, және де 1700-1800 °C-тан бастап түзіледі.

2.17-2.21 суреттерде кварцит, көмір мөлшері кремнийдің қорытпаға тепе-теңдік игерілу дәрежесіне және кремний, марганец және алюминий қорытпасындағы концентрацияға температураның әсері көрсетілген. Mn қорытпаға ауысу дәрежесі көрсетілмеген, өйткені барлық марганец 1567°C температурада қорытпаға өтеді). 2.17-суреттен көмірдің 40-тан 120%-ға дейін

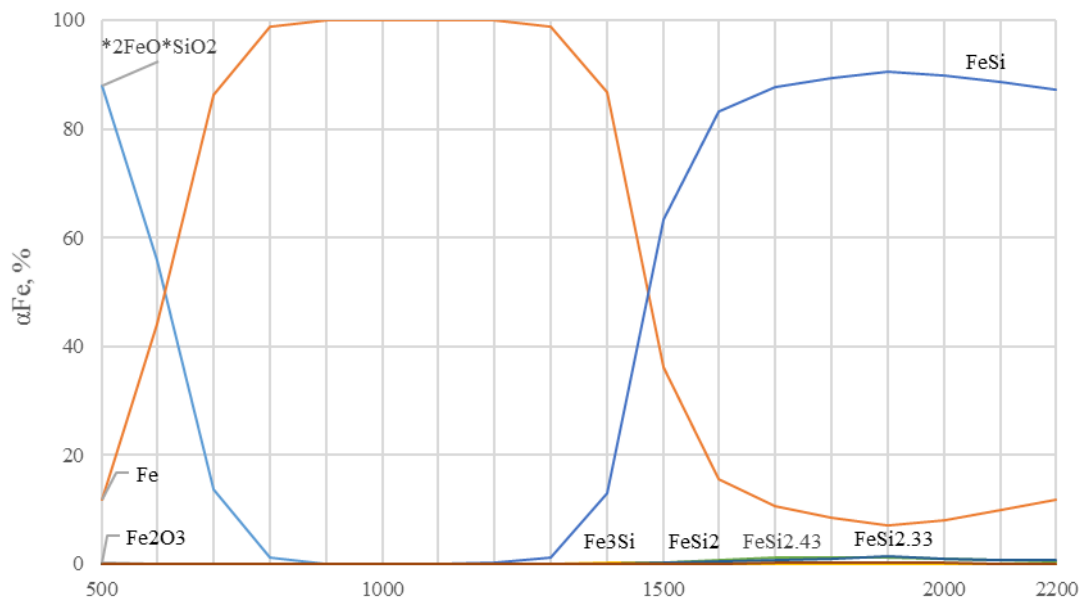
жоғарылауымен Si қорытпаға өту дәрежесі артады. Мысалы, 1800°C кезінде 42,43-тен 59,55%-ға дейін. Сонымен қатар, температура 1700-1800°C-тан асқан кезде кремнийдің қорытпаға шығарылу дәрежесі біршама төмендейді. Қорытпадағы кремнийдің концентрациясы көмірдің мөлшеріне де байланысты. Сонымен, 1800°C кезінде қорытпадағы Si концентрациясы 8,32%-ға артады (30,2-ден 38,5%-ға дейін). Қорытпадағы марганец концентрациясына температураның әсерінің тәуелділігі күрделі. Бұл тәуелділік көмірдің 40-тан 120%-ға дейінгі диапазонында кем дегенде 1700°C құрайды. Шихтадағы көмірдің ұлғаюымен қорытпадағы Mn концентрациясы төмендейді (кремнийдің тотықсыздану үрдісінің артуы есебінен), мысалы 1800°C кезінде 56,6-дан 48,84%-ға дейін.

Кесте 2.12 – Бокс-Хантер әдісімен экспериментті жоспарлауға арналған бастапқы деректер

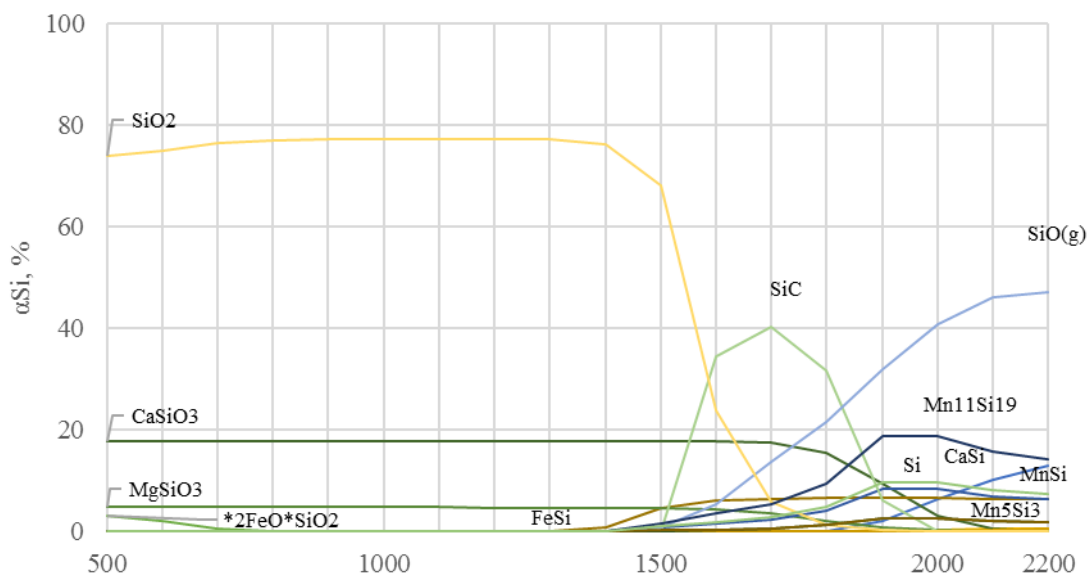
№	X ₁	X ₂	Шихта материалдарының шығыны, кг	
			Көмір, (У)	Кварцит, (Кв)
1	1	1	94,18	34,51
2	-1	1	65,82	34,51
3	1	-1	94,18	25,13
4	-1	-1	65,82	25,13
5	1,41	0	100	29,82
6	-1,41	0	60	29,82
7	0	1,41	80	36,4
8	0	-1,41	80	23,2
9	0	0	80	29,82
10	0	0	80	29,82
11	0	0	80	29,82
12	0	0	80	29,82
13	0	0	80	29,82

Көмірдің тұрақты мөлшерінде (28%) кварцит мөлшерінің артуы кремнийдің қорытпаға шығарылу дәрежесін төмендетеді, мысалы 1800°C кезінде 56,24%-дан 47,23%-ға дейін. $\alpha_{Si}=f(T)$ тәуелділігі 1800°C-та максимум болады. Қорытпадағы кремнийдің концентрациясы шихтадағы кварциттің жоғарылауымен аздап артады. Қорытпадағы марганец концентрациясына температура мен кварциттің әсерінің неғұрлым тәуелділігі күрделі (2.8-сурет (II)). Марганецтің максималды концентрациясы кремнийдің тотықсыздануы әлі дамымаған кезде 1600°C кезінде байқалады. Mn құрамының ең аз мөлшері 1700-1800°C кезінде байқалады.

2.9-суреттен көрініп тұрғандай, көмір мөлшерінің жоғарылауымен алюминий концентрациясы жоғарылайды, ал кварциттің жоғарылауымен ол төмендейді. Қорытпадағы алюминийдің максималды мөлшері (61%) 2000°C және 120% көмірде байқалады.

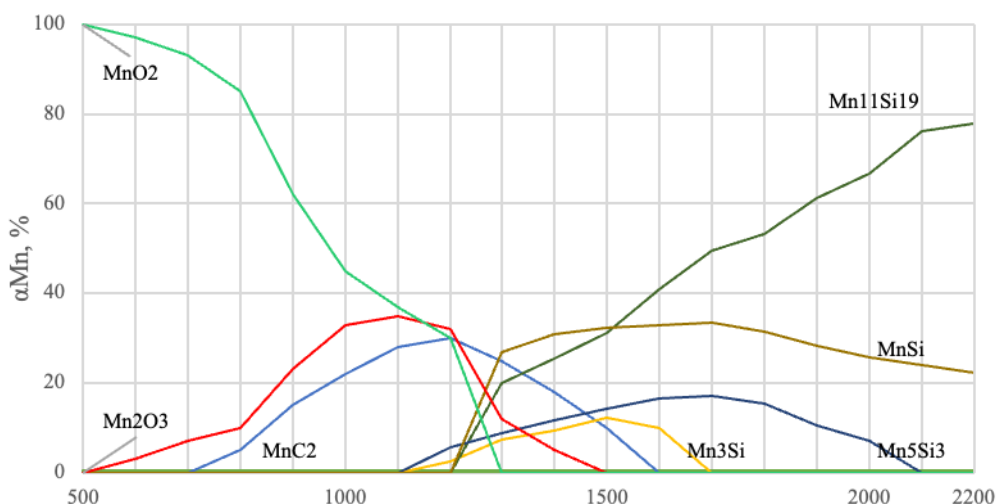


Сурет 2.13 – Б-К-К жүйесіндегі темірдің тепе-теңдік таралу дәрежесіне температураның әсері

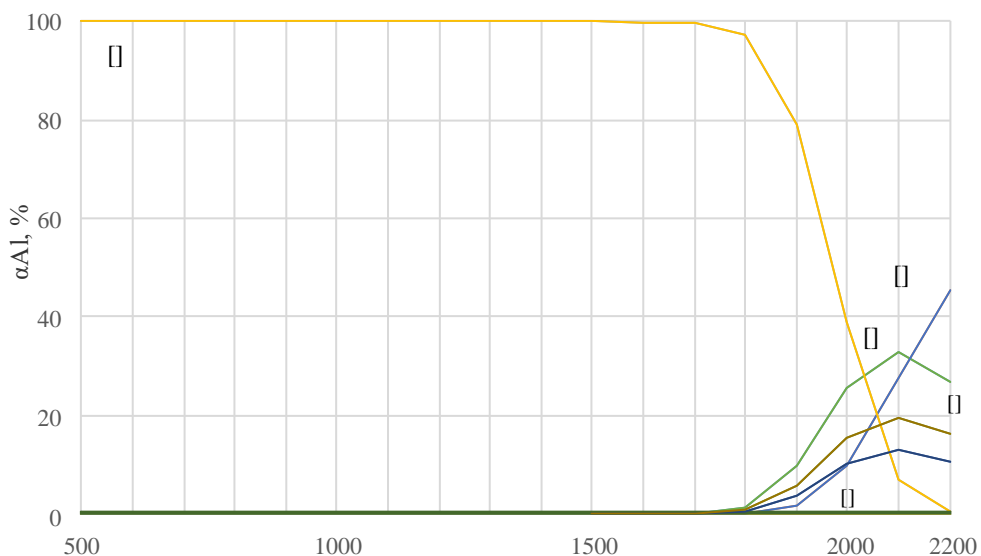


Сурет 2.14 – Б-К-К жүйесіндегі кремнийдің тепе-теңдік таралу дәрежесіне температураның әсері

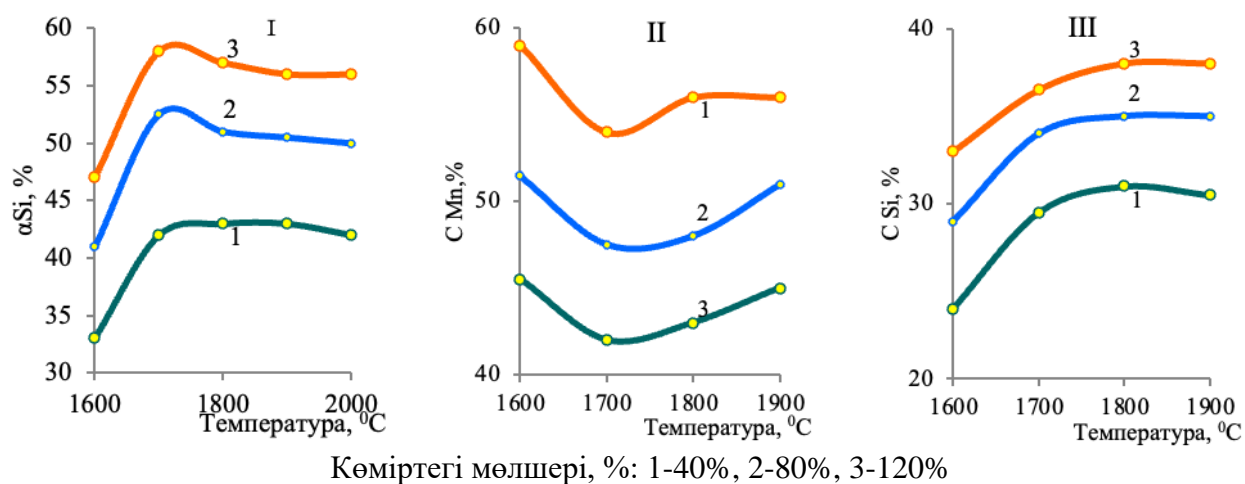
КЛ балқыту процесінің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін қосымша зерттеулер екінші ретті ротатабельді жоспарларды (Бокс-Хантер жоспары) қолдана отырып, эксперименттерді жоспарлау әдісімен жүргізілді [129]. Зерттеуді жоспарлау матрицасы және олардың көмір мен кварцит мөлшерінің кремнийдің қорытпаға өту дәрежесіне, 1600-1900°C температурада қорытпадағы кремний мен марганецтің концентрациясына әсері бойынша нәтижелері 2.13-2.15-кестелерде көрсетілген. 2.13-2.15-кестелерде кокстың, кварциттің және температураның кремнийді қорытпаға алу дәрежесіне және ондағы кремний мен марганецтің концентрациясына әсері бойынша зерттеулер жүргізу жоспары және олардың нәтижелері келтіріледі.



Сурет 2.15 – Б-К-К жүйесіндегі марганецтің тепе-теңдік таралу дәрежесіне температураның әсері



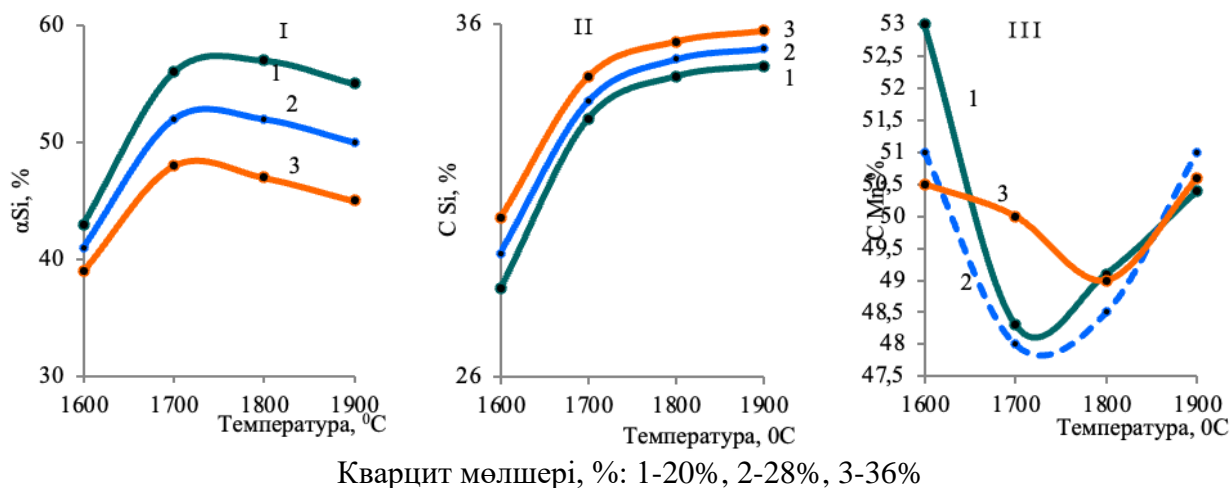
Сурет 2.16 – Б-К-К жүйесіндегі алюминийдің тепе-теңдік таралу дәрежесіне температураның әсері



Сурет 2.17 – Кремнийдің қорытпаға өтуіне (I), қорытпадағы марганец (II) пен кремний (III) концентрациясына температура мен көмір мөлшерінің әсері

Кесте 2.13 – Зерттеулер жүргізу жоспары және олардың кокс пен кварциттің кремнийді қорытпаға алу дәрежесіне әсері бойынша нәтижелері, %

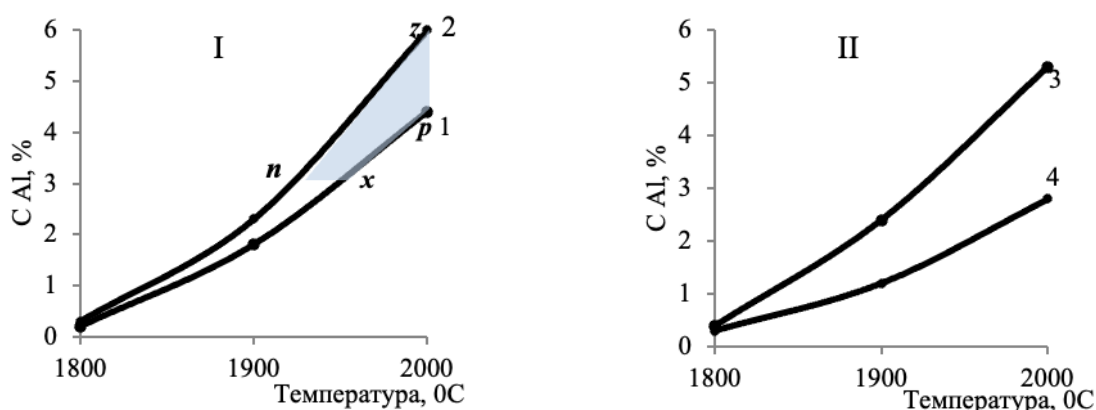
№	Айнымалылар				$\alpha_{Si(снл)}$, %			
	Кодталған түрі		Табиғи түрі		Температура, °С			
	X1	X2	Көмір (У, кг)	Кварцит (Кв, кг)	1600	1700	1800	1900
1	-1	-1	65.82	25.13	37.2	48.46	48.66	48.43
2	1	-1	94.18	25.13	48.56	59.59	60.35	58.37
3	-1	1	65.82	34.51	34.43	42.73	41.83	41.28
4	1	1	94.18	34.51	45.47	54.73	54.41	52.69
5	1.4	0	100	29,8	48.78	59.24	59.55	57.54
6	-1.4	0	60	29,8	32.29	42.61	42.43	42.01
7	0	1.4	80	36,4	39.47	48.01	47.23	46.35
8	0	-1.4	80	23,2	43.15	55.43	56.24	55.16
9	0	0	80	28,82	41.55	51.99	51.94	50.78
10	0	0	80	28,82	41.1	52	51.5	51
11	0	0	80	28,82	41.9	51.5	52.1	50.5
12	0	0	80	28,82	41.3	52.5	52.4	50
13	0	0	80	28,82	41.8	52.1	51.8	50.9



Сурет 2.18 – Кремнийдің қорытпаға өтуіне (I), қорытпадағы марганец (II) пен кремний (III) концентрациясына температура мен кварцит мөлшерінің әсері

Кесте 2.14 – Зерттеулер жүргізу жоспары және олардың кокс пен кварциттің қорытпадағы кремний концентрациясына әсері бойынша нәтижелері, %

№	Айнымалылар				C _{Si(спл)} , %			
	Кодталған түрі		Табиғи түрі		Температура, °C			
	X1	X2	Көмір (У, кг)	Кварцит (Кв, кг)	1600	1700	1800	1900
1	-1	-1	65.82	25.13	25.27	30.51	31.47	31.67
2	1	-1	94.18	25.13	32.16	36.17	37.12	37.43
3	-1	1	65.82	34.51	26.76	31.05	31.84	31.82
4	1	1	94.18	34.51	33.3	37.06	37.88	38.64
5	1.4	0	100	29,8	33.8	37.65	38.52	38.96
6	-1.4	0	60	29,8	24.15	29.29	30.2	30.16
7	0	1.4	80	36,4	30.43	34.44	35.23	35.84
8	0	-1.4	80	23,2	28.58	33.34	34.36	34.69
9	0	0	80	28,82	29.7	34.1	35	35.49
10	0	0	80	28,82	29.1	34	36	35.6
11	0	0	80	28,82	30	34.5	34	36
12	0	0	80	28,82	29.6	33.8	35.5	35
13	0	0	80	28,82	30.5	33.5	34.5	35.1



1-40% көмір, 2-120% көмір, 3-20% кварцит, 4-36% кварцит

Сурет 2.19 – Қорытпадағы алюминий концентрациясына температура мен көмір (I) немесе кварцит мөлшерінің (II) әсері

Алынған мәліметтер негізінде (2.16-кесте) біз Mathcad [129] бағдарламасы бойынша жауап беттерін ($\alpha_{Si(кор)}$, $C_{Mn(кор)}$, $C_{Si(кор)}$) тұрғызылды және олардың көлденең қималарын жасалды (2.22-2.24 а - көлемді сурет, б-көлденең қима).

Кесте 2.15 – Зерттеулер жүргізу жоспары және олардың кокс пен кварциттің қорытпадағы марганец концентрациясына әсері бойынша нәтижелері, %

№	Айнымалылар				Айнымалылар			
	Кодталған түрі		Кодталған түрі		Температура, °C			
	X1	X2	Көмір (У, кг)	Кварцит (Кв, кг)	1600	1700	1800	1900
1	-1	-1	65,82	25,13	57,26	52,45	53,88	54,48
2	1	-1	94,18	25,13	48,1	44,09	44,68	46,57
3	-1	1	65,82	34,51	55,58	51,96	54,43	55,12
4	1	1	94,18	34,51	46,5	43,01	44,21	46,56
5	1,4	0	100	29,8	45,81	42,02	42,78	44,77
6	-1,4	0	60	29,8	59,2	54,41	56,6	56,82
7	0	1,4	80	36,4	50,47	49,96	48,84	50,62
8	0	-1,4	80	23,2	53,07	48,19	48,96	50,39
9	0	0	80	28,82	51,5	47,27	48,55	50,36
10	0	0	80	28,82	51	47,5	49	50
11	0	0	80	28,82	52	47	48	51
12	0	0	80	28,82	51,8	48	49,5	51,36
13	0	0	80	28,82	51,2	48,5	47,5	50,2

Суреттерден көрініп отырғандай, 1700-1800°C аймағында қорытпадағы кремнийдің концентрациясы 29-38,8% құрайды. Осы көрсеткішке сүйене отырып, қорытпа FeMnSi28 (Si=28-30%) немесе MnC25 (Si>25%) маркалы ферроқорытпаға сәйкес келеді [132]. Алайда марганец құрамы бойынша (41,9-57,2%) қорытпа сәйкес келмейді, оған сәйкес ферросиликомарганецтегі Mn мөлшері 60-75% болуы керек. Сондықтан 1700-1800°C-да қалыптасқан ферроқорытпаларды ферросиликомарганецке жатқызуға болмайды. Оларды тек лигатураларға жатқызуға болады. 2.9-суретінен және 2.15-кестеден қарастырылып отырған жүйеде марганецтің кремнийден гөрі қорытпаға көбірек түсетіні көрінеді. Сондықтан оңтайлы параметрлер кремнийдің қорытпаға максималды алынуына байланысты орнатылуы керек. 2.10-кестеде 1800°C температурада $\alpha_{Si(кор)} \geq 55\%$ және $\geq 60\%$ кезінде технологиялық параметрлер келтіріледі.

Екінші ретті зерттеуді жоспарлау әдісі негізінде 2.4-2.6 кестелеріндегі деректерді пайдаланып [129-131] біз келесі тиісті регрессиялық теңдеулерді алдық: (2.16-кесте)

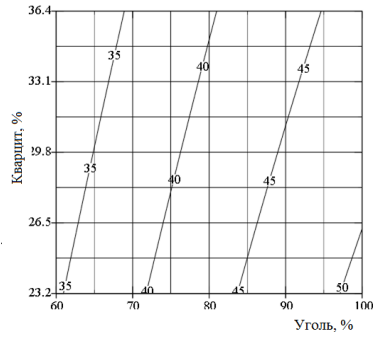
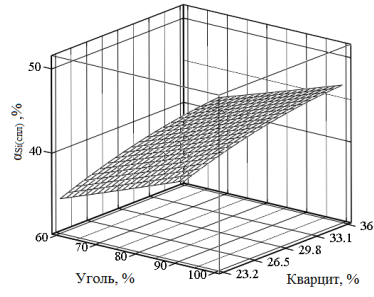
Кесте 2.16 – 1600-1900°C температурадағы регрессия теңдеулері

№	T, °C	регрессия теңдеулері
1	1600	$C_{Si(снл)} = -12,552 + 0,571 \cdot Y + 0,526 \cdot K_B - 1,835 \cdot 10^{-3} \cdot Y^2 + 4,738 \cdot 10^{-3} \cdot K_B^2 - 1,308 \cdot 10^{-3} \cdot Y \cdot K_B$
2		$C_{Mn(снл)} = 100,417 + 2,153 \cdot 10^{-3} \cdot Y - 0,389 \cdot K_B - 0,618 \cdot Y^2 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot K_B^2 - 3,007 \cdot 10^{-4} \cdot Y \cdot K_B$
3		$\alpha_{Si(снл)} = 3,832 + 0,736 \cdot Y - 0,234 \cdot K_B - 1,860 \cdot 10^{-3} \cdot Y^2 + 5,910 \cdot 10^{-4} \cdot K_B^2 - 1,202 \cdot 10^{-3} \cdot Y \cdot K_B$
4	1700	$C_{Si(снл)} = 8,587 + 0,367 \cdot Y + 0,083 \cdot K_B - 0,001 \cdot Y^2 - 0,002 \cdot K_B^2 - 0,001 \cdot Y \cdot K_B$
5		$C_{Mn(снл)} = 89,993 - 0,312 \cdot 10^{-3} \cdot Y - 1,204 \cdot K_B + 4,426 \cdot 10^{-4} \cdot Y^2 + 0,024 \cdot K_B^2 - 0,002 \cdot Y \cdot K_B$
6		$\alpha_{Si(снл)} = 19,6 + 0,783 \cdot Y - 0,469 \cdot K_B - 0,003 \cdot Y^2 + 0,006 \cdot K_B^2 - 0,003 \cdot Y \cdot K_B$
7	1800	$C_{Si(снл)} = 5,877 + 0,418 \cdot Y + 0,216 \cdot K_B - 0,002 \cdot Y^2 + 0,005 \cdot K_B^2 - 0,001 \cdot Y \cdot K_B$
8		$C_{Mn(снл)} = 93,595 - 0,699 \cdot Y - 0,227 \cdot K_B - 0,003 \cdot Y^2 + 0,009 \cdot K_B^2 - 0,004 \cdot 10^{-4} \cdot Y \cdot K_B$
9		$\alpha_{Si(снл)} = 25,6 + 0,718 \cdot Y - 0,625 \cdot K_B - 0,002 \cdot Y^2 - 0,005 \cdot K_B^2 + 0,003 \cdot Y \cdot K_B$
10	1900	$C_{Si(снл)} = 7,154 + 0,455 \cdot Y + 0,004 \cdot K_B - 0,002 \cdot Y^2 - 0,004 \cdot K_B^2 + 0,004 \cdot Y \cdot K_B$
11		$C_{Mn(снл)} = 70,12 - 0,314 \cdot Y + 0,299 \cdot K_B + 5,645 \cdot 10^{-4} \cdot Y^2 - 0,001 \cdot K_B^2 - 0,002 \cdot 10^{-4} \cdot Y \cdot K_B$
12		$\alpha_{Si(снл)} = 40,817 + 0,574 \cdot Y - 1,230 \cdot K_B - 0,002 \cdot Y^2 - 0,002 \cdot K_B^2 + 0,006 \cdot Y \cdot K_B$

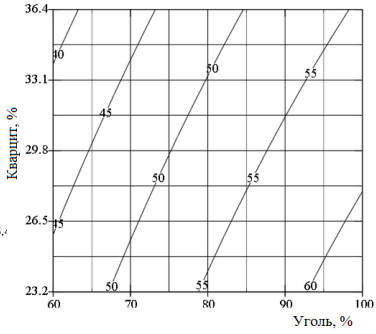
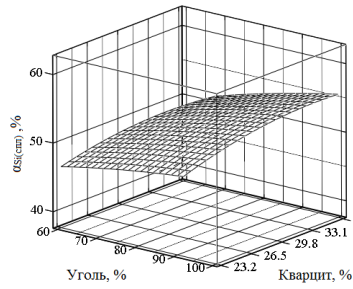
Кесте 2.17 – $\alpha_{Si(кор)} \geq 55\%$ және $\alpha_{Si(кор)} \geq 60\%$ кезінде шекаралық нүктелердегі технологиялық параметрлердің мәндері

Суреттегі нүктелер	Технологиялық параметрлер					
	T, °C	Кварцит, %	Көмір, %	$\alpha_{Si(қорытпа)}$, %	$C_{Si(қорытпа)}$, %	$C_{Mn(қорытпа)}$, %
a	1800	23.2	73.7	55.0	33.9	50.3
b	1800	36.4	100.0	55.0	38.8	43.1
c	1800	28.9	100.0	60.0	38.3	43.2
d	1800	23.2	100.0	63.6	37.7	44.2
f	1800	23.2	100.0	60.0	36.2	46.0

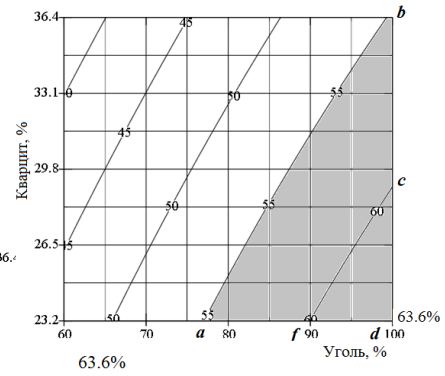
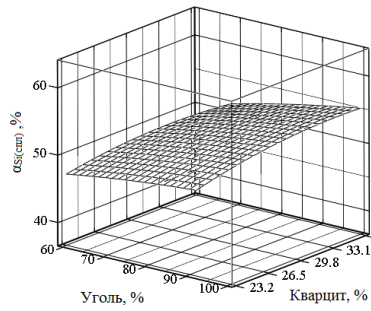
I



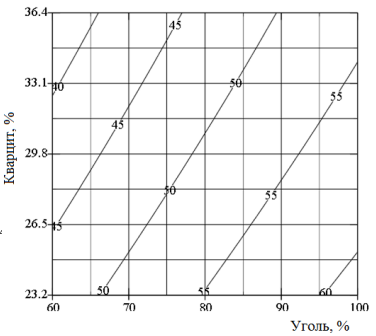
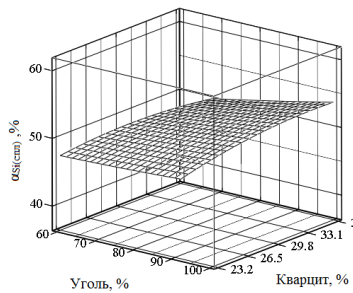
II



III



IV



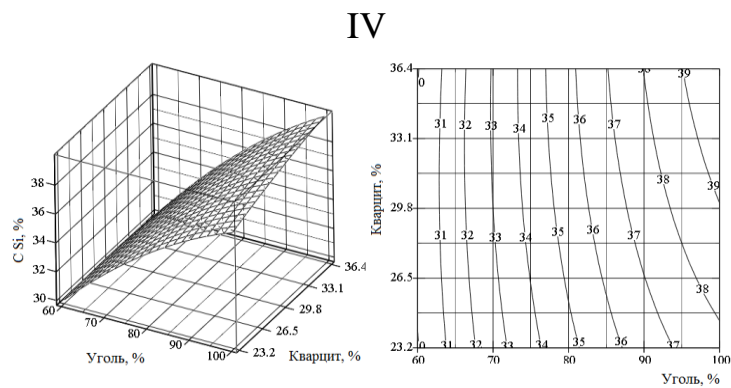
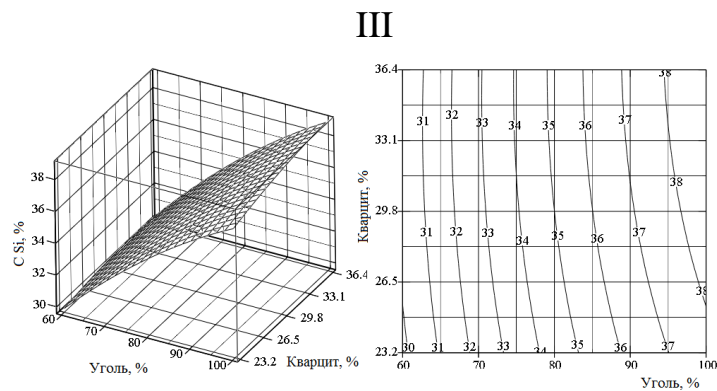
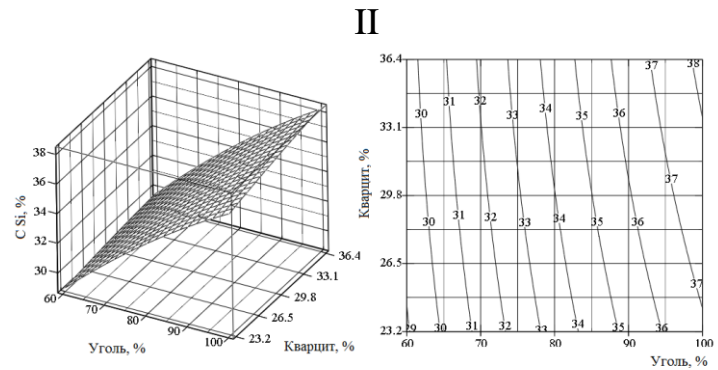
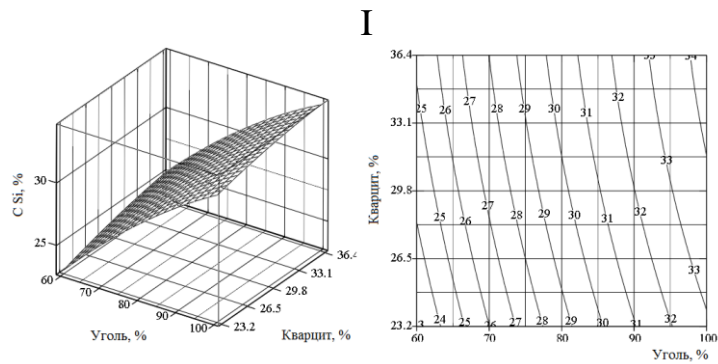
a

b

I - 1600°C, II - 1700°C, III - 1800°C, IV - 1900°C

a - көлемді сурет, b - көлденең қима

Сурет 2.20 – Көмір мен кварцит мөлшерінің кремнийдің қорытпаға шығарылу дәрежесіне әсері, %

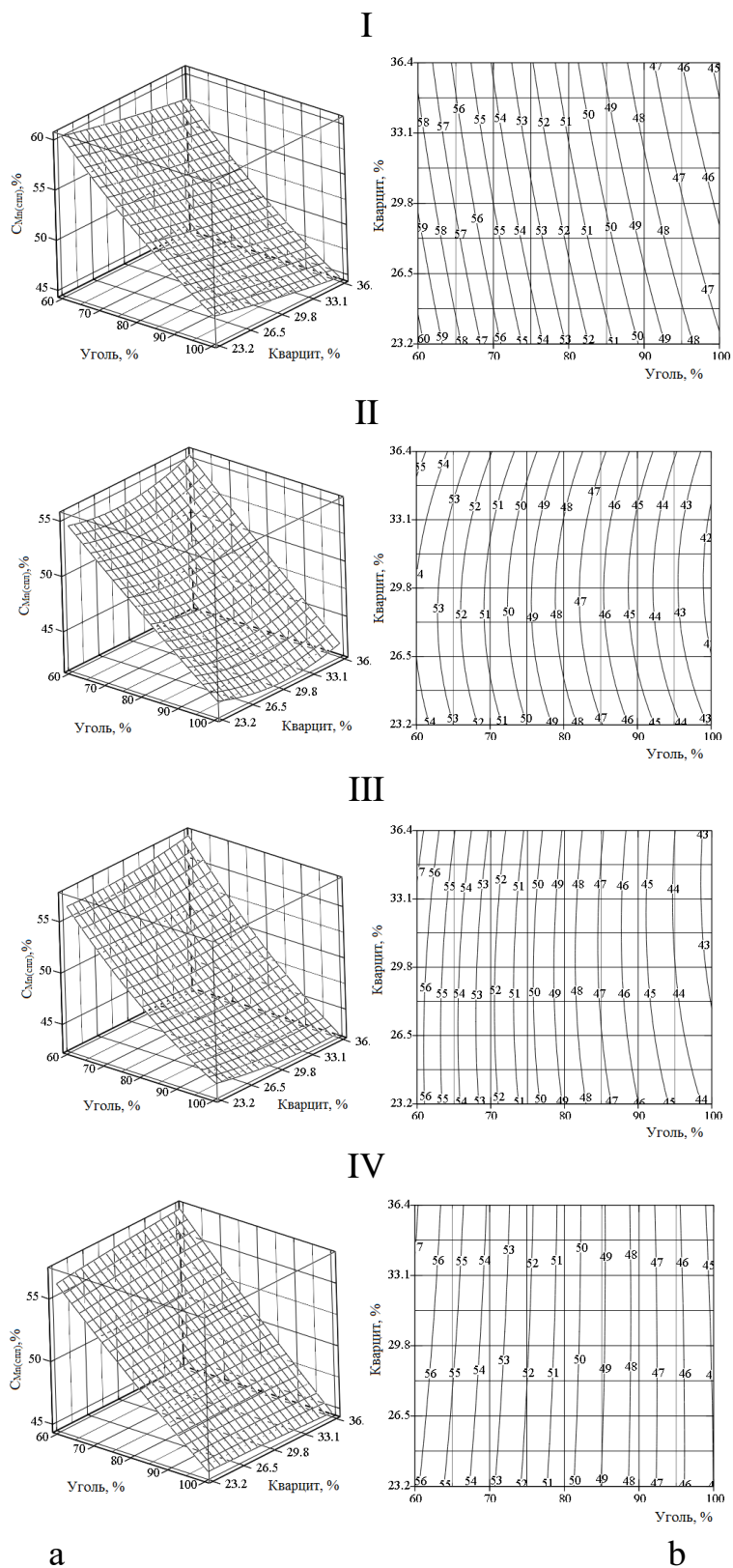


a

b

I-1600 °C, II-1700 °C, III-1800 °C, IV-1900 °C
 a - көлемді сурет, b - көлденең қима

Сурет 2.21 – Көмір мен кварцит мөлшерінің қорытпадағы кремний концентрациясына әсері, %



I-1600 °C , II-1700 °C, III-1800 °C, IV-1900 °C
 a - көлемді сурет, b - көлденең қима

Сурет 2.22 – Көмір мен кварцит мөлшерінің марганецтің қорытпаға концентрациясына әсері, %

2.17-кестеден $\alpha\text{Si}_{(\text{кор})}$ кезінде 60-тан 63,6%-ға дейін (fcd аймағы) қорытпадағы Si мөлшері 36,2-ден 38,3%-ға дейін және Mn 43,2-ден 46,0%-ға дейін кварцит мөлшері 23,2-28,9%, ал көмір 90-дан 100%-ға дейін болған кезде мүмкін болатындығын көруге болады. 50% Mn құрамы бар қорытпаны 1800°C, 23,2% кварцит, 73,7% көмір болған кезде алуға болады. Бұл жағдайда $\alpha\text{Si}_{(\text{кор})}=55\%$, ал $\text{CSi}_{(\text{кор})}$ 33,9% дейін азаяды.

Алюминий мол лигатураны алу үшін үрдістің температурасын арттыру қажет (1900°C артық). Сонымен, 2,9 (I) суреттен 40-120% көмір мен 28% кварцит болған кезде қорытпадағы 3,0-6,1% Al мөлшері болуы мүмкін екендігі көрінеді. zrxn жазықтығының шекаралық нүктелеріндегі алюминий мөлшері жоғары қорытпалардың технологиялық параметрлері 2.11-кестеде көрсетілген.

Кесте 2.18 – zrxn аймағының шекаралық нүктелеріндегі технологиялық параметрлердің мәні

Суреттегі нүктелер 2,9 (I)	Технологиялық параметрлер						
	T, °C	Кварцит, %	Көмір, %	$\alpha_{\text{Si}(\text{спл})}$, %	$C_{\text{Si}(\text{спл})}$, %	$C_{\text{Mn}(\text{спл})}$, %	$C_{\text{Al}(\text{спл})}$, %
z	2000	28.0	120	56.3	35.8	42.6	6.1
p	2000	28.0	40	42.1	27.6	55.9	4.4
x	1950	28.0	40	42.3	32.0	57.0	2.7
n	1950	28.0	120	56.6	38.8	45.3	2.7

2 тарау бойынша қорытынды

Fe-Si-Mn-Al КЛ-дың тәжірибелік сынақтар кезінде жағымды жағы көрінді, онда болатты оттексіздендіру өнімдеріне кешенді әсер ету мен тазартудың артықшылықтары ерекше айқын көрінетіндігін айта кету керек. Сонымен қатар бұл қорытпаның басты жағымсыз қасиеті пештен шыққан қорытпаны салқындату және сақтау кезінде өздігінен шашырауға бейімділігі.

КЛ-дың өздігінен шашырауын теориялық ғылыми-зерттеу жұмысы Fe-Si-Mn-Al металл жүйесін термодинамикалық диаграммалық талдау арқылы жүргізілмеген, термодинамикалық диаграммалық талдау тек қорытпаның қандай фазалық аумақтарға түсетіндігі жағынан зерттелген, оның өзінде тек қос диаграммалардың қосылыстары бар мәліметтер негізінде қарастырылған. Қарастырылып отырған Fe-Si-Mn-Al металдық жүйе 6 қос жүйе: Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Al, Mn-Si, Al-Si, Al-Mn және 4 үштік жүйе: Fe-Si-Al, Si-Mn-Al, Fe-Mn-Si, Al-Mn-Si тұрады. Біз есептеген Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің фазалық құрамдарының диаграммасы негізінде құраушы фазалардың бірі лебоит фазасы (Fe_2Si_5) болып табылатын тетраэдрлік аймақ анықтады. Бұл аймақ (көк түспен белгіленген) $\text{FeSi}_2\text{-FeSi-F}_2\text{-Mn}_{11}\text{Si}_9$ фазаларымен шектелген және көлемі 0,036933 бірлік (~ 3,7%).

Анықталған аймақ, көлемі аз болғанына қарамастан, Fe-Si-Mn-Al кешенді қорытпалары бар өнеркәсіптік құрамдар аймағының көп бөлігінде созылып

жатыр. Сондықтан Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқыту лебоит кристалдануының анықталған аймағына кірмейтін қосылыстарды ескере отырып жасалуы керек.

Осылайша, фазалық қатынастар диаграммаларын құра отырып, Fe-Si-Mn-Al жүйесінің термодинамикалық-диаграммалық талдауы жүргізілді. Fe-Si-Mn-Al жүйесі үшін төрттік фазалық аймақтар анықталды.

Fe-Si-Mn-Mn металдық жүйесі үшін фазалық күй диаграммасы алғаш рет үш еселік интерметалдық қосылыстарды $Fe_5Al_8Si_7$; $FeAl_3Si_2$; $Fe_3Al_3Si_2$; $Fe_4Al_8Si_3$; $Fe_6Al_{15}Si_5$; $Fe_4Al_{12}Si_3$; $FeAl_4Si$; $Mn_4Al_3Si_2$; $Mn_3Al_3Si_2$; $Mn_3Al_3Si_4$; $Mn_3Al_8Si_9$; $Mn_4Al_9Si_3$; Mn_3Al_9Si ; $Mn_3Al_{12}Si$; $Mn_2Al_9Si_2$; $Mn_3Al_{15}Si_2$ пайдалана отырып бөлінді және оның 15-тен тұратыны анықталды термодинамикалық тұрақты тетраэдрлер. Олардың ішінде потенциалды Fe-Si-Mn-Al 23 термодинамикалық тұрақты тетраэдр болып табылады.

Термодинамикалық моделдеу HSC Chemistry бағдарламалық кешенін қолдана отырып, зерттелді. Компоненттердің тепе-теңдік құрамы HSC Chemistry бағдарламалық кешенінің «Equilibrium Compositions» модулін қолдану арқылы (тепе-теңдік құрамы) 500-2200°C температура аралығында анықталды.

КЛ-дың негізгі элементтерінің қорытпаға ауысуының оңтайлы жағдайларын іздеуде тиісті регрессия теңдеуін алу және оңтайландыру параметрлерінің геометриялық бейнесін құру Стюдент критерийі бойынша екінші ретті айналмалы жоспарларға негізделген зерттеу әдісі қолданылды, ал теңдеудің адекваттылығы Фишер критерийі бойынша анықталды.

1700-1800°C аймағында қорытпадағы кремнийдің концентрациясы 29-38,8% құрайды. Осы көрсеткішке сүйене отырып, қорытпа $FeMnSi_{28}$ ($Si=28-30\%$) немесе MnC_{25} ($Si>25\%$) маркалы ферроқорытпаға сәйкес келеді. Алайда, марганец құрамы бойынша (41,9-57,2%) қорытпа сәйкес келмейді, оған сәйкес ферросиликомарганецтегі Mn мөлшері 60-75% болуы керек. Сондықтан 1700-1800°C-да қалыптасқан ферроқорытпаларды ферросиликомарганецке жатқызуға болмайдындығы анықталды. Оларды тек лигатураларға жатқызуға болады.

3 КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАЛАРДЫ БАЛҚЫТУҒА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ШИХТА МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН БРИКЕТТІ ЗЕРТТЕУ

3.1 Кешенді лигатураларды балқытуға қолданылатын шикізат материалдарының сипаттамасы

3.1.1 Марганец кендерінің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

Әртүрлі кен орындарындағы марганец кендерінің металлургиялық сипаттамалары туралы ақпарат ғылыми қызығушылық тудырады. Құрамында марганец бар кендер химиялық құрамы мен минералдардың стехиометриялық еместігі және тұрақсыздығымен ерекшеленетіні белгілі, бұл олардың тотықсыздану қабілетіне әрдайым әсер етеді [133, 134]. Осыған байланысты «Теміртау электрометаллургиялық комбинаты» ЖШС ұсынған «Богач» және «Есімжал» кен орындарының бастапқы шикізаттық марганец кендерінің химиялық, рентген фазалық талдауларын, физикалық сипаттамаларын, сондай-ақ технологиялық және өндірістік көрсеткіштерді анықтайтын кеннің жұмсару температурасын анықтау мақсатында зерттеулер жүргізілді. Шихта материалдарының физикалық сипаттамасынан кенді балқытуға дайындау кезінде олардың сипаттамаларын бағалау үшін тығыздығы, кеуектілігі және беріктігі маңызды.

Ұсынылған марганец кендерінің сынамалары ғылыми-зерттеу жұмыстары үшін сынамаларды іріктеу бойынша техникалық операцияларға ұшырады. «Богач» және «Есімжал» кен орындарының зерттелетін кендеріне химиялық талдау МеМСт 22772.1-96, 22772.2-96, 22772.5, 28077-89, 24937-81, 27561-87 бойынша белгілі әдістемелерге сәйкес орындалды [135]. Элементтердің (марганец, темір және кремний тотығы) марганец кендерінің әртүрлі фракциялары бойынша таралуы зерттелді (3.1-3.2 кестелер). 3.3-кестеде ұсынылған кен орындарының балқытуға және брикеттеуге дайындалған шикізат материалдарының толық құрамы келтірілген.

Зерттеуге, КЛ балқытуға және брикеттер дайындауға арналған тәжірибелік сынамалар шикізат материалдарын ұнтақтау және елеу әдістерін қолдана отырып, кенді тиісті фракцияларға ұсақтау және елеу технологиялық операцияларын жүргізу жолымен іріктелді (әр операцияға 3 реттен).

3.1-кестенің деректері бойынша «Богач» кен орнындағы марганецтің 10-нан 40 мм-ге дейін фракциясында 40%-дан жоғары таралуы байқалады.

3.3-кесте негізінде «Богач» және «Есімжал» кен орындарының кендерін олардағы марганецтің темірге қатынасы бойынша 9,67 және 13,6-ға тең, сәйкесінше марганец типіне жатқызуға болады.

«Богач» кен орнының кендерінде кремний, алюминий және магний оксидтері түріндегі ілеспелі компоненттер болмашы және әрбір компоненттің құрамы 7%-дан, СаО 15,05%-дан аспайды, кеннің негізділігі – 2,23-ті құрайды. Кен сынамасында фосфор мен күкірттің құрамы тиісінше 0,021% және 0,011%-ды құрайды, бұл құрам марганец кендері үшін оңтайлы болып табылады.

«Есімжал» кен орындарының кенін кремнийлі деп санауға болады, өйткені кремний оксидінің құрамы 9,27% құрайды, Al және Mg элементтерінің басқа ілеспе оксидтері шамалы және 1% шегінде. CaO 17,2%-ды құраса, кеннің негізділігі – 1,78%, кен сынамасында фосфор мен күкірттің құрамы тиісінше 0,017% және 0,014% құрайды, бұл құрам марганец кендері үшін оңтайлы болып табылады.

Кесте 3.1 – «Боғач» марганец кенінің химиялық және гранулометриялық құрамы

Ірілік класы, мм	ШЫҒЫМЫ,			Fe _{жалп.}		Mn _{жалп.}	SiO ₂	Mn/Fe қатынасы		Mn/SiO ₂		қатынасы	
	кг	%	"+"	жеке	жалпы	жеке	жалпы	жеке	жалпы	жеке	жалпы	жеке	жалпы
-60 +40	31,49	9,34	9,34	2,77	2,77	33,39	33,39	12,75	12,75	12,05	12,05	2,62	2,62
-40 +20	163,67	48,56	57,90	2,65	2,67	41,55	40,23	9,53	10,05	15,68	15,07	4,36	4,00
-20 +10	91,39	27,11	85,01	4,48	3,25	43,03	41,13	8,41	9,53	9,60	12,67	5,12	4,32
-10 +5	50,52	14,99	100,00	10,66	3,42	31,16	39,63	13,32	10,10	2,92	11,59	2,34	3,93
Барлығы	337,07	100,0											

Кесте 3.2 – «Есімжал» марганец кенінің химиялық және гранулометриялық құрамы

Ірілік класы, мм	ШЫҒЫМЫ			Fe _{жалп.}		Mn _{жалп.}		SiO ₂		Mn/Fe қатынасы		Mn/SiO ₂ қатынасы	
	Кг	%	"+"	жеке	жалпы	жеке	жалпы	жеке	жалпы	жеке	жалпы	жеке	жалпы
-60 +40	60,81	22,22	22,22	4,30	4,3	40,22	40,22	7,23	7,23	9,35	9,35	5,56	5,56
-40 +20	144,79	52,90	75,11	5,6	5,22	39,83	39,95	6,95	7,03	7,11	7,66	5,73	5,68
-20 +10	49,40	18,05	93,16	7,8	5,72	42,13	40,37	9,95	7,60	5,40	7,06	4,23	5,31
-10 +5	18,73	6,84	100,0	4,9	5,46	36,0	40,07	9,81	7,75	7,35	7,34	3,67	5,17
0	273,73	100,0											

Кесте 3.3 – «Боғач» және «Есімжал» марганец кендерінің толық химиялық құрамы

Кен орны	Ірілік класы, мм	Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	S	ППП
Боғач	-60,0 +5,0	38,68	4,0	6,27	0,72	15,05	0,83	0,021	0,011	10,15
	-5,0 +0,0	28,2	9,7	16,12	4,47	12,52	0,2	0,033	0,024	???
Есімжал	-60,0 +5,0	36,0	2,3	9,27	0,82	17,2	0,71	0,017	0,014	10,84
	-5,0 +0,0	26,43	10,8	18,27	5,2	6,45	0,24	0,035	0,018	9,41

«Богач» кен орны кендерінің химиялық құрамы мен физикалық жағдайы бойынша «Есімжал» кен орны кендерінен айтарлықтай ерекшеленеді. «Богач» кен орнының кені минералогиялық құрылымдағы гематиттің елеулі құрамымен ерекшеленеді, тығыз, берік, олардың көлемдік массасы $2,85 \div 3,2$ т/м³. «Есімжал» кен орнының кені тығыздығы салыстырмалы түрде төмен, көлемдік массасы $2,7 \div 3,1$ т/м³.

Материалдардың тығыздығы мен кеуектілігі, әсіресе пештің жоғарғы горизонттарында материалды жұмсарту температурасынан төмен қорытпаларды балқытудың технологиялық процестеріне әсер етеді [11]. Көрінетін нақты тығыздық парафин әдісімен анықталды және есептеу 3.1 теңдеуі бойынша жүргізілді:

$$\gamma_{\text{болж.}} = \frac{0,9B}{B-0,1A-0,9C}, \text{ г/см}^3. \quad (3.1)$$

мұндағы В – ауадағы парафинсіз бөліктің салмағы;

А – парафиндегі кен бөлігінің салмағы;

С – судағы парафині бар кен бөлігінің салмағы;

0,9 және 0,1 – парафинге түзету коэффициенттері.

Кеннің нақты тығыздығы пикнометриялық әдіспен анықталды. Кеуектілік 3.2 теңдеуі бойынша есептелді:

$$\Pi = \frac{\gamma_{\text{нақ.}} - \gamma_{\text{болж.}}}{\gamma_{\text{нақ.}}} \times 100 \% \quad (3.2)$$

Зерттеу нәтижелері 3.4-кестеде келтірілген.

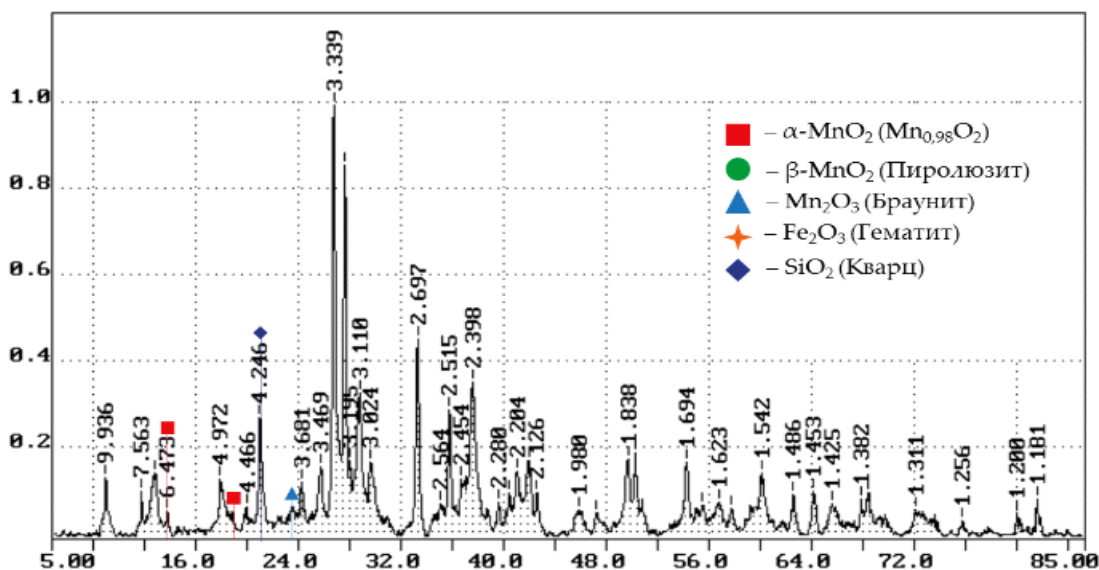
Кесте 3.4 – Кен материалдарының нақты және болжамды меншікті тығыздықтары

Марганец кен орындары	Меншікті тығыздық, г/см ³		5 -60 мм фракцияның кеуектілігі
	Нақты	Болжамды	
Богач	3,7 ÷ 4,2	2,85 ÷ 3,2	14,6 ÷ 17,8
Есімжал	3,4 ÷ 4,8	2,7 ÷ 3,1	19,1 ÷ 24,0

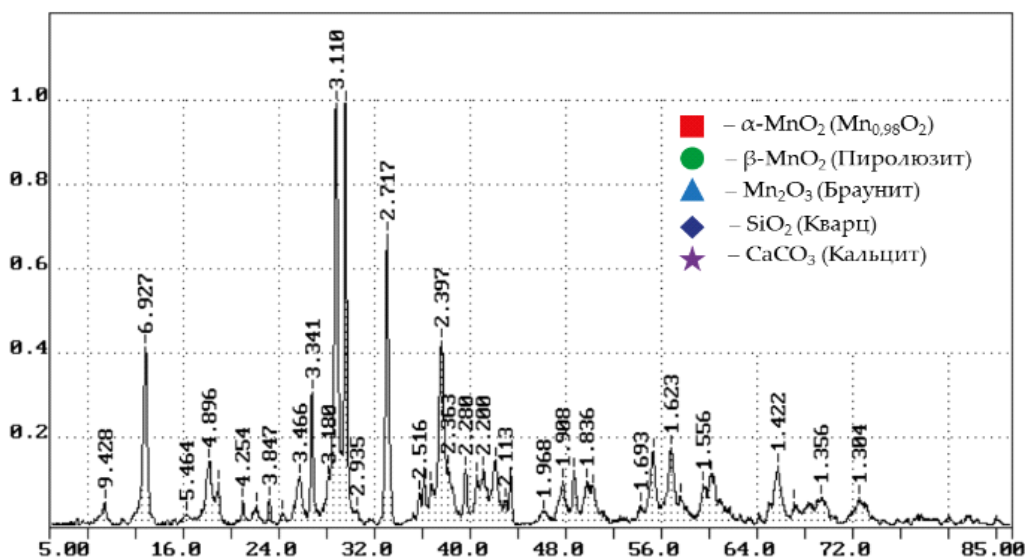
Рентгендік фазалық талдау ИМЕТ базасында XRD 7000C (Shimadza, Жапония) дифрактометрінде жоғары және төмен температуралы камералар жиынтығымен және поликапилярлы оптика жүйесімен жүргізілді. XRD 7000C дифрактометрі берілген бағытта дифрагирленген сәулеленудің қарқындылығын пайыздың 10 үлесіне дейінгі дәлдікпен және дифракция бұрыштарын минуттың 10 үлесіне дейінгі дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді. «Богач» және «Есімжал» кен орындарының марганец кендерінің минералдық құрамын

анықтаудың күрделілігі кеннің екі сынамасында да MnO_2 модификация түрінде болуы: β - MnO_2 (пиролюзит) және α - MnO_2 (рамсделит).

3.1 және 3.2-суреттерде зерттелетін сынамаларды рентгенофазалық талдау кезінде алынған нәтижелер келтірілген. Рентгенофазалық талдау деректері бойынша «Богач» кен орнының кен үлгілері фазалардың келесі қоспасынан тұрады: β - MnO_2 (пиролюзит); α - MnO_2 (рамсделит); SiO_2 (кварц); $CaCO_3$ (кальцит); Mn_2O_3 (браунит), ал «Есімжал» кен орнының кендері: SiO_2 (кварц); α - MnO_2 (рамсделит); β - MnO_2 (пиролюзит); Fe_2O_3 (гематит); Mn_2O_3 (браунит) минералдарынан тұрады.



Сурет 3.1 – «Богащ» кен орнының марганец кені сынамасы үлгісінің рентгенограммасы



Сурет 3.2 – «Есімжал» кен орнының марганец кені сынамасы үлгісінің рентгенограммасы

Марганец кендерінің, шикізат материалдарының құнын анықтау және ферроқорытпалар мен лигатуралар өндірісінің оңтайлы техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне қол жеткізу үшін шикізаттың металлургиялық сипаттамалары туралы ақпарат қажет, оларға технология мен өндірістік көрсеткіштер айтарлықтай тәуелді.

Технологиялық және өндірістік көрсеткіштерге әсер ететін факторлардың бірі – пайдаланылған кеннің жұмсаруының басталу температурасы немесе бастапқы қождың пайда болу температурасы. Тотықсыздандыру процестеріне қатыса отырып, марганец кендері дәйекті түрде қыздыруға, жұмсартуға және балқытуға ұшырайды, осылайша материалдардың пештің жұмыс кеңістігіне шығуын қамтамасыз етеді. Жұмсару процесі ішкі кеуектіліктің азаюымен және кристалл торының деформациясы мен жаңа фазалардың пайда болуына байланысты бөлшектердің тығыздалуымен, кейде жұмсару температурасынан жоғары балқу нүктесінде жүреді [136, 137].

Кенді материалдардың жұмсару процесі өте күрделі және олар қыздырған кезде шикізат құрылымында күрделі өзгерістерге әкелетін көптеген әртүрлі факторлармен анықталады: минералды және химиялық құрамы, материалдардың құрылымы, кеуектілігі және фракциясы [138, 139]. Материалдарды қыздыру және жұмсарту кезінде пайда болатын реакциялар көбінесе бір-біріне қолданылады, бұл олардың әрқайсысының әсерін нақты анықтауды қиындатады. Сондықтан эксперименттердің нәтижелері негізінен қыздыру процесінде шөгудің салыстырмалы айырмашылығын бағалауға мүмкіндік береді, бұл пештегі шикізат материалының сипаттамасының айырмашылықтарын болжауға мүмкіндік береді [140, б. 29-32].

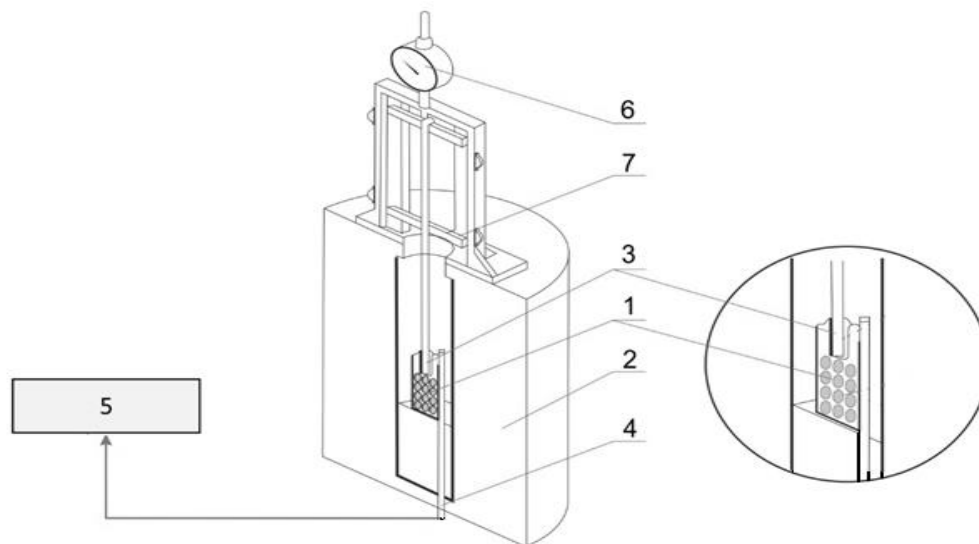
Кенді жұмсарту эксперименттері 26517-85 МемСт-ке сәйкес Тамман пешінде $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ жылдамдықпен біркелкі қыздыру арқылы жүргізілді. Материалдар $2\div 5$ мм фракция материалын алу үшін алдын-ала ұсақталып, електен өткізілді. Осыдан кейін кенді пешке салып, ылғалды жою үшін $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ температурада кептірілді. Цилиндрлік пішінді алундтық тигельдер материалмен толтырылып, шөгу тоқтағанға дейін қабат тығыздалды. Үлгінің тығыздалған қабатының биіктігі 50 ± 1 мм болды.

Сынақтар қыздыру $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ жылдамдықпен жүргізілді, бұл кенді тотықсыздандырғыш пештегі шикізат материалдарын қыздыру жағдайларына тән. Температураның жоғарылауына байланысты өзекшенің үлгіге енуі циферблат индикаторының көрсеткіштері бойынша тіркелді. Бұл жағдайда қыздыру кезінде өзекшенің табиғи созылуы ескерілді.

Жұмсарудың басталу температурасы ($t_{жб}$) үшін баған сынамаға 1% батырылған температура, ал жұмсартудың аяқталу температурасы ($t_{жа}$) үшін – МемСт 26517-85 сәйкес сынама қабатының бастапқы биіктігінен материалға өзекшенің тереңдеуі 40%-ды құраған температура алынды. Барлық кен үлгілері үшін эксперимент кем дегенде үш рет қайталанды. Жұмсартудың басталу температурасы үш ұқсас үлгіні жұмсаруының басталу температурасының арифметикалық ортасы ретінде есептелді, ал жұмсарудың температуралық

аралығы, жұмсарудың басталу мен аяқталу температурасы арасындағы айырмашылық ретінде есептелді.

Жұмсарудың басталу температурасын және жұмсартудың температуралық аралығын анықтауға арналған қондырғы сұлбасы 3.3-суретте көрсетілген.



1- тигель; 2 - Тамман пешінің қимасы; 3 – тіреуіш алуонд өзекше; 4 - термопара;
5 - вольтметр; 6 - циферблатты индикатор; 7 - жүктемені алуонд өзекшеге және зерттелетін материалға беру тетігі

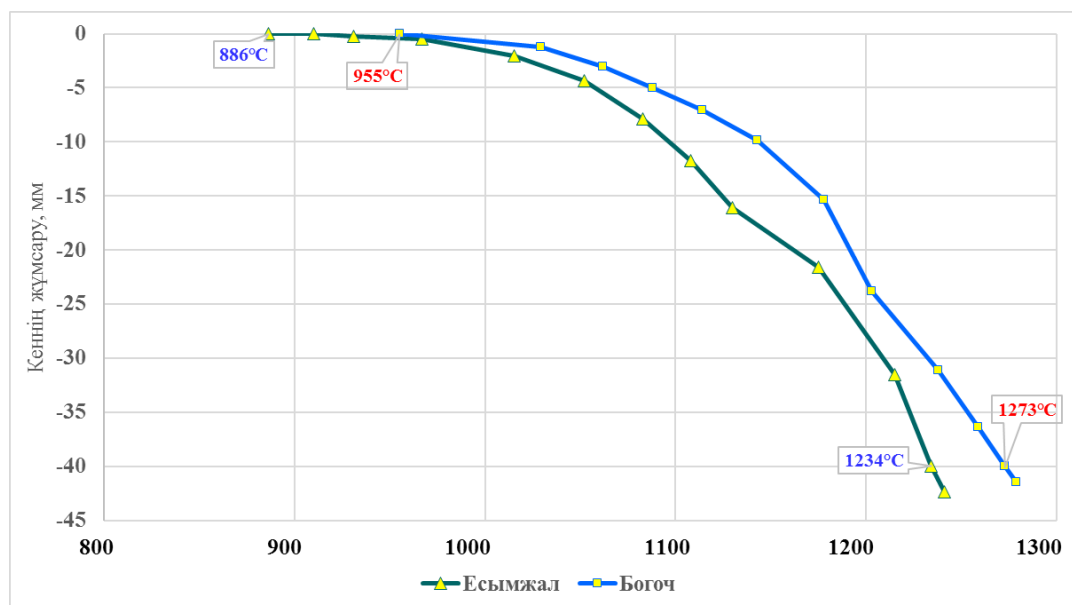
Сурет 3.3 – Кеннің жұмсару температурасын анықтауға арналған қондырғы сұлбасы

Индикатордың көрсеткіштері температураға байланысты тіркелді. Қыздыру кезінде өзекшенің табиғи ұзаруын ескере отырып, шихта материалының шөгу коэффициенті есептелді. Әртүрлі кен орындарының кендерін жұмсартуды зерттеу бойынша тәжірибелердің нәтижелері 3.4-суретте келтірілген.

Жұмсарту температурасына жүргізілген зерттеулердің нәтижелері «Есімжал» кен орнының кені «Богач» кен орнының кеніне қарағанда жұмсару температурасы төмен екенін көрсетті, 886°C және 955°C -қа тең тиісінше, бірақ «Богач» кен орны кенінің жұмсаруы ең аз температуралық аралықта. ($\Delta t = 318^{\circ}\text{C}$).

Жұмсару температурасының басталуы және температура аралығы (Δt) кендер мен концентраттарды қиын және оңай тотықсызданатындарға бөлуге негізделген. Бірінші кен сынамасында жұмсарудың басталу температурасы төмен және жұмсарудың аралығы ұзақ, ал екінші кен сынамасында жұмсарудың басталуы жоғары және жұмсарудың аралығы аз. «Есімжал» және «Богач» кендеріндегі жұмсару аяқталуының температурасы тиісінше 1234°C және 1273°C -ты құрайды [140, б. 29-32].

Зерттеу нәтижелерін талдау кезінде біз кеннің химиялық құрамына негізделген, минералдар мен фазаларды қыздыру процесінде бастапқы да, түзілген де құрамына кіретін ықтимал қосылыстардың әсерін қарастырдық, бұл сонымен қатар компоненттердің жұмсару процесін сандық мәліметтермен бағалауға мүмкіндік береді.



Сурет 3.4 – Марганец кендерінің жұмсару дәрежесінің температураға тәуелділігі

3.1.2 Жоғары күлді көмірдің физика-химиялық қасиеттерін зерттеу

Кен термиялық пештерде ферроқорытпаларды балқыту процесінің маңызды мәндерінің бірі пештің белсенді пайдалы қуаты болып табылады, ол пайдаланылатын шикізаттың физикалық-химиялық қасиеттерімен тығыз байланысты. Кешенді қорытпалар мен лигатураларды қожсыз (аз қожды) тәсілмен балқыту кезінде шикіқұрамдағы қатты көміртектің шығыны қожды балқыту үдерістерінен екі есе көп болады деп есептесек, онда бұл параметр шихтаның басым мәні болып саналады [1, б. 54-56, 9, 56].

Сондықтан реакция аймағындағы қуатты тиімді бөлу және жылудың максималды концентрациясы шихта материалдарының электр өткізгіштігімен тікелей байланысты, өйткені ферроқорытпа пештерінде токтың бір бөлігі шихта арқылы өтеді. Шихтаның электр кедергісі негізінен олардың кен бөлігінің кедергісімен және ондағы көміртегі тотықсыздандырғыш үлесімен анықталады [141, 142].

КЛ-дарды (ФСА, АМС, ФАСК және т.б.) балқыту тәжірибесі шикізаттың балқу немесе ішінара балқу жылдамдығы тотықсыздандыру реакцияларының жылдамдығынан аспауы тиіс екенін көрсетеді. Олай болмаған жағдайда, КЛ-дарды балқыту кезіндегі сияқты қиын тотықсызданатын қождар түзіліп, элементтердің тотықсыздандыру процесі бұзылады [143, 144].

Кешенді қорытпалар мен лигатураларды электрмен балқыту кезінде электр кедергісі жоғары тотықсыздандырғышты таңдау және шихтаға электродтарды енгізу тереңдігі маңызды рөл атқарады. Электродтарды пеш ваннасына ену тереңдігі балқу температурасына және шихта қабатының электрлік кедергісіне байланысты, мұнда бастысы тотықсыздандырғыштың электрлік кедергісі болып табылады. КЛ-ды балқыту кезіндегі шихтада көміртектің мөлшері 60% немесе одан жоғары болғанда, шихтаның электр кедергісін білу өте маңызды.

Осыған байланысты Fe-Si-Mn-Al КЛ үшін шихта материалдарының электр кедергісін зерттеу қажеттілігі өзекті болып табылады. Қазақстан Республикасы көмір бассейнінің көміртекті шикізатын іріктеу және бағалау кезінде күлдің химиялық құрамына және шөгінділердің қуатына назар аударылды.

Бұрын жүргізілген әртүрлі көмір кен орындарының көмірлерінің жоғары күлді сорттарына жүргізілген зертханалық сынақтар өздерінің физикалық-химиялық қасиеттері мен өнеркәсіптік қуаты бойынша ғылыми қызығушылық танытты және ферроқорытпа және КЛ балқыту үшін Теңіз-Қоржынкөл көмір бассейндерінің «Сарыадыр» және Қарағанды көмір бассейнінің «Борлы» кен орындарының, сондай-ақ КЛ балқыту бойынша ғылыми-зерттеу зерттеулеріне алғаш тартылған Жамантұз кен орындары тобының «Жамантұз» көміріне жүргізілді [9]. Ұсынылған көмір үлгілерінің сынамалары ғылыми-зерттеу жұмыстары үшін техникалық және химиялық талдау үшін техникалық операцияларға ұшырады. Зерттелетін көмір MeMCT ISO 1171-2012, 2059-95, 8606-93, 8719-90, 1932-93.4, ISO 589-2012, 2408.1-95.5, 10538-87, ISO 5071-1-2013 бойынша белгілі әдістемелерге сәйкес орындалды.

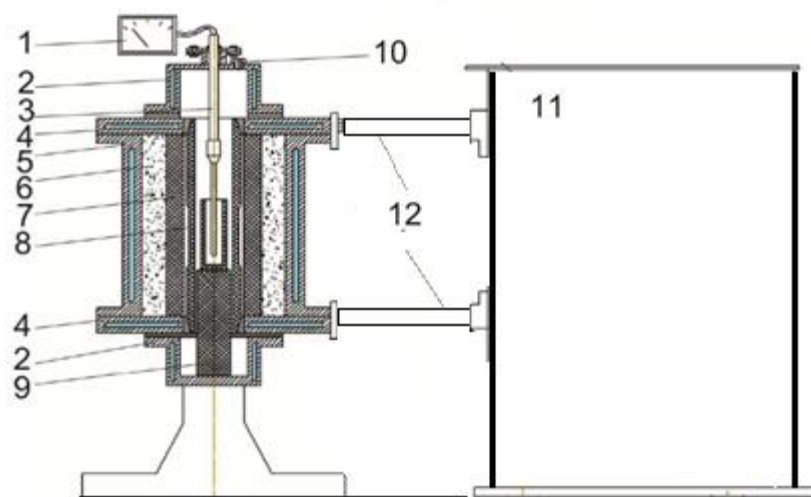
Көміртекті шикізаттың ұсынылған түрлерінің электрлік ИМЕТ әзірлеген әдістеме бойынша анықталды [145, 146]. Бұл әдіс материалдардың электрлік кедергісін 1800°C температураға дейін өлшеуге және олардың жұмсару (шөгу) дәрежесін белгілі бір уақытта белгілей отырып, көмірдің үйінді қабаты туралы ақпарат жинауға мүмкіндік береді. Өлшеу жоғары температуралы Тамман электр пешінде жүргізілді (3.5-сурет).

Бірдей фракциялы (2,5-5 мм) көміртегі шикізатының үш түрлі түрін өндірістік жағдайға жақын процесті модельдеу мақсатында эксперимент кезінде нақты меншікті электр кедергісін өлшенді. Материалға қысым 0,02-0,04 МПа, қыздыру жылдамдығы минутына 20-25°C, алунд құбырының ішкі диаметрі 0,04 м, материал қабатының биіктігі 0,07 м.

3.5-3.6-кестеде пайдаланылған материалдар күлінің техникалық және химиялық құрамы көрсетілген.

3.6-суретте Сарыадыр, Борлы және Жамантұз кен орындары көмірінің тәжірибелік үлгілерінің меншікті электр кедергісінің температуралық тәуелділігі көрсетілген.

3-6-суреттегі графиктен Сарыадыр, Борлы және Жамантұз көмірінің меншікті электрлік кедергісі 500-650°C температура аралығында шамамен бірдей екенін көруге болады.



1-мультиметр, 2-үстіңгі және астыңғы қақпақ, 3-термопара, 4-металл фланецтер, 5-металл корпус, 6-оттөзімді материал, 7-қорғаныс экраны, 8-қыздырғыш, 9- графитті тірегіш, 10- карау терезесі, 11-трансформатор, 12-ток өткізгіш шиналары

Сурет 3.5 – Материалдардың МЭК (меншікті электр кедергісін) анықтауға арналған қондырғы

Кесте 3.5 – Шихта материалдарының техникалық құрамы

Материал	A°	V ^T	W ^T	C _{ТВ}
«Сарыадыр» көмірі	61,22	20,48	3,36	14,94
«Борлы» көмірі	47,53	16,24	1,9	34,33
«Жамантұз» көмірі	52,41	3,94	1,25	42,4

Кесте 3.6 – Шихта материалдарының химиялық құрамы

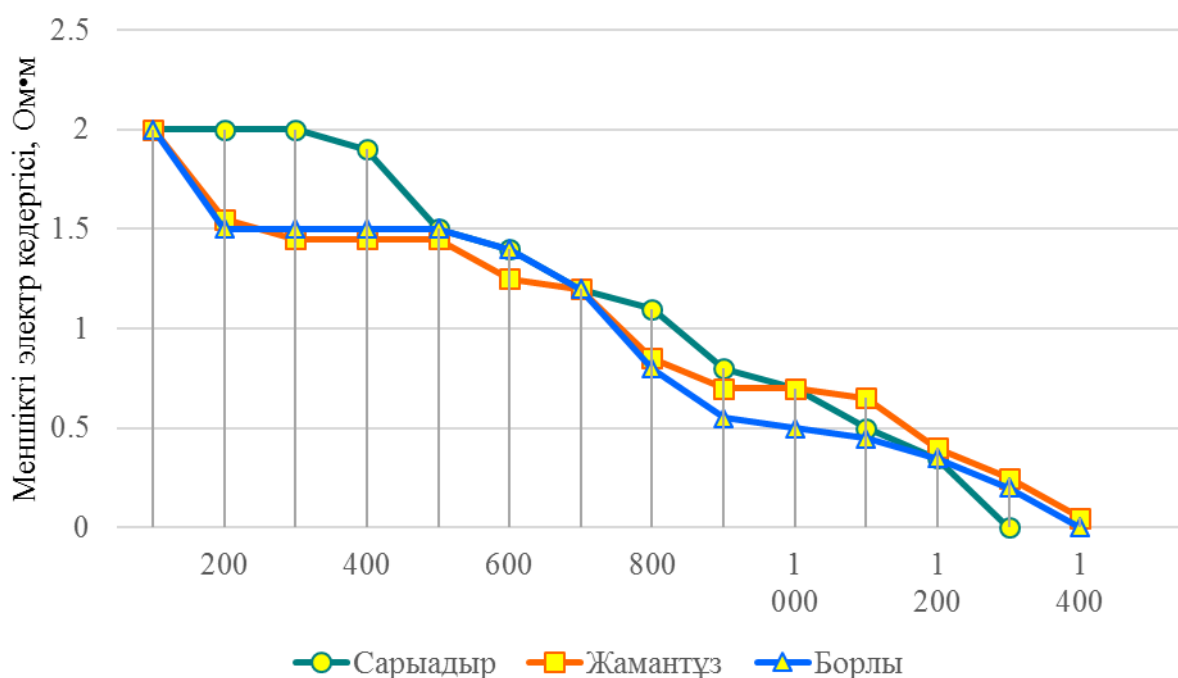
Материал	Fe _{жалп.}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P _{жалп.}	S
«Сарыадыр» көмірі	3,57	57,96	24,83	1,97	2,59	0,88	0,027	0,44
«Борлы» көмірі	2,94	56,90	27,03	0,98	3,88	1,05	0,029	0,11
«Жамантұз» көмірі	0,71	77,31	17,50	3,16	5,94	0,79	0,02	0,046

700-950°С температура аралығында «Жамантұз» кен орны көмірінің электрлік кедергісі көрсеткіштері бойынша «Сарыадыр» және «Борлы» кен орындарының көміріне қарағанда жоғары.

700°С кезінде «Жамантұз» кен орнының көмірінің меншікті электрлік кедергісі 1,5 Ом·м, ал «Сарыадыр» және «Борлы» кен орындарының көмірі 1,2 Ом·М-ге тең шаманы көрсетті. «Жамантұз» кен орнының көмірінің жоғары меншікті электрлік кедергісі ұшпа заттардың мөлшеріне байланысты.

Температура 700°С-тан 950°С-қа дейін көтерілгенде, барлық көмірлер үшін меншікті электр кедергісінің 0,7 Ом·м мәніне дейін монотонды төмендеуі

тән. Бұл ұшпа заттардың қарқынды алынып тасталуына және жұмсару процесінің басталуына байланысты.



«Жамантұз» кен орнының көмірі үшін 1100°C температурадан бастап (меншікті электр кедергісі 0,4 Ом·м), қарсыласу шамасы бірқалыпты төмендейді және 1250°C кезінде кедергісін жоғалтады.

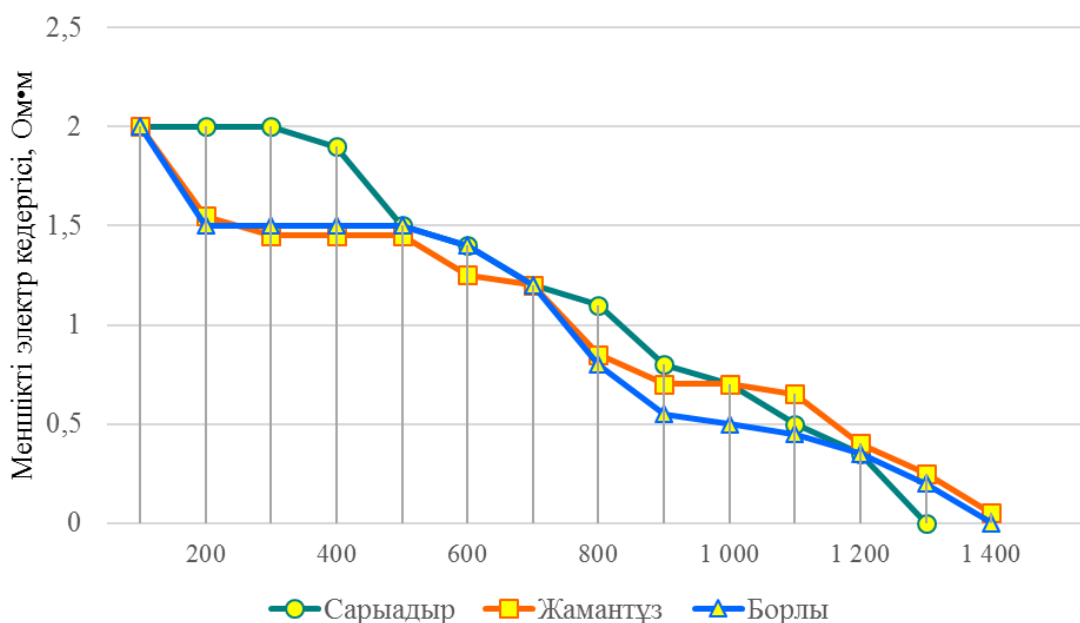
Меншікті электр кедергісінің температураға тәуелділік графигінен көрініп тұрғандай, «Сарыадыр» кен орнының көмірі 950-1250°C температура аралығында «Борлы және Жамантұз кен орындарының көмірімен салыстырғанда меншікті электр кедергісі жоғары.

Сонымен қатар, жоғары температурада көміртегі шикізатының олардың электр кедергісіне жұмсартатын әсері көрінеді. Көміртекті шикізатты жұмсаруы электр кедергісінің күрт төмендеуіне әкеледі (сурет. 3.7).

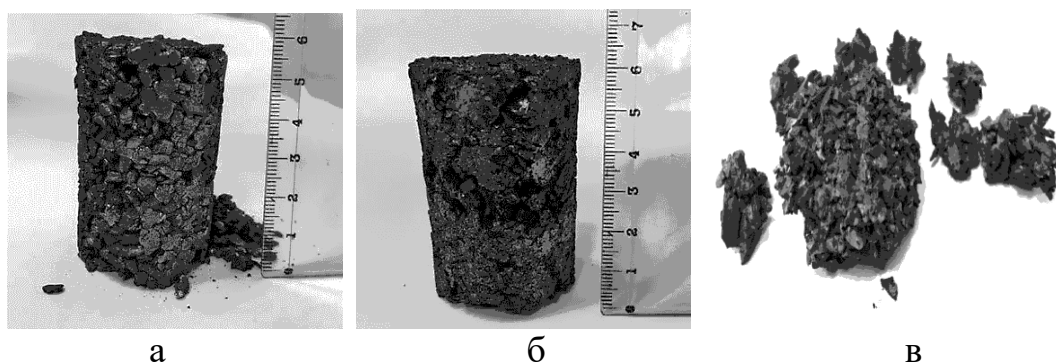
Көмірді зерттеу көрсеткендей, «Жамантұз» кен орны көмірінің жұмсарту температурасының мәні жоғары. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, жоғары температураға дейін термиялық емес қыздыру кезінде шихтаның электрлік кедергісі шихтаның химиялық және минералогиялық құрамына, сондай-ақ зерттелетін үлгідегі фазалық өзгеру процестеріне байланысты.

Салқындағаннан кейін көмір сынамаларын визуальды көру кезінде «Сарыадыр» және «Жамантұз» кен орындарының көмір бағанасының жоғарғы қабаттары нашар піскенін, бұл ретте шихта бағанасының көп бөлігі шашылғанын көрсетті (сурет. 3.8).

«Борлы» кен орнындағы көмірдің тәжірибелік үлгісі үшін толық салқындағаннан кейін көмір бағанасы толығымен пісірілді.



Сурет 3.7 – Әртүрлі кен орындары көмірлерінің жұмсару дәрежесінің температураға тәуелділігі



а – Сарыадыр; б – Борлы, в – Жамантүз

Сурет 3.8 – Меншікті электр кедергісін анықтағаннан кейінгі көмір сынамаларының үлгілері

«Сарыадыр», «Борлы» және «Жамантүз» кен орындарының көмірінің меншікті электр кедергісі мен бөлшектенуінің температураға тәуелділігі алынды. Температура интервалында 700-950°C «Жамантүз» кен орны көмірінің электр кедергісі «Сарыадыр» және «Борлы» кен орындарының көмірімен салыстырғанда (700°C кезінде 1,5 Ом·м) жоғары.

«Борлы» және «Жамантүз» кен орындарының көмірінен айырмашылығы «Сарыадыр» кен орнының көмірі үшін 1000°C кезінде 0,7 Ом·м жоғары кедергі анықталды. 950-1250°C жоғары температураларда «Сарыадыр» кен орнының көмірі басқа көмірге қарағанда жоғары меншікті электр кедергісімен сипатталады, ол КЛ балқыту үшін оң факторға ие. Кен термиялық пештегі шихтаның көрсетілген қасиеті шихтаның төмен электр өткізгіштігін

қамтамасыз етеді және осылайша металл пайда болатын пештің реакциялық аймағында негізгі энергия үлесінің бөлінуіне ықпал етеді.

Ең жақсы көрсеткіштер зерттелген температура диапазонында ең жоғары электр кедергісіне ие «Сарыадыр» және «Борлы» кен орындарының көміртегі бар материалдары болып табылады, бұл өнеркәсіптік жағдайда кенді тоықсыздандырғыш электр пештеріне электродтарды терең отырғызуға ықпал етеді және негізгі техникалық-экономикалық көрсеткіштерді жақсартады.

3.2 Құрамында марганец бар кендерді брикеттеу процесін зерттеу

Марганец кендерін кесектеу қажеттілігі құрамында марганец бар ірі және шағын кен орындарын игеру кезінде марганец кендері кен-термиялық пешінде балқыту үшін ірілік класы бойынша талаптарға жауап бермейтіндігімен негізделген. Кесектеу ұсақ кластағы шикізатты (көмір және кокс ұнтақтары, кенді елеу, шаң, шламдар және т.б.) кесектелген шикізатқа – белгілі бір сипаттамалары: пішіні, өлшемі және массасы бар брикеттерге механикалық өңдеу процесі болып табылады.

Біз жұмыста шикізатты кесектеудің екі әдісін қарастырдық: тәрелкелі түйіршіктегішке домалату және пресс қондырғысында брикеттеу. Бұл әдістер металлургияда қарапайымдылығына, жоғары өнімділігіне және қолайлы механикалық қасиеттері бар кесек материалды алу мүмкіндігіне байланысты кеңінен қолданылады.

Бірінші әдісті қолдану – дөңгелектеудің белгілі бір қиындықтары болады, өйткені ол материалдарды -0,1 мм фракцияға дейін алдын-ала ұнтақтауды қажет етеді. Сонымен қатар, құрамында көміртегі көп материалдар (кокс, көмір және басқа да көміртекті материалдар) гидрофобты болуына байланысты дөңгелектеу қиын болатыны белгілі. Кристалл түріндегі кен материалдары да суланбайды, бұл оны осы әдіспен шығаруды қиындатады, ал кокс пен кен тығыздығының үлкен айырмашылығы түйіршіктің жұмыс беті бойымен қозғалу кезінде олардың бөлінуіне ықпал етеді, нәтижесінде түйіршіктердің химиялық құрамының тұрақтылығы нашарлайды.

Зертханалық тәрелкелі түйіршік ішіндегі кокс ұнтақтарының түйіршіктелгіштігін зертханалық зерттеу бұл тұжырымдарды растады, сондықтан бұл әдісті қолдану іс жүзінде мүмкін емес деп танылды.

Брикеттеу арқылы кесектеудің дөңгелектеуге қарағанда бірқатар маңызды артықшылықтары бар: біріншіден, кең гранулометриялық құрамдағы шикізатты кәдеге жарату мүмкіндігі, екіншіден, брикеттердің химиялық құрамының тұрақтылығы, бұл қалыпқа салмас бұрын материалдарды мұқият араластыру арқылы қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар, материалдың сулануы маңызды емес және дайын брикеттің беріктігіне әсер етпейді.

Кенді термиялық пеште балқыту үшін ұсақ заттарды брикеттеу кезінде байланыстырушы затты таңдаудың маңызы үлкен. Бұл жағдайда процестің ерекшелігін ескеріп, технологияның талаптарын ескере отырып байланыстырғышты таңдау керек. Пештің колошникінде шикіқұрамды

қыздыру кезінде және оны реакциялық аймаққа терең түсіру процесінде ұсақ-түйектердің пайда болуына жол берілмейді, өйткені технологиялық процестің қалыпты жүруінің маңызды шарттарының бірі колошниктің жоғары газ өткізгіштігі және оның шығатын газдарды бүкіл аудан бойынша біркелкі өткізу қабілетінде. Олай болмаған жағдайда, «свищ» деп аталатын – реакциялық кеңістікті жоғары жылдамдықпен қалдыратын ыстық газдың пайда болуы үшін жағдайлар туындайды. Жоғары температураға дейін қыздырылған газдың құрамында SiO , MnO және Al_2O бар, сондықтан колошник бетінде свищтердің пайда болуы, технологиялық жабдықтың жоғары жылулық тозуына әкеліп соқтырмайды, сонымен қатар шығатын газдармен кремний, марганец және алюминийдің шығынын көбейтеді.

Осыған байланысты брикеттеуге арналған байланыстырғышты температураның кең диапазонында брикеттің жеткілікті беріктігін қамтамасыз ету тұрғысынан таңдау керек. Кремнийді еритетін кен термиялық пештің колошник бетіндегі температура 600-ден 900°C-қа дейін, әр 50 мм колошник қабатына 100-150°C-қа дейін көтерілетіні белгілі. 200 кВА ірі зертханалы кен термиялық пештің өлшемдерін біле отырып, жүктелетін материал 1500°C дейін жылу жүктемесіне төтеп беруі керек деп есептеу қиын емес.

Байланыстырғыштың тағы бір маңызды қасиеті – оның құрамындағы зиянды қоспалардың төмен мөлшері, олар металды ластауы мүмкін. Осы талапқа жауап беретін кеңінен қолданылатын және қолжетімді материалдардың бірі – құрамында аз мөлшерде темір мен алюминий тотықтары бар негізінен натрий мен калий силикаттарынан тұратын сұйық шыны. Натрий мен калий 900°C дейін қызған кезде буланып, металға өтпейді, ал кремний түріндегі ұшпайтын қалдық зиянды қоспа болып табылмайды. Осылайша, сұйық шыны жоғарыда аталған талаптарға жауап береді, атап айтқанда 1500°C дейінгі температурада брикеттің жылу беріктігін қамтамасыз ету және байланыстырушы компоненттермен металдың ластануын болдырмайды [147 б. 47-67, 148-149].

Бастапқы материалдарды брикеттеу бойынша зертханалық эксперименттерде 180-ден 250 кгс/см² дейін пресеу қысымымен «ППр» брикет пресінде жүргізілді. Қалыптың келесі өлшемдері бар: диаметрі 22 мм, биіктігі 30 мм, алынған брикеттердің тәжірибелік үлгілері 3.9-суретте көрсетілген).



Сурет 3.9 – Зертханалық зерттеуге арналған брикеттің тәжірибелік үлгісі

Брикеттелген шикікұрамның тәжірибелік партиясын дайындау процесінде бастапқы компоненттерді: тотықсыздандырғышты, кен шикізатын және байланыстырғышты араластыруды, брикет қоспасын престеуді және қалыптасқан брикетті кептіруді қамтитын процесс операцияларының технологиялық реттілігі пысықталды.

Тотықсыздандырғыш ретінде түрлі пропорцияда кокстың (1 мм-ге дейінгі фракция) ұсақ фракциялары қолданылды. Байланыстырушы ретінде тығыздығы 1,1-1,15 г/см³ болатын, 5-8% массалық мөлшерінде сұйық шыны қолданылды. Кенді құраушы ретінде -5 +0,0 мм фракциясының «Богач» кен орнының марганец кенін 2 мм-ге дейін ұсақ қалдықтары пайдаланылды. Брикеттің беріктік сипаттамаларын жақсарту үшін цемент немесе микросилика қолданылды.

Брикеттерді дайындау үшін пайдаланылған компоненттердің техникалық және химиялық құрамы 3.7 және 3.8-кестелерде келтірілген.

Кесте 3.7 – Бастапқы материалдарды техникалық талдау нәтижелері

Материал	A	ППП / V	W	S	Ств
Кокс қалдығы	12,000	2,100	2,000		83,900
Сұйық шыны			61,4		
Микросилика			0,5		3

Кесте 3.8 – Бастапқы материалдарды химиялық талдау нәтижелері

Материал	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S
Мп кенінің қалдығы	6,41	18,9	1,960	53,71	16,53	1,02	0,02	0,02	1,34	0,04	0,05
Кокс қалдығы	5,70	50,57	31,10		8,10	2,97	0,66			0,33	0,57
Цемент	4	22	5		65	2		0,7	0,5	0,04	0,76
Сұйық шыны	0,17	27,92	0,12		0,21			0,1	9,97		0,11
Микросилика	0,40	95,00	0,30		0,30	0,30		0,10	0,10	0,00	0,00

Нәтижесінде кен термиялық пеште балқытуға сәйкес келетін брикеттердің құрамын зерттеу үшін брикеттің 4 үлгісі дайындалды.

Брикеттер келесі сапалық сипаттамаларға ие болды: МемСт 21289-ке сәйкес алынған брикеттердің беріктілігі: тастау бойынша – 91%, сығу – 83 кг/см² (8,2 МПа).

МемСт-ке сәйкес брикеттерді түсіргеннен кейін беріктікке арналған зерттеу нәтижелері бойынша жоғары температура жағдайында қыздыру кезінде металл фазаның пайда болуын зерттеу үшін №3 үлгі таңдалды. Брикеттерді 1200°С-тан 1500°С-қа дейінгі температурада күйдіру бойынша бірқатар эксперименттер жүргізілді.

Брикеттелген материалдарға қатысты түзілуді зерттеудің нақты қалыптасқан әдістемесі жоқ екенін атап өткен жөн. Эксперимент келесідей жүргізілді: брикет графиттелген тигельге салынып, жасанды түрде ауаға

қолжетімсіз аймақты құрып, брикеттің айналасына графит ұнтағымен толтырылып, 60 минут бойы Тамман электрлі пешінде 1200°С-тан 1500°С-қа дейінгі температурада, 100°С температуралық интервалмен қыздырылды. Тәжірибелер мен тәжірибелік үлгілер суығаннан кейін шихта материалдарының күйежентектілігіне визуальды шолу жүргізілді (3.8-сурет).



Сурет 3.10 – Әртүрлі температурада ұстаудан кейін алынған брикет сынамаларының үлгілері

Алынған материалдардың химиялық құрамы 3.12-кестеде келтірілген.

Кесте 3.9 – Әртүрлі температурадағы № 3 үлгідегі брикеттердің химиялық құрамы

№	Ұстау температурасы	Химиялық құрамы,					
		Mn	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	C
1	1 200°С	34,69	10,26	1,78	14,99	11,06	6,07
2	1 300°С	41,78	7,37	1,85	14,41	8,12	2,35
3	1 400°С	45,84	9,41	1,61	14,99	6,44	4,06
4	1 500°С	40,47	11,73	3,34	18,18	9,24	3,95

Сұйық шыны негізіндегі брикеттер жоғары температурада жойылмайтыны анықталды. Кешенді кальций және натрий силикаттар түзілуі есебінен беріктік сақталады.

Осылайша, №3 брикеттердің термиялық беріктігін зерттеу бойынша жүргізілген эксперименттік зерттеулер негізінде брикеттердің ірі партияларын жасауға шешім қабылданды.

3.3 Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын балқытудың материалдық балансын есептеу

Ферроқорытпаларды, оның ішінде КЛ-дарды балқыту бойынша есептеулер балқыту процесінің әртүрлілігі мен күрделілігіне байланысты итерация әдісімен жүргізілді, ол Microsoft Excel электрондық кестелерін қолдана отырып, технологиялық есептерді шешудің сандық тәсіліне негізделген.

Материалдық балансты есептеу «Сарыадыр», «Борлы» және «Жамантұз» кен орындарының жоғары күлді көмірлері, қождамалар мен қоспалардың түрі (артық көміртекті бейтараптандыру үшін пайдаланылатын кварцит) мен мөлшері, 100 кг көмірге есептелген шикіқұрам мөлшері, қорытпаның, қождың, газдардың және басқа да өнімдердің химиялық құрамы мен салмағы, қождың еселігі мен негізділігіне (КЛ-ды қожсыз әдіспен алу) негізделеді.

Материалдық баланс Ф.П. Еднерал, А.Ф. Филиппов, Е.Э. Абдулабеков, К.К. Каскин және А.Х. Нурумғалиевтің еңбектеріндегі ферроқорытпа өндірісінің технологиялық есептеулерін жүргізу әдістері бойынша есептелінді [150, 151].

Есептеу бастапқы деректерді және технологиялық процестің негізгі көрсеткіштерін таңдаудан және негіздеуден басталды: бастапқы материалдардың химиялық құрамы: балқытуға арналған бастапқы шихта материалдарын химиялық және техникалық талдау 3.10 және 3.11-кестелерде келтірілген. Өнімдердің бөлінуі, алынуы және есептеу шарттары, материалдардың, өнімдердің құрамына, оларды дайындау немесе алу тәсіліне қойылатын қосымша талаптар, қосымша материалдардың, электродтардың, құралдардың, тотықсыздандырғыштардың және т. б. шығындары бірнеше ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелерінен алынды [15, б. 118-142, 16, б. 247-257, 17, б. 70-77].

Кесте 3.10 – Шихта материалдарының техникалық құрамы

Материал	A ^c	V ^r	W ^r	C _{кат.}
«Сарыадыр» көмірі	50,04	19,28	1,98	31,86
«Жамантұз» көмірі	52,405	3,940	1,250	42,405
Брикет	68,109	0,474	7,56	18,922

Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқытудың материалдық балансын жүргізудің мақсаты қуаты 150 және 200 кВА кен-термиялық пештерде зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізу үшін шихта материалдарының шығындарын айқындау болып табылады. Материалдық балансты есептеу нәтижесінде шихта материалдарының шығынын және КЛ-дың алдын-ала химиялық құрамын анықтау болып табылады.

Материалдық баланста келесі тепе-теңдік химиялық реакцияларының теңдеулеріне негізделген (3.1-3.13):





Кесте 3.11 – Шихта материалдарының химиялық құрамы

Материал	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S	ппп
«Сарыадыр» көмірі	5,79	66,36	20,7		2,64	3,46	1,01			0,035	0,005	
«Жамантұз» көмірі	1,02	67,05	17,5		5,01	8,49	0,79			0,09	0,05	
«Богач» кен орнының Мп кені.	5,72	6,27	0,72	49,94	15,05	0,83				0,02	0,01	21,44
«Есімжал» кен орнының Мп кені	3,29	9,27	0,82	46,48	17,2	0,71				0,01	0,01	22,21
Брикет	5,99	23,664	3,010	48,052	15,146	1,031	0,44	0,035	2,894	0,049	0,086	
Кварцит	0,52	95,57			0,24	0,12					0,01	3,54

Элементтердің бөлінуі өндірістік және ғылыми-зерттеу жұмыстары негізінде қабылданды (3.12-кесте).

Кесте 3.12 - Элементтердің бөлінуі

Өнім	Fe	Si	Al	Mn	Ca	Mg	Ti	K	Na	P	S
Қорытпа	98	87	78	85	40	0	70	0	0	60	0.5
Қож	1	3	5	5	5	5	5	10	10	0	3
Газ	1	10	17	10	55	95	25	90	90	40	96.5

Әртүрлі шихта материалдарын пайдалана отырып, КЛ өндірісінің материалдық балансын есептеу нәтижелері 3.13-кестеде келтірілді.

Кесте 3.13 – Материалдық балансты есептеу нәтижелері

Бастапқы шикіқұрам материалдарын шикіқұрамдау нұсқасы	нұсқа 1	нұсқа 2	нұсқа 3
Шихта материалдарының шығыны, кг			
«Богач» кен орнының марганец кені	-	100	-
«Есімжал» кен орнының марганец кені	100	-	-
«Сарыадыр» кен орнының көмірі	-	100	100
«Жамантүз» кен орнының көмірі	100	-	-
Құрамында марганец бар брикет	-	-	100
Кварцит	10,99	11,96	48,90
Қорытпа мен қождың массасы			
Қорытпа	64,35	56,37	71,52
Қож	5,58	4,58	6,28
Кешенді лигатураның алдын ала химиялық құрамы			
Fe	4,13	9,18	6,93
Si	34,36	31,33	51,55
Mn	38,80	38,07	24,58
Al	6,48	9,80	8,78

3 тарау бойынша қорытынды

Құрамында марганец бар кендерді және жоғары күлді көмірді пайдалана отырып, шихта материалдарын зерттеу нәтижелері олардың металлургиялық құндылығын анықтады және келесідей нәтижелер алынды:

– кен фракциялары бойынша марганецтің мөлшері біркелкі, ал минералогиялық құрылымдағы гематиттің едәуір мөлшері бар «Богач» кен орнының кендері тығыз, берік, олардың көлемдік массасы $2,9 \div 3,3$ т/м³, салыстырмалы түрде «Есімжал» кен орнының кендері тығыздығы бойынша төмен, көлемдік массасы $2,7 \div 3,0$ т/м³ тең;

– марганец кендерінің рентгенфазалық талдау нәтижелері кен құрамында браунит қосындылары бар пиролюзиттің аралас түріне жататындығын көрсетті.

«Богач» және «Есімжал» кен орындарының марганец кендері жұмсаруының басталу, аяқталу температуралары мен температуралық аралықтары эксперименталды түрде анықталды. Температура тұрғысынан жұмсарудың басталуы және жұмсартудың температуралық аралығы тұрғысынан ең жақсы шикізат «Богач» кен орнының кені екендігі анықталды.

Кендегі марганецтің мөлшері неғұрлым көп болса, жұмсару процесі жоғары температура аймағында жүреді және жұмсарту процесінің аралығы да азаяды. Зерттелген кендерді жұмсару температурасы тұрғысынан КЛ балқыту үшін қолайлы металлургиялық қасиеттерге ие деп санауға болады.

Жоғары температураға дейін термиялық емес қыздыру кезінде шихта материалдарының меншікті электрлік кедергісін зерттеу нәтижелері электр кедергісінің шихтаның химиялық және минералогиялық құрамына, сондай-ақ фазалық өзгеру процестеріне тәуелділігін көрсетті.

Осылайша, КЛ алу үшін шихта материалдарының меншікті электр кедергісін зерттеу, жоғары күлді көмірді пайдалана отырып, электр балқыту кезіндегі маңызды параметрлердің бірі екендігі айқындалды.

Ұсақ фракциялы марганец кені мен кокстың қалдықтарынан брикет дайындалды. Тотықсыздандырғыштың шикізат материалдары мен байланыстырғыштарға қатысты оңтайлы қатынасы анықталды. Нәтижесінде механикалық беріктігі кен-тотқысыздандырғыш пештерге арналған материалдарға қойылатын талаптарға жауап беретін брикеттердің тәжірибелік партиясы дайындалды. Брикет сапалық сипаттамаларға бойынша МемСт 21289-ке сай, брикет беріктілігі: тастау бойынша – 91%, сығу – 83 кг/см².

Зерттеу және оның нәтижелері төмен қуатты кен-термиялық пештерде ірі зертханалық зерттеулер жүргізу үшін базалық және негізгі болып табылады.

4 Fe-Si-Mn-Al КЕШЕНДІ ЛИГАТУРАСЫН БАЛҚЫП АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН СЫНАУ

4.1 Кен-термиялық зертханалық және ірі зертханалық электр пештерінде балқыту үшін шихта материалдарын дайындау

Fe-Si-Mn-Al жүйесіне ТТТ жүргізу нәтижелері мен шихта материалдарының физикалық-химиялық қасиеттері негізінде ҚарИУ «Металлургия «Оқу-ғылыми-өндірістік орталығы» өнеркәсіптік алаңында және ХМИ эксперименттік-өндірістік учаскесінде бірқатар эксперименттер жүргізілді. КЛ балқыту бойынша қуаты 150 және 200 кВА кен термиялық пештерде зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізілді.

Зертханалық және ірі зертханалық сынаудың негізгі міндеті металлургиялық бағалау және ұсынылған бастапқы шихта материалдарынан Fe-Si-Mn-Al КЛ алу мүмкіндігін анықтау, технологиялық режимдерді пысықтау және стандартты ферроқорытпа өндірісіне тікелей жарамсыз марганец кені мен жоғары күлді көмірден шашырамайтын қорытпаны алу.

Сынақ екі кезеңде өткізілді. Бірінші кезеңде ҚарИУ базасында алдын ала балқыту және ұсынылған материалдардан оңтайлы шихта материалын анықтау үшін арнайы құрастырылған зертханалық кен-термиялық пеште жүргізілді. Екінші кезеңде бірінші кезеңнің нәтижесі бойынша таңдалған шикізат материалдарынан Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқытып алудың технологиялық режиміне шығу мен технологияны пысықтау жүргізілді.

Шикізат материалдарын есептеу 100 кг көмірге жүргізілді. Қатты көміртек марганец кенінің тотықтарын, брикетті және көмір күлінің барлық тотықтарының толық тотықсыздандырылуы есептелінді, ал артық көміртегі кварцит қосу арқылы бейтараптандырылуға пайдаланылды.

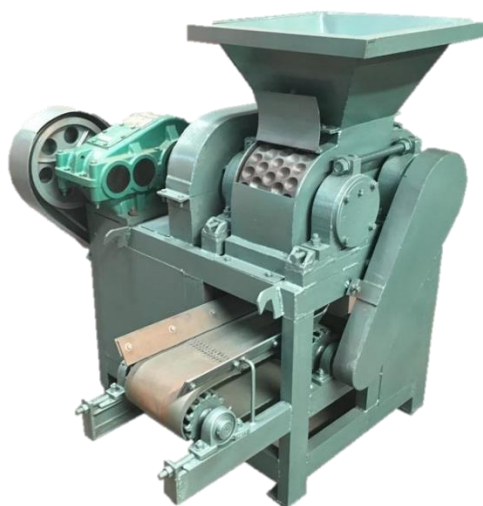
Диссертацияның алдыңғы тарауларында көрсетілгендей, зертханалық және ірі зертханалық сынақтар сериясы құрамында марганец бар кендер ретінде «Богач» және «Есімжал» кен орындарының марганец кендері пайдаланылды [152]. Тотықсыздандырғыш ретінде «Сарыадыр» мен бұрын ғылыми-зерттеу жұмыстарында және практикада қолданылмаған «Жамантұз» көмір кен орындарының жоғары күлді көмірлері пайдаланылды. Халық шаруашылығы секторында ғана пайдаланылатын «Жамантұз» көмір кен орны үшін бұл жаңа нарық болып саналады. «Борлы» кен орнының көмірі зертханалық және ірі зертханалық зерттеулерде қолданылмады, өйткені ол жоғары күлді көмірдің жұмсару температурасы мен электрлік кедергісі бойынша теріс нәтижелер көрсетті [153]. «Борлы» кен орнының көмірі пеш колошникінің жентектелуіне және шихта материалдарынан қаттардың пайда болуына және жоғары жылдамдықты қызған газдың жергілікті екпіні және металл субоксидтерінің шығарылуына, яғни свицтердің пайда болуына әкеліп соқтырады. Жоғары температураға дейін қыздырылған газдың құрамында MnO, SiO және Al₂O бар, сондықтан колошник бетінде свицтердің пайда болуы тек қана технологиялық жабдықтың тозуымен жоғары жылу шығынына әкеліп соқтырмайды, сонымен

қатар шығатын газдармен марганец, кремний және алюминийдің жоғары шығынын тудырады.

Балқытуға арналған бастапқы шикіқұрам материалдарының химиялық және техникалық талдау нәтижелері 3.13 және 3.14-кестелерде келтірілген.

Шикіқұрам материалдарын дайындау ұсақтау-сұрыптау учаскесінде «Богач» пен «Есімжал» кен орындарының марганец кені және кварцит ірілігі +5 -60 мм дейін, «Сарыадыр», «Борлы» және «Жамантүз» кен орындарының жоғары күлді көмірі +10 -40 мм фракцияға дейін ұсақталды.

Ірі зертханалық балқытуды жүргізу үшін қажетті брикеттің жеткілікті партиясы ХМИ эксперименттік-өндірістік учаскесіндегі марганецті кендерді брикеттеу процесін зерттеу нәтижесі (3.2 тарау) бойынша ZZXM-4 моделді білікті брикеттеу машинасында дайындалды (4.1-сурет). Брикеттеу машинасының сағатына 1-2 тоннаға дейін брикет шығаруға мүмкіндігі бар. Біліктердің ені мен диаметрі сәйкесінше 250 мм және 360 мм құрайды. Техникалық паспортқа сәйкес брикет престің жалпы қысымы 15 т құрайды (4.3-кесте) [43, 147 б. 348-365].



Сурет 4.1 – ZZXM-4 моделді білікті пресс

3.2 тарауда жүргізілген эксперименттер нәтижесі бойынша физикалық-химиялық қасиеттері мен ыстыққа төзімділігі бойынша Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту технологиясы үшін ең перспективті болып №3 брикет табылатынды, шикізат материалдарының шығыны келесідей: марганец кенінің қалдығы – 67,77 %; кокстың қалдығы – 19,47%, микрокремнезем – 4,34 және сұйық шыны – 8,43 %.

Брикеттердің физикалық-химиялық қасиеттерін және ыстыққа төзімділігін оңтайландыру әдісіне сүйене отырып, балқыту процесіне брикет партияларын дайындау кезінде таңдау жүргізілмеді. 3.7-3.8-кестелерде брикеттерді дайындау үшін пайдаланылған шихта материалдарының химиялық және техникалық құрамдары, сондай-ақ брикеттің өзінің техникалық және химиялық құрамы келтірілген (3.10 және 3.11-кестелер).

Кесте 4.1 – Білікті пресінің техникалық сипаттамалары

№	Модель	ZZXM-4
1	Қуаттылығы	11 кВт
2	Өнімділігі	3-4 т/ч
3	Жалпы өлшемдері	1 400×1 180×1 960 мм
4	Салмағы	1 500 кг
5	Білік ені	250 мм
6	Білік диаметрі	360 мм
7	Жалпы қысымы	15 т
8	Шпиндельдің айналу жылдамдығы	18 айг/мин
9	Қысым түрі	Бұршақты клин (серіппе түрі)
10	Білік материалы	65Mn
11	Термоөңдеу	52~58 °С
12	Құрылымдық формасы	Бір қысымды екі ролик
13	Брикет пішіні	Жалпиған
14	Брикет өлшемі	30~60 мм

Брикеттер кен-термиялық пештерге арналған шикізат материалдарына қойылатын талаптарға (механикалық беріктіктің жоғары көрсеткіші) жауап беруі тиіс болғандықтан, табиғи кептіруден кейін (ашық ауада, үш тәулік ішінде) брикеттер лақтыру әдісімен механикалық беріктікке сыналды. ХМИ жағдайында лақтыру әдісімен механикалық беріктікті анықтау арнайы қондырғыда (4.2 а, б сурет) жүргізілді.

Брикеттердің беріктік сипаттамаларын анықтау МемСт 21289-75 «Көмір брикеттері. Механикалық беріктігін анықтау әдістері» әдістемесі бойынша жүргізілді. Сынақтар жүргізу кезінде брикеттер металл плитаға 2 метр биіктіктен үш реттен лақтырылды. Әрбір тасталғаннан кейін сыналатын брикет кесектері 5, 10 және 20 мм ұяшық өлшемдері бар елек арқылы өткізілді және өлшенді. Сынақ нәтижелері 4.2-кестеде келтірілген.

Брикеттердің механикалық беріктігі оларды түсіру (Пм) сынағаннан кейін пайызбен мынадай формула бойынша есептелді:

$$P_m = \frac{m}{M} \cdot 100, \quad (4.1)$$

мұндағы m – сынаудан кейін бөлшектердің мөлшері 5, 10, 20 мм және одан асатын тор үстіндегі өнімнің массасы, кг;

M – лақтырумен сынауға ұшыраған брикеттердің массасы, кг.



а



б

Сурет 4.2 – Лақтыру әдісімен брикеттердің беріктілігін анықтау арналған қондырғы

Кесте 4.2 – Лақтыру әдісімен брикеттердің беріктілігін сынау нәтижелері

Тәжірибе №	Фракция				Барлығы, %
	+ 20	-20+10	-10+5	-5	
1	97,64	1,12	0,50	0,75	100
2	90,30	3,61	2,36	3,73	100
3	84,08	5,47	4,23	6,22	100
4	79,48	7,21	4,60	8,71	100
5	73,51	9,08	7,46	9,95	100

Сығымдауға механикалық беріктігін анықтау ҚарИУ жағдайында стандартты әдістеме бойынша 083м арнайы қондырғыда (4.3 а, б сурет) жүргізілді.



а



б

Сурет 4.3 - Құрғақ/дымқыл күйдегі сығылу беріктілігін анықтауға арналған қондырғы

Бұл әдістеме бойынша осы жабдықтағы брикетке максималды жүктеме 7,5 кг/см² құрайды. Брикетті максималды жүктеме (7,5 кг/см²) ұстаған кезде брикет одан әрі пайдалану үшін жарамды (жеткілікті берік) деп саналады.

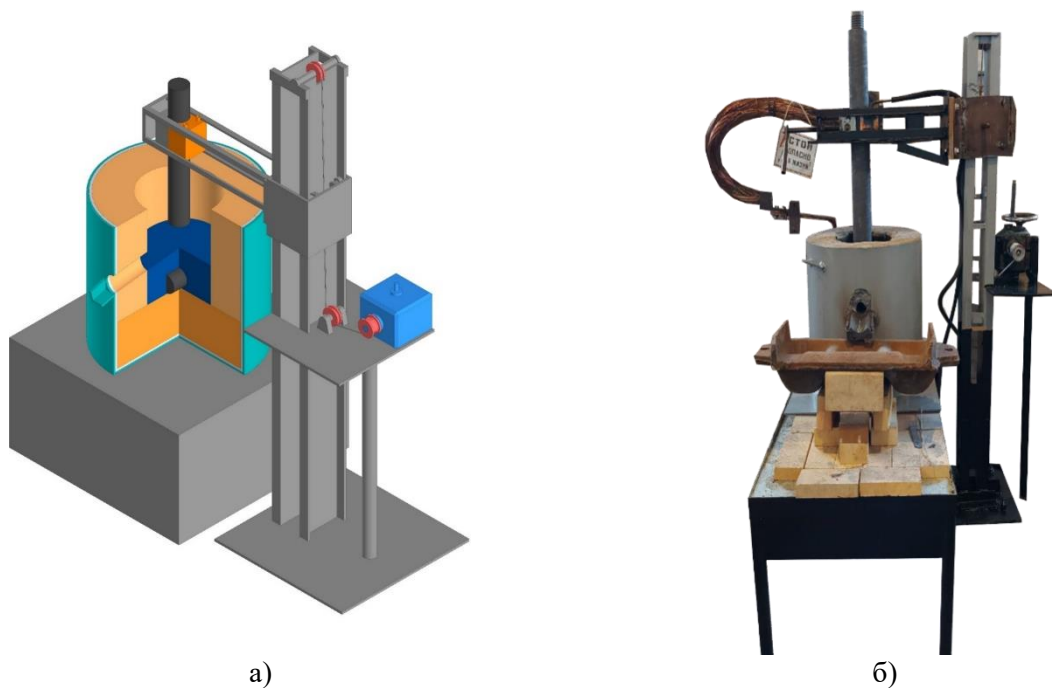
4.2 Қуаттылығы 150 кВ·А зертханалық кен-термиялық электр пешінде Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын балқыту

«Богач» және «Есімжал» кен орындарының марганец кендерін, «Жамантұз» және «Сарыадыр» көмір кен орындарының жоғары күлді көмірлерін, сондай-ақ марганец кені мен кокс қалдықтарынан дайындалған брикеттерді пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту бойынша зертханалық сынақтар жүргізу үшін қуаты 150 кВА дейінгі кен-термиялық зертханалық пеш құрастырылды. (<https://clck.ru/eoh29>). Пеш КарИУ «Металлургия» оқу-ғылыми-өндірістік орталығының тәжірибелік өнеркәсіптік алаңындағы қуаты 250 кВ·А ірі зертханалық кен-термиялық пеш базасында құрастырылды [154, 155]. Зертханалық пеш құрастыруға тек ОСЗ-250/0,5 УХЛ4 типті күштік трансформатор пайдаланылады. Трансформатор сипаттамасы келесідей: жиілігі - 50 Гц. Оқшаулаудың жылу кедергісі класы – F. Фаза-1. Орамалардың схемасы мен қосылу тобы -1/1-0. Трансформатордың екінші жағында 27,4 В-тан 71,2 В-қа дейінгі кернеудің жеті деңгейі бар (4.3-кесте).

Жаңа зертханалық кенді термиялық пеште ваннасының геометриясына және пештің электродтарының диаметріне сәйкес 27,5 В-тан 43,1 В-қа дейінгі кернеу кезеңдері (1-3 деңгейі) қолданылады. Пеш ваннасының негізгі сипаттамалары: диаметрі 300 мм, тереңдігі 300 мм, ал пайдаланылған графиттелген электрод диаметрі 100 мм. Пештің ваннасы шамот кірпішімен қапталған. Пештің табаны алдын ала 100-120 °С дейін қыздырылған электрод массасымен толтырылған. Пештің беті балқыманың шығуын жеңілдету үшін саңылау бағытында 5-7° бұрышта көлбеу болады. 4.4-суретте пештің 3D моделі және құрастырылған электр пеші көрсетілген.

Кесте 4.4 – Қуаты 150 кВ·А кен термиялық пеш трансформаторының сипаттамасы

№	Қуаттылығы, кВА	ВН жағы		НН жағы	
		Вольт	Ампер	Вольт	Ампер
6	250,0	380	659	71,3	3510
5	205,0	380	540	58,5	3510
4	174,0	380	458	49,6	3510
3	151,0	380	398	43,1	3510
2	117,5	380	310	33,5	3510
1	96,5	380	254	27,4	3510



1-табандық электрод; 2-тік электрод; 3-пеш ваннасы; 4-пеш қаптамасы;
5-отқа төзімді кірпіш; 6-электрод ұстағыш; 7-электродты көтеру және түсіру механизмі
(а - 3D моделі, б - электр пешінің жалпы түрі)

Сурет 4.4 – Зертханалық кен-термиялық электрлі пеш

Құрастырылған зертханалық кен-термиялық электр пешінің басты артықшылығы қуаты 200-250 кВА болатын жартылай өнеркәсіптік пештерде орындалатын технологиялық мәселелерді шеше отырып, энергия мен материал шығынын аз жұмсайды.

Зертханалық кен-термиялық электрлі пеште сынақ келесі міндеттерді шешу үшін жүргізілді:

- зертханалық кен-термиялық пеште Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту технологиясын апробациялау;

- қуаттылығы 150 кВА дейінгі зертханалық кен-термиялық пешті және оның электр тізбегінің жүктемесін тексеру және сынау;

КЛ балқыту бойынша зертханалық сынақтар шартты түрде келесі кезеңдерге бөлінді:

- электр пешін қыздыру және электр пешін жұмыс режиміне шығару;
- «Жамантұз» кен орнының жоғары күлді көмірін және «Есімжал» кен орнының марганец кенін пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту;
- «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірін және «Богач» кен орнының марганец кенін пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту;
- «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірін және марганец кенінің және кокс қалдықтарынан әзірленген брикетті пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту.

Шикізат материалдары ретінде жоғары күлді көмір, құрамында марганец бар кендер, кварцит және брикет пайдаланылды. Кварцит химиялық құрамын

түзету және қалдық көміртекті бейтараптандыру үшін шикіқұрам қоспасында қолданылды. Шикізат материалдарының химиялық құрамы және техникалық талдау нәтижелері 3.13 және 3.14-кестелерде ұсынылған.

Электр пеші 10.03.2021 жылы 10.00-де қосылды. Электр пешін қыздыру 1-деңгейді 27,4 В кернеуде және ток күші 100А - 500 А кезінде кокс қолдану арқылы 5 сағат ішінде жүргізілді.

Электр пеші ваннасы жылыту кезеңі аяқталғаннан кейін кокс пен оның күлінің қалдықтарынан толығымен тазартылды. Пеш ваннасын жылыту кезеңі аяқталғаннан кейін электродтың айналасына шихта бере отырып, пеш табаны қыздырылды. Бұл шағылысуға кететін жылу шығынын азайтып, оны қыздыруға бағыттайды. Пеш ваннасында гарнисаждың пайда болуы кезінде және қорытпаның алғашқы шығарылуына дейін 15 кг жоғары күлді көмір, 12 кг кен және 4,2 кг кварцит жұмсалды.

Негізгі шикізатты тиеу 10.03.2021 ж. 17:00 сағатта басталды. Балқытудың электрлік параметрлері келесі көрсеткіштермен сипатталды: номиналды кернеу – 27,4 В, ток күші – 1600 А-дан 2200 А-ға дейін.

«Жамантұз» кен орнының жоғары күлді көмірін және «Есімжал» кен орнының марганец кенін пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту кезінде мынадай құрам қабылданды: көмір – 5 кг, марганец кені – 5 кг және кварцит – 2,1 кг. Бірінші кезеңде жұмсалған шикіқұрам материалдарының жалпы саны: көмір – 40 кг, марганец кені – 40 кг және кварцит - 8,4 кг. Балқыту шикізат материалдарының шағын порцияларын тиеудің үздіксіз тәсілімен колошниктің шөгуіне қарай және қорытпаны әрбір 2 сағат сайын шойын құймақалыптарға мезгіл-мезгіл шығарып отыру арқылы жүргізілді. Осы кезеңде 4 балқыма шықты, олардың әрқайсысының орташа салмағы 2,7-2,9 кг.

11.03.2021 ж.сағат 01.00-де «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірі мен «Богач» кен орнының марганец кенін пайдалану кезеңі басталды. Шикізат материалдарының шығыны келесідей: көмір – 5 кг, марганец кені – 5 кг және кварцит – 0,55 кг. Бұл кезең 12 сағатқа созылды, алғашқы 2 шығарылым (11.03.2021 ж.03:00 – 2,8 кг және 05:00 – 3,0 кг) есептеулерде өтпелі болып саналды және химиялық талдауды анықтауда қабылданбады. Екінші кезеңде жұмсалған шикізат материалдарының жалпы көлемі: көмір - 60 кг, марганец кені – 60 кг және кварцит – 6,6 кг. Салмағы орташа ~2,9 кг болатын 4 металл шығарылымы есепке алынды.

КЛ балқыту бойынша сынақтың келесі кезеңі 11.03.2021 ж.сағат 13.00-де марганец кенін 5 кг мөлшерінде брикетке ауыстырумен басталды, ол 67% марганец кенінің және 19,5% кокс қалдықтарынына тұрады. Байланыстырушы компоненттер ретінде сұйық шыны сулы ерітіндісі мен микрокремнезем алынды. Салымдағы шихта құрамы: брикет – 5 кг, көмір – 5 кг және кварцит – 3,0 кг. Шикіқұрамдағы көміртектің артық мөлшері – 12% құрады. Көміртектің артық мөлшерін 12% - ға арттыру КЛ-ды балқыту үрдісінде қождың пайда болуын бейтараптандыру үшін жүзеге асырылды.

Жалпы, балқытудың барлық 3 кезеңінде пештің тұрақты жүрісі, металдың белсенді шығымы сипатталды. Жетекші элементтердің шығуы (массасы

бойынша %): Si – 75-85, Mn – 80-87 және Al – 60-70 құрады. Әр шығарылымның металы өлшенді, содан кейін химиялық құрамын анықтау үшін МемСТ 17260-87 бойынша сынамалар алынды. Сынамаларға химиялық талдау МемСТ 22772.4-77, МемСт 22772.6-77, МемСт 22772.7-96 сәйкес жүргізілді. КЛ орташа химиялық құрамы 4.4-кестеде келтірілген.

Кесте 4.5 – Fe-Si-Mn-Al КЛ орташа химиялық құрамы, %

Кезеңдер	химиялық құрамы, %			
	Fe	Si	Mn	Al
I	12,95	30,23	50,42	3,73
II	18,03	48,87	26,57	3,54
III	16,25	37,98	40,48	2,78

«Жамантұз» бен «Сарыадыр» кен орындарының жоғары күлді көмірлерін және «Богач» пен «Есімжал» кен орындарының марганец кендерін, сондай-ақ брикетті пайдалана отырып, КЛ балқыту тұтастай алғанда, жұмыстың технологиялық режиміне қолжетімділік қанағаттанарлық дәрежеде қамтамасыз етілді.

Осылайша, жүргізілген тәжірибелік сынақтар жоғарыда келтірілген шикізат материалдарын пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al КЛ балқытудың принципті мүмкіндігін көрсетеді.

Қуаттылығы 150 кВА дейінгі жаңа құрастырылған кен-термиялық пештегі тәжірибелік сынақтардың нәтижелері бойынша көміртегі мөлшерінің артық коэффициенті ($K_{арт.}$) марганец кендерін пайдалану үшін $K_{арт.} = 1,0$, ал брикетті пайдалану үшін $K_{арт.} = 1,2$ тең деңгейінде қабылданды (Ә қосымшасы).

Ваннаның колошникіндегі шикізат материалдары бір-біріне жабыспады және оны өңдеу қиындықсыз жүзеге асырылды. Кезеңнің соңына қарай летканы ашу әлдеқайда оңай болды. КЛ дың шығуы белсенді болды.

Балқыту қондырғысы, трансформатордан электродқа дейінгі электр тізбегі КЛ балқыту кезінде жүктемеге төтеп бере алды және тұрақты режимде жұмыс істейді, мұны амперметр мен вольтметр құрылғылары көрсетті.

Технологиялық көрсеткіштерді жетілдіру мақсатында Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту технологиясын пысықтау үшін «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірін, «Богач» марганец кенін және брикетті қолдана отырып, қуаттылығы 200-250 кВА болатын пеште ірі зертханалық сынақтар жүргізу ұсынылады.

4.3 Қуаттылығы 200 кВА кен-термиялық электр пешінде Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасын балқыту бойынша ірі зертханалық сынақтар

2021 жылдың 14-18 маусым аралығында ХМИ базасында AP08052301 – «Жоғары белсенді Al-Mn-Ca-Si элементтерінен тұратын қорытпамен металл

емес қоспалардан тазарту және өңдеу жолымен сапалы болат құю өндірісі технологиясын әзірлеу» жобасы бойынша 2020-2022 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша жас ғалымдарды гранттық қаржыландыру шеңберінде ХМИ ғылыми қызметкерлерімен және ҚарИУ ғалымдарымен бірлескен жобаның орындаушысы ретінде марганец кенінен, жоғары күлді көмірден және құрамында марганец бар брикеттен Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту бойынша ғылыми-зерттеу жұмысы ірі зертханалық сынақтан өткізілді [156].

Сынақты өткізудің мақсаты бастапқы шикізат материалдарынан Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды алу мүмкіндігін анықтау, металлургиялық бағалау және ұсынылған Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту үрдісінің технологиялық режимін пысықтау болып табылады.

Ірі зертханалық сынақтар қуаттылығы 200 кВ·А болатын кен-термиялық электр пешінде жүргізілді. Графит электродының диаметрі 150 мм. Кен-термиялық электр пеші екі электродпен жабдықталған, бір электрод пеш түбінде массамен кокстелген. Яғни, кен-термиялық электр пеші «Миге» типті электр пешіне ұқсас құрылымда [157-159]. Пеш ваннасының диаметрі 550 мм, ваннаның тереңдігі 400-450 мм. Пештің табаны мұқият тығыздалған және электр өткізгіш қалың массамен жасалған. Электр пеші кернеуі 4 деңгейлі, 18,4-тен 49 В-қа дейін. 4.5-кестеде қуаттылығы 200 кВ·А пеш трансформаторының электрлік сипаттамалары туралы мәліметтер келтірілген.

Пеш ваннасы табанының беті 15-20 бұрышпен саңылау бағытында еңкіш жасалынған, бұл тотықсыздану аймағынан балқыманың оңай шығуын қамтамасыз етеді. Пештің леткасы ауыр ашылуымен Ø 30 мм графит және темір шыбықпен күйдіріп алу жүйесі құрастырылып, орнатылды. Пештің футеровкасы шамот кірпішінен жасалған. Саңылауды жабу үшін отқа төзімді саз және электрод массасының қоспасынан жасалған конустық тығындар қолданылды.

Электр пешін кокспен қыздыру 12 сағат ішінде жүргізілді, ол электр тогының өткізгіші ретінде қызмет етеді және табанды қорғайды. Қыздыру кезеңінің соңында электр пеші кокспен оның күлдің қалдықтарынан толығымен тазартылды. Қыздыру кезеңінің электр режимі: кернеудің 1 және 2 деңгейінде 18,4÷24,6 В, ток күші 800-1000 А жүргізілді.

Шикізат материалдарын пештің колошнигін біртіндеп толтыра отырып, электродтың айналасына тиелді. 15.06.2021 жылы сағат 22:00-де негізгі шикізат материалдарын тиеу басталды. Балқыту үздіксіз түрде жүргізілді, әр 2 сағат сайын шойын құймақалыштарға балқыма мезгіл-мезгіл шығарылып отырды. Летканың ашылуы темір шыбықпен жүзеге асырылды. Әр шығарылымның металы өлшенді, содан кейін химиялық талдау үшін сынамалар алынды. Сынамаларға химиялық талдау МемСт 22772.4-77, МемСт 22772.6-77, МемСт 22772.7-96 сәйкес жүргізілді.

Кесте 4.6 – Қуаттылығы 200 кВ·А кен-термиялық пеш трансформаторының сипаттамасы

№	Қуаттылығы, кВА	ВН жағы		НН жағы	
		Вольт	Ампер	Вольт	Ампер
4	200,0	380	526	49,0	4070
3	150,0	380	395	36,8	4070
2	100,0	380	263	24,5	4070
1	75,0	380	197,6	18,4	4070

КЛ балқыту қуаттылығы 150 кВ·А электр пешінде Fe-Si-Mn-Al балқытуды зертханалық сынау нәтижелері бойынша 3.13 және 3.14-кестелерде ұсынылған шикізат материалдарының келесі құрамдары екі кезеңде жүргізілді:

1) «Сарыадыр» кен орнының көмірі – 20 кг; «Богач» кен орнының марганец кені – 8 кг, кварцит – 2,53 кг, осы құрамды шикізат материалдарының құрамын қолданып, 10-15% Fe; 40-50% Si; 30-40% Mn; 5-12% Al бар КЛ алу көзделді.

2) «Сарыадыр» кен орнының көмірі – 20 кг; брикет – 10 кг, кварцит – 4,64 кг, осы құрамды шикізат материалдарының құрамын қолданып, 7-13% Fe; 45-55% Si; 20-25% Mn; 8-13% Al бар КЛ алу көзделді.

Белгіленген шикізат құрамдарда марганец кенін пайдалана отырып, 30 сағат, ал брикетті қолдана отырып, 26 сағат бойы жұмыс жүргізілді, оның ішінде алғашқы екі шығарылым ауыспалы балқыма болып саналып зерттеу кезінде есепке алынбады. Сонымен қатар, гарнисаждың қалыптасуы және пештің түбін қыздыру 10 сағат ішінде жүзеге асырылды.

Электродтың айналасындағы шикізат материалдарының орналасуы конус түрінде 35-40° бұрышта, 0,2-0,3 м биіктікте болды. Электрлік балқыту режимі электродтарды терең отырғызу кезінде шихтаға қажетті температура жағдайларын жасайтындай етіп таңдалды: номиналды кернеу – 24,5 В, ток – 2400-ден 2800 А-ға дейін. Шикізат материалдарының реакциялық аймаққа түсуі аумақтың опырылусыз, біркелкі болды. Шикізат материалдары реакциялық газдармен біркелкі қыздырылып, тотықсыздандыру үрдістерінің дамуына қолайлы жағдай жасалды. Балқытудың қалыпты режимінен елеулі ауытқулар байқалған жоқ. Реакция аймағы жоғары температурамен сипатталды, балқыма белсенді түрде шығарылды. Қажет болған жағдайда темір шыбықтармен летка тесігін кеңейту жүргізілді. Балқыманы шығару аяқталғаннан кейін газдар реактивті аймақтан металдың толық шығуын көрсететін леткалық тесіктен шықты. Осы технологиялық белгілер болған кезде ғана, летка саңылаулары жабылды, содан кейін электродтың айналасында конус қалыптастыру үшін пешке жаңа шикізат материалдары салынды. Трансформатор қуаттылығы 200 кВА кен-термиялық пеште КЛ балқыту процесі 4.4-суретте көрсетілген.



a



б



в

a - кен термиялық пештің жалпы көрінісі; б, в - колошниктің көрінісі

Сурет 4.5 - Трансформатор қуаты 200 кВ·А кен-термиялық пешінде
КЛ-ды балқыту процесі

«Богач» кен орнының марганец кенін пайдаланып, КЛ алу көрсеткіштері келесідей: осы шикізат материалдарының балқымасындағы марганецтің максималды мөлшері №9 шығарылымда 40,96% құрайды, № 13 және 14 сынамаларда марганецтің ең аз мөлшері 30,2% байқалады. Қорытпадағы марганецтің орташа құрамы 33,65% құрайды. Қорытпадағы кремний 40,14-тен 47,8%-ға дейін, орташа құрам 45,01% құрайды. Алюминийдің қорытпадағы орташа құрамы 5,23% құрады.

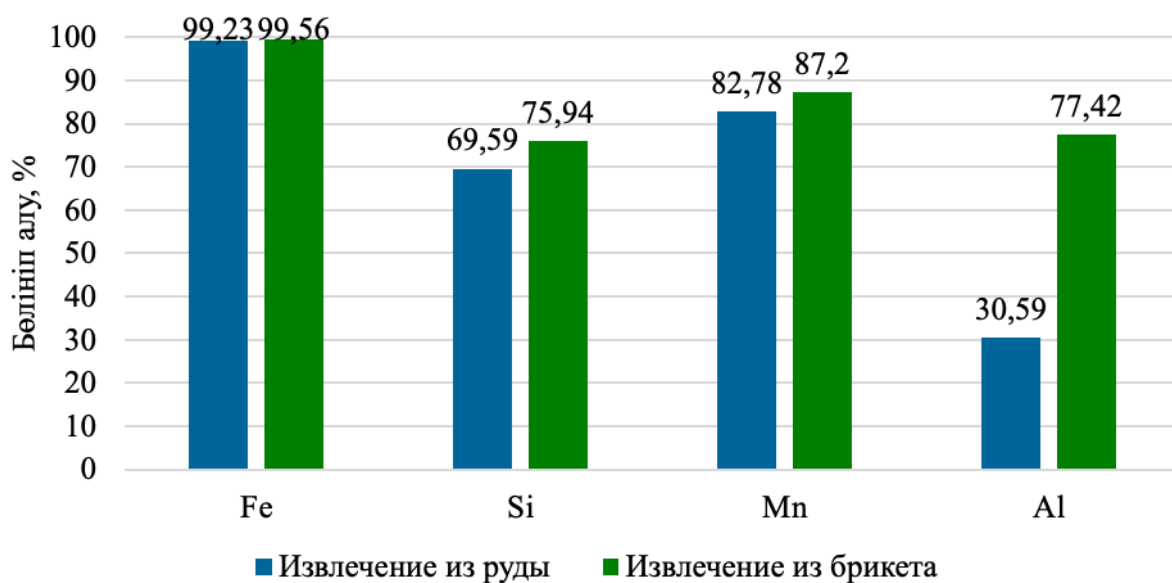
Брикетті пайдаланып, КЛ алу көрсеткіштері келесідей: №24 шығарылымда марганецтің максималды мөлшері 26,9% құрайды, №25 сынамада марганецтің ең аз мөлшері 13,32% құрайды. Қорытпадағы марганецтің орташа құрамы 24,20%. Қорытпадағы кремний 50,1-ден 60,74%-ға дейін, орташа 52,30%-ды көрсетті. Алюминийдің қорытпадағы орташа құрамы 11,02% құрады.

Қорытпаға жетекші элементтерді (кремний, марганец және алюминий) алудың есептеу нәтижелері 4.12-4.13-кестелерде және 4.6-суретте келтірілді. Кеннен КЛ балқыту кезінде кремнийдің алынуы – 69,59%, марганец – 82,78%,

алюминий– 30,59%, ал брикеттен балқыту кезінде кремний – 75,94%, марганец – 87,20%, алюминий – 77,42% құрады (4.7÷4.14 кестелер).

4.15-кестеде әртүрлі шикізат материалдарынан балықытылып алынған КЛ-дың орташа құрамын сипаттайтын қорытпаның химиялық құрамы келтірілді.

Қорытпаға кремнийдің енуі 6,35%-ға, марганец 4,42%-ға, алюминий 2 есе артып, брикетті қолданған кезде 46,83%-ға артады. Бұл шикізат материалы ретінде брикетті қолдануда көміртек бөлшектері кеннің ұсақ бөлшектермен тығыз байланысқа түседі және брикеттегі көміртектің барлық массасы тотықсыздандыру реакцияларына жұмсалады.



Сурет 4.6 –КЛ-ды балқытудың әртүрлі кезеңдеріндегі жетекші элементтерді алу

Алюминийдің қорытпа құрамына өтуінің екі есе артуы брикетті қолдану кезінде температуралық үрдістің жоғарылауымен байланысты. Бұл пеш температурасының жоғарылауы мен КЛ белсенді шығарылуына және де реакциялық аймақ көлемінің ұлғаюына байланысты.

Ірі зертханалық ғылыми-зерттеу кезінде шикізат материалдарының шығыны: 120 кг марганец кені, 300 кг жоғары күлді көмір және 37,95 кг кварцит, сондай-ақ брикетті пайдалану кезінде: 110 кг брикет, 220 кг жоғары күлді көмір және 51 кг кварцит жұмсалды. КЛ балқыту кезеңінде кен мен брикетті қолдану кезінде 9600 және 9400 кВт·сағ электр энергиясы шығындалды. 4.16-кестеде кен мен брикетті пайдалана отырып, КЛ балқытудың негізгі технологиялық көрсеткіштері, сондай-ақ қуаттылығы 200 кВт·А кен-термиялық пештегі Fe-Si-Mn-Al КЛ алудың ірі зертханалық балқыту нәтижелері бойынша шихта материалдарының шығыны 4.17-кестеде берілген.

Кесте 4.7 – Кеннен КЛ алу кезеңі үшін темір балансы

Шикізат	Шығыны, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі Fe ₂ O ₃ , %	Шикізаттағы Fe ₂ O ₃ , %	Fe мөлшері, %	Fe шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Fe мөлшері, %	Fe кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	300,00	43,39	5,584	2,42	1,70	5,09	50,72	Қорытпа	93,20	10,68	9,95	99,23
Кварцит	37,95			0,52	0,36	0,14	1,38	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				95,25	0,00	0,00	Газ			0,08	0,77
Мп кені	120,00			5,72	4,00	4,80	47,90					
Брикет	0,00	63,01	6,41	4,04	2,83	0,00	0,00					
Барлығы	457,95					10,03	100,00				10,03	100,00

Кесте 4.8 – Брикеттен КЛ алу кезеңі үшін темір балансы

Шикізат	Шығыны, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі Fe ₂ O ₃ , %	Шикізаттағы Fe ₂ O ₃ , %	Fe мөлшері, %	Fe шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Fe мөлшері, %	Fe кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	220,00	43,39	5,584	2,42	1,70	3,73	53,10	Қорытпа	84,80	8,25	7,00	99,56
Кварцит	51,00			0,52	0,36	0,19	2,64	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				95,25	0,00	0,00	Газ			0,03	0,44
Мп кені	0,00			5,72	4,00	0,00	0,00					
Брикет	110,00	63,01	6,41	4,04	2,83	3,11	44,26					
Барлығы	381,00					7,03	100,00				7,03	100,00

Кесте 4.9 – Кеннен КЛ алу кезеңі үшін кремний балансы

Шикізат	ШЫҒЫНЫ, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі SiO ₂ , %	Шикізаттағы SiO ₂ , %	Si мөлшері, %	Si шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Si мөлшері, %	Si кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	300,00	43,39	65,590	28,46	13,28	39,84	66,10	Қорытпа	93,20	45,01	41,95	69,59
Кварцит	37,95			95,57	44,60	16,93	28,08	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				1,50	0,00	0,00	Газ			18,33	30,41
Mn кені	120,00			6,27	2,93	3,51	5,82					
Брикет	0,00	63,01	19,90	12,54	5,85	0,00	0,00					
Барлығы	457,95					60,28	100,00				60,28	100,00

Кесте 4.10 – Брикеттен КЛ алу кезеңі үшін кремний балансы

Шикізат	ШЫҒЫНЫ, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі SiO ₂ , %	Шикізаттағы SiO ₂ , %	Si мөлшері, %	Si шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Si мөлшері, %	Si кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	220,00	43,39	65,590	28,46	13,28	29,22	50,03	Қорытпа	84,80	52,30	44,35	75,94
Кварцит	51,00			95,57	44,60	22,75	38,95	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				1,50	0,00	0,00	Газ			14,05	24,06
Mn кені	0,00			6,27	2,93	0,00	0,00					
Брикет	110,00	63,01	19,90	12,54	5,85	6,44	11,02					
Барлығы	381,00					58,40	100,00				58,40	100,00

Кесте 4.11 – Кеннен КЛ алу кезеңі үшін марганец балансы

Шикізат	Шығыны, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі MnO ₂ , %	Шикізаттағы MnO ₂ , %	Mn мөлшері, %	Mn шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Mn мөлшері, %	Mn кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	300,00	43,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Қорытпа	93,20	33,65	31,36	82,78
Кварцит	37,95			0,00	0,00	0,00	0,00	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				0,00	0,00	0,00	Газ			6,52	17,22
Mn кені	120,00			49,94	31,57	37,89	62,85					
Брикет	0,00	63,01	53,71	33,84	21,39	0,00	0,00					
Барлығы	457,95					37,89	62,85				37,89	100,00

Кесте 4.12 – Брикеттен КЛ алу кезеңі үшін марганец балансы

Шикізат	Шығыны, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі MnO ₂ , %	Шикізаттағы MnO ₂ , %	Mn мөлшері, %	Mn шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Mn мөлшері, %	Mn кірісі	
						кг	кг				кг	%
Көмір	220,00	43,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Қорытпа	84,80	24,20	20,52	87,20
Кварцит	51,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				0,00	0,00	0,00	Газ			3,01	12,80
Mn кені	0,00			49,94	31,57	0,00	0,00					
Брикет	110,00	63,01	53,71	33,84	21,39	23,53	40,30					
Барлығы	381,00					23,53	40,30				23,53	100,00

Кесте 4.13 – Кеннен КЛ алу кезеңі үшін алюминий балансы

Шикізат	Шығыны, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі Al_2O_3 , %	Шикізаттағы Al_2O_3 , %	Al мөлшері, %	Al шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Al мөлшері, %	Al кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	300,00	43,39	22,46	9,75	5,16	15,48	25,68	Қорытпа	93,20	5,23	4,87	30,59
Кварцит	37,95			0,00	0,00	0,00	0,00	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				0,00	0,00	0,00	Газ			11,06	69,41
Mn кені	120,00			0,72	0,38	0,46	0,76					
Брикет	0,00	63,01	1,96	1,23	0,65	0,00	0,00					
Барлығы	457,95					15,94	26,44				15,94	100,00

Кесте 4.14 – Брикеттен КЛ алу кезеңі үшін алюминий балансы

Шикізат	Шығыны, кг	Күл құрамы, %	Күлдегі Al_2O_3 , %	Шикізаттағы Al_2O_3 , %	Al мөлшері, %	Al шығыны		Өнім	Салмағы, кг	Al мөлшері, %	Al кірісі	
						кг	%				кг	%
Көмір	220,00	43,39	22,46	9,75	5,16	11,35	19,44	Қорытпа	84,80	11,02	9,34	77,42
Кварцит	51,00			0,00	0,00	0,00	0,00	Қож				
Fe жоңқ.	0,00				0,00	0,00	0,00	Газ			2,72	22,58
Mn кені	0,00			0,72	0,38	0,00	0,00					
Брикет	110,00	63,01	1,96	1,23	0,65	0,72	1,23					
Барлығы	381,00					12,07	20,67				12,07	100,00

Кесте 4.15 – Тәжірибелік балқымалардың КЛ-дың химиялық құрамы

Балқыту №	Fe	Si	Al	Mn	Ca	C	S	P
Марганец кенін қолдану арқылы								
4	12,3	44,1	2,5	31,3	5,7	0,5	0,01	0,06
5	10,8	45,4	3,4	32,2	5,3	-	-	-
6	11,3	46,1	2,9	33,8	4,26	-	-	-
7	11,7	45	3,8	32,1	6,2	0,5	0,013	0,09
8	11,1	44,9	2,2	36,4	4,7	-	-	-
9	10,82	41,75	2,5	40,96	3,2	-	-	-
10	9,8	46,7	3,3	32,8	3,6	0,5	0,015	0,08
11	8,1	46,8	5,8	32,6	4,8	-	-	-
12	10,2	47,8	8	31,1	2,8	-	-	-
13	10,1	47,5	7,9	30,2	3,2	0,3	0,02	0,07
14	9,2	47,3	9,7	30,2	2,26	-	-	-
15	10,2	44,3	8,3	32,6	3,8	-	-	-
16	10,3	43,9	9,2	35,1	0,9	0,5	0,013	0,08
17	14,13	40,14	3,2	38,62	3,2	-	-	-
18	10,2	43,5	5,7	34,7	5,5	-	-	-
Σ _{ср.}	10,68	45,01	5,23	33,65	4,26	0,45	0,013	0,073
Құрамында марганец бар брикетті қолдану арқылы								
21	9,7	52,1	10,4	23,7	3,3	0,5	0,011	0,065
22	7,4	53,6	10,8	24,9	3,1			
23	7,6	51,1	11,53	25,7	3,8			
24	7,8	51,5	9,3	26,9	3,5	0,42	0,01	0,065
25	12,41	60,74	10,54	13,32	1,2			
26	8,1	50,7	12,53	24,1	4,2			
27	7,5	49,5	11,4	26,6	4,7	0,4	0	0,065
28	11,25	54,99	8,03	22,73	2,1			
29	7,1	50,1	12,8	25,8	3,9			
30	6,7	50,8	12,2	25,9	3,7	0,4	0,011	0,065
31	5,2	50,2	13,7	26,6	4,2			
Σ _{ср.}	8,25	52,3	11,02	24,2	3,43	0,43	0,011	0,065

4.15-кестенің негізінде брикетті пайдалану кезінде электр энергиясының меншікті шығыны 200 кВт·сағ/т, яғни 2,1%-ға азаяды. Брикетті пайдалану кезіндегі сағаттық өнімділік кеннен КЛ балқытумен салыстырғанда 19,2%-ға артқандығын көрсетті.

Осылайша, КЛ балқыту нәтижелерін талдау нәтижесі жоғары күлді көмір мен марганец кендерінен, сондай-ақ марганец кені мен кокс қалдықтарынан әзірленген брикеттерден КЛ балқытудың мүмкіндігін көрсетті (Б қосымшасы)

Кесте 4.16 –КЛ-ды балқытудың технологиялық көрсеткіштері

Параметр	Көрсеткіш	
	Кеннен	Брикеттен
Кешенді лигатуралар алынды, кг	93,20	84,80
Балқыту кезеңінің уақыты, сағ	30	22
Электр энергиясын алу, кВт·сағ	894,72	797,12
Электр энергиясының меншікті шығыны, кВт·сағ/т	9600	9400
Алынуы, %		
Fe	99,23	99,56
Si	69,59	75,94
Mn	82,78	87,20
Al	30,59	77,42
Өнімділік, кг/сағ	3,11	3,85

Кесте 4.17 – Шикізат материалдарының шығыс нормалары

Шикізат материалдары	Параметрлер	Көмір	Кварцит	Mn кені	Брикет	Σ	Me, кг
Кен қолдану арқылы	Компания үшін жұмсалған, кг	300	38	120	-	457,95	93,20
	Шығыс нормасы, т/т	3,22	0,41	1,29	-	4,91	1000,0
Брикет қолдану арқылы	Компания үшін жұмсалған, кг	220	51	-	110	381,0	84,80
	Шығыс нормасы, т/т	2,59	0,60	-	1,29	4,49	1000,0

4.4 Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасының техникалық-экономикалық талдауы

Техникалық-экономикалық талдаудың мақсаты марганец пен кремний стандартты ферроқорытпаларын және техникалық таза алюминийді ішінара немесе толығымен алмастыра отырып, конверторлы болатты оттексіздендіру кезінде Fe-Si-Mn-Al КЛ қолданудың экономикалық мақсаттылығы мен тиімділігін зерттеу болып табылады.

Экономикалық тиімділік дегеніміз – ең алдымен, өнімнің өзіндік құнын білдіреді. КЛ өзіндік құнының калькуляциясы ХМИ жағдайында 200 кВт·А кен-термиялық пеште қорытпаны балқыту кезінде алынған нақты көрсеткіштер бойынша жасалды (4.16-кесте).

Қазіргі уақытта қорытпаны қолданудың экономикалық тиімділігін салыстырмалы бағалау үшін әзірленген технология бойынша балқытылған Fe-Si-Mn-Al КЛ аналогтары жоқ.

Fe-Si-Mn-Al КЛ (4.15-кестедегі лигатураның орташа құрамы) және стандартты ферроқорытпалармен конверторлы болаттың оттексіздендіруін сандық салыстыруы технологиялық есептерді шешудің сандық тәсіліне негізделген Microsoft Excel электрондық кестелерін қолдана отырып, итерация әдісімен жүргізілді. Оттексіздендіруді салыстырмалы есептеу нәтижелері 4.18-

кестеде келтірілген. Салыстырмалы талдау үшін FeMn78, FeSi75, SiMn17 маркалы ферроқорытпалар және АВ87 маркалы техникалық таза алюминий қолданылды.

Кесте 4.18 – Fe-Si-Mn-Al КЛ-дың өзіндік құнының калькуляциясы

№	Шығыс бабы	Өл. бір.	1 тоннаға жұмсалатын шығын	Бірлік үшін бағасы, \$ (курс бойынша 440 тенге)	Сумма, \$
Кенді қолдану арқылы					
1	Марганец кені	т	1,29	306,8	790,01
2	Жоғары күлді көмір	т	3,22	40,91	131,69
3	Кварцит	т	0,41	68,18	18,68
4	Брикет	т	-	-	-
5	Электр энергиясы	МВт·ч/т	9,4	0,34	3,2
1 тонна кешенді лигатураның өзіндік құны					558,6
Брикетті қолдану арқылы					
1	Марганец кені	т	-	-	-
2	Жоғары күлді көмір	т	2,59	40,91	153,13
3	Кварцит	т	0,60	68,18	134,25
4	Брикет	т	1,29	185,18	693,13
5	Электр энергиясы	кВт·ч/т	9,2	0,34	3,13
1 тонна кешенді лигатураның өзіндік құны					509,0

Болатты оттексіздендіру нұсқаларын қолдану тиімділігін бағалау үшін алынатын КЛ [160] арналған болаттың тыныш және жартылай тыныш маркалары үшін «АрселорМиттал Теміртау» АҚ конверторлық цехының деректері бойынша шығындар таңдалды (В қосымшасы).

4.18-кестесінен алынған мәліметтерге сәйкес, болаттың жартылай тыныш маркаларын алу үшін сәйкесінше кен мен брикетті қолдану арқылы алынған КЛ қолданған кезде, біз 0,16 кг ФМн78 маркалы ферромарганецті, 0,9 кг FeSi75 маркалы ферросилицийді, 0,8 кг SiMn17 маркалы силикомарганец пен 0,1 кг АВ87 маркалы техникалық таза алюминийді немесе 0,16 кг ФМн78, 0,9 кг FeSi75, 0,5 кг SiMn17 және 0,22 АВ87 маркалы техникалық таза алюминийді тұратын механикалық қоспаны алмастыра алатынымызды айта аламыз.

Ал тыныш маркалы болаттарды оттексіздендіру үшін сәйкесінше, кен мен брикетті қолдану арқылы алынған КЛ пайдаланғанда 0,11 кг ФМн78 маркалы ферромарганецті, 1,285 кг FeSi75 маркалы ферросилицийді, 0,8 кг SiMn17 маркалы силикомарганец пен 0,1 кг АВ87 маркалы техникалық таза алюминийді немесе 0,11 кг ФМн78, 1,285 кг FeSi75, 0,5 кг SiMn17 және 0,22 кг АВ87 маркалы техникалық таза алюминийден тұратын механикалық қоспаны алмастыра аламыз.

Талдау көрсеткендей, КЛ пайдалану кезінде тоннасына 2 кг КЛ-ды тұтыну кезінде болаттың әр тоннасынан 4,8-ден 10,6 долларға дейін үнемдеуге

болады. КЛ бір тоннасының өзіндік құны 500-600 \$ шамасында болады (4.19-кесте).

Кесте 4.19 – Оттексіздендіру процесінде КЛ-ды қолданудың экономикалық тиімділігін талдау нәтижесі

Параметрлер		FeMn78	FeSi75	SiMn17	AB87	Δ, \$
Бірлік үшін бағасы, \$		2,210	3,540	1,310	2,800	
Жартылай тыныш болат	Стандартты кезінде, кг/т	0,16	0,9	5,75	1,64	
	Жиынтық құны, \$	0,3536	3,186	7,5325	4,592	15,66
	Кен лигатурасын пайдалану кезінде, кг/т	0	0	4,95	1,54	
	Жиынтық құны, \$	0	0	6,48	4,29	4,88
	Брикет лигатурасын қолдану кезінде, кг/т	0	0	5,25	1,42	
	Жиынтық құны, \$	0	0	6,88	3,97	4,81
Тыныш болат	Стандартты кезінде, кг/т	0,11	2,57	6,35	1,25	
	Жиынтық құны, \$	0,2431	9,0978	8,3185	3,5	21,16
	Кен лигатурасын пайдалану кезінде, кг/т	0	1,28	5,55	1,1454	
	Жиынтық құны, \$	0	4,55	7,27	3,21	10,68
	Брикет лигатурасын қолдану кезінде, кг/т	0	1,28	5,85	1,03	
	Жиынтық құны, \$	0	4,55	7,66	2,88	10,61

* 2 кг/т болат КЛ шығыны кезінде

4.5 Fe-Si-Mn-Al кешенді лигатурасының физикалық-химиялық және металлургиялық қасиеттері

Жаңа технологияны жүзеге асыру және КЛ ұсақтау және елеу бойынша тиісті технологиялық жабдықтарды орнату үшін КЛ механикалық сипаттамаларын зерттеу мақсатында физикалық-химиялық және металлургиялық зерттеулер жүргізілді.

КЛ қорытпасының беріктігін анықтау үшін өлшемдері 100*60*30 мм-лік әртүрлі құрамды кремний, марганец және алюминийдің 4 дана сынама-сы алынды (4.20-кесте).

Алмаз машинасында беріктікті анықтау және салыстыру үшін алты үлгінің текшелері кесілген, содан кейін қондырғыда тәжірибелік үлгілерді қысу арқылы МемСт 21153.2-84 талаптарына сәйкес материалдардың беріктігі (қысу

кезінде) анықталды. Үлгілерді сынау кезінде салыстыру үшін КЛ үлгілерінің тау жыныстарына қарағанда күшті екендігі байқалды: ауыр жыныстардың сығылу күші $\sim 1100 \text{ кг/см}^2$ құрайды. Сығымдау кезінде негізінен барлық сынақтар жарықтардың пайда болуымен бұзылатыны анықталды. Осындай әдістеме бойынша салыстырмалы талдау үшін FeSi75 (1186 кг/см^2) және FeMn78 (1247 кг/см^2) болаттың оттексіздендіруінде қолданылатын кең таралған ферроқорытпалардың беріктігі анықталды. Тәжірибелік үлгілерді сығу кезіндегі беріктікке сынау нәтижелері 4.20-кестеде келтірілген.

Кесте 4.20 – Тәжірибелік үлгілерді беріктікке сынау нәтижелері

№	Сынама № және ФС, ФМн	Химиялық құрамы				Беріктік шегі, кг/см ²
		Fe	Si	Al	Mn	
1	Сынама №9	10,82	41,75	2,5	40,96	1480
2	Сынама №17	14,13	40,14	3,2	38,62	1550
3	Сынама №25	12,41	60,74	10,54	13,32	1286
4	Сынама №28	11,25	54,99	8,03	22,73	1246
5	FeSi75	23,25	74,0	-	1,5	12650 ?
6	FeMn78	9,9	5	78	-	1650

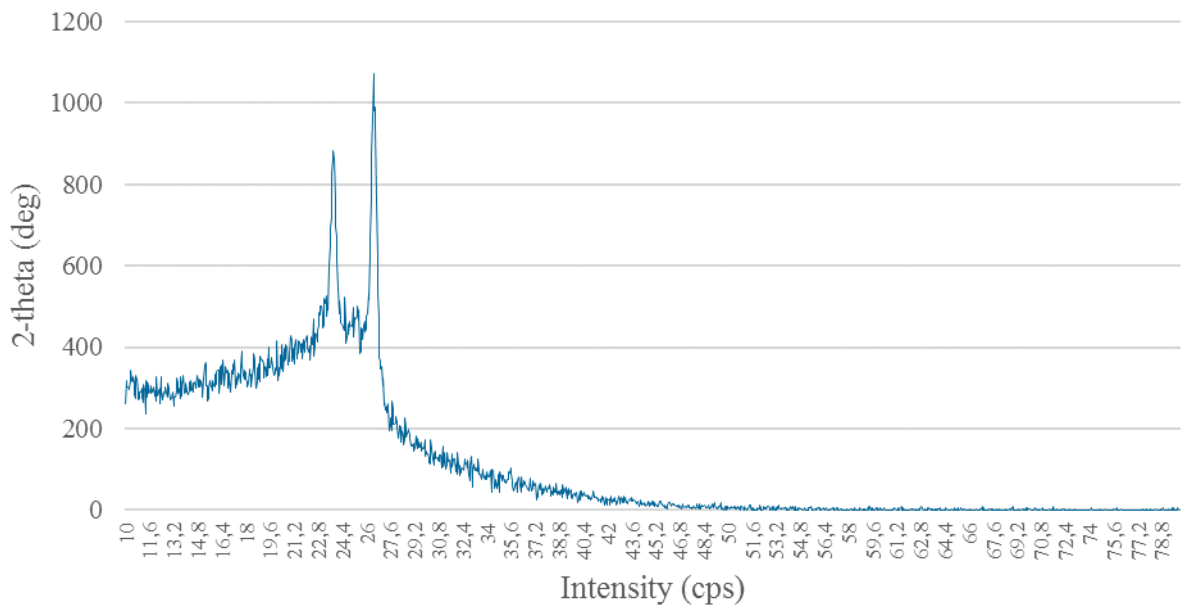
Осылайша, КЛ мен стандартты ферроқорытпалардың тәжірибелік үлгілерінің механикалық қасиеттерін сынау нәтижесінде КЛ №25 және №28 сынамалар мәні бойынша FeSi75 ферросилицийінің беріктігіне өте жақын және 1286 кг/см^2 және 1246 кг/см^2 берік екендігі анықталды. №9 және №17 сынамалардың беріктігі 1480 кг/см^2 және 1550 кг/см^2 болады, және беріктігі 1650 кг/см^2 болатын FeMn78 ферромарганецінің беріктігіне жақын. Құрамында 10-15% темір бар КЛ барлық тәжірибелік үлгілері стандартты ферроқорытпа ретінде салыстырмалы түрде оңай сыналады және ферроқорытпа зауыттарының қосалқы цехтарының қолданыстағы агрегаттарында ұсақтауға және електен өткізуге ұшырай алады.

КЛ балқытып алуды бағалауда маңызды критерийлердің бірі болып табылатын лигатураның рентгенді фазалық талдау, лигатураның тығыздығы мен балку температурасын есептеу әдісімен анықтау жүргізілді [161].

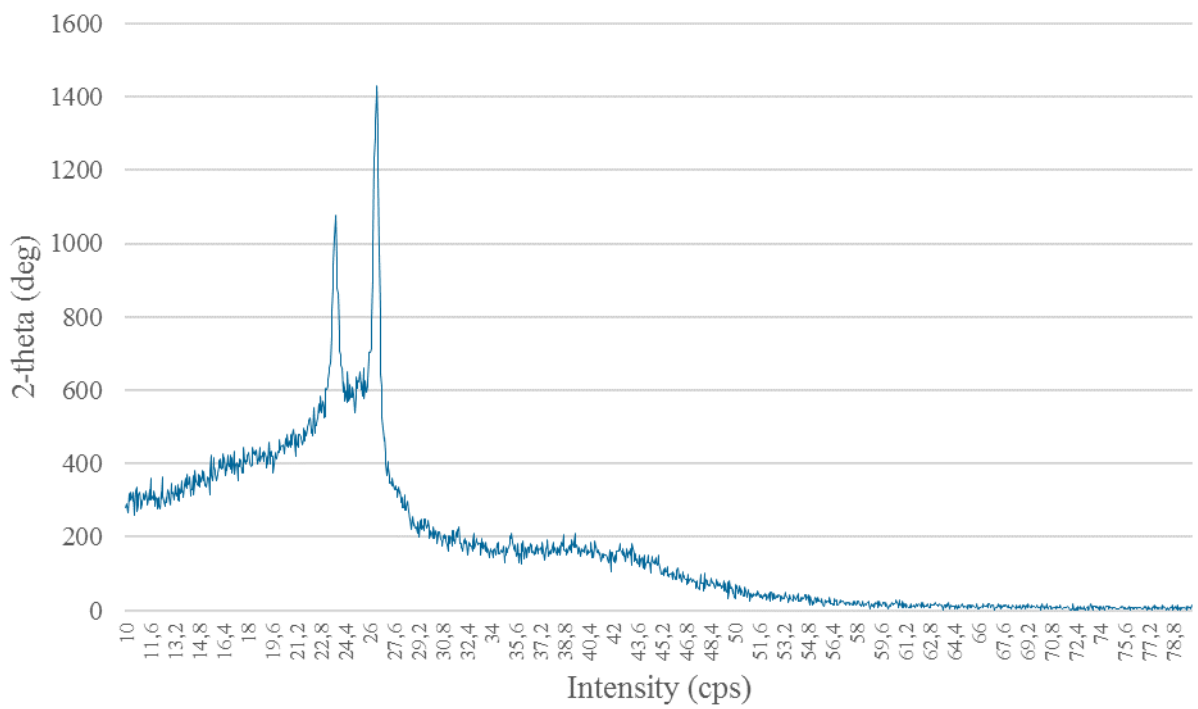
Лигатураны рентгенді фазалық талдау «Назарбаев Университет» АҚ базасында Rigaku SmartLab көпфункционалды рентгендік дифрактометрі пайдаланылды. Rigaku SmartLab рентген дифрактометрі – үлгілердің құрылымын зерттеу бойынша әртүрлі өзекті рентген әдістемелерін пайдалана отырып, міндеттердің кең спектрін іске асыруға мүмкіндік беретін көпфункционалды эксперименттік қондырғы.

Жаңа КЛ рентгенді фазалық талдау нәтижелері 4.20-кестеде (1-4-жол) көрсетілген. Алынған КЛ рентгенограммалары 4.7-4.10-суреттерде келтірілген.

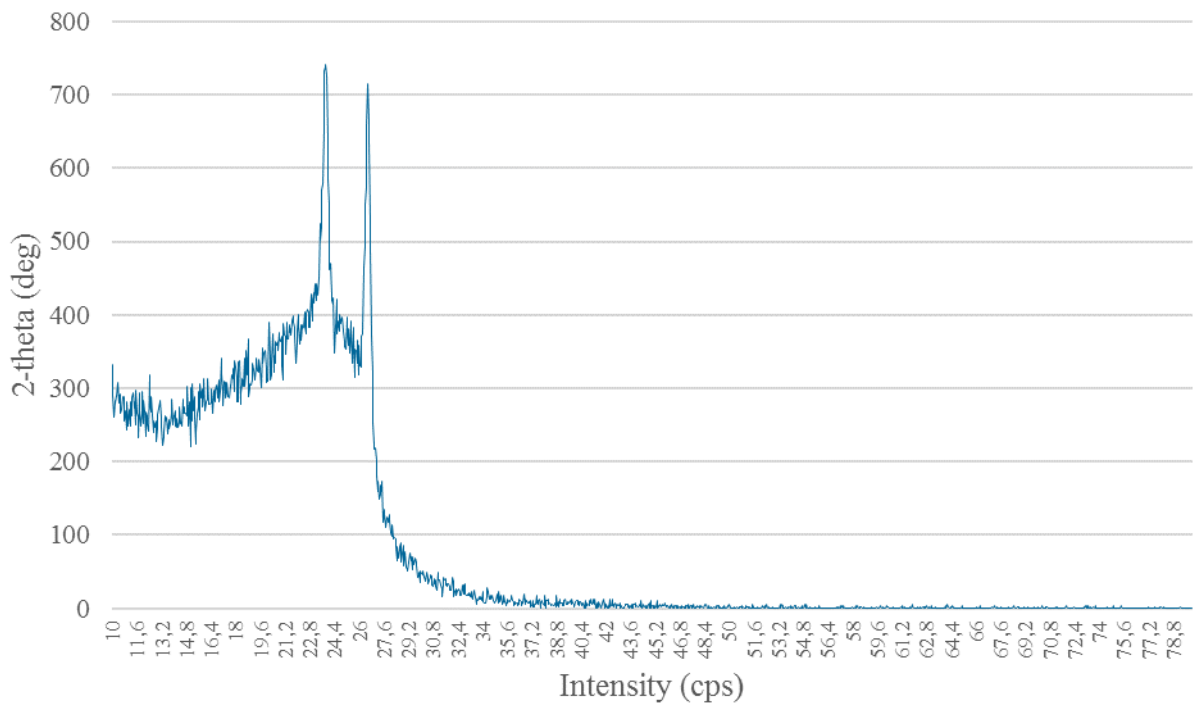
КЛ тәжірибелік үлгілерін рентгенді фазалық талдау нәтижелері келесі фазалар мен қосылыстардың болуын растайды: $\text{Mn}_{11}\text{Si}_{19}$, MnSi , Mn_2Si_3 , Fe_3Si_7 , $\text{Fe}_5\text{Al}_8\text{Si}_7$, $\text{Mn}_3\text{Al}_3\text{Si}_2$ және еркін кремний Si.



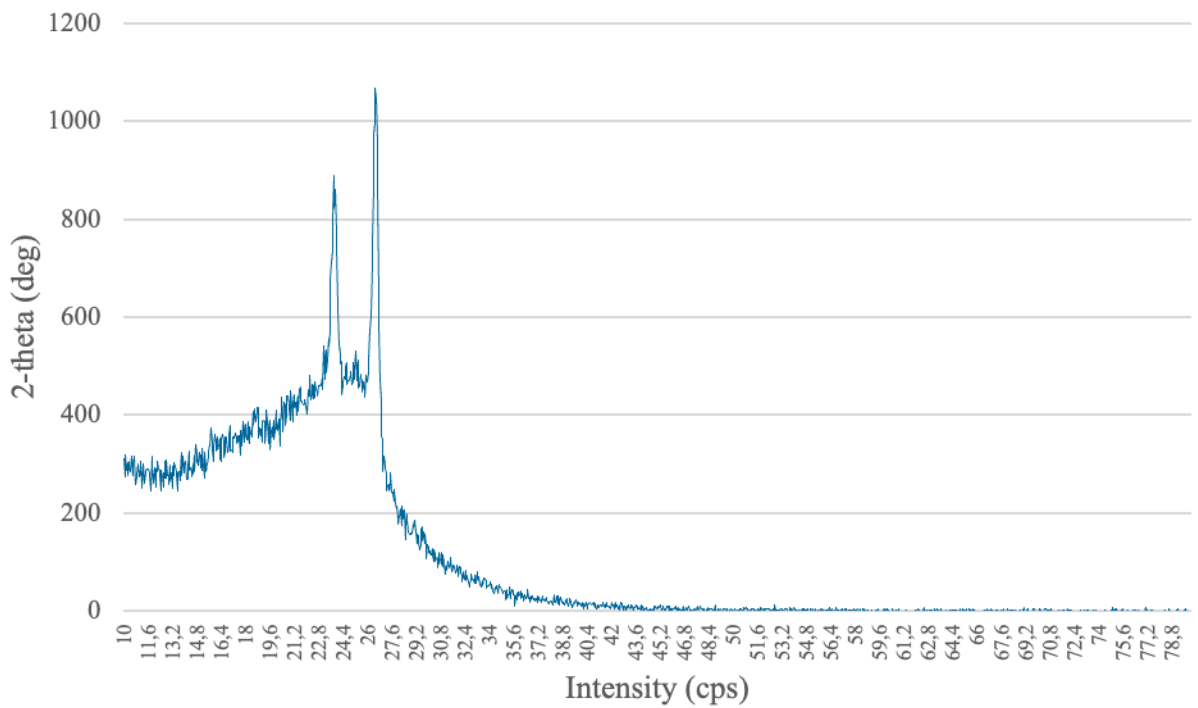
Сурет 4.7 – КЛ-дың №9 сынама үлгісінің рентгенограммасы



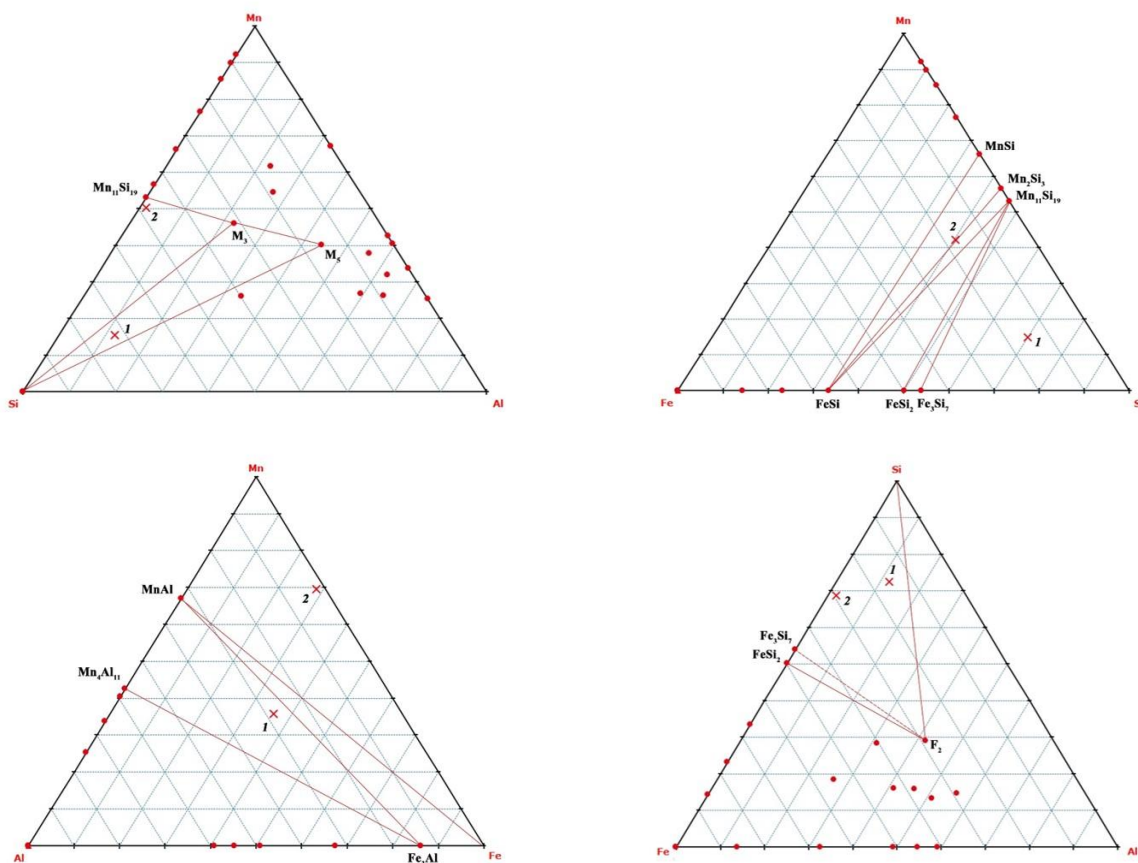
Сурет 4.8 – КЛ-дың №17 сынама үлгісінің рентгенограммасы



Сурет 4.9 – КЛ-дың №25 сынама үлгісінің рентгенограммасы



Сурет 4.10 – КЛ-дың №28 сынама үлгісінің рентгенограммасы



Сурет 4.11 - Fe-Si-Mn-Al металл жүйесінің фазалық құрамының диаграммасында КЛ сынамалары үлгілерінің орналасуы

Материалдардың маңызды физикалық-химиялық сипаттамаларының ішінде қорытпаның тығыздығы ерекше орын алады, ол оны алу үрдісіне ғана емес, сонымен қатар жетекші элементтердің игерілу дәрежесі мен тұрақтылығына, оның еру жылдамдығына және болат көлемінде біркелкі таралуына айтарлықтай әсер етеді. Қорытпаның тығыздығы жетекші элементтердің болатқа толық сіңуіне және қорытпаның еру жылдамдығына әсер етеді. Тәжірибелік үлгілердің тығыздығы №9 сынамада - 4,9 г/см³, №17 - 4,97 г/см³, №25 – 3,66 г/см³ және №28 – 4,06 г/см³ құрады. Болатты өңдеуге арналған қорытпаның тығыздығы 4000-7000 кг/м³ аралығында болуы керек. Тығыздығы, кесектердің мөлшері, қорытпадағы темір мөлшері болаттың оттегісіздендіру үрдісіне әсер етеді [100]. Қорытпалардың жоғары шығыны мен отқа төзімділігі болаттың тез салқындауына әкеледі. КЛ балқу температурасы 1581 К, 1585 К, 1564 К және 1575 К құрады, олар алдын ала міндеттерде қойылған талаптардан төмен [161]. Кеннен алынған КЛ-дың орташа тығыздығы 4,52 г/см³, брикеттен 3,96 г/см³, балқу температурасы 1560 К және 1540 К.

4 тарау бойынша қорытынды

1. Ірілігі 5 мм-ге дейін, 0÷2 мм-ге дейін ұсақталған марганец құрайтын кен қалдықтары және кокс қалдықтарын кесектеу технологиясы пысықталды. Байланыстырушы материал ретінде сұйық шыны және микрокремнезем қолданылды. Нәтижесінде 0,2 тонна мөлшерінде брикеттердің тәжірибелік партиясы дайындалды. Марганец кені мен кокс қалдықтарынан жасалған брикеттер беріктігі жоғары және кен-термиялық пештеріне арналған материалдарға қойылатын барлық талаптарға жауап беретіні анықталды.

2. 150 кВА жаңа кен-термиялық пештегі Fe-Si-Mn-Al КЛ балқыту жоғары температуралы жағдайларда оң сипаттамаларды көрсетті, амперметр және вольтметр ғылыми-зерттеу жұмысының тұрақты режимде жұмыс жасағандығын көрсетті. Балқыту 27,4 В кернеуде, 1000-1500 А ток жүктемесінде жүргізілді. Жетекші элементтердің алынуы (массасы бойынша, %: 75-85 Si, 80-87 Mn және 60-70 Al құрады. Тәжірибелік сынақтар ұсынылған шикізат материалдары материалдарын пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al негізінде КЛ балқытудың принципті мүмкіндігін куәландырады.

Қуаты 150 кВА жаңа пештегі тәжірибелік сынақтардың нәтижелері бойынша КЛ балқыту технологиясын пысықтау және технологиялық көрсеткіштерді жетілдіру үшін «Сарыадыр» кен орнының жоғары күлді көмірлерін, марганец кенін және брикетті қолдана отырып, қуаты 200-250 кВА пеште салыстырмалы ірі зертханалық сынақтар жүргізу ұсынылды. Зертханалық жұмыс нәтижесі Актімен расталған (Ә қосымшасы)

3. 200 кВА кен-термиялық электр пешінде құрамында марганец бар кеннен, брикеттерден және жоғары күлді көмірден КЛ алудың қағидатты мүмкіндігі анықталды. КЛ химиялық құрамын реттеу және көміртегінің артық мөлшерін бейтараптандыру үшін шикізат материалдарының құрамында кварцит пайдаланылды. Ірі зертханалық зерттеу нәтижесі бойынша КЛ келесі құрамда алынды:

– кенді пайдалану кезінде КЛ орташа химиялық құрамы (салмағы бойынша), %: 12,38 Fe; 45,01 Si; 33,65 Mn және 2,86 Al;

– брикетті пайдалану кезінде КЛ орташа химиялық құрамы (салмағы бойынша), %: 9,8 Fe; 52,30 Si; 24,20 Mn және 6,53 Al.

– КЛ құрамына жетекші компоненттердің қорытпаға өту дәрежесі, %: 99,88 - 99,30 Fe; 69,34÷75,90 Si; 82,78÷87,22 Mn және 30,59÷77,41 Al құрады.

Қуаттылығы 200 кВ·А кен-термиялық электрлік пеште жүргізілген сынақтар Fe-Si-Mn-Al КЛ алудың принципті мүмкіндігін көрсетті. Шихтаның екі нұсқасы да техникалық-экономикалық көрсеткіштің оң нәтижесін көрсетті, балқыту процесінің технологиялық режимі пысықталды. КЛ балқыту нәтижелерін талдау брикеттерді негізгі шикіқұрамының бөлігі ретінде қолдану балқыту үрдісін жақсартуға ықпал ететіндігін, колошникті өңдеуді жеңілдететінін және ағымдағы жүктемені тұрақтандыратынын көрсетті. Брикеттерді қосу реакциялық тигельді кеңейтуге, шикізат материалдарының пеш ваннасына түсуін жақсартуға, колошниктің бүкіл беті бойынша

технологиялық газдардың біркелкі бөлінуіне ықпал етеді, сондай-ақ газдардың аз мөлшеріне, яғни төмендеуіне әкеледі. Ірі зертханалық КЛ балқытудың нәтижесі Актімен расталған (Б қосымшасы).

4. Физикалық-химиялық талдау әдістерімен Fe-Si-Mn-Al КЛ тәжірибелік үлгісінің негізгі сипаттамалары зерттелді. Тәжірибелік үлгілердің дифрактометрінде рентгенограмманың нәтижелері бойынша КЛ фазалық құрамы анықталды. Алынған КЛ тәжірибелік үлгілері ұзақ сақтау кезінде шашылып қалмады, өйткені КЛ фазалық құрамында FeSi_2 (лебоит) қосылыстары табылған жоқ. Жаңа КЛ тығыздығы $3,96 \div 4,52 \text{ г/см}^3$ құрайды. Балқу температурасы 1540-1560 К.

Диссертациялық жұмыста алынған негізгі нәтижелер ҚР қара металлургия саласындағы жоғары оқу орындарының оқу процесіне енгізілді: Toraighyrov University-нің 6B07203 – «Металлургия» ББ бойынша бакалавриаттың «Ферроқорытпалардың электрометаллургиясы» пәніне (Г қосымшасы), Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің 6B07203 «Металлургия» ББ бойынша бакалавриаттың «Кешенді қорытпалар өндірісінің теориясы мен технологиясы» пәніне, 7M07203 – «Металлургия» ББ бойынша магистратураның «Қара және түсті металлургияның шикізат ресурстарын қайта өңдеудің инновациялық технологиялары» пәніне (Ғ қосымшасы) және Қарағанды индустриялық университетінің 6B07202 және 6B07206 «Қара металдар металлургиясы» бойынша бакалавриаттың «Металлургия өндірісінің техногенді қалдықтарын қайта өңдеу» және «Болат балқытудың теориясы мен технологиясы» пәндері бойынша және 7M07203 «Қара және түсті металдар металлургиясы» ББ бойынша магистратураның «Қара және түсті металлургияның шикізат ресурстарын қайта өңдеудің инновациялық технологиялары» және «Конденсацияланбаған және техногендік шикізатты қайта өңдеу технологиялары» пәндеріне енгізілді (Д қосымшасы).

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыс нәтижелері бойынша қысқаша қорытынды:

Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми және практикалық қорытындылары келесідей:

Термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісі арқылы төрт компонентті Fe-Si-Mn-Al металл жүйесіне фазалық талдау жүргізілді, онда темір, кремний, марганец және алюминийдің келесі тұрақты екілік 22 қосылысы: Fe_3Si ; Fe_5Si_3 ; $FeSi$; $FeSi_2$; Fe_3Si_7 ; Fe_3Al ; $FeAl$; $FeAl_2$; Fe_2Al_5 ; $FeAl_3$; Mn_6Si ; Mn_9Si_2 ; Mn_3Si ; Mn_5Si_3 ; $MnSi$; Mn_2Si_3 ; $Mn_{11}Si_{19}$; $MnAl_6$; $MnAl_4$; $MnAl_3$; Mn_4Al_{11} ; $MnAl$ және Fe-Si-Al мен Mn-Al-Si үштік жүйесі негізінде 18 қосылысы: $Fe_5Al_8Si_7$; $FeAl_3Si_2$; $Fe_3Al_3Si_2$; $Fe_4Al_8Si_3$; $Fe_6Al_{15}Si_5$; $Fe_4Al_{12}Si_3$; $FeAl_4Si$; $Mn_4Al_3Si_2$; $Mn_3Al_3Si_2$; $Mn_3Al_3Si_4$; $Mn_3Al_8Si_9$; $Mn_4Al_9Si_3$; Mn_3Al_9Si ; $Mn_3Al_{12}Si$; $Mn_2Al_9Si_2$; $Mn_3Al_{15}Si_2$ анықталды.

Fe-Si-Mn-Al металл жүйесінің тетраэдрациясы жүргізілді, онда кешенді Fe-Si-Mn-Al лигатураны сипаттайтын 56 қарапайым тетраэдр анықталды. Термодинамикалық-диаграммалық талдаудың негізгі мақсаты өздігінен жарылуына бейім және әрі қарай ұнтақты күйге дейін шашырауға түсетін аймақты анықтау болды. Екі және үштік жүйелердің күй диаграммасын зерттеу кезінде шашырауға бейімді фаза анықталды.

Термодинамикалық модельдеу кремний, марганец және алюминий тотықтарының бірлесіп тотықсыздануының мүмкін екендігін көрсетті. Термодинамикалық модельдеу Гиббс энергиясының минимум принципіне негізделген HSC Chemistry бағдарламалық кешенін қолдана отырып, жүргізілді, процестің оңтайлы параметрлерін анықтау екінші ретті айналмалы жоспар (Бокса-Хантер жоспары) әдісімен жүргізілді. Диссертациялық жұмыста шихтаның негізгі компоненттерін (темір, кремний, марганец және алюминий тотығы) толық тотықсыздандыра отырып, қолданылатын құрамында Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқытудың теориялық мүмкіндігі анықталды. Темір, кремний, марганец және алюминийдің бөлінуі есептелінді. Элементтердің қорытпаға өтуінің дәрежесі және олардың қорытпадағы концентрациясы анықталды.

Алынған $t_{Бж}$, $t_{Сж}$ және Δt жұмсарту көрсеткіштері негізінде «Богач» және «Есімжал» кен орындарында марганец кендеріне және КЛ-ды алу үшін шихта материалдарының негізгі құраушыларының бірі жоғары күлді көмірдің меншікті электр кедергісін зерттеу мақсатында шикізат материалдарына ғылыми-зерттеу жұмысы жүргізілді.

Температура тұрғысынан жұмсартудың басталуы және жұмсартудың температуралық аралығы тұрғысынан ең жақсы шикізат «Богач» кен орнының кені болып табылады. Сондай-ақ, кендегі марганецтің мөлшері неғұрлым көп болса, жұмсарту процесі жоғары температура аймағында жүретіндігі және жұмсарту процесінің аралығы азаятындығы анықталды.

Жоғары температураға дейін термиялық емес қыздыру кезінде электрлік кедергінің мәні көмір үлгісінің химиялық және минералогиялық құрамына,

сондай-ақ фазалық өзгеру процестеріне байланысты. «Жамантұз» кен орны көмірінің жұмсарту температурасының мәні жоғары. Жоғары температураларда «Сарыадыр» кен орнының көмірі жоғары меншікті электр кедергісімен сипатталады. Алынған зерттеу нәтижелері кен-тотықсыздандырғыш пештерде зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізу үшін базалық және негіз болып табылады.

0÷2,5 мм ұсақ фракциялы марганец кені мен кокстың қалдықтарынан брикет дайындалды. Тотықсыздандырғыштың шикізат материалдары мен байланыстырғыштарға қатысты оңтайлы қатынасы анықталды. Нәтижесінде механикалық беріктігі кен-тотықсыздандырғыш пештерге арналған материалдарға қойылатын талаптарға жауап беретін брикеттердің тәжірибелік партиясы дайындалды.

Марганец кендері мен жоғары күлді көмірді пайдалана отырып, кешенді лигатураның үлгілерін алу үшін және кешенді лигатураларды алудың принципті мүмкіндігі анықтау мақсатында қуаттылығы 150 және 200 кВ·А кен-тотықсыздандырғыш электрлі пешінде зертханалық және ірі зертханалық зерттеу жүргізілді. Шихта материалдары ретінде жоғары күлді көмір, құрамында марганец бар кендер, кварцит және брикет пайдаланылды. 150 кВ·А кен-термиялық зертханалық электрлі пеште КЛ-дың алғашқы үлгілері алынды. Жетекші элементтерді алу (массасы бойынша, %): 75-85 Si, 80-87 Mn және 60-70 Al құрады. Осылайша, жүргізілген эксперименттік сынақтар жоғарыда келтірілген шикізат материалдарын пайдалана отырып, құрамында Fe-Si-Mn-Al КЛ-ды балқытудың принципті мүмкіндігі анықталды.

Қуаттылығы 200 кВ·А кен-тотықсыздандырғыш электр пешінде марганец кендерінен, брикеттен және жоғары күлді көмірден Fe-Si-Mn-Al КЛ-дарды алудың принципті мүмкіндігі анықталды. Марганец кенін, жоғары күлді көмірді және кварцитті пайдалана отырып алынған лигатураның орташа химиялық құрамы, %: 12,38 Fe; 45,01 Si; 33,65 Mn және 2,86 Al, ал, брикетті, жоғары күлді көмірді және кварцитті пайдалана отырып алынған лигатураның орташа химиялық құрамы, %: 9,8 Fe; 52,30 Si; 24,20 Mn және 6,53 Al негізгі элементтердің қорытпаға өту дәрежесі, %: 99,88 - 99,30 Fe; 69,34÷75,90 Si; 82,78÷87,22 Mn және 30,59÷77,41 Al құрады. Лигатураны балқыту процесінің оңтайлы технологиялық және электрлік режимдері анықталды.

Жаңа Fe-Si-Mn-Al КЛ-дың физикалық-химиялық және металлургиялық зерттеу әдістері арқылы негізгі сипаттамалары зерттелді. Тәжірибелік үлгілердің рентгенографиясы қорытпалардың фазалық құрамы $Mn_{11}Si_{19}$, $MnSi$, Mn_2Si_3 , Fe_3Si_7 , $Fe_5Al_8Si_7$, $Mn_3Al_3Si_2$ және еркін кремний Si түрінде кездесетіндігін көрсетеді. Жаңа КЛ-дың тығыздығы $3,6\div 5,1$ г/см³ құрайды.

Ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелері диссертация тақырыбының ғылыми бағыты бойынша рецензияланатын Web of Science (Clarivate Analytics) базасында Science Citation Index Expanded мен Scopus (Elsevier) базасында CiteScore бойынша және ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған металлургия саласындағы отандық басылымдарда жарияланған. Сондай-ақ Қазақстан Республикасы мен Ресей

Федерациясының халықаралық және республикалық ғылыми-практикалық конференцияларында талқыланған.

Қойылған міндеттерді шешудің толықтығын бағалау.

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

– қорытпаның өздігінен шашырауының негізгі себебін және аумағын анықтау мақсатында Fe-Si-Mn-Al металдық жүйесінің фазалық-құрылымдық құрылысы термодинамикалық-диаграммалық талдау әдісімен зерттелді;

– КЛ-дарды балқыту кезінде жаңа деректерді болжау және алу мақсатында Гиббс энергиясын минималдық және термодинамиканың вариациялық принциптеріне негізделген заманауи бағдарламалық кешен көмегімен термодинамикалық модельдеу жүргізілді;

– әртүрлі кен орындарындағы марганец кендерінің жұмсаруының температуралық сипаттамалары және температураға байланысты әртүрлі кен орындарының жоғары күлді көмірінің меншікті электр кедергісі анықталып зерттелді;

– ұсынылған шикізат материалдарын қолдану арқылы қорытпа үлгілерін алу үшін, КЛ алу технологиясын жетілдіру және толықтыру мақсатында зертханалық және ірі зертханалық сынақтар жүргізілді;

– Fe-Si-Mn-Al негізіндегі жаңа КЛ-дың физикалық-химиялық және металлургиялық қасиеттері зерттелді.

Нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректер.

Fe-Si-Mn-Al жаңа КЛ алудың әзірленген технологиясын ферроқорытпалар мен лигатураларды өндіруге маманданған кәсіпорындарға енгізуге болады. Технологиялық сұлба марганец ферроқорытпа өндірісіне тікелей қолданылмайтын марганец кендерін және осы уақытқа дейін тек халық шаруашылығының қажеттіліктері үшін пайдаланылған жоғары күлді көмірлерден өздігінен шашырамайтын КЛ алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, ұсынылып отырған технологияның болашағы зор және «қазақстандық» қорытпасы (ФСА) негізінде Fe-Si-Mn-Al КЛ өндіретін кәсіпорындарды іске қосуды болатындығын атап өткен жөн. Диссертация тақырыбы негізінде алынған нақты нәтижелер негізінде жұмысты одан әрі келесі бағыттар бойынша жалғастыруға болады:

1) Fe-Si-Mn-Al КЛ-мен болатты өңдеу технологиясын зерттеу және әзірлеу;

2) Жартылай тыныш және тыныш болат маркаларын балқыту кезінде жаңа кешенді оттексіздендіргіштердің оттексіздендіру қабілетін зерттеу;

3) Металлотериялық әдіспен марганецтің стандартты ферроқорытпаларын балқыту кезінде тотықсыздандырғыш ретінде қолдану тиімділігін анықтау.

Енгізудің техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау.

Диссертациялық жұмыс нәтижесінде алынған 2 кг Fe-Si-Mn-Al КЛ стандартты ФМн78 маркалы ферромарганец, FeSi75 маркалы ферросилиций мен SiMn17 маркалы силикомарганец ферроқорытпаларымен АВ87 маркалы

техникалық таза алюминийді («АрселорМиттал Теміртау» АҚ мәліметтері негізінде) тыныш және жартылай тыныш конвертерлік болатты оттексіздендіру бойынша технологиялық есептеулер арқылы тиімділігі болаттың әр тоннасынан 4,8-ден 10,6 долларға дейін үнемдеуге болатындығы болжануда.

Технологияны енгізудің техникалық-экономикалық тиімділігі ферроқорытпалар мен техникалық таза алюминийдің механикалық қоспасын КЛ-мен алмастыру арқылы жүзеге асады. Қолданыстағы технология бойынша ферроқорытпалар шығыны - 0,16 кг ФМн78 маркалы ферромарганецті, 0,9 кг FeSi75 маркалы ферросилицийді, 5,75 кг SiMn17 маркалы силикомарганец пен 1,64 кг АВ87 маркалы техникалық таза алюминий (жартылай тыныш болат маркалары үшін), 0,11 кг ФМн78 маркалы ферромарганецті, 2,57 кг FeSi75 маркалы ферросилицийді, 6,35 кг SiMn17 маркалы силикомарганец пен 1,25 кг АВ87 маркалы техникалық таза алюминий (тыныш болат маркалары үшін), ал жаңадан балқытылып алынатын КЛ қолданған кезде, яғни болат маркасына байланысты ферромарганец немесе ферросилицийді толығымен ауыстыруға мүмкіндік бар, силикомарганец пен техникалық таза алюминийдің шығынын азайтуға мүмкіндік туады.

Орындалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда.

Теориялық және эксперименттік зерттеулер нәтижесінде:

– алғаш рет Fe-Al-Si және Si-Mn-Al үштік қосылыстарын пайдалана отырып, Fe-Si-Mn-Al төрт компонентті металл жүйесінің диаграммасы құрастырылды және зерттеу нәтижелері бойынша қорытпаның шашырауына әкелетін болжамды аймақ анықталды;

– құрамында марганец бар брикеттерді қолдана отырып, КЛ балқыту процесін толық термодинамикалық модельдеу жүргізілді. Металл тұзуші фазалар: FeSi, Fe₃Si, FeS₂, FeS_{2,43}, FeSi_{2,33}, Mn₁₁Si₁₉, MnSi, Mn₅Si₃, Mn₃Si және алюминий CaAl₂, CaAl₄ түрінде болатындығы анықталды;

– адекватты регрессия теңдеуін ала отырып және практикалық құндылығы бар оңтайландыру параметрлерінің геометриялық бейнесін құра отырып, екінші ретті рототабельді жоспарлар негізінде зерттеудің теориялық әдістерін қолдана отырып, КЛ-дың негізгі элементтерінің қорытпаға өтуі үшін оңтайлы жағдайлар анықталды;

– жұмсарудың температуралық аралығы және меншікті электр кедергісі бойынша КЛ-ды алу үшін әртүрлі кен орындарының марганец кені мен жоғары күлді көмірлердің сипаттамалары бойынша жаңа эксперименттік деректер алынды;

– қуаттылығы 150 және 200 кВА кен термиялық пештерінде марганец кендерінен, құрамында марганец бар брикеттерден және жоғары күлді көмірден Fe-Si-Mn-Al КЛ-дың карботермиялық және қожсыз тәсілмен балқыту технологиясы әзірленді және пысықталды.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Г.В. Медведев, Т.Д. Такенов Сплав АМС. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1979. – 140 б.
- 2 М.И. Друинский, В.И. Жучков Получение комплексных ферросплавов из минерального сырья Казахстана. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1988. – 208 б.
- 3 J. Basson, J. Daavittila, M. Gasik, M.I.Gasik, L. Holappa, H. Jalkanen, I.Mc. Dougall, O. Polyakov, G. Saevardsdottir, M. Tangstad. Handbook of Ferroalloys. Butterworth-Heinemann. London, 2003, -P. 495-505 and 536. (<https://doi.org/10.1016/C2011-0-04204-7>).
- 4 Поволоцкий Д.Я. Раскисление стали - М.: Metallurgy, 1972. - 208 с.
- 5 Поволоцкий Д.Я., Роцин В.Е., Мальков Н.В. Электрометаллургия стали и ферросплавов — М.: Metallurgy, 1995. - 592 с.
- 6 М. Прохоров Большая советская энциклопедия: в 30 т. / Гл. ред. А. М. Прохоров. - 3-е изд. - М. : Сов. энцикл., 1969 - 1978.
- 7 Игнатъев В.С., Вихлевщук В.А., Черногретский В.М. и др. Изучение свойств ферросплавов и лигатур для микролегирования и раскисления стали // Изв.вузов. Черная металлургия. 1988, № 6. - С.37-42.
- 8 В.А. Кудрин. Теория и технология производства стали. ООО «Издательство АСТ», Москва, 2003. -258 с.
- 9 Mukhambetgaliev, E.K., Esenzhulov, A.B., Roshchin, V.E. Alloy Production from High-Silica Manganese Ore and High-Ash Kazakhstan Coal // Steel in Translation. - 2018. - Т. 48, №9. P. 547-552. (DOI: 10.3103/S0967091218090097)
- 10 S.M. Tleugabulov, A.Kh. Nurumgaliev. Process of producing the complex alloy (2005) *Stal'*, (7), pp. 57-59.
- 11 Е.А. Букетов, Т.Г. Габдуллин, Т.Д. Такенов. Металлургическая переработка марганцевых руд Центрального Казахстана. Наука, Алма-Ата, 1979, 184 с.
- 12 К.Н. Трубецкого и др. Марганец. Минерально-сырьевая база СНГ. Добыча и обогащение руд // Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. - М.: Изд-во Акад. горных наук, 1999.-270с.
- 13 Месторождения марганца Казахстана: Справочник // Под ред. А.А. Абдулина и др. - Алматы.: РГП ПВХ «Информационно-аналитический центр геологии и минеральных ресурсов Республики Казахстан» 1999.
- 14 Патент №19649 Сплав «Казахстанский» для раскисления и легирования стали
- 15 Мухамбетгалиев Е.К. Теоретические и технологические основы получения алюмосиликомарганца из высококремнистой марганцевой руды и высокозольных углей: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02. - Челябинск, 2017. - 187 с.
- 16 Нурумгалиев А.Х. Развитие научных основ и разработка технологии выплавки комплексных ферросплавов [Текст]: дис. докт. техн. наук: 05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.
- 17 Чекимбаев А.Ф. Совершенствование технологии выплавки

ферросиликоалюминия с применением новых видов углистого сырья [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

18 О термодинамическом исследовании процессов в многокомпонентных системах Процюк А.П., Карапетьянц М. Х.

19 Изучение причин рассыпаемости ферросилиция Поволоцкий В.Д., Комиссарова Т.А., Минаев В.М.

20 Тылькина М.А. Е.М. Савицкий Диаграмма состояния – основа разработки сплавов и технологических процессов

21 World Steel Association, БҮҰ. <https://worldsteel.org/> 09.03.2022 ж..

22 Мухамбетгалиев Е.К. Байсанов С.О. Роцин В.Е. Ахметов К.Т. Перспективы производства алюмосиликомарганца из сырья Казахстана Вестник Карагандинского государственного индустриального университета, №1 (28)

2020, стр. 20-27 Шульте Ю. А. Неметаллические включения в электростали. М., 1964. - 207 с.

23 Шульте Ю. А. Неметаллические включения в электростали. М., 1964. - 207 с.

24 Яскевич А. А. Производство стали. Москва., 1956. - Т. 35. - С. 271-282.

25 Еднерал Ф. П., Кутуев И. Х., Колесникова Р. И. // Сталь. 1960. - № 5.- С. 428-433.

26 Самарин А. М. Физико-химические основы раскисления стали. АН СССР. М., 1956. - 162с.

27 Форыст Ю.Т., Мчедлишвили В.А., Самарин А.М. Влияние раскисления комплексным сплавом марганца, кремния и алюминия на содержание и состав оксидных включений в стали. Тр. ИМЕТ АН ГССР, Тбилиси, 1960. - № 5, С. 22-35.

28 Koch W., Wentrup H., Reif O. Die chemischen und physikalischen Grundlagen der Desoxydation mit Mangan, Silizium und Aluminium // Arch. Eisenhiittenwesen. Jahrg. 22. Heft, 1951.

29 Голубев С. Н. Производство стали. М., 1956. - Т. 35. - С. 298-309.

30 Кейс Н. В., Комиссаров А. И. // Сталь. 1966. - № 7. - С. 625.

31 Еднерал Ф. П., Калинина З. М. Интенсификация восстановительного периода плавки конструкционной стали в дуговой печи // Известия вузов. Черная металлургия. 1958. - № 2. - С. 48-63.

32 Еднерал Ф.П. Интенсификация процесса плавки малоуглеродистой конструкционной стали на шихте из легированных отходов // Известия вузов. Черная металлургия. 1959. - №1. - С. 59-70.

33 Madi M., Skala I. // Freiburger Forschungshefte, 1956. - Т. 35, - С. 298-309.

34 Поволоцкий Д.Я. Теория и практика интенсификации процессов в конвертерах и мартеновских печах. М., 1965.- 552 с.

35 Казачков И.П. Металлургия и коксохимия. Киев, 1966. - Т.3. - С. 38-43.

36 Камалов П.Г., Гохман Е.В. Ферросплавная промышленность капиталистических стран (технико-экономический обзор). М., Черметинформация, 1968. - С.13-17.

- 37 «Экспресс-информация Центрального научно-исслед. Института информации и технико-экономических исследований черной металлургии», 1974, Т. 5, - №.4. - С.13-15.
- 38 Фридман А. Г. Нормы и содержание цветных металлов в силикомарганце, выплавляемом в США// Бюл. ЦНИИЧМ. 1962. - № 23. - С. 52.
- 39 Koizumi, Hideo, Yamaguchi, Arata, Doi, Terunobu, Noma, Fumio Fundamental development of iron ore briquetting technology Tetsu-To-Hagane/Journal of the Iron and Steel Institute of Japan, 1988. - Т.74, - №6, pp. 962-969. (DOI: 10.2355/tetsutohagane1955.74.6_962)
- 40 Сухоруков А.И., Соседко П.М., Хитрик С.И. Выплавка товарного силикомарганца на брикетах и агломерате // Сталь. 1970. - № 2. - С. 135.
- 41 Способ производства офлюсованных брикетов для получения комплексных сплавов. Патент KZ № 564348 30.05.1975/ Хвичия А.Т., Капанадзе З.П., Ломсадзе Г.И., Гиоргобиани Т.А., Папава Г.К.
- 42 Хвичия А.П., Мазмишвили С.М. Выплавка силикомарганца из рудных брикетов в печи мощностью 16,5 МВА // Сталь 1970. - №2. - 138 с.
- 43 Равич Б.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. Москва: Металлургия, 1975. - 231 с.
- 44 Майсурадзе Г.Д. Разработка технологии получения и применения сплава силикомарганец-алюминий и его попутного шлака в производстве стали. Автреф. дисс. на соиск. учен.степ. канд.техн. наук. Тб., 1984, 21 с.
- 45 Чубинидзе Т.А., Маргиев Б.Г., Оклей А.Л., Цкитишвили Ю.А. Лабораторные исследования ввода в силикомарганец алюминия при одновременном довосстановлении попутного шлака. Реф. сб. «Марганец», Тбилиси, 1984, No 1(91) с. 11-13.
- 46 Чубинидзе Т.А., Кашакашвили Г.В., Джапаридзе С.Г., Джапаридзе С.Г., Майсурадзе Г.Д., Сулава Д.А. Разработка технологии получения сплава силикомарганец-алюминий с использованием в шихте термообработанного Ткибульского угля и шлака производства вторичного алюминия. Реф. сб. «Марганец» Тбилиси, 1984, No 1 (91) с. 17-20.
- 47 Пурцеладзе Х.Г. // Металлургия марганца: Тезисы докладов Всесоюзного совещания. М., 1975, С. 41-44
- 48 Якушев А.М., Кудрин В.А., Михайлов Э.Н // Сталь, 1970, №10. - С. 906
- 49 Михайлов Э.Н., Якушев А.М., Кудрин В.А. // Производство стали в сталеном литье. 1971, №61. – с. 122-125.
- 50 Казачков И.П. // Металлургия и коксохимия. Киев. 1969. - С. 92-96
- 51 Tolymbekov, M.Z., Akhmetov, A.B., Baisanov, S.O., Ogurtsov, E.A., Zhiembaeva, D.M. Production and use of complex ferroalloys in metallurgy // Steel in Translation. - 2009. - Т. 39, №5. - P. 416-419. (DOI: 10.3103/S0967091209050131)
- 52 Salina, V., Baisanov, S., Riabchikov, I., Alekseenko, A., Reznitskiy, I. Technology of production of new complex ferroalloy based on manganese for non-furnace treatment of steel// METAL 2013 - 22nd International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, 2013. - P. 229-233.

- 53 Baisanov, A., Kopabaev, A., Baisanov, S., Tolymbekov, M., Dzhundibaev, M. Theoretical and practical aspects of smelting new complex alloy - Alumosilicomanganese with calcium// Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferroalloys Congress: Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020. P. 775-780.
- 54 Mukhambetgaliyev, Ye., Baysanov, S., Baysanov, A., Yugay, N., Zhiembaeva, D., Tolokonnikova, V. Evaluation of physical and chemical properties of charge materials from the point of possibility of receiving the alloy of alumosilicomanganese // Proceedings of INFACON XIII - 13th International Ferroalloys Congress: Efficient Technologies in Ferroalloy Industry, 2020. P. 317-323.
- 55 Mukhambetgaliev, E.K., Esenzhulov, A.B., Roshchin, V.E. Production of complex alloy from high-silicon manganese ore and high-ash coals of Kazakhstan // Izvestiya Ferrous Metallurgy. - 2018. Т. 61, №9. - P. 695-701. (DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-695-701)
- 56 Mukhambetgaliev, E.K., Roshchin, V.E., Baisanov, S.O. Analytical expressions for Fe – Si – Al – Mn metal system and phase composition of alumosilicomanganese //Izvestiya Ferrous Metallurgy. – 2018. Т. 61, № 7. - P. 564-571. (DOI: 10.17073/0368-0797-2018-7-564-571)
- 57 Mukhambetgaliev, E.K., Baisanov, S.O., Baisanov, A.S. Improving the process of making alumosilicomanganese // Russian Metallurgy (Metally). – 2013, №11.- P. 816-819. (DOI: 10.1134/S0036029513110098)
- 58 «Сплав «Алюмосиликомарганец» Патент KZ №26607 25.12.2012// Набиев М.А., Байсанов С.О., Байсанов А.С., Толымбеков М.Ж., Мухамбетгалиев Е.К.
- 59 Dr Ph. Eng. G. Jandieri, Dr Ph. Eng. D.Sakhvadze Выплавка алюмосиликомарганца из техногенных и вторичных ресурсов горнометаллургической промышленности Грузии // Scientific proceedings X international Congress «Machines, technologies, materials», 2013. - №1-Р.107-110.
- 60 Ярцев К.Н. Вопросы экономики производства марганцевых электроферросплавов. Киев, «Высшая школа», 1976
- 61 Мухамбетгалиев Е. Нурумгалиев А. Жумагалиев Е. Применение комплексных сплавов для раскисления спокойных марок сталей Промышленность Казахстана №3 (107) 2019, стр. 80-82
- 62 Отчет Комитета индустриального развития и промышленной безопасности Министерства по инвестициям и развитию РК, Нур-Султан, 2020 г.)
- 63 Информационная агентства «LS Aqparat» Режим доступа: <https://lsm.kz/> 14.10.2017.
- 64 Комитет по статистике Министерства национальной экономики РК [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.stat.gov.kz>. 14.10.2017.
- 65 Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР, кн. 1 <https://www.geokniga.org/taxonomy/term/38403> 14.10.2017.
- 66 Бассейны и месторождения углей и горючих сланцев Казахстана. Справочник. Алматы, 2019. – 161 с.
- 67 Б.А. Святов, М.Ж. Толымбеков, С.О. Байсанов. Становление и развитие марганцевой отрасли Казахстана. - Алматы.: Искандер, 2002. - 416с.

- 68 Zhuniskaliyev T., Yersainova A.A., Zhumagaliyev Ye.U. Development of technology for processing of manganese - containing ores with small reserves РФ, г. Стерлитак. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в современных условиях», 2019.- С. 62-65.
- 69 Zhuniskaliyev T.T. Nurumgaliyev, A., Zayakin, O., Mukhambetgaliyev, Y., Kuatbay, Y., Mukhambetkaliyev, A. Investigation and comparison of the softening temperature of manganese ores used for the production of complex ligatures based on Fe-Si-Mn-Al Metallurgija, 59 (4) 2020, pp. 521-524
- 70 Жучков В.И., Гасик М.И., Шешуков О.Ю. Разработка рациональных составов ферросплавов для обработки стали и чугуна. // Сборник докладов Литейного консилиума №2 «Теория и практика металлургических процессов при производстве отливок из чёрных сплавов» - Челябинск: Челябинский Дом печати. 2007. с. 88.
- 71 Prasad A. D., Sankaranarayanan S. R. Thermodynamic modeling of deoxidation products and inclusion chemistry in mn/si killed tire-cord steel. // Mining and metallurgy section B-metallurgy 2012. Vol. 48. No 1. pp. 37 – 43.
- 72 Казачков И.П. // Известия вузов. Черная металлургия. 1971. №1. с. 68-70. №3. с. 52-56.
- 73 Якушев А.М., Кудрин В.А., Михайлов Э.Н. // Сталь.1972.№10. с.906
- 74 Якушев А.М., Михайлов Э.Н., Кудрин В.А. // Современные проблемы качества стали. 1970. В.61. с.122-125.
- 75 Михайлов Э.Н., Якушев А.М., Кудрин В.А. // Производство стали и стального литья. 1971. В. 10. с. 130-136.
- 76 Радугин В.А., Толстогузов Н.В., Филатов В.В. // Совершенствование производства ферросилиция на Кузнецком заводе ферросплавов. РФ, г. Кемерово. 1969. В.2. с. 318-327.
- 77 А.с. 283591 СССР/ В.А. Радугин, Н.В. Толстогузов. Оpubл. В Б.И. 1971. №31
- 78 Хансен М. Андерко К. Структура двойных сплавов. М.: Металлургиздат, 1962. Т. 1, 2. 1988
- 79 Эллиот Р.П. Структура двойных сплавов. М.: Металлургия, 1970. Т. 1 – 456 с.; Т. 2 – 472 с.
- 80 Шанк Ф.А. Структура двойных сплавов. М.: Металлургия, 1973 760 с.
- 81 Кубашевский О. Диаграмма состояния двойных систем на основе железа. Пер. с англ. / Под ред. Л.А. Петровой. М.: Металлургия, 1985. 184 с.
- 82 Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Справочник / О.А. Банных, П.Б. Будберг, С.П. Алисова и др. М.: Металлургия, 1986. 440 с.
- 83 Kushar L., Repiska L., Lomrova L. et. al. // Sb. Vedekych Praci Vysoke Skoly Banske. Ostrava. 1980. V. 26. P. 119-136.
- 84 Kuster M. // Trans. Iron Steel Inst. Jap. 1974. V. 14. N 6. P. 387-394.
- 85 Гладышевский Е.М. Кристаллохимия силицидов и германидов. М.: Металлургия, 1971. 296 с.
- 86 Диаграммы состояния двойных металлических систем / под общей

- редакцией Лякишева; т.1, - М.: Машиностроение, 1996. - 996 с.
- 87 Massalski T.B. Binary Alloy Phase Diagrams. American Society for Metals. Metals Park. Ohio. 1986. 1987. V. 1, 2. 2224 p. Первое издание
- 88 Massalski T.B. Binary Alloy Phase Diagrams. American Society for Metals. Metals Park. Ohio. 1986. 1987. V. 1, 2. 2224 p. Второе издание
- 89 Pearson W.B. Handbook of Lattice Spacings and Structures of Metals and Alloys. Oxford-London-Edinburgh-New York-Toronto-Sydney-Paris-Braunschweig. Pergamon Press. 1967. 1448 p.
- 90 Villars P., Calvert L.D. Pearson's Handbook of Crystallographic Data for Intermetallic Phases. Ohio: Metals Park, 1985. V. 1, 2, 3. 3258 p. Первое издание
- 91 Villars P., Calvert L.D. Pearson's Handbook of Crystallographic Data for Intermetallic Phases. Ohio: Metals Park, 1985. V. 1, 2, 3. 3258 p. Второе издание
- 92 Bull. Alloy Phase Diagrams. 1986. V. 7. N 6. P. 601-602.
- 93 Bull. Alloy Phase Diagrams. 1989. V. 10. N 1. P. 11-12.
- 94 HSC Chemistry бағдарламалық кешені. Outokumpo (Финляндия)
- 95 Абрикосов Н.Х. // Изв. сектора физ.-хим. Анализа ИОНХ АН СССР. М. 1956. Т.27. с.157.
- 96 Гельд П.В., Сидоренко Ф.А., Шумилов М.А. // Физика металлов и металловедение. Т. 1X., В. 6. 1960.
- 97 Курнаков Н.С., Уразов Г.Г. Ядовите свойства продажных сортов ферросилиция. Спб. 1914.
- 98 А. Г. Рябухин, О.Н. Груба Энтальпия образования силицидов 3d-элементов периодической системы Д. И. Менделеева <http://dspace.susu.ru/bitstream/handle/0001.74/240/12.pdf>.
- 99 Моисеев Г.К., Ильиных Н.И. Куликова Т.В. Оценка термодинамических фаз и метастабильных кластеров LiAl_n ($n=1\div 4, 6$ и 8) в системе Al-Li. Изв. Челябинского научного центра. 2005. Вып.3 (29). С.1-4
- 100 Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов Учебник для вузов. — М.: Металлургия, 1988. — 784 с.
- 101 Gokhale A.B.M Abbaschian R, // Bull. Alloy Phase Diagrams. 1990. V. U. N 5. P. 468-480.
- 102 Okamoto H. // J. Phase Equilibria. 1991. V. 12. N 4. P. 505-507.
- 103 Зайцев А.Н., Земченко М.А., Могутнов В.М. // Изв АН СССР. Металлы. 1990. Т.1. С. 207-212.
- 104 Okamoto H. // J. Phase Equilibria. 1991. V. 12. N 4. P. 505-507.
- 105 Kono H.// 1. Phys. Soc. Japan. 1958. V. 13. N 12. P. 1444-1451.
- 106 Koster W., Wachtel E.// Z. Metallkunde. 1960. Bd. 51. S. 271-280.
- 107 Taylor M.A.// Acta Metall. 1960. V. 8. P. 256-262.
- 108 Koch A.J., Hokkeling P., Steeg M.G., Devos K.J.// J. Appl. Phys. 1960. V. 31. N 5. P. 75S-77S.
- 109 Godeske T., Koster W.// Z. Metallkunde. 1971. Bd. 62. N 10. S. 727-732.
- 110 Murray J.L., McAlister A.J., Schaefer R.J. et al.// Metall. Trans. A. 1987. V. 18. P. 385-392.
- 111 Дриц М.Е., Каданер Э.С., Падежнова Е.М., Бочвар Н.Р. /f Журнал неоргани-

- ческой химии. 1964. т. 9. № 6. С. 1397-1402.
- 112 Kotio A., Stevens E.D., Coppens P. // Acta Crystallogr. 1980. V. 36. P. 435-436.
- 113 Dew-Hughes Calphad. 1979. V. 3. P. 175-203.
- 114 Kaufman L. // Calphad. 1978. V. 2. N 2. P. 117-146.
- 115 Процюк А.П., Карапетьянц М.Х. О термодинамическом исследовании процессов в многокомпонентных системах // Журнал прикладной химии. - 1977. - Т. 50. № 1. - С. 169-175
- 116 Макаев Т.С. Исследование и разработка технологии выплавки ферросиликоалюминия из сырья Куу-Чекинского уольного месторождения: дис. PhD 6D070900 «Металлургия» Караганда, 2020
- 117 Issagulov A.Z., Chekimbayev A.F., Макаев T.S., Babenko A.A. Studing the Fe-Al-Si system in relation to ferrosilicon-aluminum alloy crystallization. Metalurgija. - ISSN 0543-5846, МЕТАВК 59(1) (2020).
- 118 Чекимбаев А.Ф., Макаев Т.С., Бабенко А.А. Исследование рассыпания сплава ферросиликоалюминий. Материалы межд. науч.-практ. конф. «Инновации в области естественных наук как основа экспортоориентированной индустриализации Казахстана». Алматы. 2019 г. С. 324-327.
- 119 Zi-Kui Liu and Y. Austin Chang // Thermodynamic Assessment of the Al- Fe-Si System: Metall. Trans. A, 1999, vol. 30A, P. 1081-95.
- 120 Такенов Т.Д., Балакирев В.Ф. Фазовая траектория процесса при восстановлении металлов из сложных оксидных систем // Вестник АН Каз ССР. 1987. №10 с. 58-61
- 121 Белов Г.В., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2013. 96 с.
- 122 Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных системах. М.: Metallurgia. 1994. 316с.
- 123 Пупышев А.А. Термодинамическое моделирование термохимических процессов. Екатеринбург, УГТУ. 2007. 67с.
- 124 Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. изд.: В 4 т. / Л.В. Гурвич, И.В. Вейц, В.А. Медведев и др. - 3-е изд. - М.: Наука, 1978-1982.
- 125 Chase M. W., Jr., NIST-JANAF Thermochemical Tables. - Forth Ed. //
- 126 Моисеев Г.К., Вяткин Г.П., Барбин Н.М. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействий с участием ионных расплавов. Челябинск.: Изд-во ЮУрГУ. 2002. 166с.
- 127 Roine A. Outokumpo HSC Chemistry for Windows. Chemical Reaction and Equilibrium lift ware with Extensive Thermo chemical Database. Pori: Outokumpu Research OY, 2002
- 128 Antti Roine, Jarkko-Mansikka-aho, TuukkaKotiranta, Peter Bjorklund, PerttiLamberg. HSCChemistry 6.0 User'sGuide. OutotecResearch Oy. 2006.
- 129 Шевко В.М., Сержанов Г.М., Каратаева Г.Е., Аманов Д.Д. Расчет равновесного распределения элементов применительно к программному комплексу HSC-5.1. Программа для ЭВМ. Свидетельство на объект, охраняемый авторским правом РК №1501 от 29 января 2019г.
- 130 Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в

- химической промышленности: учеб. пособ. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1985. 327 с.
- 131 Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов, инженеров и конструкторов. СПб: БХВ-Петербург, 2009. 512 с. Уйдут в подстачн сноски, т.к. это пособия
- 132 ГОСТ 4756-91. Ферросиликомарганец. М.: Стандартиформ, 2011
- 133 М.И. Гасик. Марганец. Металлургия, Москва, 1992 pp. 198-221 and 608.
- 134 Нурумғалиев А.Х., Байсанов А.С., Қуатбай Е.Қ., Жүнісқалиев Т.Т. Дифференциально-термический анализ шихтовых материалов для выплавки комплексных ферросплавов Материалы Международной научно-практической конференции «Инновации в области естественных наук как основа экспорт ориентированной индустриализации Казахстана», посвященной 10-летию Казахской национальной академии естественных наук и 25-летию Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан, - Алматы. РК: РГП «НЦ КПМС РК». 2019, стр. 315-319.
- 135 М.И. Попова. Фазовый анализ руд черных металлов. Справочник. Недра, Москва, 1991, pp. 75-88 and 112.
- 136 А.К. Жунусов, Л.Б. Толымбекова. Металлургическая переработка марганцевых руд месторождения «Тур» и «Западный Камыс». Кереку, Павлодар, 2016, 209 с.
- 137 А.В. Петров, В.В. Черевик, Л.Ф. Самборская, Н.В. Воскеричан. Исследование фазовых превращений при нагреве марганцевых концентратов. (1975) Известие вузов. Черная металлургия, №9 22-26 с.
- 138 Y. Zhang, Y. Zhang, Z. You, Y. Zhao, G. Li, T. Jiang. Study on the metallurgical performances of typical manganese ores. (2014) TMS Annual Meeting, pp. 345-352.
- 139 V.M. Katunin, Yu. M. Bogutskii, T.G. Gabdullin, I.V. Liskovich. Low-phosphorus manganese concentrates from the Ushkatyn-III deposit for the production of ferroalloys (Article) (1989) Metallurgist Vol. 32, pp. 354-356.
- 140 В.И. Жучков, А.В. Жданов, О.В. Заякин. Исследование температур размягчения марганцевого сырья. (2006) Расплавы №3, 29-32 с.
- 141 Sisoyan G. A. Electric arc in electric furnace. – Moscow: Metallurgy, 1974. - 304 p
- 142 Toporets S.A. Influence of the mineralogical composition of mineral impurities on electrical conductivity of coal // The Proceedings of the USSR Academy of Sciences. – 122 (1958) 2, 21-23
- 143 Zhuchkov V. I., Leont'Ev L. I., Zayakin O. V. Application of russian ore raw materials to ferroalloys production, Izvestiya Ferrous Metallurgy 63 (2020) 3-4, 211 – 217.
- 144 Zhuchkov V. I., Leontiev L. I., Zayakin O. V., Dashevsky V. Y. The problems of application of domestic ore raw materials in the production of ferroalloys, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 15th International Conference on Industrial Manufacturing and Metallurgy 966 (2020)1, 012038.
- 145 Zhuchkov V. I., Rosenberg V. L., Yolkin K. S., Zelberg B. I. Energy parameters and designs of ore-reduction electric furnaces. Chelyabinsk: Metal. 1994. 192 p.

- 146 Zhuchkov V. I., Mikulinsky A. S. Procedure of determining of the electrical resistance of bulk materials and charges // Experimental technique and methods of high-temperature measurements. Moscow: Science. 1966, 43-46.
- 147 Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельчённого металлургического сырья Монография. — Мариуполь, ПГТУ, 2010. — 442 с.
- 148 Корчевский А.Н. и др. Окускование минерального сырья и продуктов его переработки Донецк : ДОННТУ, 2019. — 338 с.
- 149 Махамбетов Е.Н., Байсанов А.С., Никурашина Е.В. и др. Отработка режимов брикетирования техногенных отходов угольной и металлургической промышленности // Материалы междунар. научно-практ. конф. «Новые технологи металлургической переработке минерального сырья». - Караганда, 2018. - С. 110-113.
- 150 Абдуллабеков Е.Э, Каскин К.К., Нурумгалиев А.Х. Технологические расчеты по производству ферросплавов М., «Металлургия», 2014. 224 с.
- 151 Еднерал Ф.П. Расчеты по электротермии стали и ферросплавов / Ф.П. Еднерал, А.Ф. Филиппов – М.: Металлургиздат, 1956 – 189 с.
- 152 Zhuniskaiyev T.T., Nurumgaliyev, A., Zayakin, O., Mukhambetgaliyev, Y., Kuatbay, Y., Mukhambetkaliyev, A. Investigation and comparison of the softening temperature of manganese ores used for the production of complex ligatures based on Fe-Si-Mn-Al Metalurgija, 59 (4) 2020, pp. 521-524
- 153 Совершенствование цехов и оборудования ферро-сплавного производства. – М: Металлургия, 1997. – 470 с.
- 154 Поволоцкий Д.Я., Роцин В.Е., Рысс М.А. и др. Электрометаллургия стали и ферросплавов. – М.: Металлургия, 1984. – 568 с. Шевченко В.Ф.
- 155 Mukhambetgaliyev, Y., Zhuniskaiyev T.T., Baisanov, S. Research of electrical resistance and beginning softening temperature of high-ash coals for melting of complex alloy Metalurgija, 60 (3-4) 2021, pp. 332-334
- 156 Мухамбетгалиев Е.К., Жүнісқалиев Т.Т., Шаркаев С.Н. Перспективы производства комплексного ферросплава Fe-Si-Al-Mn-Ca Қазақстан Республикасы тәуелсіздігінің 30 жылдығына арналған «Инновациялық технологиялар және инженерия» ХІ халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының жинағы, - Теміртау. ҚР: ҚарИУ. 2021, стр. 84-87
- 157 Манько В.А., Емлин Б. И., Друинский М.И. и др. // Восстановительные процессы в производстве ферросплавов. - 1977. - С. 219-222.
- 158 Манько В.А., Емлин Б. И., Друинский М.И. и др. // Технический прогресс электрометаллургии марганцевых и кремнистых ферросплавов. Днепропетровск, 1975. - С. 85-88.
- 159 Манько В.А., Емлин Б. И., Друинский М.И. и др. Пути совершенствования технологии выплавки ферросплавов в мощных закрытых электропечах: тезисы докладов и сообщений на Всесоюзной конференции. -М., 1974. - С. 100-102.
- 160 Технологическая инструкция ТИ-СК-01-2014 Выплавка стали в кислородных конвертерах АО «АрселорМиттал Темиртау»

ҚОСЫМША А

Мақсатты патенттік іздеу нәтижесі

№	Атауы	Патент №	Жарияланған уақыты	Автор (-лары)	Ақпараттық базаның атауы
1	Способ производства офлюсованных брикетов для получения комплексных сплавов	564348	30.05.1975	Гиоргобиани Т.А., Капанадзе З.П., Ломсадзе Г.И., Папава Г.К., Хвичия А.Т.	КСРО патенттер базасы www.patents.su
2	Способ получения лигатуры алюминий-кремний-марганец в алюминиевом электролизере	1068546	23.01.1984	Волков, Демидов-Полякман, Койнов, Костылев, Сенин, Сергин, Степанов	КСРО патенттер базасы www.patents.su
3	Экзотермический брикет для прямого легирования стали марганцем	1079682	15.03.1984	Нохрина О.И., Толстогузов Н.В.	РФ патенттер базасы www.patentdb.ru
4	СПЛАВ ДЛЯ ЛЕГИРОВАНИЯ И РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ	1068526	23.01.1984	О.В.Курнушко, В.М.Ермолов, Б.А.Шушлебин, А.О.Каблуковский, В.А.Іаdàèàіèі, 10.М.Чупахин, Л.И.Шапошник, В.Т.Зубанов, В.И.Гоношенко, В.С.Харахулак, Ю.М.Рыхов и О.В.Носоченко	РФ патенттер базасы www.patentdb.ru
5	Способ получения сплава алюминий-марганец-кремний	1164299	30.06.1985	Габдуллин Т.Г., Гаврилюк С.Ф., Мухин Ю.И., Нурумгалиев А.Х., Такенов Т.Д., Чехлинский Л.Г.	РФ патенттер базасы www.patentdb.ru
6	Способ получения комплексного сплава	1328398	07.08.1987	Габдулин, Гаврилюк, Парфенов, Такенов, Чеклинский	КСРО патенттер базасы www.patents.su
7	Шихта для получения комплексного сплава на основе кремния, марганца, алюминия	4875066	16.10.1990	Бучукури, Гогичаишвили, Звиададзе, Микадзе, Таругашвили	КСРО патенттер базасы www.patents.su
8	Сплав для легирования и раскисления стали	4841262	21.06.1990	Звиададзе Г.Н., Кашакашвили Г.В., Микадзе О.Ш., Гвамберия Н.О., Гогичаишвили Б. Г., Шатиришвили Т.А., Таругашвили А.С.,	КСРО патенттер базасы www.patents.su

				Бучукури Т.И.	
9	Шихта для получения сплава силикомарганца с алюминием	4303230	21.07.1987	Звиададзе Г.Н., Таругашвили А.С., Циргвава Ю.И., Кердзевадзе Б. Х., Ломтатидзе Г.А., Микадзе О.Ш., Лабадзе Р.Д.	КСРО патенттер базасы www.patents.su
10	Шихта для выплавки сплавов на основе марганца	1786169	07.01.1993	Бучукури, Гогичаишвили, Звиададзе, Микадзе, Таругашвили	КСРО патенттер базасы www.patents.su
11	Способ раскисления низкоуглеродистой полуспокойной стали	71	10.12.1993	Бурдонов Борис Александрович, Гуревич Геннадий Аркадьевич, Кутергин Николай Германович, Богомяков Владимир Иванович, Цымбал Виктор Павлович	Қазақстан патенттерінің базасы www.kzpatents.com
12	Сплав для легирования	1607	15.12.1994	Лукин Сергей Викторович, Донской Семен Аронович, Мухин Юрий Игнатович, Кислицын Владимир Федорович, Филиппенков Анатолий Анатольевич, Матвиенко Валерий Александрович	Қазақстан патенттерінің базасы www.kzpatents.com
13	Способ раскисления низкоуглеродистой стали	2887	15.12.1995	Богомяков Владимир Иванович, Цымбал Виктор Павлович, Ниденс Андрей Артурович, Самсонов Владимир Михайлович, Герман Виктор Иванович, Куликов Виктор Иванович, Бурдонов Борис Александрович	Қазақстан патенттерінің базасы www.kzpatents.com
14	Смесь для раскисления и легирования стали	3228	15.03.1996	Пономаренко Александр Георгиевич, Наконечный Анатолий Яковлевич, Толымбеков Манат Жаксыбергенович, Умаров Куанышбай Умарович, Ахметов Абулхасим Балхиевич, Байсанов Сайлау Омарович	Қазақстан патенттерінің базасы www.kzpatents.com
15	Шихта для выплавки алюмосиликомарганца в руднотермической печи	25108	15.12.2011	Чекимбаев А.Ф., Толымбеков М. Ж., Мухамбетгалиев Е.К., Байсанов С.О., Есенжулов А.Б., Байсанов А.С.	Қазақстан патенттерінің базасы www.kzpatents.com
16	Сплав «Алюмосиликомарганец»	26607	25.12.2012	Набиев М.А., Байсанов С.О., Байсанов А.С., Толымбеков М.Ж.,	Қазақстан патенттерінің базасы

				Мухамбетғалиев Е.К.	www.kzpatents.com
17	Шихта для выплавки сплава ферроалюмосиликомарганец	27228	15.08.2013	Абғужинов А.Т., Рябиков В.Е., Нуриманов М.А., Чекимбаев А.Ф.	Қазақстан патенттерінің базасы www.kzpatents.com

ҚОСЫМША Ә

Зертханалық сынақтар жүргізу туралы АКТ



АКТ

о проведении лабораторных испытаний технологии получения сплава на основе Fe-Si-Mn-Al и новой лабораторной рудно-термической печи мощностью до 150 кВ*А в режиме нагрузки

Мы, нижеподписавшие сотрудники кафедры «Металлургия и материаловедение» и докторанты 3 курса ОП 6D070900 – «Металлургия», составили настоящий акт в период с 10.03.21г. по 12.03.21 г. проведены лабораторные испытания по выплавке сплава на основе Fe-Si-Mn-Al с использованием высокозольных углей разрезов «Жамантуз» и «Сарыадыр», марганцевой руды месторождения «Есымжал» и «Богач», а также брикета из отсевов марганцевой руды и кокса. Испытания проводились в лабораторном корпусе «Б» НАО «Карагандинский индустриальный университет» в рудно-термической печи мощностью до 150 кВА специально разработанной для решения поставленной задачи.

Цель испытаний :

- апробация технологии выплавки комплексного сплава на основе: Fe-Si-Mn-Al в лабораторной рудно-термической печи;
- проверка и испытания в режиме нагрузки плавильного агрегата и электрической цепи рудно-термической печи мощностью до 150 кВА.

В качестве шихтовых материалов использовались высокозольные угли, марганецсодержащие руды, кварцит и брикетированная моношихта. Кварцит использовался в шихтовой смеси для корректировки химического состава и нейтрализации остаточного углерода. Химический состав и результаты технического анализа представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1, - Технический состав шихтовых материалов

Материал	A ^c	V ^r	W ^r	C ^{тв}
Уголь «Жамантуз»	52,405	3,940	1,250	42,405
Уголь «Сарыадыр»	50,04	19,28	1,98	31,86
Брикетированная моношихта	63,01	14,94	5,58	16,47

Таблица 2 – Химический состав шихтовых материалов

Материал	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S	ппп
Уголь «Жамантуз»	1,02	67,05	17,5		5,01	8,49	0,79			0,09	0,05	
Уголь «Сарыадыр»	5,58	65,59	23,49		1,79	3,46				0,09		
Mn руда месторождения «Есымжал»	3,29	9,27	0,82	46,48	17,2	0,71				0,01	0,01	22,21
Mn руда месторождения «Богач»	5,72	6,27	0,72	49,94	15,05	0,83				0,02	0,01	21,44
Брикетированная моношихта	6,41	18,9	1,96	53,71	16,53	1,02	0,02	0,02	1,34	0,04	0,05	
Кварцит	0,52	95,57			0,24	0,12					0,01	3,54

Для решения поставленной задачи испытания условно разделены на три этапа:

1 этап - выплавка комплексного сплава на основе: Fe-Si-Mn-Al с использованием высокозольного угля разреза «Жамантуз» и марганцевой руды месторождения «Есымжал»;

2 этап - выплавка комплексного сплава на основе: Fe-Si-Mn-Al с использованием высокозольного угля разреза «Сарыадыр» и марганцевой руды месторождения «Богач»;

3 этап - выплавка комплексного сплава на основе: Fe-Si-Mn-Al с использованием высокозольного угля разреза «Сарыадыр» и брикетированной моношихты.

Плавка велась непрерывным способом с загрузкой шихты небольшими порциями по мере усадки колошника и с периодическим выпуском сплава через каждые 2 часа в чугунные изложницы. Шихта загружалась вокруг электрода с поддержанием колошника в виде конуса. Корректировка шихты проводилась во время перехода на следующий этап плавки.

В целом во всех 3-х этапах плавки характеризовался стабильный ход печи, активный выход металла. Плавка велась при напряжении 27,4 В, при токовой нагрузке 100-150 А. Извлечение ведущих элементов составил (в % по массе): Si – 75-85, Al – 60-70 и Mn – 80-87. Металл каждого выпуска взвешивался, после чего отбирались пробы для определения химического состава. Средневзвешенный химический состав основных элементов каждого этапа приведен в таблице 3.

Таблица 3 - Химический состав комплексной лигатуры группы Fe-Si-Mn-Al, %

Этап	Химический состав, %			
	Fe	Si	Mn	Al
I	12,95	30,23	50,42	3,73
II	18,03	48,87	26,57	3,54
III	16,25	37,98	40,48	2,78

Таким образом, проведенные опытные испытания свидетельствуют о принципиальной возможности выплавки комплексных сплавов на основе: Fe-Si-Mn-Al с использованием выше приведенных шихтовых материалов.

По результатам опытных испытаний на новой разработанной рудно-термической печи мощностью до 150 кВА. установлено стехиометрический и коэффициент избытка углерода с использованием марганцевой руды Кизб. – 1.0, а при применении брикетированной моношихты Кизб. – 1,2.

Плавильный агрегат, электрическая цепь от трансформатора до электрода выдерживает нагрузку при выплавке комплексных сплавов и работает в стабильном режиме, что показало датчики приборов амперметра и вольтметра.

Рекомендовано для отработки технологии выплавки комплексных сплавов на основе: Fe-Si-Mn-Al с целью совершенствования технологических показателей провести сравнительные крупно-лабораторные испытания на печи мощностью 200-250 кВА с применением высокочерных углей разреза «Сарыадыр», марганцевой руды и брикетированной моношихты.

Зав. кафедрой «МиМ», PhD



А.С. Ержанов

Научный руководитель,
д.т.н., профессор



А.Х. Нурумгалиев

Докторант III курса,
магистр технических наук



Т.Т. Жүнісқалиев

Докторант III курса,
магистр технических наук




Е.Қ. Қуатбай

Докторант III курса,
магистр технических наук



Е. Мухаметхан

Ведущий инженер кафедры «МиМ»




Ж.З. Ахылбеков

ҚОСЫМША Б

Ірі зертханалық сынақтар жүргізу туралы Акт

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор филиала
РГП «НЦ КТМС РК»
Химико-металлургический
институт им. Ж. Абишева
С. Байсанов
2021 г.



АКТ
о проведении крупно-лабораторных испытаний по выплавке
комплексной лигатуры Fe-Si-Mn-Al в рудно-термической печи
мощностью трансформатора 0,2 МВА

Мы, сотрудники лаборатории «Металлургические расплавы», составили настоящий акт, подтверждающий, что в период с 14 по 18 июня 2021 г. были проведены крупно-лабораторные испытания по выплавке комплексной лигатуры Fe-Si-Mn-Al с использованием высокозольных углей разреза «Сарыадыр», марганцевой руды месторождения «Богач», брикетов на основе отсевов марганцевой руды и кокса, а также кварцита на техническом участке Химико-металлургического института им. Ж. Абишева в руднотермической электропечи с мощностью трансформатора 0,2 МВА.

Испытания проводились в рамках грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2020-2022 годы: AP08052301 – «Разработка технологии производства качественного стального литья путем её обработки и рафинирования от неметаллических включений сплавом из высокоактивных элементов Al-Mn-Ca-Si».

Цель проведения испытания:

1. Metallurgical evaluation and clarification of the possibility of obtaining from the presented initial sinter materials complex alloy Fe-Si-Mn-Al ;
2. Refinement of technological regimes of the process of casting complex alloy Fe-Si-Mn-Al.

Results of chemical analysis and technical compositions of initial sinter materials are presented in tables 1 and 2.

Таблица 1 - Технический состав шихтовых материалов

Материал	A ^c	V ^r	W ^r	C _{тв}
Уголь «Сарыадыр»	52,405	3,940	1,250	42,405
Брикет	63,01	14,94	5,58	16,47

Technology of casting is based on simultaneous restoration of iron, silicon, manganese and aluminum with carbon. Rudno-thermic furnace with 0,2 MVA transformer power was switched on at 14.06.2021 at 23.00.

Heating of the electric furnace was carried out in 12 hours on coke bed on 1 and 2 stages of voltage 18,4÷24,5 V and current strength from low side 800-1000 A. At the end of the heating period the bottom of the electric furnace was completely cleaned from coke and ash.

Sinter mixture was loaded around the electrode with gradual filling of the ladle. Loading of the main sinter started at 11:00 15.06.2021. Electrical parameters of the melt were characterized by the following indicators: nominal secondary voltage – 24,5 V, current strength on the low side – from 1800 to 2400 A. Casting velocity

непрерывным способом, с периодическим выпуском металла через каждые 2 часа в чугунные изложницы. Открытие летки осуществлялось железным прутом. Металл каждого выпуска взвешивали, после чего отбирали пробы на химический анализ.

Таблица 2 – Химический состав шихтовых материалов

Материал	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S	ппп
Уголь «Сарыадыр»	5,79	66,36	20,7	–	2,64	3,46	1,01	–	–	0,035	0,005	–
Mn руда месторождения «Богач»	3,29	9,27	0,82	46,48	17,2	0,71	–	–	–	0,007	0,013	22,21
Брикет	16,032	23,488	6,71	42,26	10,13	0,45	0,025	0,04	0,73	0,05	0,085	–
Кварцит	0,53	95,57	–	–	0,24	0,12	–	–	–	–	0,01	3,53

Были использованы два варианта состава шихтовых смесей. Состав шихтовой смеси рассчитан с учетом избытка углерода на 10-15 % от стехиометрии. В первом варианте шихты использованы марганцевая руда месторождения «Богач» фракцией +5 – 40 мм, высокозольный уголь месторождения «Сарыадыр» фракцией +10 – 40 мм и кварцит для нейтрализации остаточного углерода и корректировки состава получаемой лигатуры. Второй вариант шихты с использованием брикетов (формы овала размером 30*60 мм), состоящих из отсевов марганцевой руды и отсевов кокса фракции 0÷1,0 мм, а также высокозольного угля месторождения «Сарыадыр» и кварцита.

Брикеты были изготовлены на техническом участке Химико-металлургического института им. Ж. Абишева из отсевов марганцевой руды месторождения «Богач» (41,82% MnO₂) и кокса фракции 0÷1,0 мм. При изготовлении брикетов в качестве связующих материалов были применены жидкое стекло и микрокремнезём (97,5% SiO₂). Соотношение материалов при шихтовке на получение брикетов составило, % по массе: отсева марганцевой руды 65÷70; отсева кокса 17÷22; жидкое стекло 5÷8 и микрокремнезём 4÷5.

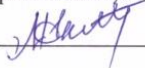
В процессе плавки шихта сходилась самопроизвольно в при электродных зонах. Газопроницаемость столба шихты была стабильной, за исключением появления интенсивных газовыделений, при нарушении навески шихтовой смеси. Токовая нагрузка была в пределах 240-280 А.

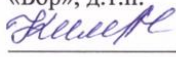
В целом период плавки характеризовался стабильным ходом печи, активным выходом металла. В результате проведенных испытаний получен металл общим весом 93,2 кг. Извлечение ведущих компонентов в состав сплава составило (в % по массе): Fe – 99,30; Si – 69,34; Mn – 82,78 и Al – 30,59. Средний химический состав сплава (в % по массе): Fe – 12,38; Si – 45,01; Mn – 33,65 и Al – 2,86. С использованием брикета в шихте (2 вариант) получен 74,8 кг сплава. Извлечение ведущих компонентов в состав сплава составило (в % по массе): Fe – 99,88; Si – 75,90; Mn – 87,22 и Al – 77,41. Средний химический состав сплава (в % по массе): Fe – 9,8; Si – 52,30; Mn – 24,20 и Al – 6,53.


Таким образом, проведенные испытания в рудно-термической печи мощностью трансформатора 0,2 МВА показали принципиальную возможность получения комплексной лигатуры Fe-Si-Mn-Al. Оба варианта шихтовки показали положительные технико-экономические показатели, отработан технологический режим процесса выплавки лигатуры состава Fe-Si-Mn-Al. Для регулировки химического состава лигатуры в виде добавок в навеску шихты использовали кварцит.

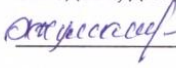
Результаты рентгенофазового анализа полученной лигатуры показали сосуществование таких фаз как Mn₁₁Si₁₉, MnSi, Mn₂Si₃, Fe₃Si₇, Fe₅Al₃Si₇, Mn₃Al₃Si₂ что в свою очередь не противоречат результатам предварительно проведенного

термодинамически-диаграммного анализа и химические составы лигатуры располагаются в областях неподверженных явлению самораспыпания. Полученная лигатура состава Fe-Si-Al-Mn может быть использована при раскислении и легировании спокойных и полуспокойных марок сталей.

Руководитель работы:
Ведущий научный сотрудник
лаборатории «Металлургические
расплавы», к.т.н., доктор PhD
 Е.К. Мухамбетгалиев

Акт приняли:
Главный научный сотрудник лаборатории
«Бор», д.т.н.
 А.С. Ким

Исполнитель:
Младший научный сотрудник
лаборатории «Металлургические
расплавы»,
докторант по специальности 6D070900 –
«Металлургия», магистр технических наук
 Т.Т. Жүнісқалиев

Заведующий лабораторией
«Физико-химия комплексного
использования конденсированных
отходов», д.т.н.
 К.Ж. Жумашев

Подписи: Байсанова С.О.,
Мухамбетгалиева Е.К.,
Жүнісқалиева Т.Т.,
Ким А.С.,
Жумашева К.Ж.

заверяю
Зам. директора по науке
ХМИ им. Ж. Абишева, к.т.н.



Н.Ю. Лу

ҚОСЫМША В
АМТ АҚ алынған мәліметтер



ArcelorMittal

КАРАГАНДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Проректору по НРиМС
А. Айкеевой.

Talgat.zhuniskaliev@mail.ru

Исх. № 05-66
от «20» 05 2019г.

В ответ на Ваше письмо № 12-10/495 от 13.05.19г. года настоящим направляем информацию согласно опросному листу (прилагается).

Начальник технического отдела

И.Ю. Евтушенко

«АрселорМиттал Темиртау» АҚ
Республика даңғылы, 1
101407, Темиртау
Қарағанды облысы,
Қазақстан

АО «АрселорМиттал Темиртау»
пр. Республики, 1
101407, Темиртау
Қарағандинская обл.,
Қазақстан

ArcelorMittal Temirtau JSC
1, Republic ave.,
Temirtau 101407,
Karaganda region,
Kazakhstan

T +7 7213 965600, 969973
F +7 7213 919191
E-mail:
general.mst@arcelormittal.com
arcelormittal.kz

Марка стали	2016	2017	2018	Примечание
Годовой объём производства стали, млн.тн.				
Марка стали #1 (кипящая)	1316885,8 1	491068,90	338321,07	
Марка стали #2 (полуспокойная)	985057,42	1515122,0 2	1154087,19	
Марка стали #3 (спокойная)	655110,88	930802,65	676660,98	
Марка стали..#п (н/легированная)	27990,29	98031,04	43877,77	
Расход раскислителей				
Ферромарганец (с указанием марки)				
Марка стали #1 (кипящая)	2,55	3,57	0,712	
Марка стали #2 (спокойная)	0,37	0,54	0,11	
Марка стали #3 (полуспокойная)	0,33	0,16	0,125	
Марка стали..#п (н/легированная)	0	0,3	0	
Силикомарганец (с указанием марки)				
Марка стали #1 (кипящая)	0,04	0,05	0	
Марка стали #2 (спокойная)	6,55	6,25	1,44	
Марка стали #3 (полуспокойная)	6,25	6,35	2,4	
Марка стали..#п (н/легированная)	0	21,56	0,28	
Ферросилиций (с указанием марки)				
Марка стали #1 (кипящая)	0,01	0,02	0,07	
Марка стали #2 (спокойная)	2,42	2,21	0,614	
Марка стали #3 (полуспокойная)	0,75	0,23	0,186	
Марка стали..#п (н/легированная)	0	5,57	0,076	
Алюминий вторичный (с указанием марки)				
Марка стали #1 (кипящая)	2,48	2,35	0,54	
Марка стали #2 (спокойная)	1,83	1,42	0,53	
Марка стали #3 (полуспокойная)	1,89	1,78	1,08	
Марка стали..#п (н/легированная)	0	0,85	0,08	
Другие ферросплавы (с указанием марки) (электроферромарганец)				
Марка стали #1 (кипящая)	0,68	0,03	0,07	
Марка стали #2 (спокойная)	0,01	0	0	
Марка стали #3 (полуспокойная)	0,01	0	0	
Марка стали... #п (н/легированная)	0	0	0	

ҚОСЫМША Г

Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізі туралы Акт

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

«ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІ» КеАҚ

КЕЛІСІЛДІ

Басқарма Төрағасының
ғылыми жұмыс және
халықаралық ынтымақтастық
жөніндегі орынбасары
Н.Т. Ержанов
«25» 02 20__ ж.



БЕКІТЕМІН

Академиялық мәселелер
жөніндегі басқарма
мүшесі - проректор
П.О.Быков
«25» 02 20__ ж.



Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу туралы АКТ

Инженерия факультетінің оқу-әдістемелік кеңесі құрамындағы төраға, деканның оқу ісі жөніндегі орынбасары, «Металлургия» кафедрасының аға оқытушысы М. Ж. Түсіпбекова және кафедра мүшелері, проф. А. Қ. Жүнісов, проф. Ж. К. Мусина және аға оқытушы Н. Д. Ставровамен осы акт жасалынды:

2021-2022 оқу жылы Инженерия факультетінің «Металлургия» кафедрасында «Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ-тың 6D070900 – «Металлургия» мамандығының докторанты Т.Т. Жүнісқалиевтің «Қазақстанның жоғары күлді көмірлері мен марганец кендерін қолданып, Fe-Si-Mn-Al тобындағы кешенді лигатур өндірісінің теориялық негіздерін дамыту және технологиясын жетілдіру» атты диссертациялық жұмысы (ғылыми кеңес беруші: профессор Нурумғалиев А.Х., профессор Жүнісов А. Қ.) аясында орындалған зерттеу нәтижелері оқу процесіне енгізілді.

Енгізілген нысаны (жаңа курстың, арнайы курстың, дәрістер бөлімінің, зертхананың қондырғының, оқу құралы, бағдарлама және т.б. атауы)	Сағат көлемі (жұмыс саны, практикалық сағат)	Енгізілген нысан атауы (конференциялардағы жарияланымдарды, өтінімдерді, баяндамаларды көрсете отырып, енгізілген жұмыстың қысқаша мазмұны)
Торайғыров университетінің «Металлургия» кафедрасының 6B07203 – «Металлургия» мамандығы бойынша «Ферроқорытпа электрометаллургиясы» пәнінің сиплабусына ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелерін оқу процесіне енгізу	4 сағат	Дәріс: - Марганец және оның қорытпаларының электртермиясы Тәжірбиелік жұмыс: - Марганец қорытпаларының шихтасының және материалдық балансының есептері

Актіге қоса берілді:
– Кафедра отырысының «27» 01 2022 ж. № 6 хаттамасынан үзінді;

– Бекітілген әдістемелер (оқу құралы, зертханалық практикум) жана жұмыстарды орындау бойынша (практикалық, зертханалық сабақтарға, курстық және дипломдық жобалауға енгізу кезінде).

Осы уақытқа дейін материал факультеттің ОӘК отырысында қаралды (№ 7 Хаттама «25» 02 2022ж.)

Комиссия төрағасы Түсіпбекова М. Ж. Түсіпбекова

Комиссия мүшелері Жүнісов А. К. Жүнісов
Мусина Ж.К. Мусина
Ставрова Н. Д. Ставрова

Факультет деканы Мұқанов Р. Б. Мұқанов

«25» 02 2022ж.

**Ғылым, инновациялар және
коммерциализациялау
департаменті директоры**

Шарипов С.Б. Шарипов

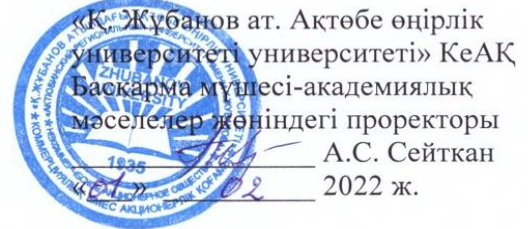
**Академиялық қызмет
департаменті директорының м.а.**

Жакупов А.Н. Жакупов

ҚОСЫМША Ғ

Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізі туралы Акт

БЕКІТЕМІН



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

«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ «Металлургия және материалтану» кафедрасының докторанты Т.Т. Жүніскалиевтің 6D070900 – «Металлургия» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін дайындалған «Қазақстанның жоғары күлді көмірлері мен марганец кендерін қолданып Fe-Si-Mn-Al тобындағы кешенді лигатур өндірісінің теориялық негіздерін дамыту және технологиясын жетілдіру» тақырыбындағы диссертациялық ғылыми зерттеулерінің негізгі теориялық ережелері мен нәтижелері Қ. Жұбанов атындағы АӨУ-нің «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының бакалавриат және магистратура (6B07203 и 7M07203 – «Металлургия») білім беру бағдарламаларының «Кешенді қорытпалар өндірісінің теориясы мен технологиясы», «Қара және түсті металлургияның шикізат ресурстарын қайта өңдеудің инновациялық технологиялары» пәндерін оқытуда енгізілген.

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

Е.У. Жумағалиев

ҚОСЫМША Д

Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізі туралы Акт

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

«ҚАРАҒАНДЫ ИНДУСТРИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КеАҚ



Оқу процесіне ғылыми-зерттеу жұмысының нәтижелерін енгізу туралы АКТ

«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ оқу-әдістемелік кеңесінің төрайымы Г.А. Сивякова, оқу-әдістемелік кеңестің төрайымы орынбасары Е.М. Харченко, «Металлургия және машинажасау» факультетінің деканы Г.Г. Жабалова, «Металлургия және материалтану» кафедрасының меңгерушісі А.С. Ержанов, «Металлургия және материалтану» кафедрасының оқытушылары мен профессорлары: Д.К.Мусин, А.Х.Нурумғалиев, С.А.Смаилов, Пикалова И.А., Г.А.Булекова қатысуымен осы акт жасалынды.

2021-2022 оқу жылы «Металлургия және материалтану» кафедрасы 6D070900 – «Металлургия» мамандығының докторанты Т.Т. Жүнісқалиевтің «Қазақстанның жоғары күлді көмірлері мен марганец кендерін колданып, Fe-Si-Mn-Al тобындағы кешенді лигатур өндірісінің теориялық негіздерін дамыту және технологиясын жетілдіру» тақырыбындағы диссертациялық жұмысы барысында орындалған зерттеу нәтижелері бакалавриат және магистратураның келесідей БББ бойынша оқу процесіне енгізілді:

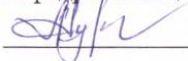
№	Білім беру бағдарламалары	Пән атауы
1	6B07202 – «Қара металдар металлургиясы»	Металлургия өндірісінің техногендік қалдықтарын қайта өңдеу
		Болат балкытудың теориясы мен технологиясы
2	6B07206 – «Қара металдар металлургиясы»	Металлургия өндірісінің техногендік қалдықтарын қайта өңдеу
		Болат балкытудың теориясы мен технологиясы
3	7M07203 – «Қара және түсті металдар металлургиясы»	Қара және түсті металлургияның шикізат ресурстарын қайта өңдеудің инновациялық технологиялары
		Кондициялық емес және техногендік емес шикізатты қайта өңдеу технологиялары

Актіге қоса берілді:

Кафедра отырысының «18» 10 2021 ж. № 4 хаттамасынан үзінді;

Осы уақытқа дейін материал университеттің ОӘК отырысында қаралды (№ 2 Хаттама «29» 10 2021 ж.)

Ғылыми кеңесші:
«Металлургия және материалтану»
кафедрасының профессоры, т.ғ.д.

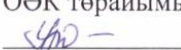
 А.Х. Нурумғалиев

Докторант:
6D070900 – «Металлургия»
мамандығының докторанты

 Т.Т. Жүнісқалиев

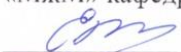
Акт қабылдады:
ОӘК төрайымы, Басқарма мүшесі-
стратегиялық даму жөніндегі проректор,
доцент, т.ғ.к.


 Г.А. Сивякова


ОӘК төрайымы орынбасары, PhD
 Е.М. Харченко

ОӘК мүшелері:
«МжМ» факультетінің деканы, доцент, т.ғ.к.

 Г.Г. Жабалова

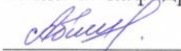
«МжМ» кафедрасының меңгерушісі, PhD
 А.С. Ержанов

«МжМ» кафедрасының доценті, т.ғ.к.
 Мусин Д.К.

«МжМ» кафедрасының доценті, т.ғ.к.
 С.А. Смаилов

«МжМ» кафедрасының аға оқытушысы,
т.ғ.м.

 И.А. Пикалова

«МжМ» кафедрасының оқытушысы, т.ғ.м.
 Г.А. Булекова

Г.А. Сивякова
Е.М. Харченко
Г.Г. Жабалова
А.С. Ержанов
Д.К. Мусин
А.Х. Нурумғалиева
С.А. Смаилов
И.А. Пикалова
Г.А. Булекова
Т.Т. Жүнісқалиевтің қолдарын растаймын:

Ғылыми Кеңес хатшысы, т.ғ.к.  О.В. Силаева

