ӘБЛІҚАС САҒЫНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҒАНДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

SAGINOV TECHNICAL UNIVERSITY 1953



Пән атауы: Ферроқорытпалар өндіру технологиясының негіздері

Дәріс -6 «ФАСК ҚОРЫТПАСЫ»

техника ғылымдарының докторы, профессор
НУРУМГАЛИЕВ АСЫЛБЕК ХАБАДАШЕВИЧ

Қарағанды, 2026

Дәріс №6
ФАСК ҚОРЫТПАСЫ

Дәріс мақсаты: ФАСК балқымасымен танысу және зерттеу

Дәріс жоспары:
1. ФАСК қорытпасын өндірудің технологиялық негіздері
2. ФАСК қорытпасының ірі зертханалық балқытулары

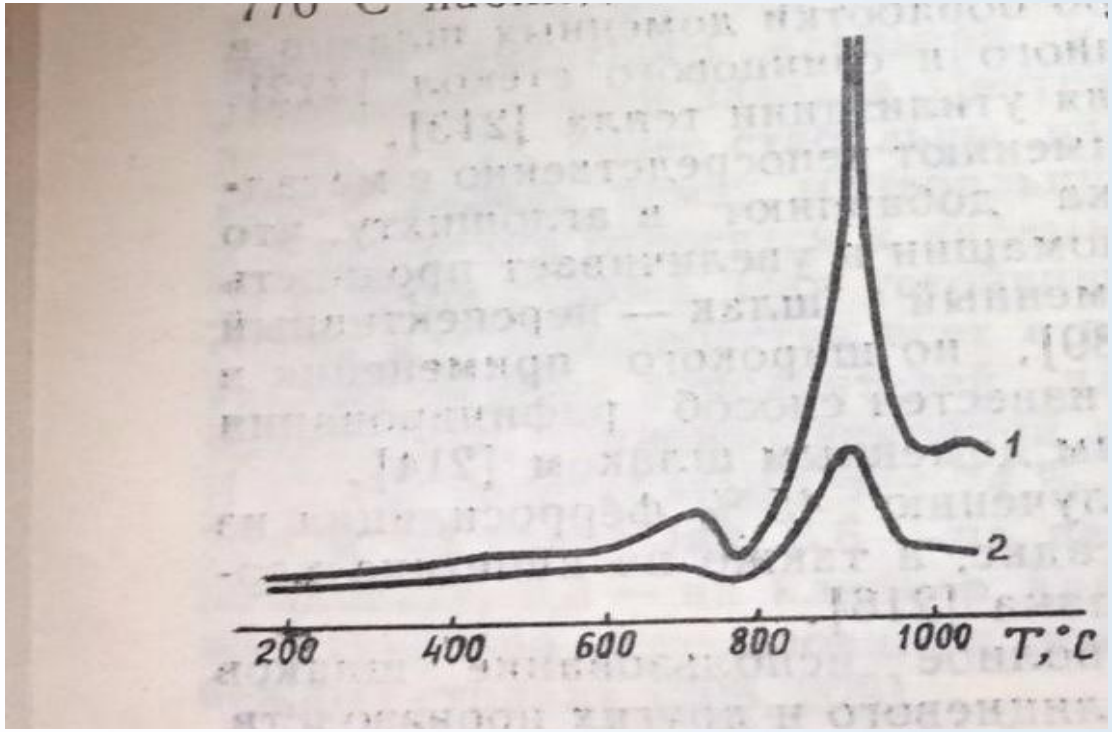


1. ФАСК қорытпасын өндірудің технологиялық негіздері

Кальций мен алюмокремний қорытпаларындағы қажеттіліктің ұлғаюына және оларды балқытудың ұтымды тәсілдерінің болмауына байланысты біз ФАСК кешенді қорытпасын алу технологиясын әзірледік. Қуаттылығы 200 және 1200кВ электр пештерінде ұсынылатын технологияға зертханалық, ірі зертханалық және жартылай өнеркәсіптік сынақтар жүргізілді. Шихта материалдары ретінде домна қожы, кварцит, құрамында темір бар материал және жоғары мөлшерлі тотықсыздандырғыш (Екібастұз немесе Қарағанды бассейндерінің тас көмірі) қолданылды.

Домна қождарының физика-химиялық қасиеттері

Домна қождарына ферроалюмосиликальцийді өндіруге арналған кешенді шикізат ретінде термо және петрографиялық талдау жүргізілді. Түйіршіктелген домна қожы - сұр және сары-сұр түсті біркелкі емес масса. Микроскоптың астында түйіршіктердің (дәндердің) негізгі бөлігі мелилит тобынан 1% аспайтын мөлшерде ұсақ жұқа кристалдармен шыны түрінде берілген. Қож түйіршіктерінің бір бөлігі иммерсионды препараттардың микроскопымен бақылау кезінде құрамын анықтау мүмкін болмаған кристалды фазалардың дәндерімен берілген. Бұлар ылғалды атмосферада қождарды сақтау кезінде пайда болған гидраттар, карбонаттар және гидрокарбонаттар тобындағы минералды фазалар. Қождың термограммасында (сурет 1) 730-770ºС температурасында эндотермиялық әсер жаңа кристалдық фаза пайда болатын, петрографиялық талдау нәтижесінде анықталатын гидраттар карбонаттар гидрокарбонаттардың ыдырауы әсерінен бақыланады. 820-910ºС температура аймағында термограммада қождың аморфты фазасының кристалдануын айқын көрсететін экзотермиялық әсері тіркелді. Баяу қатып қалған үйінді домна қожының термограммасы баяу суыту кезінде домна қожының кемелсіз кристалдануымен - онда петрографиялық талдау деректері бойынша 10-50% мөлшерінде шыны тәрізді фазаның болуымен түсіндіріледі. Осылайша, домна қожы химиялық құрамның кешенділігіне, тұрақтылығына, фосфордың төмен концентрациясына, минералдардың гидратты және карбонатты формаларының болмауына, металлургиясы дамыған аудандарда орналасқан шексіз және қабыну ресурстарына ие бола отырып, ферроалюмосиликальцийді балқытуға арналған құнды кешенді шикізат болып табылады .



Сурет 1 - Домендік қождың термограммасы: 1 - түйіршіктелген; 2 - түйіршіктелмеген

Көміртекті тотықсыздандырғыштар

Карботермия кезінде тотықсыздандырғыштар ретінде оңтайлы гранулометриялық және химиялық құрамымен ерекшеленетін, жеткілікті механикалық беріктігімен, жоғары реакциялық қабілеттілігімен, үрдістің температуралары кезінде айтарлықтай үлестік электр қарама-қайшылығымен ерекшеленетін көміртекті материалдар пайдаланылады. Көміртекті материалдардың реакциялық қабілетін графит кристалдарының мөлшерін, олардың ретке келтірілу дәрежесін және қаптаманың сипатын, материалдың макроструктурасын, химиялық байланысқан (немесе адсорбцияланған) сутегі мен ұшатын, сондай-ақ каталитикалық әсер ететін минералдық қоспалардың болуы анықтайды.

Көміртекті материалдардың үлес салмағының ұлғаюымен олардың реакциялық қабілеті азаяды. темір тотықтары мен сілтілі металдар реакциялық қабілетін арттырады, ал кремнеземмен және глинозем оны азайтады. Тоытқсыздандырғыштардың химиялық белсенділігін ағаш көмірі, қоңыр көмірлі жартылай кокс, мұнай коксы, графит қатарда азаяды.

Екібастұз тас көмірі

Екібастұз кен орнында кең ауқымды ашық көмір өндіру үшін қолайлы жағдай жасалған. Бұл көмір арзан, өндірудің өзіндік құны 0,7-0,9 руб /т, сондықтан оларды ұтымды және толық пайдалану маңызды. Әзірге олар жоғары калориялыққа байланысты энергетикалық мақсаттарға жұмсалуды. Екібастұз көмірі жартылай жылтыр (кең таралған) жылтыр, күңгірт және жартылай күңгірт болып бөлінеді. Жылтыр көмірде органикалық массаның көмірленуінің дәрежесі жоғары, минералды қоспалардың жолақ және штрихты құрылымы аз. Жартылай құйылатын көмір жиі ксиленофюзен және ксиленизирленген маталар, жолақты және штрихты құрылымы бар фюзен көп. Жартылай мәрмәр көмірдің біртекті құрылымы, негізінен жоғары. Бұл көмірлерде фюзен мен нысанды элементтер жоғары, фюзаның құрылымы мен құрамы бойынша күңгірт көмір сапропель бар, минералды қоспаларға бай, таза фюзен жиі қабаттар құрайды. Екібастұз кен орны көмірінің негізгі массасы 4 қабатта шоғырланған (кесте 1) қабат жартылай күңгірт көмір негізінде ұсынылған. Қабаттың қуаты 27м-ге жетеді, жоғарғы бөлігінде қабаттың негізгі қалыңдығынан күрт ерекшеленетін, салыстырмалы төмен көмірден тұратын, 2,9м қуатымен бума салынады. Жартылай шөлейт және күңгірт көмірлердің бағынышты мағынасы бар. Қуаттылығы 40м болатын 2 қабат 1 қабаттан төмен орналасқан және ол ең таза және күлділігі 28-40% болатын жартылай жылтыр жалпақ жолақты көмірлерімен ұсынылған 4-7м көмірлі жыныстармен бөлінген. 3 қабат 2 қабаттан қуаттылығы 0,3-13м болатын көмір жыныстарымен бөлінген және ол қара көмір жынысының күңгірт, жартылай күңгірт және жартылай жылтыр бумаларынан тұрады. Қабаттың қуаты 95м күлділігі - 40-50%. Күлділігі жоғары көмірді және көмір жыныстарын сыртқы түріне қарай ажырату мүмкін емес. 4-қабат көмірдің күлді түрлері - күңгірт, жартылай күңгірт, сондай-ақ жынысты қабаттармен қалыптасқан.

Қабаттың орташа қуаты 14-тен 25,6м дейін ауытқиды. Екібастұз көмірінің сапасы фюзен тобының минералды қоспаларымен және компоненттерімен анықталады. Олар жоғары күлді, өйткені кен орнында жоғары механикалық беріктігі бар, кен орнын пайдалануды күрделендіретін минералдандырылған күңгірт және жартылай күңгірт көмір басым болып келеді. Өнеркәсіптік маңызы бар қабаттар әзірленуде. Екібастұз көмірінің химиялық - технологиялық қасиеттері көрсетілген. Оларда фосфор мен күкірттің төмен мөлшері келтірілген. Бұл көмірдің күлі 1600-1700°С балқиды және оның 78-90%-ы баяу балқитын кремниймен алюминий тотығынан тұрады. Бұл сондай-ақ жоғары электр қарама-қайшылықтары мен реакциялық қабілеті күкірт пен фосфордың төмен құрамы Екібастұздық көмірлерді алюминий-кремний қорытпаларын өндіру кезінде сапалы қалпына келтіргіш және минералдық шикізаттың қосымша көзі ретінде саралауға мүмкіндік береді. Баяндалғанның негізінде және ФАСК қорытпасының электротермиясы кезінде тотықсыздандырғыш ретінде Екібастұз тас көмірі қолданылды.

Қарағанды тас көмірі

Негізінен жоғары күлді. $К_1$, $К_2$, $К_3$ қабаттарының көмірінің өндірістік қоры - 151 млн. т, баланстық қоры - 250. Олар қиын байытылады, концентраттың шығуы төмен, күлділігі жоғары, бұл олардан кокс алуды қиындатады. 23-25% күлді концентраттың жақсы дәмдеуіне байланысты оны жоғары күлді арнайы коксты алу үшін тиімді пайдалану қажет. $К_1$, $К_2$, $К_3$ қабаттарының көмірінде витринит тобының микро компоненттері басым. Негізінен спринитпен ұсынылған лейптинит тобының тобының микроқұрамдауыштары 10%-дан асады, семивитринитпен микротинит тобының микроқұрамдауыштары 5-8% сомасын құрайды, алфюзенит тобы орта есеппен - 19-дан 34%-ға дейін болады. Қарағанды көмірінің петрографиялық құрамы, % сазды материал - 22,0 темір сульфиді - 0,7 карбонаттар - 2,8 өзгелері - 4,5 витринит - 45 семивитринит - 4,0 фюзинит - 7,0 лейптинит - 4,0.

2. ФАСК қорытпасының ірі зертханалық балқытулары

Жалпы номиналдық қуаты 200кВА ОСУ 100/05-А типті екі параллель қосылған трансформаторлармен жабдықталған өткізгіш подинасы бар бір фазалы доғалы электр пешінде фаск қорытпасының тәжірибелі балқымаларының екі сериясы өткізілді.

Кесте 1 - Көмір қабаттарының сипаттамасы, %

Қабат	Көмір түрлері				Көмір түрлерінің жалпы мазмұны	Жыныс қабаттары-ның жалпы қуаттылы-ғы
	Күңгірт	Жартылай күңгірт	Жартыла жылтыр	Жылтыр		
IV	13,12 16,03	22,81 27,00	11,84 2,38	7,32 -----	55,09 45,41	44,91 54,59
III	34,25 18,37	27,11 15,56	10,17 7,49	0,80 -------	72,33 41,42	27,67 58,58
II	20,80 9,04	41,07 37,63	23,03 31,38	3,12 4,12	88,06 82,17	11,94 17,83
I	9,86 23,83	36,03 13,63	32,08 6,69	2,08 --------	80,05 44,15	19,95 55,85

Кесте 2 - К1-К3 қабаттары көмірінің химиялық-технологиялық қасиеттері

У,%	Қабат	Техникалық талдау			Күлдің химиялық құрамы, %								
		A_c	V^r	S_cобщ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_2	TiO_2	Na_2O	K_2O
13	$К_3$	33,2	28,3	1,01	62,3	25,1	3,5	4,1	1,4	2,4	1	0,8	1
10	$К_2$	35,3	28,5	0,72	60,3	27,5	4,5	3,5	1,2	1,6	0,8	0,7	0,8
9	$К_1$	37,6	28,3	0,46	60,4	25,4	3,1	4,5	1,5	1,7	0,7	0,8	0,9

Трансформатордың жоғары жағындағы кернеу 380В төмен - 12 сатыдан 4,6-49,0В дейін.

Шихта материалдары

Тәжірибелі балқымаларда шихта ретінде Карметкомбинаттың түйіршіктелген домна қожы, Екібастұз кен орнының тас көмірі, темір жоңқасы қолданылды. Көмірдің техникалық талдауы, % күл - 39,1, ұшқыш заттар - 8,03, ылғал - 1,06. Материалдық балансты есептеу кезінде темір жоңқасындағы темірдің құрамы 97%-ға тең. Көмір мен кенді ұсақталған және сұрыпталған күйінде пайдаланған. Көмірдің, кеннің және жоңқаның гранулометриялық құрамы зертханалық электр пешінде кен-термиялық балқыту технологиясының талаптарына жауап берді, ал домна қожы шамадан тыс ұсақ болды. Шихта қождың шектеулі мөлшерін ала отырып, шихтаның компоненттерін толық тотықсыздандыруға есептелген. Шихтаны колошниктің күйіне және балқыту өнімдерінің шығуына байланысты түзету домна қожының ілгегін (навески) өзгертумен жүргізілді.

Кесте 3 - Шихта материалдарының сипаттамасы,% :

	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	BaO	MnO	Fe	S	П.п.п
Домналық қож	35,84	33,4	9,81	7,77	5,77	1,27	0,5	1,65	---
Темір кені	22,74	1,20	1,20	2,97	7,14	0,57	53,34	1,36	1,48
Екібастұз көмірінің күлі	63,70	2,20	28,18	0,25	---	----	2,20	----	---

Кесте 4 - Фракциялар бойынша материалдардың гранулометриялық құрамы (мм) келесідей болды, %

	30-0	10-5	5-3	3-2	2-1	1-0,1	0,1-1
Домналық қож	---	5,6	5,4	20,3	17,3	50,4	1,0
Темір кені	---	71,4	14,8	4,9	3,0	4,7	1,2
Темір жоңқасы	100	---	---	---	---	---	---
Екібастұз көмірі	---	100	---	---	---	---	---

Тәжірибелі балқымалардың бірінші сериясы домна қожынан кальциймен кешенді қорытпаларды алу мүмкіндігін анықтау және технологиялық үрдістің ерекшеліктерін анықтау мақсатында жүргізілді. Балқытуды 10кг көмірден, 7кг қож бен 3кг темір жоңқадан калошта бастаған. Пеште металл және тұтқыр қож пайда болды, ағын өзектен әрең шықты. 16 сағат ішінде реакциялық тигель қожбен толтырылды, осыған байланысты электродтың төмен орнатылуы болды. Пештің жұмысы шикіқұрамдағы тотықсыздандырғыштың жетіспеушілігімен және жоғары желімді металл алумен сипатталды.

Домна қожының ілімі 1кг-ға азайған кезде пеш жақсы жұмыс істей бастады: электрод орнату артты, шығарылымдарда металл көп болды, сұйық жылжымалы қож пайда болды. Бұл кальций карбидінің құрамын көрсетеді, ағын өзек оңай ашылды, металл үнемі және тең үлестермен шықты. Одан әрі шахтадағы көмір ішінара кокспен алмастырылды, бұл шихтаға тотықсыздандырғыштың артығын енгізді. Пеш ваннасында кальций карбидінің мөлшері артып, электродтың қонуы біртіндеп азайды. Летка қиын ашылды, металл суық және тұрақсыз шықты. Қождың илгішін орнатқаннан кейін 7кг қайта балқытудың қалыпты жүрісі қалпына келтірілді. Бірінші серияның балқымалары келесі белгілерге ие болды. Тотықсыздандырғыш жетіспеген жағдайда колошникте қож пайда болды. Шихта компоненттерінің оңтайлы ара қатынасы кезінде шихтада электродтарды терең отырғызу, колошникте біркелкі газ бөлу, шихтаның құрғақ өздігінен құлауы байқалды.

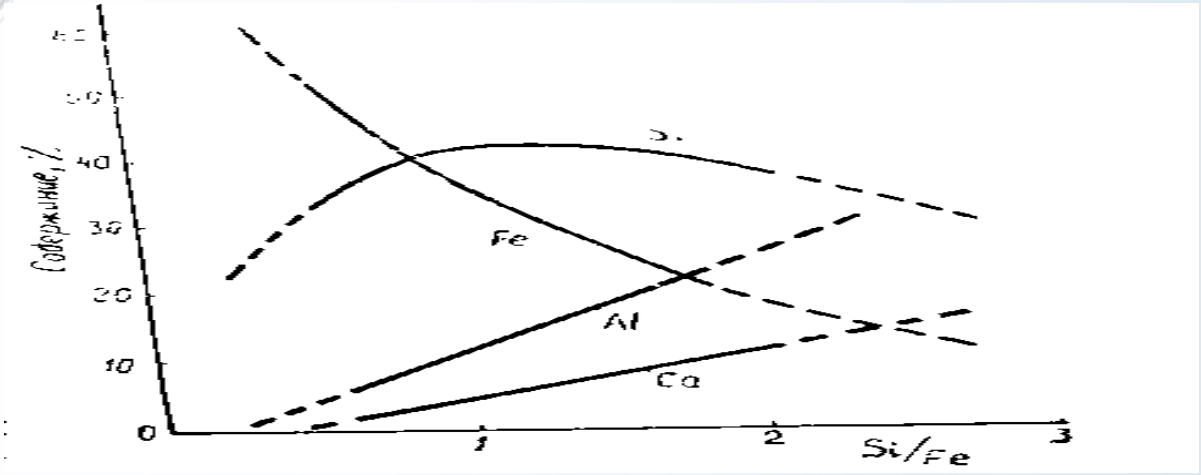
Тәжірибелік балқытулардың нәтижелері және қожды балқытудың химиялық құрамы:

Бөлім	Балқы-ма, кг	Fe	Al	Si	C	Mg	Ba	Mn	C	P	S
1	154,2	58,13	8,44	25,95	0,67	0,25	0,25	0,25	1,42	0,042	0,004
2	90,02	33,10	14,1	38,07	6,00	0,50	1,80	1,80	1,50	0,047	0,021

Балқыту сериялары бойынша ФАСК электротермиясы қождарының орташаланған сипаттамасы, %

Бөлім	Балқы-ма, кг	CaO	Al_2O_3	SiO_2	$Fe_{общ}$	MnO	BaO	MgO	SiC	C	BaO
1	54,40	33,9	15,21	32,22	12,52	1,34	5,26	3,27	6,38	4,70	---
2	37,04	19,38	12,63	24,71	4,17	0,58	8,45	0,81	16,87	6,57	2,47

Балқымалардың бірінші сериясында үлкен ілгектің (навески) салдарынан калошта темірдің жоғары құрамы бар қорытпа алынды. Ферроқорытпаларды өндіру кезінде тотықсыздандырғыш ретінде жартылай кокс кеңінен қолданылады. Жартылай кокс 900°С дейінгі температура кезіндегі электр кедергісі коксиктен әлдеқайда көп, ал жоғары температура кезінде ол әдеттегі кокстың электр кедергісіне жақындайды. Жартылай кокс құрамында 15%-ға дейін ұшатын, механикалық жағынан мықтылығы аз, күлділігі жоғары, бірақ бұл ферросилицийді балқыту кезінде оны пайдалануға кедергі келтірмейді, себебі күлдің негізгі құраушысы кремнезем болып табылады. Өте жақсы тотықсыздандырғышқа жоғары меншікті электр кедергісі, реакциялық қабілеті және тазалығы бар ағаш көмір жатады. Ағаш көмір шихтаның жентектелуін азайтады және оның газ өткізгіштігін жақсартады, бұл ферросилицидің жоғары кремнийлі маркаларын балқытуда және жабық пештердің жұмысы кезінде аса маңызды. Алайда, ол кокспен салыстырғанда механикалық беріктігі аз, күл мен ылғалдың (5-тен 40%-ға дейін) құрамының күрт ауытқуымен сипатталады. Сондықтан оны әртүрлі ағаш қалдықтарымен (үгінділер, жоңқа, жоңқа, лигнин) ауыстыруға тырысады. Сапасы жағынан жақсы тотықсыздандырғыштар жеткілікті механикалық беріктігі бар, жоғары реакциялық қабілеті бар және күл мен ұшқыш заттардың аз құрамы бар мұнай және пек кокстері болып табылады. Бірақ балқыту температурасы кезінде олар графитацияға бейім, бұл олардың реакциялық қабілетін нашарлатады және электр кедергесін төмендетеді. Бұл жоғары құнмен бірге олардың қолданылуын шектейді: олар қоспалар бойынша аса таза ферроқорытпаларды, бірқатар ферросилиций және ферровольфрам маркаларын өндіру кезінде ғана пайдаланылады. Шөгінділер мен сұйылтқыштар. Кремний қорытпаларын балқытуда шихтаның негізгі темір құрамды компоненті көміртекті болаттың жоңқасы болып табылады. Құрамында фосфордың жоғары болуына байланысты шойын жоңқасы шойын құю өндірісінде пайдаланылатын қорытпаларды балқыту кезінде ғана қолданылады. Қоспаланған болаттардың жоңқасын және түсті металдардың қоспаларымен ластанған жоңқаларды қолдануға болмайды. Жоңқаның орнына темір кенді пайдалану орынсыз, себебі шихтадағы көміртегі мөлшері ұлғайып, қож құраушы қоспалардың едәуір мөлшері енгізіледі. Ферроқорытпа өндірісі үшін құрамында темір бар перспективалы материал прокат цехтарында металды отпен тазарту үрдісінде алынатын окалин мен қалдықтар болып табылады.



Сурет 2 - ФАСК қорытпасындағы элементтер құрамының (C, Al, Si, Fe) өзара тәуелділігі және кремнийдің темірге қатынасы (Si/Fe)

Темір құрамы жоғары болғандықтан, олардың шихтада темірдің біркелкі таралуына қол жеткізуге мүмкіндік беретін жақсы гранулометриялық құрамы бар. Болат жоңқаның тапшылығына және оны тасымалдауға арналған елеулі шығындарға байланысты, егер шикізат құны мен көлік шығындарындағы үнемдеу электр энергиясы шығындарының ұлғаюынан және пештердің өнімділігін азайтудан болған шығындардан артық болған жағдайда, темір кварциттерді пайдалану орынды болуы мүмкін. Темір кварциттердің қоры темір кендерінің теңгерімдік (балансовых) қорларының шамамен 35% құрайды. Темір кварциттерін (12-15% FeOж, 60-67% SiO2) байыту кезінде түзілетін "қалдықтардан" жасалған брикеттер мен шекемтастар ферросилицияны балқыту кезінде пайдаланылуы мүмкін. Металдандырылған шекемтастар 75% ферросилицияны балқыту кезінде құрамында темір бар материал ретінде сәтті сыналды. Қож құрушы. Ферроқорытпа өндірісінде қож құраушы қоспа ретінде әк, плавик шпаты, кварцит және бокситтер пайдаланылады. Әк құрамында 90% CaO және көміртек пен фосфордың ең аз мөлшері болуы тиіс. Сапасы бойынша ең жақсы-айналмалы құбырлы пештерде әктасты күйдіру арқылы алынған әк.

Кесте 5 - ФАСК қорытпасының материалдық балансы

Элемент	Шығын,кг			Σ Ме	Приход					
					Балқыма		Қож		Газ	
	Домна қожы	Темір кені	Екібастұз көмірі		кг	%**	кг	%**	кг	%**
Fe	----	27,3	2,443	29,748	29,42	98,9	1,54	5	----	-----
Al	7,398	0,328	16,96	24,68	12,35	50	2,47	10	9,87	40
Si	23,35	5,432	13,104	61,896	34,3	55,6	8,65	13,9	18,88	30,5
Ca	35,944	0,44	1,752	38,136	5,4	14,2	3,62	9,5	29,1	76,3
P	-----	----	0,208	0,208	0,04	19	----	---	0,17	81
S	2,304	0,028	-----	2,332	0,019	1	0,54	23	1,77	76
Ba	7,216	3,288	-------	10,504	1,66	16	2,8	26,7	6,02	57,3
Mn	1,376	0,224	------	1,6	1,31	82	0,15	9,4	0,14	8,6
Mg	6,544	0,912	0,168	7,624	0,45	6	0,16	2,1	7,01	91,9

Шахталық пештерде ірі кесекті әк алады. Плавик шпаты кемінде 65% CaF_2 болуы тиіс. Жекелеген жағдайларда флюорит кенін (55% CaF_2 артық) қолданады. қождама ретінде пайдаланылатын кварцит ұсақ-түйектерінде және бокситінде зиянды қоспалардың концентрациясы ең аз болуы тиіс. Жоғары күлді Екібастұздық тас көмірді қолдана отырып, карботермиямен домна қожынан жасалған ФАСК. Құрамы қорытпасы алынды, мас. % 35-40 кремний 3-11 кальций 8-19 алюминий, 0,2-0,6 көміртек, 0,01-0,07 фосфор, 0, 003-0, 03 күкірт, 25-40 темір. Шихтаның оңтайлы құрамын анықтау және ФАСК қорытпасын балқыту үрдісінің технологиялық параметрлері мен электр режимін өңдеу мақсатында жартылай өнеркәсіптік қуатты электр пештері мен тәжірибелі балқытулар жүргізілді.

Бақылау сұрақтары:

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

Әдебиеттер тізімі

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