ӘБЛІҚАС САҒЫНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҒАНДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

SAGINOV TECHNICAL UNIVERSITY 1953



Пән атауы: Ферроқорытпалар өндіру технологиясының негіздері

Дәріс -1 «ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЙ»

техника ғылымдарының докторы, профессор

НУРУМГАЛИЕВ АСЫЛБЕК ХАБАДАШЕВИЧ

Қарағанды, 2026

Дәріс №1
ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЙ

Дәріс мақсаты: ферросиликоалюминий балқымасымен танысу және зерттеу

Дәріс жоспары:

1. Ферросиликоалюминийді кесектелген материалдан балқыту технологиясы
2. Агломерацияланған бокситтен ферросиликоалюминийді балқыту
3. Үйінді қождардан ферросиликоалюминий балқыту технологиясы
4. Жоғарықүлді көмірден ферросиликоалюминийді балқыту технологиясы



1. Ферросиликоалюминийді кесектелген материалдан балқыту технологиясы. Алюминий ферроқорытпаларын Байер әдісімен, Байер-жентектеудің аралас әдісі және т.б. бойынша глинозем өндіру қажеттілігі жоғары сапалы бокситтердің шектеулі қорларының нәтижесінде болып табылады; глинозем құрамды кендердің базасын кеңейту үшін құрамы аз бокситті, силлиманиттер, үйінділі жоғарықүлді көмірді және т. б. өнеркәсіпте қолдану есебінен құрамында кенді глинозем бар базаның кеңеюімен; халық шаруашылығының басқа салаларының негізгі өндіріс қалдықтары мен алюмосиликатты шикізатты кешенді пайдаланумен және осылайша тұйық технологиялық схемаларды құрумен байланысты. Болатты оттексіздендіруде алюминий металының сапасының нашарлығы металл алюминийдің тиімсіз пайдалануы (5-30%), қайталама (вторичный) алюминийдегі зиянды қоспалардың жоғары құрамы (13% - ға дейін), электролиттік алюминийдің жоғары бағасы алюминийдің басқа элементтермен оның қорытпаларымен алмастыруға әкелді.
Қара металлургияда пайдаланылатын алюминийлі қорытпалар соңғы уақытқа дейін бастапқы (первичный) немесе қайталама (вторичный) алюминийді басқа металдармен балқыту әдісімен алынған. Бұл әдісте түсті металдардың қоспалары қорытпаға өтеді, қорытылған кезде алюминийдің 15-25% тотығады. Бастапқы(первичный) алюминийді қолдану қорытпаның құнын күрт арттырады. Алюминийді басқа металдармен (ферроқорытпалармен) балқыту жолымен алюминий қорытпаларын алу электротермиялық әдіспен салыстырғанда тиімсіз процесс болып табылады. Электротермиялық алюминий ферроқорытпаларының негізгі артықшылығы алюминий массасының бірлігі таза алюминийге қарағанда арзанырақ.
Болат балқыту өндірісінде ферросиликоалюминиді қолдану болаттың көптеген маркаларын балқыту кезінде оттексіздендіру кезінде кремний мен алюминий қоспаларын толығымен болдырмауға мүмкіндік береді. Кентермиялық пештері бар цехтар алюминий электролизі бойынша алу цехтармен салыстырғанда аз капитал салуды талап етеді; құрамында фтор бар қымбат тұздарды, анодтарды, түзеткіштерді және т.б. қолдану алынбайды.

Сондай-ақ, кенді термиялық электр пештерінде алюминий ферроқорытпаларын балқыту кремний, марганец және басқа да ферроқорытпаларды өндіру кезінде шикізатты дайындау сатысындағы белгілі қиындықтарды жояды. Шетелдік практикада алюминийі бар кремнийлі ферроқорытпалар кеңінен таралған; құрамында алюминий бар кешенді марганецті ферроқорытпалар, сондай-ақ алсифер (АҚШ), алсимин (Англия) және ферросиликоалюминий (Жапония) сияқты кремний мен алюминий қорытылады. Алюминий ферроқорытпаларды қолдану өнім сапасын жақсартумен қатар қара металлургияда металл алюминийді тұтынудың едәуір төмендеуін қамтамасыз етеді.

Кесте 1 - ФСА химиялық құрамы (ТУ-ЕЗФ-12-72), мас. %

Марка	Si	Al	C	P	Қосындылар, артық емес				
					S	Cr	Mn	Cu+Zn	Fe
ФСА-1	45-55	8-15	1	0,05	0,03	0,5	0,8	0,15	ост.
ФСА-2	56-68	10-15	1	0,05	0,03	0,5	0,8	0,15	ост.

Құрамында алюминий бар кешенді ферроқорытпалардың болат оттексіздендіргіштері ретіндегі айқын артықшылықтарына қарамастан, оларды өндіру біздің елімізде әлі ұйымдастырылмаған. Өнеркәсіптік көлемде алюминий ферроқорытпаларын балқытуды тежейтін негізгі себеп оларды алудың сенімді, экономикалық тиімді технологиясының болмауы болды. Осы жұмыста ферросиликоалюминий (ФСА) балқыту технологиясы бойынша деректер келтіріледі. Ферросиликоалюминийдің екі маркасына техникалық шарттар әзірленді және бекітілді (кесте 1).

Балқыту процесін зерттеу шихта материалдарымен өзгеше бес технологиялық нұсқа бойынша жүргізілді: 1) Агломерацияланған боксит, кварцит, темір жоңқасы және кокс; 2) Агломерацияланған боксит, ФС-65 маркалы қайта жасалған ферросилиций, кокс; 3) Агломерацияланған боксит, кварцит, қайта жасалған ферросилиций, кокс; 4) Ферросилиций өндірісінің үйінді қожы, кварцит, темір жоңқасы, кокс; 5) Екібастұз кен орнының көмір қалдықтары және кварцит. Балқытудың барлық нұсқаларын 1,2МВА пеште өткізді. Қазақ КСР Торғай кен орнының бокситінен алынған агломераттың құрамы, %: $A1_20_3$-57,6; $Si0_2$-8,9; CaO-1,5; MgO-0,8; FeO-12,7; Fe_20_3-13,0; TiO_2-2,5; C-1,0; S-0,03.

2. Агломерацияланған бокситтен ферросиликоалюминийді балқыту. Жартылай өнеркәсіптік пеште ферросиликоалюминийді қуаты 100кВА бір фазалы доғалы зертханалық пеште тәжірибелік балқытудан кейін балқытылды, балқыту нәтижесі бойынша қуаты 1,2МВА электр пешінде балқытудың негізгі параметрлерін таңдап алды,сонымен қатар ұзақ сақтауда балқытудың төгілуіне қарсы беріктігін анықтады. ФСА үш технологиялық нұсқа бойынша балқытылды (I, II, III). Барлық жағдайларда алюминий бар материал агломерирленген боксит, ал құрамында кремний бар - 97,8% $Si0_2$ кварцит (технологиялық нұсқа I), 65% ферросилиций (II нұсқа), кварцит және 65% ферросилиций (III нұсқа) болды. I нұсқа бойынша шихта колошасының құрамы, кг: агломерат - 40, кварцит - 120, темір жоңқасы - 5, коксик - 80. Балқытулар 68,2-68,5В сызықтық кернеу және 6,0-7,0кА ток күшінде жүргізілді. Пештің жұмысы тұрақты электр жүктемесімен, электродтарды терең қондырумен сипатталды (350-400мм). Колошниктің барлық бетінде өте белсенді газ бөліну жүрді. Колошник бос және оңай өңделді. Электродтардың шихта біркелкі түсті. Тотықсыздандырғышты есептеудің және мөлшерлеудің дұрыстығына ерекше назар аудару керек. Оның жетіспеушілігі жоғары глиноземді шлактың пайда болуына әкеледі. Алғашқы балқымаларда шлактың пайда болуымен электродтардың отыруы азайды (глиноземді шлактардың үлкен электр өткізгіштігіне байланысты) және доғалар электродтар мен шлак арасындағы жанды. Подинаның температурасы төмендеді және қорытпаның шығуы қиындады.

Сонымен қатар, төменгі горизонттардағы төмен температура өрісі нәтижесінде электродтар арасында жентектелген шихтаның бағанасы пайда болды. Соңғы жағдай сондай-ақ подинада қақ(настыль) пайда болды, бұл қорытпаның шығуының күрт төмендеуіне әкелді. Пештің қалыпты жұмысы қорытпаның ауысым(смена) бойынша тұрақты шығуымен сипатталды. Тәжірибелі балқытудың барлық кезеңінде пештің жұмысы шихталық материалдар мен электр энергиясының шығынының тұрақтылығымен, алынған қорытпаның химиялық құрамының есептеумен сәйкес болуымен, сондай-ақ элементтерді қорытпаға айырумен сипатталды. II нұсқа бойынша шихта колошасының құрамы , кг: агломерат - 100, ферросилиций ФС65 - 180, коксик - 35-40. Колошник жағдайы қанағаттанарлық болды, шихта кейде электродтардың үйінділерінен шығып кетті. Шихтаның болмашы жентектелуі байқалды, шығарар алдында елеулі амплитудаға жеткен ток күшінің күрт ауытқуы орын алды. Балқыма әрбір 1,5 сағатта шықты. Металл белсенді шығып, жақсы қызған. Летка қалыпты жұмыс істеді , қож түзілгенде летка жұмысы қиындады. II технологиялық нұсқа бойынша жұмысты талдай отырып, ваннада қож болған кезде пештің өнімділігі күрт төмендеп, жетекші элементтердің құрамы төмендегенін атап өткен жөн. Пеш жүрісінің бұзылуы негізінен шихтаның жоғары электр өткізгіштігінен туындады. Бұл жағдайда оксидтердің тотықсыздануының жоғары температуралық аймағы жоғары көтерілді және төмен оксидтердің шығуы артады. III нұсқа бойынша шихта колошасының құрамы III нұсқа бойынша, кг: агломерат - 100, ФС65 - 180 ферросилиций, кварцит - 40, коксик - 58. Шихтаның химиялық және гранулометриялық құрамы алдыңғы балқымалар сияқты болды. Электр режимі де өзгерген жоқ. Осы кезеңде пештің барысы тұрақты электр жүктемесімен, электродтарды терең қондырумен, ағынның жақсы жұмысымен және пештің жоғары өнімділігімен сипатталады - 4,5-5,0 т/тәул. Колошник жақсы жағдайға ие болды, қож болмады. Тигельдер үлкен көлемде болды, шихта құлауы(обвал) мен құйым(свищ) байқалмады, газдың шығуы колошниктің барлық жұмыс бетіне біркелкі болды.

Таблица 2 - 1-3 нұсқа бойынша ферросиликоалюминий балқытудың көрсеткіштері

Көрсеткіштер	I	II	III
Пештің жұмыс уақыты, күн	7	2	7,3
Алынған қорытпа, т	9,9	8,4	36,2
Қорытпаның химиялық құрамы, %			
Si	51,9	49,25	47
Al	11,07	9,43	10,42
Fe	33	38,6	39,4
Mn	1,3	1	0,95
Cr	0,2	0,43	0,48
Ca	1,31	1,17	1,04
Mg	0,44	0,2	0,6
P	0,045	0,041	0,041
Негізгі элементтердің шығымы, %			
Si	90,45	86,5	96,5
Al	85	71,6	87
Fe	99,5	100	99
1т қорытпаға электроэнергияның шығыны, Гдж (МВт*сағ)	41,4 (11,55)	13,82 (3,84)	12,51 (3,475)
1т қорытпаға алмаспайтын электрэнергияның шығыны, Гдж (МВт*сағ)	41,4 (11,55)	33,77 (9,38)	27,18 (7,55)

3. Үйінді қождардан ферросиликоалюминий балқыту технологиясы. Ферросилиций өндірісі қожсыз процесске жатады. Бірақ оны қорыту кезінде әрқашан кішкене мөлшерде қож түзіледі. Тотықсызданбаған алюминий, кальций, барий, магний, күкірттің оксидтерінен тұратын бұл қождар процесстің 1650-1750°С температурасында жоғары тұтқырлыққа ие болып, өзімен бірге ферросилиций ұнтағы түріндегі тотықсызданған күкірт пен күкірт карбидін алып кетеді. Қождың шығуымен бірге күкірттің қайтымсыз жоғалуы шихта материалдарының тазалығы мен процесстің технологиялық ерекшелігіне тәуелді. Қождың құрамын, шығуын, тұтқырлығын зерттеу жұмыстары металл қосындыларын бөліп алуға бағытталған. 70-80% металлды бөліп алуға мүмкіндік беретін 18 және 45% ферросилицийден өндірілген шлактарды гравитациялық байытуға әрекет жасалды, алайда олардың минералдық құрамы құнсыздалды. 65-75% ферросилицийдің ең маңызды қождары магниттік те, гравитациялық та байытуға келмейді. Біз ферросилицийдің қождарын қайта өңдеудің және пайдаланудың ұтымды тәсілдерін әзірлеуді мақсат етіп қойдық. Ферросилицийдің әртүрлі маркаларын өндіру кезінде күкірт қышқылының шығуы мен жоғалуын анықтау үшін, Ермаков (ЭЗФ) және Кузнецкий (КФЗ) ферроқорытпа зауыттарында баланс балқымалары өткізілді. Қорытпада күкірт құрамы ұлғайған сайын, қожда тотықсызданған күкірттің мөлшері өседі. ФС45 қорытпасын балқыту кезінде күкірттің қожбен жоғалуы минималды, ол кремнийдің 1т электр энергиясының ең аз үлес шығынын түсіндіреді. Қождардың минералдық бөлігі-нің құрамы ферросилицийдің балқытылатын маркасына байланысты өзгереді (кесте 3). Ферросилицийдің 18% қождары жоғары құрам-ды кремнезем мен темір оксидтері, жоғары құрамды бос көміртегі (графит түрінде) және төмен құрамды күкірт карбидімен сипатталады. 25-75% ферросилиций балқыту кезінде қождар қиын тотықсызданатын оксидтермен байытылады, қождың негізділігі өседі. Бұл қож-дарда жоғары құрамды күкірт карбиді болады. Осылайша, қож қалдығымен ферросилиций өндірісінде 2-6% металл жоғалады.

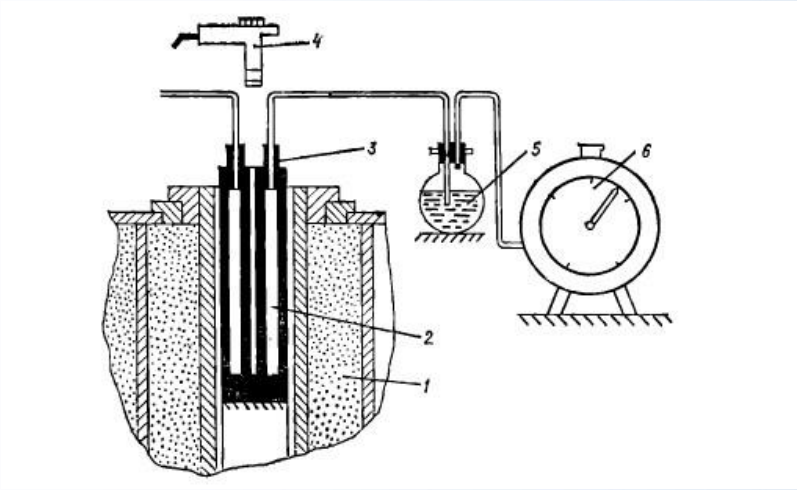
Кесте 3 - Қождың минералды бөлігінің құрамы, %

Қорытпа маркасы	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	FeO
ФС18	42,6	17,9	30,3	4,1	5,1
ФС25	40,3	19,6	33,5	5,3	1,3
ФС45	33,0	19,5	37,7	7,7	2,1
ФС65	33,5	23,5	34,3	6,7	1,0
ФС75	33,2	23,9	33,2	7,5	2,2

Қождардың тұтқырлығы 1600-1700°С температурада да жоғары болды. Ең сұйық қозғалмалы қож ФС75 балқымасында болады, бұл оның минералды бөлігінің қолайлы құрамымен түсіндіріледі. Қайта балқыту және электр пеші арқылы шлактардан күкіртті алу. Өндіріс қождарында қалпына келтірілген күкірттің жоғары құрамды ферросилицийдің болуы металл фазасын тұндыру мақсатында 1,2МВ·А электр пештерінде оларды қайта балқытудың орындылығы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Іздестіру сипатындағы зерттеулер барысында үш балқыту сериясы өткізілді. Бірінші серияда қождарды қайта балқыту темір жоңқа қоспасымен және әк қоспасыз мерзімді үдеріспен жүргізілді. Шихтаның балқуы қарқынды болды, пештен металл мен қождың шығарылуы барлық үйіндіні балқытқаннан кейін жасалды. Тәжірибелі балқымалардың соңғы қождары суыған кезде металдан оңай бөлініп отырды, қождарда макроқосылыстар байқалмады. Негізділік кезінде (CaO+MgO) : SiO2, 1,5 тең соңғы шлактар суыған кезде өздігінен шашылды. ФС45 қождарын балқытуда күкірт шығару соңғы қождың негізділігін арттырумен азаяды. Жоғары негізді қождары бар қалпына келтірілген күкірттің шығындары күкірт карбидін қиратуға қажетті күкірт пен алюминий оксидтерінің белсенділігінің төмендеуімен байланысты.

Жоғары күлдік Екібастұз көмірінен ферросиликоалюминий алу. Екібастұз көмір қалдықтарының технологиялық ерекшелігі Екібастұз көміріне минералды қоспалардың көп мөлшері сипатталады, бұл олардың жоғары күл мазмұнын анықтайды. Көмір қабаттарындағы минералды түзілістердің басым бөлігі сингенетикалық болып табылады. Көмір бөлігінде органикалық қалдықтардың пішінделген элементтері бейнеленген. Почва жыныстары, кровли және прослой пластов қабаттарының жыныстары көбінесе каолинит құмтас, алевролит және аргиллит болып келеді. Көп күл (зольность), құрамында көп мөлшерде оттек алюминий және кремнезем, тотықтың жалпы мөлшері кремний ферроқорытпа, дәлел ретінде, атап айтқанда, көмірқалдықтарын табиғи тотықсыздандырғыш ретінде, электротермия алюминиево-кремни ферробалқыма өндірісінде құнды шикізат болып саналады, және электр балқыту кинетикалық зерттеу нәтижелері оларды тотықсыздандыру мақсаты ферросиликоалюминий алу. Біз алюминий-кремний оксиді көміртегімен бірге көмір қалдықтарының ішінде кинетикалық тотықсызданатынын, сонын ішінде глинозем бар материал күйежентектелген боксит қызметін атқарғанын (агломерированный боксит) оқығанбыз. (58% Al_2O_3 , 13% SiO_2) Ал тотықсыздандырғыш - коксик болды. Екі жағдайда құрамында 50% Si,10% Al ,30% Fe балқымасын алу үшін кварцит пен техникалық таза темір қосамыз. Шығын материалын дробили до фракции 0,01мм аспаны орташаландырып (усреднения навески) болғасын тотықысыздандырғышпен бірге брикеттеді. Брикетті газды счетчикпен жалғанған төрт ұяшықты (ячейка) графиттелген тигельмен араластырды. Тамман пешінің қыздыру зонасының температурасын үздіксіз вольфрам-рений термопарасымен ВР-20 тексереді, ортаңғы тигель саңылауында орналасқан(сурет 1). Тотықсыздандыру дәрежесін газдардың бөліну мөлшерімен анықталды, қалған бүткілі оттегімен және көміртегіден тұрады.

Жоғары күлдермен ФСА балқыту. Ферросиликоалюминийді балқыту технологиясы көмір футеровкасы бар ОББ - 616 стандартты электр пешінде зерттелді.



Сурет 1 - Әртүрлі шихтадағы Таммана пеші; 1 - қабырға; 2 - төрт ұяшақты тигель; 3 - тығыздағыштар; 4 - термопара ВР-20; 5 - су жапқыш; 6 - газ өлшегіш

Балқыту екі жолмен жүзеге асырылды. Алғашқыда жоғары күлді көмір (55,8% күл), кварцит, вскрышную породу (73,9% күл) және темір жоңқалары, екіншісінде – жоғары күлді көмір (65,0% күл) және кварцит. Электрлік балқытуға арналған көмір қалдықтарын дайындау олардың ұсақталуына және фракциялау 10-50 мм-ге дейін бөлінді. Металлургиялық процесс үздіксіз, шлаксыз, металды мерзімді түрде шойын құятын нысанға шығарумен болды. Пештің жұмысы тұрақты электрлік жүктеменің, электродтардың терең қонуының, пештің бүкіл үстіне біркелкі газ бөлінуімен және саңылаудан еркін кедергісіз шығуы. Ферросиликоалюминийді балқытуға арналған жартылай өндірістік нәтижесі: лабораториялық экспериментте жоғары механикалық беріктік пен көмірқалдықтардың қанағаттандырарлық температурада, температураға сай пештердің жоғарғы бөлігінде кентотықсыздануы нәтижесін растады. Процестің тотықсыздану реакциялары көмір қалдықтарының көміртегінің есебінен жүзеге асырылады, бұл ретте балқымадан қорытпаға жетекші элементтердің өте жоғары шығарылуымен сипатталады.

Келесі жартылай өнеркәсіптік науқан 60 күн бойы өткізілді. Негізгі міндет төмендетілген темір құрамымен қорытпаны алу болып табылады. 48% Si, 27% Al және 15% Fe құрайтын 58 тонна қорытпа алынды, нақты меншікті электроэнергиясы 14,4МВт*ч. Пайдаланылатын материалдарға байланысты алюминий қорытпасынан 22% -дан 37% -ға дейін, кремний - 42-ден 53-ке дейін, темір -5-тен 25-ке дейін өзгерді. Құйынды салмағы бойынша 17% мөлшерінде қорытпа ұсақтаудан металлургиялық қайтару енгізу, электр энергиясын тұтынудың төмендеуіне әкелді 1-т.дан 8,2 МВт*сағатқа дейін. Алынған қорытпа Череповец металлургия комбинатында мартен пешінде болатты қышқылсыздандыру үшін сыналды. Оның пайдалану алюминий шығынын 1,2-2есе төмендетті болаттағы алюминийді анағұрлым тұрақты құрамын қамтамасыз етуге және қышқылсыздандыру кезінде қолмен жұмыс күшін жою үшін мүмкіндік берді. 7 күн бойы ферросиликоалюмийді балқытудың пилоттық-өндірістік науқаны қуаттылығы 21,0МВА көмірмен футеровкаланған пеште өткізілді. Колоштағы шихта құрамы,кг: темір жоңқасы 30 дейін, вскрышная порода 450-650, кварцит 145. Алынған 143т қорытпа құрамында орташа 58% кремний, алюминий - 11, электроэнергияның меншікті шығыны: 16,2МВ*сағ/т құрайды.

Бақылау сұрақтары:

1. Ферросиликоалюминий туралы не білесіз?
2. Шикіқұрам материалдары.
3. Ферросиликоалюминий 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.