

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

Нұрабай Нұрасыл Нұрғайсаұлы

Орташа көміртекті феррохром алу процесін зерттеу

**ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС**

5B070900 – Metallургия мамандығы

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

**ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ**

Кафедра меңгерушісі

техн. ғ-ң. канд.

 М.Б. Барменшинова

« 07 » 06 2021 ж.

Дипломдық жұмыс  
**ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Тақырыбы: «Орташа көміртекті феррохром алу процесін зерттеу»

Мамандығы 5В070900 – Metallургия

Орындаған

Нұрабай Н. Н.

Ғылыми жетекші

PhD, лектор



Қойшина Г. М.

« 07 » 06 2021 ж.

Алматы 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Металлургия және өнеркәсіптік инженерия институты

Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту кафедрасы

5B070900 – Metallургия

**БЕКІТЕМІН**

МжПҚБ кафедра меңгерушісі, техн. ғыл. канд.,  
\_\_\_\_\_ М.Б. Барменшинова  
«01» \_\_\_\_\_ 02 \_\_\_\_\_ 2021 ж.



Дипломдық жұмыс орындауға  
**ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Нұрабай Нұрасыл Нұрғайсаұлы

Тақырыбы: «Орташа көміртекті феррохром алу процесін зерттеу»

Университет Ректорының 2020 жылғы «24» қараша № 2131-б  
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі «18» мамыр 2021 ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берілістері: Орташа көміртекті феррохромды силикотермиялық және алюминотермиялық редукциялау әдістемесі.

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Металлтермиялық әдістерге әдеби шолу ;

б) тәжірибелік әдістеме таңдау;

в) тәжірибе нәтижелерін талдау;

г) қорытынды.


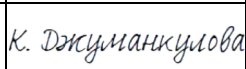
Сызба материалдар тізімі (міндетті сызбалар дәл көрсетілуі тиіс):  
Феррохромды өндіру процесінің силикотермиялық және алюминотермиялық процесін талдау нәтижесінде құрылған компоненттердің құрам диаграммалары, қоспалардың күй диаграммалары.

Ұсынылатын негізгі әдебиет 27 атаудан тұрады


Дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау  
**КЕСТЕСІ**

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе	15.02.2021 ж.	
Әдеби шолу	29.03.2021 ж.	
Технологиялық бөлім	12.04.2021 ж.	
Металлургиялық есептеулер	19.04.2021 ж.	
Қорытынды	03.05.2021 ж.	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған  
**қолтаңбалары**

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Негізгі бөлім	Г.М Қойшина, PhD лектор	05.06.2021 ж.	
Норма бақылау	С.Қ. Джуманкулова, PhD	07.06.2021 ж.	

Ғылыми жетекші

 Г.М Қойшина

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Н.Н Нұрабай

Күні

«01» ақпан 2021 ж.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста орташа көміртекті феррохром қорытпасын алу процестеріне зерттеу жүргізілді. Қоспалардың мөлшерін азайтудың белгілі әдістеріне (тотықтырғыш, газ, плазма) әрқайсысының өзіндік артықшылықтарына көңіл бөле отырып шолу жасалған. Заманауи талаптарға сай бағдарламаны қолданып процесті модельдеу жұмыстары қарастырылды.

*Жұмыстың мақсаты:* орташа көміртекті феррохромды алу процесін зерттеу.

*Жұмыстың жаңалығы:* Ферросиликохромды кремнийді және алюминийді бірге пайдаланған кезде құрамында 0,015 % - дан аз фосфор бар орташа көміртекті феррохром алу мүмкіндігі анықталды. Құрамында 0,015% – дан аз фосфор бар орташа көміртекті феррохромды алу мүмкін, бірақ бұл ретте балқытудың бірінші кезеңінде алюминий мен әк шығыны 26 және 6 кг/100 кг кенді, ал екінші кезеңде ферросиликохром мен әк шығыны тиісінше 27 және 70 кг/100 кг кенді құрауы тиіс.

## АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе проведено исследование процессов получения среднеуглеродистого феррохромного сплава. Обзор известных методов снижения содержания примесей (окислитель, газ, плазма) сделан с акцентом на собственные преимущества каждого. Рассмотрены работы по моделированию процесса с использованием программы, отвечающей современным требованиям.

Цель работы: изучить процесс получения среднеуглеродистого феррохрома.

Новизна работы: при совместном использовании Ферросиликохромного кремния и алюминия выявлена возможность получения среднеуглеродистого феррохрома, содержащего менее 0,015% фосфора. Возможно получение среднеуглеродистого феррохрома, содержащего менее 0,015% фосфора, но при этом расход алюминия и извести на первом этапе плавки должен составлять 26 и 6 кг/100 кг руды, а на втором этапе ферросиликохрома и извести-27 и 70 кг/100 кг руды соответственно.

## ANNOTATION

In this thesis, a study of the processes of obtaining a medium-carbon ferrochrome alloy is carried out. A review of the known methods for reducing the content of impurities (oxidizer, gas, plasma) is made with an emphasis on the own advantages of each. The work on modeling the process using a program that meets modern requirements is considered.

Objective: to study the process of obtaining medium-carbon ferrochrome.

Novelty of the work: the combined use of ferrosilicochrome silicon and aluminum revealed the possibility of obtaining medium-carbon ferrochrome containing less than 0.015% phosphorus. It is possible to obtain medium-carbon ferrochrome containing less than 0.015% phosphorus, but the consumption of aluminum and lime at the first stage of melting should be 26 and 6 kg/100 kg of ore, and at the second stage of ferrosilicochrome and lime-27 and 70 kg/100 kg of ore, respectively.

## МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
1 Орташа көміртекті феррохромды алу процесінің физика-химиялық негіздері	10
1.1 Металлтермиялық әдіс	10
1.1.1 Хром мен темірді қалпына келтіру	10
1.2.2 Көміртектің әрекеті	13
1.2.3 Зиянды қоспалардың әрекеті	15
2 Хром кендерінен орта көміртекті феррохромды алу	17
2.1 Процестің физика-химиялық негіздері	18
2.2 Хром рудасынан хромды алюминий және кремниймен редуциялау процесінің термодинамикалық есептеу	21
2.3 Есептеу әдістемесі	22
2.4 Нәтижелері	24
Қорытынды	43
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	44



## КІРІСПЕ

Жоғары хромды орташа көміртекті қоспалардан таза қорытпаларды өндіру мәселесі өте *өзекті* мәселе. Зиянды қоспалардың құрамына қойылатын талаптар тұрақты түрде күшейтіледі. Болат пен қорытпалардың қасиеттері көбінесе көміртегі, күкірт, фосфор, азот және басқалары сияқты қоспалардың құрамына байланысты екені белгілі. Жоғары хромды орташа көміртекті қорытпалардағы қоспалардың мөлшерін азайту мәселесі өте күрделі. Мұндай болаттарға коррозияға төзімді хромоникельді және хромды (суперферритті), сондай-ақ құрамында 40 % дейін хром бар қорытпалар жатады. Қоспалардың мөлшерін азайтудың белгілі әдістері (тотықтырғыш, газ, плазма) әрқайсысының өзіндік артықшылықтарына ие, бірақ қойылатын негізгі талаптардың толық орындалуын қамтамасыз етпейді. Сонымен қатар, олар арнайы жабдықты қолдана отырып, қосымша операциялардың санын көбейтуді талап етеді, бұл металды өңдеу кезінде шығындардың артуына және өнімділіктің төмендеуіне әкеледі. Технологиялық схемаға салыстырмалы түрде қарапайым енгізуге болатын және қолданылатын материалдардың төмен құнын қамтамасыз ететін өте қарапайым процестер қажет.

*Жұмыстың мақсаты:* орташа көміртекті феррохромды алу процесін зерттеу.

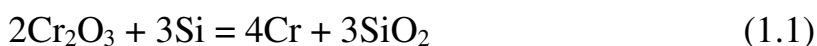
*Жұмыстың жаңалығы:* Ферросиликохромды кремнийді және алюминийді бірге пайдаланған кезде құрамында 0,015 % - дан аз фосфор бар орташа көміртекті феррохром алу мүмкіндігі анықталды. Құрамында 0,015% – дан аз фосфор бар орташа көміртекті феррохромды алу мүмкін, бірақ бұл ретте балқытудың бірінші кезеңінде алюминий мен әк шығыны 26 және 6 кг/100 кг кенді, ал екінші кезеңде ферросиликохром мен әк шығыны тиісінше 27 және 70 кг/100 кг кенді құрауы тиіс.

# 1 Орташа көміртекті феррохромды алу процесінің физика-химиялық негіздері

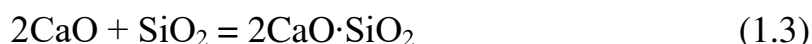
## 1.1 Металлтермиялық әдіс

### 1.1.1 Хром мен темірді қалпына келтіру

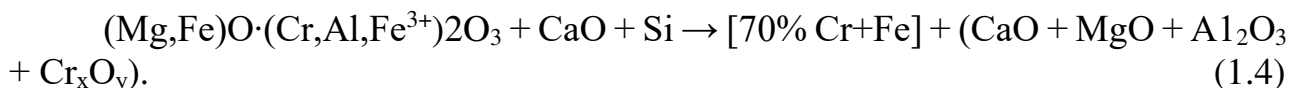
Орташа көміртекті феррохром өндірісі хром оксиді мен хром рудасының темірін ферросиликохромды кремниймен келесі химиялық реакциялар бойынша қалпына келтіруден тұрады [1-6]:



Хромды толығымен қалпына келтіру үшін әк енгізіледі. Кальций оксиді пайда болған кремнийді реакция арқылы күшті, оңай балқитын қосылысқа байланыстырады:



осылайша оның белсенділігі төмендейді. Темір мен хром феррохром ерітіндісін құрайды. Осылайша, орташа көміртекті феррохромды силикотермиялық флюс әдісімен алу процесінің химизмі схемамен ұсынылуы мүмкін



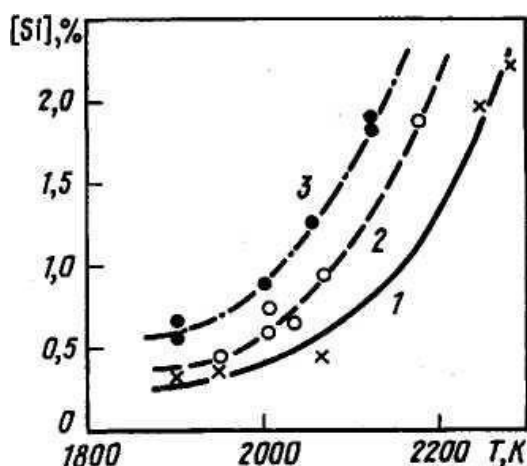
Орташа көміртекті феррохромның құрамы кремнийдің құрамы бойынша регламенттелгендіктен, шихта хромын тиісінше пайдалы пайдалану кезінде берілген кремний құрамы ( $\leq 0,8$  және  $\leq 1,5$  %) бар феррохромды алуды қамтамасыз ететін жағдайларды анықтау маңызды міндет болып табылады. Осы мақсатта зертханалық тәжірибелер жүргізілді, онда шлақтың үш құрамы бар (1.1 кестені қараңыз) феррохроммен тепе-теңдікке келтірілді. Эксперименттердің нәтижелері 1.1-суретте көрсетілген. Хром оксидтерінің кремниймен әрекеттесу реакциясының экзотермиясына байланысты феррохромдағы кремнийдің тепе-теңдік мөлшері неғұрлым жоғары болса, температура соғұрлым жоғары болады. Феррохромдағы кремнийдің тепе-теңдік концентрациясына шлақтың негізділігі айтарлықтай әсер етеді. Зерттелген барлық температура аралығы үшін (1900-ден 2300 К-ге дейін) феррохромдағы кремний мөлшері негіздің жоғарылауымен төмендейді (сурет 1.1).  $T \leq 2100$  к кезінде 1,8 негізді шлақ үшін құрамында 0,8 % кремний бар феррохром алу үшін жағдайлар жасалады. Нақты өнеркәсіптік шлактар, ОАО-мен қатар, MgO-ның салыстырмалы түрде көп мөлшерін қамтиды. 60-шы жылдары орташа (~1) MgO қатынасы бар хром кені қолданылған кезде:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , силикотермиялық процестің шлагында MgO аз болды. 90 - шы жылдары ТМД ферроқорытпа зауыттарына MgO: $\text{Al}_2\text{O}_3$  қатынасы

анағұрлым жоғары (1,8 – 2,3) хром кендері (концентраттар) келіп түседі, бұл процестің кинетикасына да, сұйық феррохром – шлакты балқыма-пеш атмосферасы жүйесіндегі тепе-теңдік жағдайларына да айтарлықтай әсер етеді.

Шлактың негіздік әсері (CaO + MgO): SiO<sub>2</sub> L<sub>Si</sub> кремнийінің үлестіру коэффициентіне 1.2 суретте көрсетілген, одан максималды мәнге (lg L<sub>Si</sub> = 1,8) 1,6 негіздік кезінде қол жеткізіледі, дегенмен өнеркәсіптік жағдайларда негізділік 1,9-2,1 шегінде сақталды. 1.2-суреттен кремнийдің қорытпадан шлакқа толық өтуіне қол жеткізу үшін процесті салыстырмалы түрде жоғары температурада жүргізуге болмайды. Балқытудың соңғы кезеңінде феррохромды кремнийден сәтті тазарту негізділікпен мүмкін (Ca+MgO):SiO<sub>2</sub> ≈ 1,6, егер тиісті температура жағдайлары сақталса. Қождың жоғары (>1,8) негізділігімен онда кальций хроматына сәйкес топтар пайда болуы мүмкін, бұл хром оксидтерінің белсенділігін төмендетеді. Шикіқұрамдағы әктің тым көп мөлшері, егер бұл бағалау шлактағы хром оксидтерінің қалдық құрамына сәйкес жүргізілсе, феррохромдағы шлактан хромды толығымен алу елесін тудыратынын есте ұстаған жөн. Шын мәнінде, негізділігі 1,8 және одан да көп 2,2 болған жағдайда, шлак компоненттерінің кальций оксидімен тотығуы жүреді.

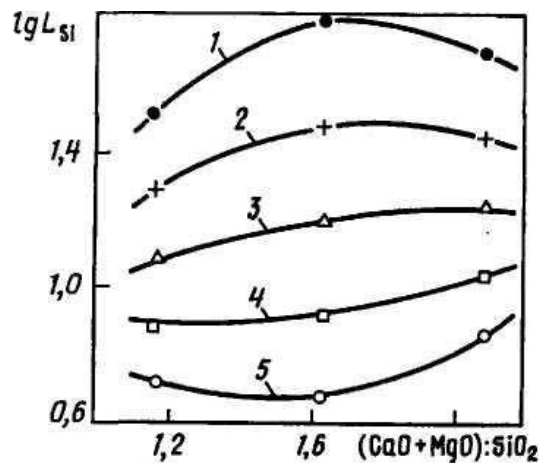
1.1-ші кесте - Химиялық құрамы, мас. феррохромды алудың силикотермиялық процесінің тәжірибелік шлактары

Шлак	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/ SiO <sub>2</sub>
1	28,64	4,68	2,14	51,48	8,28	5,80	1,80
2	34,68	3,32	1,33	48,62	8,38	2,90	1,40
3	41,96	5,50	1,20	41,66	6,61	3,32	0,99



(CaO :SiO<sub>2</sub>) = 1,80 (1); 1,40 (2) және 0,99 (3)

1.1-ші сурет - Шлактың негізділігі кезінде феррохромдағы кремний құрамына температураның әсері



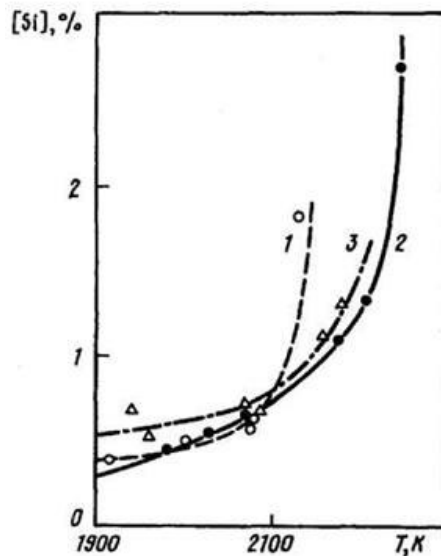
1.2-ші сурет - Температура кезінде кремний бөлу коэффициентіне шлақтың негіздік әсері 1900 (1), 2000 (2), 2100 (3), 2200 (4) және 2300 К (5)

MgO:Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> және MgO:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> қатынасы төмендеген Оңтүстік Кемпірсай хром кендерінің сарқылуына байланысты феррохром өндірісіне магнезия хромиттері қатысады. Сондықтан феррохром өндірісінің кендері мен шлактарындағы MgO мәселесі түбегейлі жаңа реңкке ие болды. Құрамында MgO мөлшері орташа хром кендерін пайдалану кезінде әдебиетте құрамында Мдос бар компоненттерді зарядқа енгізу қажеттілігі туралы мәселе талқыланды. MgO қожына әк массасынан 0,25-0,5 мөлшерінде енгізудің орындылығы негізделді, бұл қождың тұтқырлығын төмендетуге ықпал етті. Кейінірек ОАО-ны магний оксидімен ішінара ауыстыру қажеттілігі феррохромды алуға ықпал ететін балқыту жағдайларын жасауға негізделді, басқалары тең, көміртегі аз. MgO шикіқұрамына қосып, бірқатар зауыттарда жүргізілген өнеркәсіптік тәжірибелер хром алу, феррохромдағы көміртегі құрамы бойынша да, техникалық-экономикалық көрсеткіштер бойынша да күтілген нәтижелерді растамады.

Ауыстыру мүмкіндігі СаО арналған MgO да шлактар зерттелді жүргізуге тең салмақты балқымалардың феррохром-бабына әбілғазы құсайынов, әртүрлі құрамдарды (кесте 1.2).

1.2-ші кесте - Химиялық құрамы, мас.%, модельдік шлактар

Шлак	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO/ SiO <sub>2</sub>
А	28,40	4,80	2,93	55,48	0,50	10,44	1,95
Б	26,24	8,58	2,32	47,10	14,29	3,05	1,80
В	24,76	13,97	1,40	34,72	21,72	9,95	1,40



1.3-ші сурет - А (1), Б (2) және В (3) шлактарымен балқыту кезінде шлак температурасының феррохромдағы кремнийдің құрамына әсері)

Эксперименттік деректерді өңдеу арқылы кремнийдің феррохромнан шлакқа, кДж/мольге өту процесі жылуының мынадай мәндері алынды: түбі = 85,7; ҰҚД = - 101,2 және ДНВ = -38,5. Шлактағы MgO концентрациясының ~14% дейін жоғарылауы, жоғарыда келтірілген мәліметтерден көрініп тұрғандай, процестің жылуына айтарлықтай әсер етпейді, кремнийдің феррохромнан қожға ауысуының термодинамикалық қиындықтары осы мәннен асып түседі, яғни кремнийден балқытудың соңғы кезеңінде феррохромды тазарту. Оның үстіне "Қазақстан-2050 Қарай бірнеше таңдаулы нәтижелері бойынша равновесному мазмұны кремний алынған қож үшін Б (сурет 1.3). Осылайша, шлактағы MgO-ның ұтымды концентрациясы 12-14 % - дан аспауы керек [7-11].

### 1.2.2 Көміртектің әрекеті

0,06% және одан аз көміртегі бар феррохромды алу белгілі бір қиындықтармен байланысты. Феррохромдағы көміртегі құрамына және сәйкесінше орташа (<0,06%) көміртегі бар феррохромның шығуына қождың негізділігі, әк сапасы, графиттелген электродтар, сондай-ақ электр балқыту режимі әсер етеді. Әр түрлі зерттеушілер жүргізген маңызды зерттеулер феррохромды балқыту кезінде көміртектің негізгі көзі электродтар екенін көрсетті; көміртектің бір бөлігі ферросиликохроммен енгізіледі. Графиттелген электродтармен және ферросиликохроммен қатар көміртек көздері, кем дегенде, хром кені мен әк құрамындағы карбонатты қосылыстар мен органикалық қосылыстар болып табылады. Кейбір авторлар электродтардың әсерін жоққа шығаратын индукциялық пеште феррохромды балқыту кезінде заряд материалдарының сапасының әсерін зерттеуге сүйене отырып, хром рудасының алуан түріне қарамастан, көміртектің абсолютті мөлшері ферросиликохром

енгізген көміртектің абсолютті мөлшеріне өте жақын және Қолданылатын кен түріне тәуелді емес екенін көрсетті [12].

В. М. Гетманчук және т.б. қуаты 5 МВ·А пештерінде 320 В қайталама кернеу және 9 кА ток күші кезінде тәжірибелер жүргізді. Өк құрамындағы  $\text{CO}_2$  1,2-2,7 % құрады. Тәжірибелік деректерді өңдеу өзара байланысты алды

$$[\%C]_{\text{ФХ}} = 0,046(\% \text{CO}_2)_{\text{өк}} + 0,1224, \quad (1.5)$$

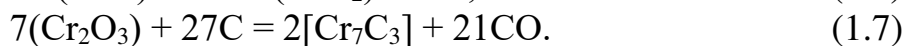
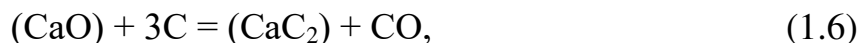
оған сәйкес орташа көміртекті феррохромды балқыту үшін кальций карбонаты мүмкіндігінше аз өк қолдану керек.

Х. Н. Кадарметовтың деректері бойынша 50 %-ға дейін электродтармен енгізіледі; ф.п. Еднерал бұл шама 75 %-ға жетуі мүмкін деп есептейді. Технологиялық режимді бұзбай өнеркәсіптік пештерді пайдалану кезінде электродтардың феррохроммен тікелей байланысы іс жүзінде алынып тасталады, сондықтан электродтардың көміртегінің қож арқылы металға өту жағдайларын қарастырамыз. Көміртектің электродтардан феррохромға ауысуы екі нұсқа бойынша жүруі мүмкін:

- шихта материалдарын балқығаннан кейін электродтардың астында пештің жұмысының салыстырмалы түрде тұрақты доғалық режимі орнатылады. Доғаның жануы кезінде көмір бөлшектерінің ағымы пайда болады, бұл электродтар материалының анодтық бүрку құбылысымен және оны катодқа өткізумен байланысты. Анодтың тозаңдану мөлшері ток тығыздығының жоғарылауымен жоғарылайды, ал анод материалын катодқа беру дәрежесі электродтар арасындағы қашықтыққа байланысты болады және осы қашықтықтың төмендеуімен артады; катодқа анодтың жоғалу массасының 20-40 % берілуі мүмкін.

- электр пешінде балқытылатын силикотермиялық феррохромдағы көміртегі мөлшерін төмендетудің шешуші шарттарының бірі жоғары сапалы графиттелген электродтарды қолдану болып табылады. Электродтардың сапасы нашар болған жағдайда, көміртегі бөлшектері электродтың жұмыс ұшынан пештің ваннасындағы шлак балқымасына түсіп кетуі мүмкін.

Негізділіктің жоғарылауымен көміртектің қож компоненттерімен әрекеттесуі реакцияларға сәйкес жүреді



Екі реакцияның конденсацияланған өнімдері ( $\text{CaC}_2$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) феррохромдағы көміртектің жоғарылау көзі болып табылады. Кальций карбиді жоғары негізді шлактарда өте тұрақты, өйткені ол оларда оңай ериді. Металды көміртектендіру дәрежесі қождың химиялық құрамына және оның температурасына байланысты. Қож негізінің жоғарылауымен металдағы көміртегі мөлшерінің жоғарылауы жоғарыда келтірілген реакция бойынша шлакта кальций карбидінің түзілу процесіне байланысты. Бұл жағдайда хром

және темір оксидтерін кальций карбидінің көміртегімен азайтуға болады. Бұл силикохромды балқымаға құйғаннан кейін шлак қабаты арқылы өтетін силикохромды патшалардағы көміртегі мөлшерінің жоғарылауымен расталады. Сондықтан қождың пайда болу жағдайларын және қождың химиялық құрамын өзгерту арқылы феррохромның карбюраторлық дәрежесін өзгертуге болады. Силикохромды ертерек толтыру, қождың негізділігін төмендетуге көмектеседі, металдағы көміртегі мөлшерін азайтады.

Өнеркәсіптік практика үшін хром кені 72 кг-нан 88,3 кг-ға дейін өзгертілген 5,0 МВА доғалы электр пештерінде феррохромды балқытудың тәжірибелік науқандарының жалпыланған мәліметтері қызығушылық тудырады. Келтірілген тәжірибелер шлақтың негізділігінің азаюымен (эксперименттерде 1,85-тен 1,78-ге дейін) көміртектің аз концентрациясы бар (0,089-дан 0,062 %-ға дейін) феррохром алу үшін жағдайлар жасалатынын растайды. Төменгі негіздегі қож ( $\leq 1,8$ ), ЧЭМК-де орташа көміртекті феррохромды өнеркәсіптік өндіру жағдайында сапалы әк және ферросиликохром (1990 ж.) ФХ010 маркалы феррохромның шығуы бойынша ең жақсы көрсеткіштерді қамтамасыз етті (90-95 % дейін).

Осылайша, көміртегі орташа көміртекті феррохромды балқыту кезінде негізінен ферросиликохроммен және электродтармен енгізіледі. Сондықтан феррохромның қажетті маркасын алу үшін тиісті көміртегі бар ферросиликохром қолданылады және балқыту кезінде пештің электрлік режиміне, электродтарды отырғызуға және зарядты жүктеуге назар аударылады. Доғалы электр пешінен тыс рудофлюс балқымасын сұйық (қатты) ферросиликохроммен араластыру әдісімен феррохромды өндіру ғана, алудың технологиялық схемасын ұйымдастырушылық жағынан қиындатса да, құрамында көміртегі орташа ( $< 0,03$  %) феррохромды балқытуды қамтамасыз етуге кепілдік беріледі.

### 1.2.3 Зиянды қоспалардың әрекеті

Орташа көміртекті феррохром сапасының маңызды көрсеткіші фосфордың құрамы болып табылады. Оның феррохромға түсу көздері шикіқұрамның барлық үш компоненті-хром кені, әк және ферросиликохром болып табылады. Зарядтың әр компоненті енгізген фосфордың үлесі өзгеруі мүмкін. 8.10-кестеде феррохромды балқыту кезіндегі фосфор теңгерімі келтіріледі.

1.3-ші кесте - Феррохромды балқыту кезіндегі фосфор теңгерімі

Берілгені		Алынғаны	
Материал	%	Материал	%
Хромды кен	7,9 /15,1	Феррохром	85,5/84,3
Әк	62,6/43,9	Шлак	14,5/15,7
Силикохром	29,5/41,0		

Ескертпе-алымында қатардағы ферросиликохромды (0,030 % P); бөлімінде орташа фосфорлы ферросиликохромды (0,018 % P) қолдана отырып.

Заряд материалдарындағы фосфор балқытудың тотығу-тотықсыздану жағдайларына байланысты феррохромға толығымен өтеді. Фосфордың оттегіге жақындығымен салыстырғанда хромның оттегіге жоғары химиялық жақындығы хромды фосфорға қатысты тотықсыздандырғыш ретінде сипаттайды. Бұл тұрғыда кремний ғана емес, хром да фосфорды оттегі қосылыстарынан қалпына келтіреді. Фосфордың реттелетін құрамымен феррохром алудың кепілдендірілген жолы орташа фосфорлы шихта компоненттерін және ең алдымен әк (әктас) таңдау болып табылады. Феррохромды балқыту кезіндегі фосфордың материалдық балансы әк 40-тан 60 %-ға дейін болатындығын растайды (кесте 1.3). Шөміштерде (реторттарда) сұйық орташа көміртекті феррохромды синтетикалық шлактармен, силикокальциймен, СЖМ қорытпаларымен өңдеу арқылы пештен тыс дефосфорлау әрекеттері оң нәтиже бермеді.

Серв ферроқорытпа зауытының өнеркәсіптік жағдайында эксперименталды түрде силикотермиялық феррохромдағы фосфорды орташа құрамына қол жеткізудің бір жолы ферросиликохромның сұйық қоқыс қожымен ферросиликохромды алдын-ала дефосфорация болып табылады.

Орташа фосфорлы феррохромды алу проблемасынан айырмашылығы, күкірт мөлшері нормаланған феррохром өндірісі аз күрделі ғылыми және технологиялық міндет болып табылады. Бұл ферросиликохромда оның толық болмауына, сондай-ақ газ күйдіру әкінде және хром кендерінде күкірттің салыстырмалы түрде төмен болуына байланысты. Жоғары күкіртсіздендіру қабілеті жоғары темір және хром оксидтерінің орташа концентрациясы бар жоғары негізді қождың үлкен еселігі, сондай-ақ нормаланған күкірт құрамы бар феррохромды алуға ықпал етеді.

Осылайша, Күкірт пен фосфордың зиянды қоспаларының орта мөлшері көрсетілген қоспалар бойынша таза кен, әк және ферросиликохромды пайдалану арқылы қамтамасыз етіледі.

МЕМСТ 4757-91 орташа көміртекті феррохромның химиялық құрамына қойылатын талаптарды талдау C, Si, P және S құрамын шектеумен қатар стандартпен феррохромдағы азоттың концентрациясы ( $\leq 0,15$  және  $\leq 0,20$  %) реттелетінін көрсетеді. Қарапайым маркалы хром бар болаттардың көпшілігі үшін феррохромдағы азоттың мұндай мөлшері олардың сапасына теріс әсер етпейді. Сонымен бірге, 0,15 және 0,20 % азоттың шекті мөлшері ерекше қасиеттері бар хромды болаттар мен қорытпалар (суперферриттер) алынған жағдайда өте жоғары деп бағалануы керек. Орташа көміртекті феррохромды силикотермиялық әдіспен алудың қолданыстағы технологиялары көрсетілген азоттың шекті құрамы бар феррохромды алуды қамтамасыз етеді. Азоттың осындай деңгейі бар феррохромды орташа көміртекті феррохромның құймаларын (кесектерін) қатты фазалы вакуумдық-термиялық өңдеу арқылы алуға болады.



## 2 Хром кендерінен орта көміртекті феррохромды алу

Хром кендерінен орта көміртекті феррохромды алу хром мен темірдің кремниймен тотықсыздану реакциялары нәтижесінде жүзеге асырылады.

Орта көміртекті феррохромды өндірудің қолданыстағы технологиялары орта көміртекті феррохромды алюминийтермиялық процеспен өндірудің қолданыстағы технологияларын қолданылатын агрегат бойынша келесідей жіктеуге болады:

- стационарлық тау-кен блогында балқыту;
- шлакметалды балқыманы шығара отырып, еңкейтілетін балқыту горнасында балқыту;
- доға пешінде шихта бөлігін алдын ала балқыта отырып, электр пештік балқыту.

Силикотермиялық өндіріс әдісі ферросиликохромды кремниймен хром және темір хром кендерінің қатысуымен кальций оксидін қалпына келтіруге негізделген.

Орта көміртекті феррохром пеште силикотермиялық балқыту әдісімен ковштегі сұйық немесе қатты ферросиликохромды хром әк балқымасын араластыру арқылы алынады. Ауысу процесінің жылуы металлдан жасалған кремний шлаққа 204,47 кДж/моль кремнийге тең. Силикотермиялық реакция нәтижесінде пайда болатын жылу мөлшері алюминотермия және доғалы пештен тыс процесті жүргізу үшін жеткіліксіз.

Барлық электр энергиясының шамамен 60...70 % балқыту және пештің жылу шығынын өтеу үшін жұмсалады.

Орта көміртекті өндірудің силикотермиялық технологиясы тазартылған электр пешіндегі феррохром екі кезеңге бөлінеді. Бірінші кезеңде хром мен темірдің толық қалпына келуі жүреді. Хром рудасының оксидтерінен кейін пайда болған шлақты төгуге болады [14-15].

Екінші кезеңде қажетті химиялық құрамның қорытпасы алынады. Силикотермиялық технология бойынша алынған орта көміртекті феррохром қорытпасында кемінде 65 % хром және 0,05 % артық емес фосфор бар.

Құрамында 0,01 % - дан аз фосфоры бар көміртектенсіз феррохромның алюминотермиялық өндірісінде хром концентраты, бастапқы алюминийдің ұсақ түйіршікті ұнтағы, әк және аз мөлшерде нитрат қолданылады. Шихта материалдары алдын ала ұсақталады және байытылады. Процесс температурасы 2200...2300 °С. Хром алу 89 % жетеді. Электр пешінің шлагында шамамен 60 %  $Al_2O_3$ , 2...4 %  $Cr_2O_3$ , 10...13 %  $CaO$ , 20...24 %  $MgO$ , 0,8...1 %  $FeO$  және 0,8...1,5 %  $SiO_2$  бар.

Электр пеші әдісі электр доғалы пештегі оксидтердің алдын-ала балқытылған бөлігінің физикалық жылуымен жетіспейтін жылу мөлшерін толықтыруға мүмкіндік береді, осылайша алюминий шығынын азайтады.

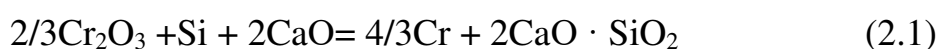
Орта көміртекті феррохромды алюминий термиялық әдіспен балқыту кезінде қымбат ұсақ түйіршікті алюминий ұнтағын қолдану

ферросиликохромды тотықсыздандырғыш ретінде қолдана отырып, хром қорытпаларын алуға қарағанда қымбатқа түседі.

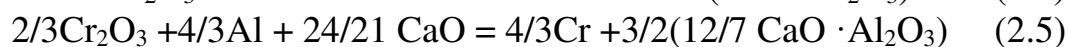
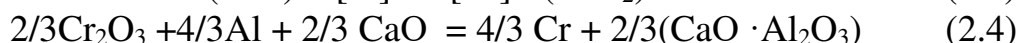
## 2.1 Процестің физика-химиялық негіздері

Ферросиликохромды кремнийді және алюминийді тазартылған электр пешінде хром кенінен хром мен темірді тотықсыздандырғыш ретінде қолданудың ұсынылған технологиясы алюминий термиялық және силикотермиялық процестерді біріктіреді.

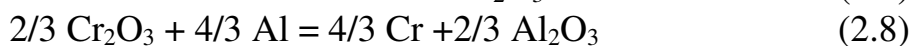
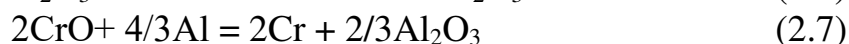
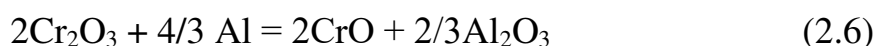
Әк қатысуымен хром мен темірді қалпына келтірудің силикотермиялық процесі реакциялармен сипатталады:



Орташа көміртекті феррохромның силикотермиялық өндіріс шлагында хромның жартысына жуығы екі валентті түрінде болады, сондықтан реакция үлкен мәнге ие, бұл металдағы кремнийдің тепе-теңдік құрамын айтарлықтай анықтайды:



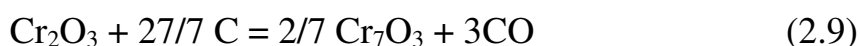
Алюминий термиялық балқытудың сұйық шлактарында хромның пайда болу формалары туралы Есин О.А., Ватолин Н.А. және Захарова О. Д. зерттеулері шлактарда Қос валентті хромның болуын анықтады [16]. Хромды азайту CrO аралық оксидін қалыптастыру үшін кезең-кезеңмен жүреді:



Алюминий термиялық процестің жоғары температурасы, қалпына келтірілген металл мен шлақтың түсетін тамшылары арасында байланыстың болуы және шлактарда алюминий катиондары мен оттегі аниондарының болуы феррохромның жоғары глиноземді шлактарында Қос валентті хром иондарының пайда болуына қолайлы жағдай туғызады [17-18]. Хром кендерінен хромды алюминиймен CrO оксидіне дейін төмендету реакциясы металл хромға қарағанда анағұрлым ықтимал, сондықтан температураның жоғарылауымен реакция өнімдеріндегі CrO мөлшері артады.

Металдағы көміртегі мөлшерінің жоғарылауы жоғары электр кедергісі бар электродтарды, сондай-ақ электродтардың чиптері мен сынықтарын қолдану

нәтижесінде пайда болуы мүмкін. Чиптер кезінде көміртектену реакция арқылы жүреді:



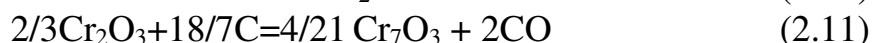
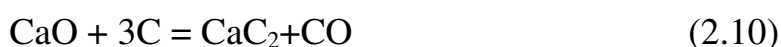
Технологиялық процестің барысы мен өндіріс көрсеткіштеріне шлак фазасындағы  $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$  концентрациясының қатынасы үлкен мән береді. Шлактағы  $\text{MgO}$  оксидінің кеннен, әктен, төсемнен және тұрақты мөлшерде глинозем мөлшері жоғарылаған кезде шлак отқа төзімді және тұтқыр болады, бұл металл мен металл патшаларының жауын-шашынына теріс әсер етеді.

Хромның алюминотермиялық қалпына келу жылдамдығын анықтайтын негізгі фактор температура немесе процестің нақты жылуының пропорционалды мәні болып табылады.

Алюминий термиялық әдіспен феррохром өндірісі үшін үлкен қызығушылық  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$  жүйесінің толық өзара ерігіштігімен сипатталады. Глиноземді хром оксидімен ерітуге әк енгізу шлактағы  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  оксидінің белсенділігінің жоғарылауына және, демек, хромды редукциялау реакцияларының толық жүруіне әкелетіні анық.

Орта көміртекті феррохромды доғалы тазарту пешінде балқыту кезінде хром мен темірді ферросиликохромды кремниймен және алюминиймен қалпына келтірудің ерекшелігі-әк қолдану. Әк шлак түзілу барысына айтарлықтай әсер етеді, ал оның мөлшері хром мен темірдің қалпына келу дәрежесіне әсер етеді. Шлак құрамына кальций оксидін енгізу кремний, глинозем белсенділігін төмендетеді және хром оксидтерінің белсенділігін арттырады, нәтижесінде реакциялар тепе-теңдігі хромды толық қалпына келтіру жағына ауысады. Хром мен темірдің қалпына келу дәрежесі силикаттар мен кальций алюминаттарының түзілуіне байланысты және редукциялау реакциясының толықтығына әсер етеді. Сондықтан орта көміртекті феррохромды балқыту процесінде шлактағы хром оксидінің құрамын және пайда болған алюминаттар мен силикаттардың түрін алдын-ала анықтайтын енгізілетін кальций оксидінің мөлшерін бақылау керек.

Силикотермиялық процесте кремнеземді толық байланыстыру үшін қождың негізділігін ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ) 1,7...1,9 қамтамасыз ету керек. Балқымадағы  $\text{CaO}$  оксидінің жоғарылауымен шлақтың негізділігі артады және кремний белсенділігінің төмендеуімен бірге жүреді, сондықтан қалпына келтіру процесі жақсарады. Сонымен қатар, қождың негізділігінің 1,9-дан жоғары артуы құрамында  $\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$  жақын шлактарда топтамалардың пайда болуы салдарынан хромның қалпына келуінің нашарлауына алып келеді. Шлактың жоғары негізділігі кальций карбидінің түзілуімен бірге жүреді және реакциялар бойынша электродтар есебінен металдың көміртектенуіне әкеледі:



CaO оксидінің жоғарылауы қождың физикалық қасиеттеріне әсер етеді және қождың тұтқырлығын төмендетіп, қож қабаты арқылы металл тамшыларының тұндыру жағдайларын жақсартады.

Әк мөлшері кремнийдің толық байланыстырылуын қамтамасыз етуі керек. Қождың негізділігінің 1,7-ден төмен төмендеуі қорытпадағы кремнийдің жоғарылауына және  $Cr_2O_3$  құрамына бай шлактардың пайда болуына және хромның қалпына келу деңгейінің төмендеуіне әкеледі. Негізділіктің едәуір төмендеуі ыдырамайтын қождардың пайда болуына әкелуі мүмкін, бұл қорытпаны қождың дәнекерлеуімен ластайды, қожды бөлуді қиындатады және хром шығынын арттырады.

Қолданылатын тотықсыздандырғышқа және қорытпаны өндіру әдісіне қарамастан, процестің соңында хром мен темір негізіндегі қорытпа, сондай-ақ құрамында кальций силикаттары, хром шпинелі, мервинит, мелинит, диопсид және әйнек бар шлак пайда болады. Шлакта кен хромшпинелидінің дәндері кездеседі. Шлак құрамында металл корольки өлшемі 0,02...0,033 мм [19].

Хром мен оксидтерден жасалған Темір үшін тотықсыздандырғыш болып табылатын кремний ферросиликохромы мен алюминий оларды азайту үшін ғана емес, сонымен қатар шлак бетімен сіңірілетін ауа оттегімен ішінара тотығады. Кремнийдің пайдалы қолданылуы процестің барысына, үю әдісіне, кеннің ылғалдылығына және қолданылатын қуатқа байланысты.

Осылайша, силикотермиялық және алюминотермиялық процестерді талдау хромның азаюы  $CrO$  екі валентті хромның аралық оксидін қалыптастыру үшін жүретінін көрсетеді. Түзілетін шлақтың негізділігі маңызды, өйткені силикотермиялық процесте хромды толығымен редуциялау үшін кремнийді берік кальций силикаттарына айналдыру керек, ал шлақтың негізділігі 1,7...1,9 болуы керек. Шлактың негізділігінің 1,7-ден төмен төмендеуі қорытпадағы кремний құрамының жоғарылауына және  $Cr_2O_3$  құрамына бай шлактардың пайда болуына әкеледі, ал қождың негізділігінің 1,9-дан жоғары болуы  $CaO \cdot Cr_2O_3$  құрамына жақын шлактарда топтардың пайда болуына байланысты хромның қалпына келуінің нашарлауына әкеледі. Қождың жоғары негізділігі кальций карбидінің пайда болуымен бірге жүреді және металды көміртектендіруге әкеледі.

## **2.2 Хром рудасынан хромды алюминий және кремниймен редуциялау процесінің термодинамикалық есептеу**

Орта көміртекті феррохромды алюминотермиялық және силикотермиялық әдістермен алу металдардың оксидтерден редуциялау реакцияларының нәтижесінде жүзеге асырылады, сондықтан процестерді зерттеу металлургияның басты міндеттерінің бірі болып табылады.

Металлургиялық процестердің негізі термодинамикалық есептеу болып табылады [20]. Ол реактивті жұмыс денесіндегі бастапқы құрамнан бастап процесс аяқталғаннан кейін жүйе пайда болатын күйге ауысу бағытын көрсетеді.

Металлургиялық түрлендірулердің термодинамикалық есептеулерінің көпшілігі реакция Гиббс энергиясының өзгеруінің температураға тәуелділігін талдауға немесе реакцияның газ тәрізді компоненттерінің қысымын анықтауға дейін азаяды.

Реакция Гиббс энергиясының өзгеруін анықтау үшін есептеулер жүргізу пайдалы, бірақ шектеулі ақпарат береді. Ең ықтимал реакцияны таңдау үшін барлық мүмкін болатын тәуелсіз реакциялардың  $\Delta G(T)$  анықталуы керек. Бірнеше түрлі заттардан тұратын күрделі жүйелер үшін бұл ұзақ, уақытты қажет ететін және көбінесе "қолмен" есептеу мүмкін емес процесс. Бірақ жеке қалпына келтірілетін заттар үшін, ең ықтимал қалпына келтіру реакциясын анықтағаннан кейін,  $\Delta G(T)$  мәні реактивтер мен тепе-теңдік қалпына келтіру өнімдерінің тепе-теңдік концентрациясы туралы ашық мәселе болып қала береді.

Әк болған кезде хромның алюминотермиялық және силикотермиялық азаюымен жүретін күрделі процестер үшін хромды қалпына келтірудің негізгі реакциясымен бірге болатын мүмкін болатын өзгерістердің саны, әдетте, үлкен болады. Барлық мүмкін болатын түрлендірулерді есептеу компьютерде термодинамикалық модельдеуді қолдану арқылы мүмкін болады, бұл химиялық өзара әрекеттесулер мен фазалық түрлендірулердің нәтижелерін көп элементті гетерофазиялық Бейорганикалық жүйелерде сапалық және сандық түрде болжауға мүмкіндік береді.

Хром кенінен элементтерді қалпына келтірудің алюминотермиялық және силикотермиялық процестерін сипаттау үшін термодинамикалық есептеу «TERRA» бағдарламалық кешенін қолдана отырып жасалды. «TERRA» бағдарламалық кешені ММТУ-да жасалған. РФА Уро металлургия институты көп компонентті металлургиялық жүйелердің тепе – теңдігін есептеуге бейімделген [21-24].

Есептеу әдістемесіне сәйкес тепе-теңдік ретінде оқшауланған жүйенің энтропиясының максималды жағдайына сәйкес келетін құрам танылады. Сұйық ерітіндінің құрамы байланысты ерітінді моделінің бөлігі ретінде сипатталды.

Тепе-теңдік күйі жүйенің компоненттерінің құрамы мен санымен, сондай-ақ алты термодинамикалық параметрлер жиынтығымен сипатталады:

- жалпы қысым  $P$ , атм;
- температура  $T$ , К;
- көлемі  $V$ , м<sup>3</sup>;
- толық ішкі энергия  $U$ , Дж;
- толық энтальпия  $H$ , Дж; - энтропия  $S$ , Дж / К.

Есептеу үшін пайдаланылатын заттардың термохимиялық сипаттамалары анықтамалық басылымдардан алынған, жоқ деректер белгілі әдістемелер бойынша бағаланған; деректер өзара және металлургиялық ерітінділердегі компоненттердің термодинамикалық белсенділігі туралы эксперименттік деректермен келісілген [25].

Есептеу үшін жүйенің бастапқы деректері шихта құрамы және зерттеу міндеттерімен анықталатын алты параметрдің екеуі болып табылады.

"TERRA" бағдарламалық кешенінің бірегейлігі бастапқы ақпараттың минимумымен және термодинамикалық заңдылықтарға қатаң сәйкестікте металл және қож фазасының құрамы, қысым, көлем, тепе-теңдік жүйесінің энергиясы туралы ақпараттың үлкен көлемін алуға болатындығында.

### 2.2.1 Есептеу әдістемесі

Тепе-теңдіктегі жүйенің жай-күйін есептеу әдістемесі мыналардан тұрады. Шихтаның бастапқы құрамы мен шихта материалдарының мөлшері, сондай-ақ екі термодинамикалық параметрлер туралы ақпаратты жүктегеннен кейін бағдарлама барлық қарапайым және күрделі заттарды біріктіреді, олар үшін бағдарламаның мәліметтер базасында термодинамикалық мәліметтер бар. Содан кейін бағдарлама итеративті есептеулер әдісімен энтропиясы берілген жағдайларда бүкіл жүйенің энтропиясының максималды мәнін қамтамасыз ететін заттар мен олардың санын анықтайды. Осылайша есептелген жүйе тепе-теңдік болып саналады.

Феррохромды өндіру процесінің силикотермиялық [26] және алюминотермиялық [27] әдеби деректерін талдау нәтижесінде қалпына келтіру реакцияларының стехиометриясы бойынша зарядтың бес нұсқасы таңдалды (кесте 2.1).

Есептеудің бірінші нұсқасы силикотермиялық процеске, екіншісі – алюминотермиялық, үшіншісі – редуционерді бір уақытта кешенді қолдануға, төртіншісі – 1 кезеңде алюминийді және 2 кезеңде ферросиликохромды қолдануға сәйкес келеді. Есептеулердің бесінші нұсқасында құрамында 0,015 % - дан аз фосфор бар қорытпаны алу үшін редуционерлердің санын анықтағаннан кейін әктің металл мен қождың құрамына әсері зерттелді.

2.1-ші кесте – Есептеу нұсқалар бойынша шихтаның шығыны

Нұсқа		Шихта материалдарының шығыны, кг			
		Хромды кен	Ферросиликохром	Алюминий	Әк
I*	1 период	100	0...40	-	78
	2 период	100	0...40	-	78
II		100	-	0...29	12
III		100	0...26	0...26	36
IV*	1 период	100	-	0...26	24
	2 период	100	0...26	-	50
V*	1 период	100	-	21	0...100
	2 период	100	29	-	0...170

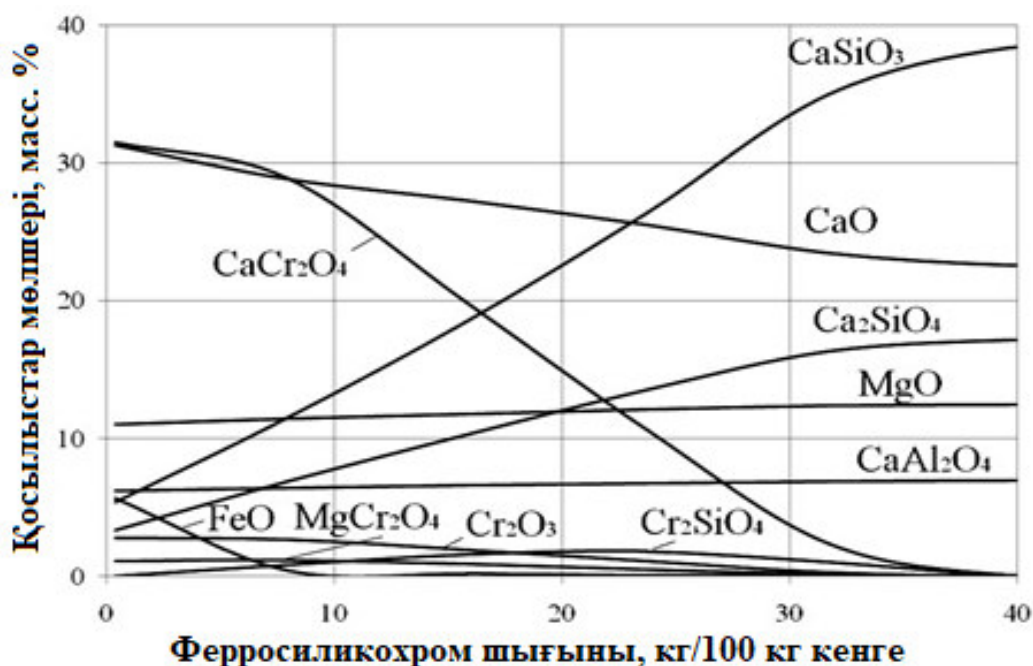
\* шлакты аралық ағызумен

Шлак фазасының сұйық ерітіндісінің құрамдас бөлігі ретінде  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ,  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CaCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Cr}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CaAl}_4\text{O}_7$ ,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ ,  $\text{MgSiO}_3$ ,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CaSiO}_3$  алынды,  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ . Металл фазасы үшін компоненттер ретінде  $\text{Fe}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{FeSi}$ ,  $\text{Fe}_3\text{Si}$ ,  $\text{Fe}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{FeSi}_2$ ,  $\text{Cr}_3\text{Si}$ ,  $\text{Cr}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{CrSi}$ ,  $\text{CrSi}_2$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{P}$  қабылданды.

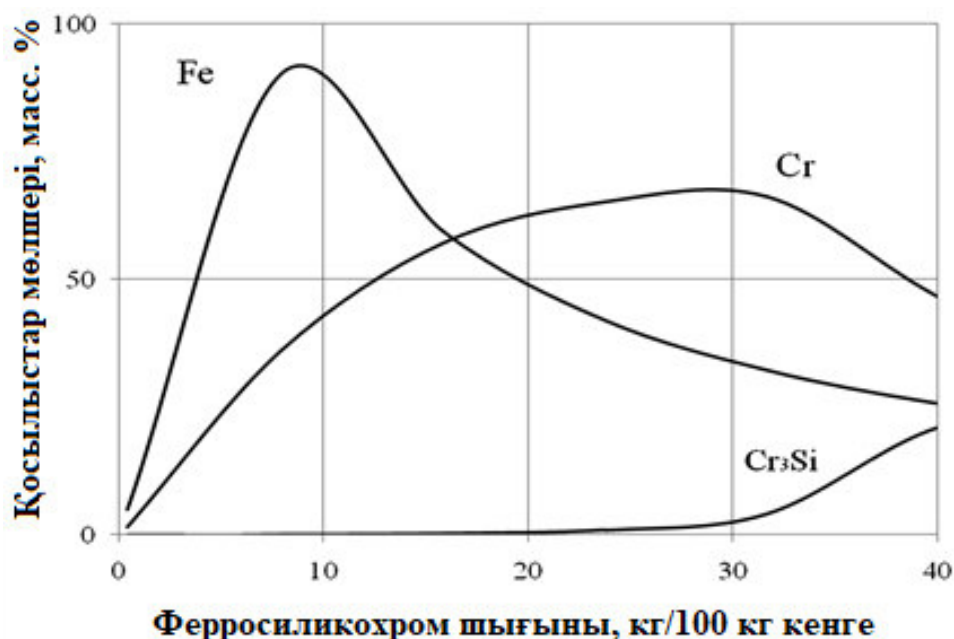
Жүйенің тұрақты параметрлері әдістемеге сәйкес таңдалады. Есептеулер 1 атм жүйесіндегі жалпы қысым мен 2023 К температура үшін жүргізілді. Жүйенің параметрлері пештегі процестердің жағдайларына жақын, ал түзілген компоненттердің термохимиялық параметрлері үнемі өзгеріп отырады.

### 2.2.2 Нәтижелері

Бірінші кезеңде шихта материалдарының бірінші нұсқасы үшін шлақтың құрамын есептеу нәтижелері 2.1-суретте көрсетілген. Ферросиликохромды редуциялау кезінде шлак фазасында әк болған кезде кальций алюминаттары мен силикаттарының қосылыстары пайда болатындығы анықталды.



2.1-ші сурет - Силикотермиялық балқытудың бірінші кезеңінде ферросиликохром шығынын көбейту кезінде шлак фазасындағы ассоциаттар құрамының өзгеруі



2.2-ші сурет - Силикотермиялық бірінші кезеңде ферросилихромы тұтырудың артуымен металл фазасындағы ассоциаттар құрамының өзгеруі

Силикотермиялық балқытудың бірінші кезеңінде хромды толық қалпына келтіруге ферросилихромы 100 кг кенге 40 кг тұтыну арқылы қол жеткізіледі (сурет 2.3). Хромнан басқа, мұндай тұтынумен темір мен фосфор, сондай-ақ ішінара кремний толығымен қалпына келтіріледі.

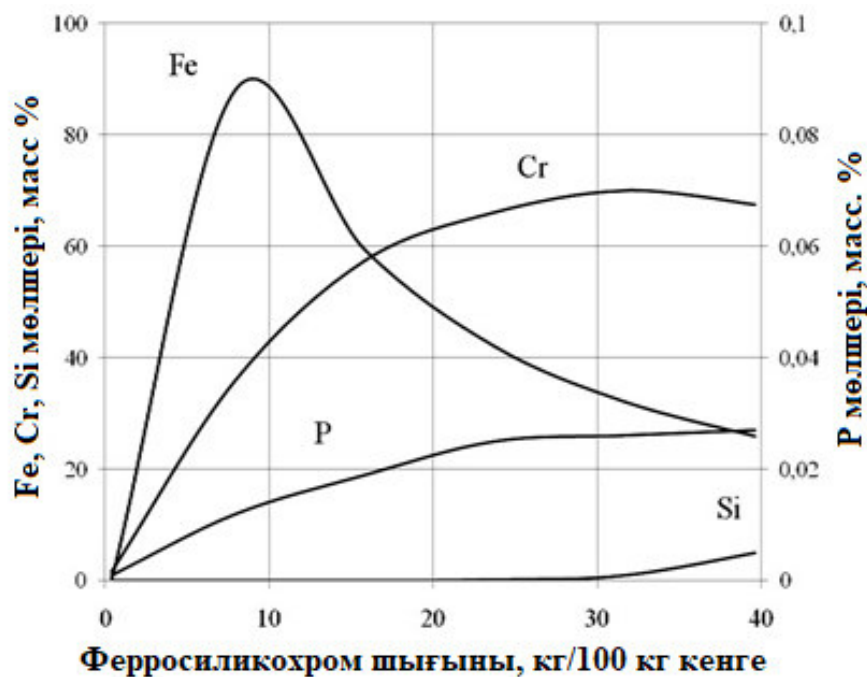


2.3-ші сурет - Силикотермиялық балқытудың бірінші кезеңінде ферросилихромы шығынын көбейту кезінде элементтердің металға ауысу дәрежесі

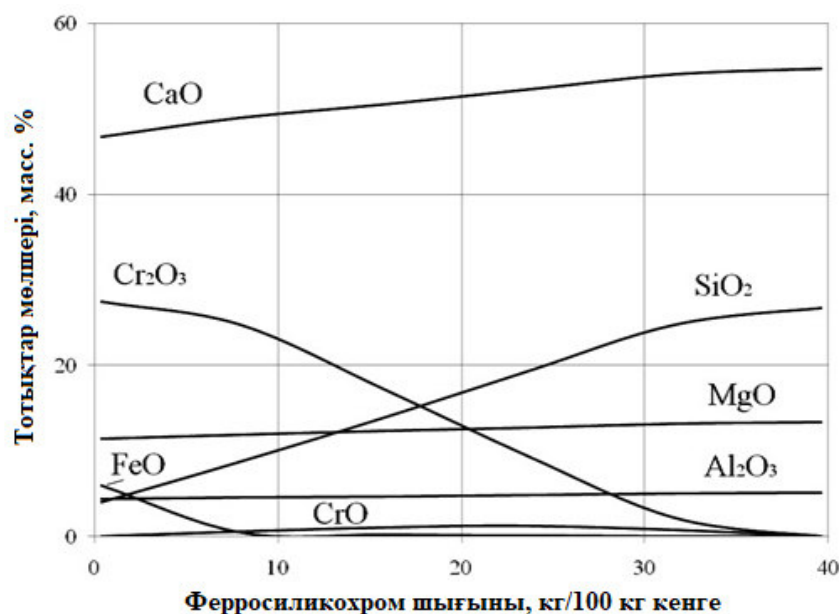


Суретте көрсетілгендей 4 және 5 бірінші кезеңде металл құрамында 68 % Cr бар, 28 % Fe, 4,9 % Si және 0,026 % P, ал қож 13 % MgO, 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 27 % SiO<sub>2</sub>, 55 % CaO, <1 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO.

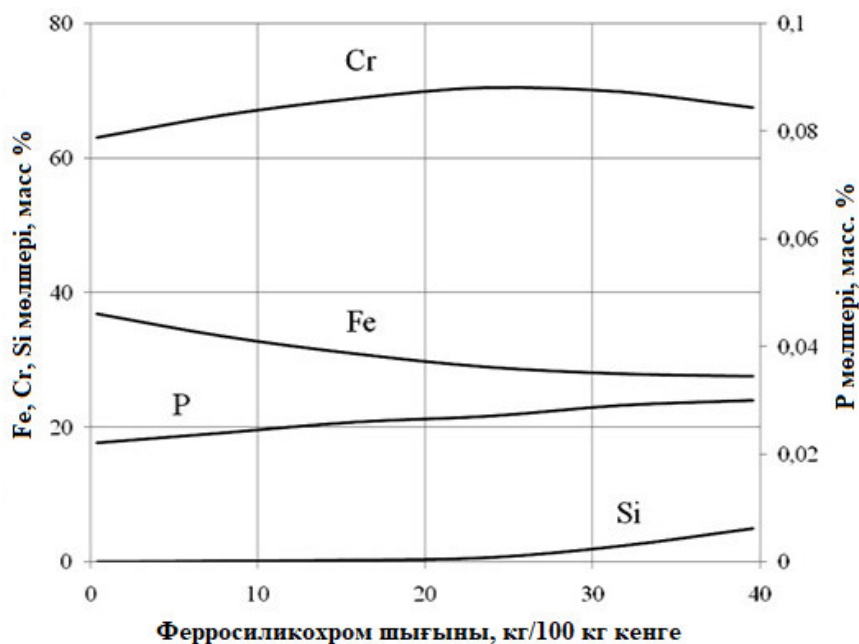
Силикотермиялық балқытудың екінші кезеңінде ферросиликохромды 100 кг кен үшін 29 кг-ға тең тұтынған кезде құрамында 1,5 % Si, 0,026 % P және 70 % Cr бар металл алынады (сурет 2.6).



2.4-ші сурет - Ферросилико шығынын көбейту кезінде металл құрамының өзгеруі силикотермиялық балқытудың бірінші кезеңіндегі хром



2.5-ші сурет - Силикотермиялық балқытудың бірінші кезеңінде ферросиликохром шығынын көбейту кезінде шлак құрамының өзгеруі

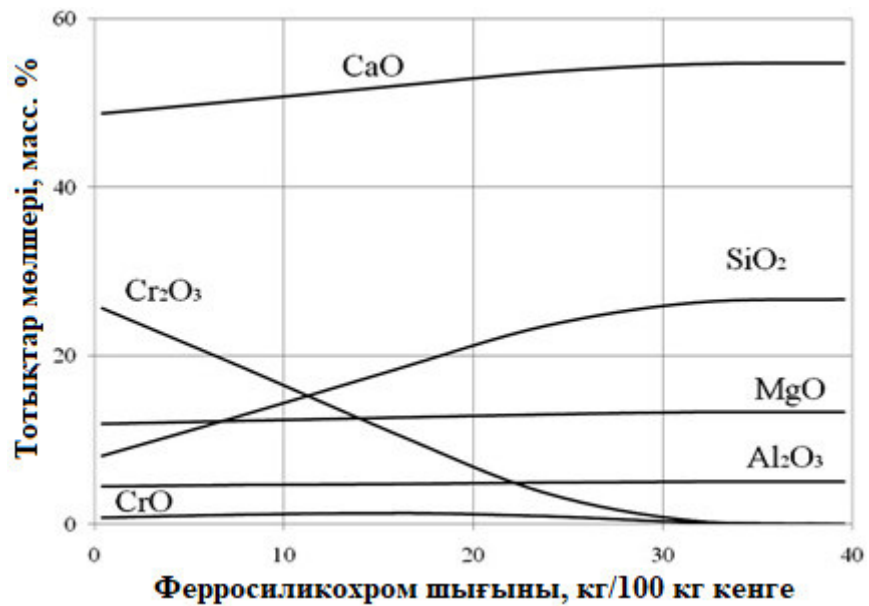


2.6-шы сурет - Силикотермиялық балқытудың екінші кезеңінде ферросиликохромды тұтынудың артуымен металдың құрамы

Орташа көміртекті феррохромды балқытудың силикотермиялық процесі көп мөлшерде қождың пайда болуымен бірге жүреді, оның құрамы заряд материалдарының қатынасы мен қалпына келтіру реакцияларының даму деңгейімен анықталады. Өз кезегінде, белгілі бір физика-химиялық қасиеттері бар қождың құрамына тотықсыздану реакцияларының жылдамдығы мен толықтығы, кремний мен алюминийдің тотығу қарқындылығы, сондай-ақ металл мен қождың бөліну шарттары, металдың сапасы және өндірістің техникалық-экономикалық көрсеткіштері байланысты.

Силикотермиялық балқытудан алынған шлақтың құрамында 13 % MgO, 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 26 % SiO<sub>2</sub>, 54 % CaO, 2 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO бар (сурет 2.7). Ол хромды тотықсызданудың оксидті өнімі ретінде кремнеземнің жоғары құрамымен және қос кальцийлі силикат түрінде кремнеземнің берік қосылыстарына байланыстыру үшін қажет CaO-ның жоғары құрамымен сипатталады.

Магнезия мен глиноземнің мөлшері негізінен олардың хром кеніндегі құрамына байланысты.

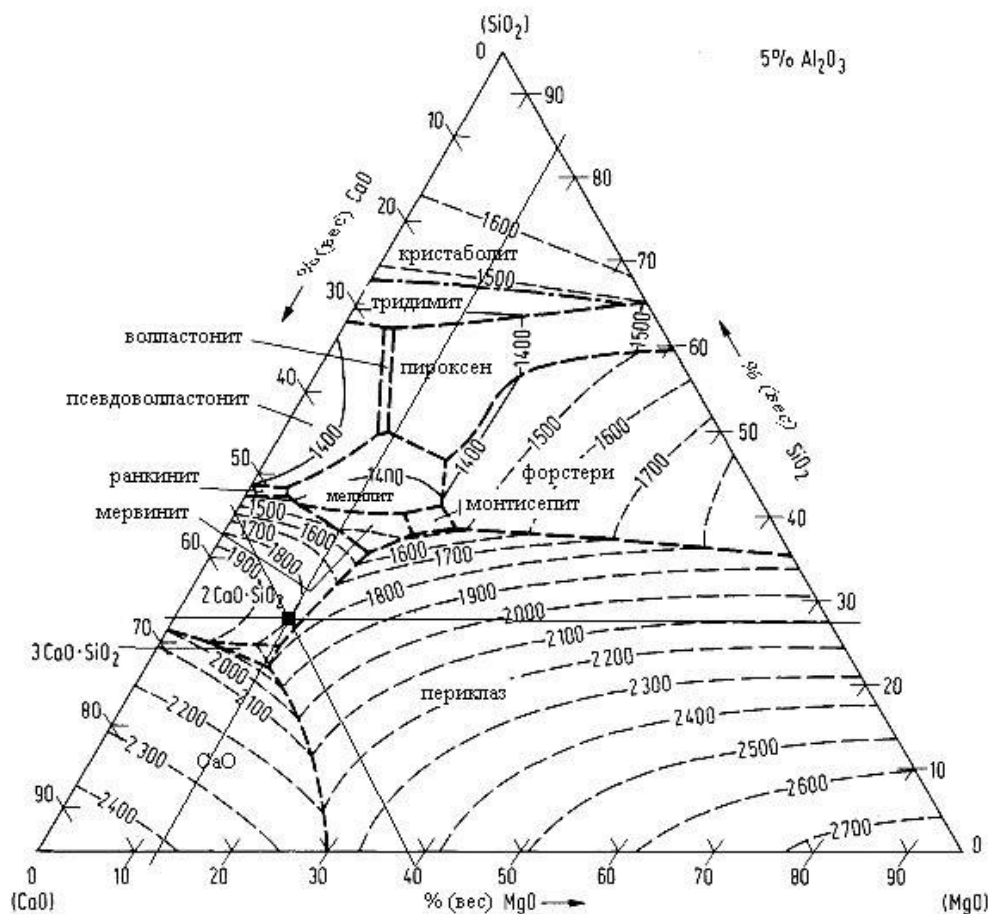


2.7-ші сурет - Силикотермиялық балқытудың екінші кезеңінде ферросиликохромды тұтынудың артуымен қождың құрамы

Оның балқу температурасы қождың химиялық құрамына байланысты. Орташа көміртекті феррохром өндірісінде қождың жұмыс температурасы қорытпаның температурасынан жоғары болуы керек және 1750...1850 °С. екінші кезеңдегі қождың балқу температурасы шамамен 1800 °С құрайды (сурет. 8) [27].

Ферросиликохромды 100 кг кенге 29 кг тұтынған кезде хромның ауысу дәрежесі шамамен 95 % құрайды (сурет 2.9).

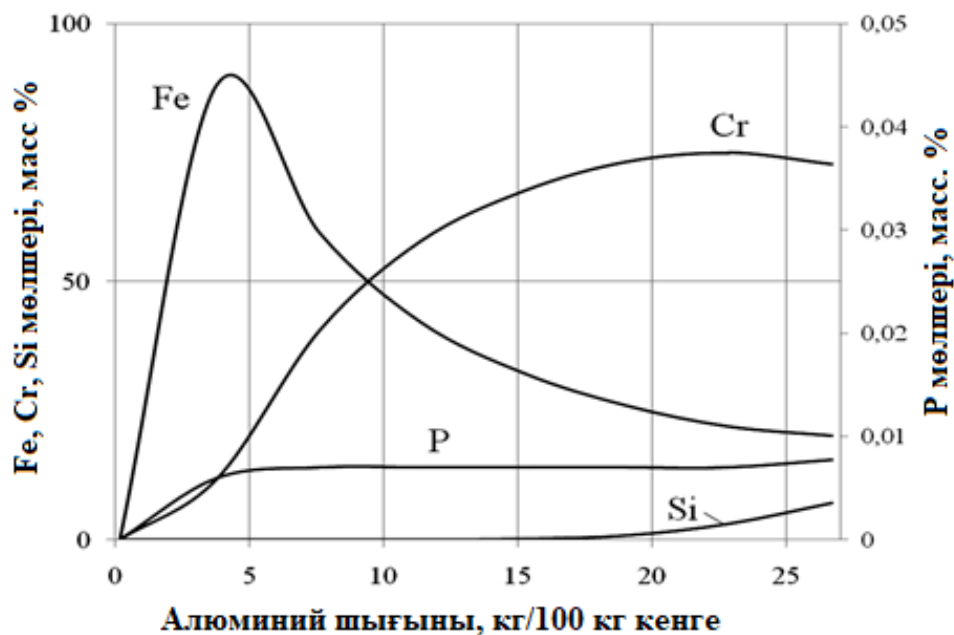
Екінші нұсқаны талдау нәтижелері алюминий шығыны 15 кг/100 кг-нан жоғары болған кезде хром кенінен кремний қалпына келетінін көрсетеді. Құрамында 1,5 %-дан аспайтын кремний бар МЕСТ-қа сәйкес металл алу алюминий шығыны 21 кг/100 кг кенді құрайды (сурет 2.10). Бірақ алюминийдің мұндай тұтынуымен хромның қорытпаға түсу деңгейі шамамен 80 % құрайды (сурет 2.11).



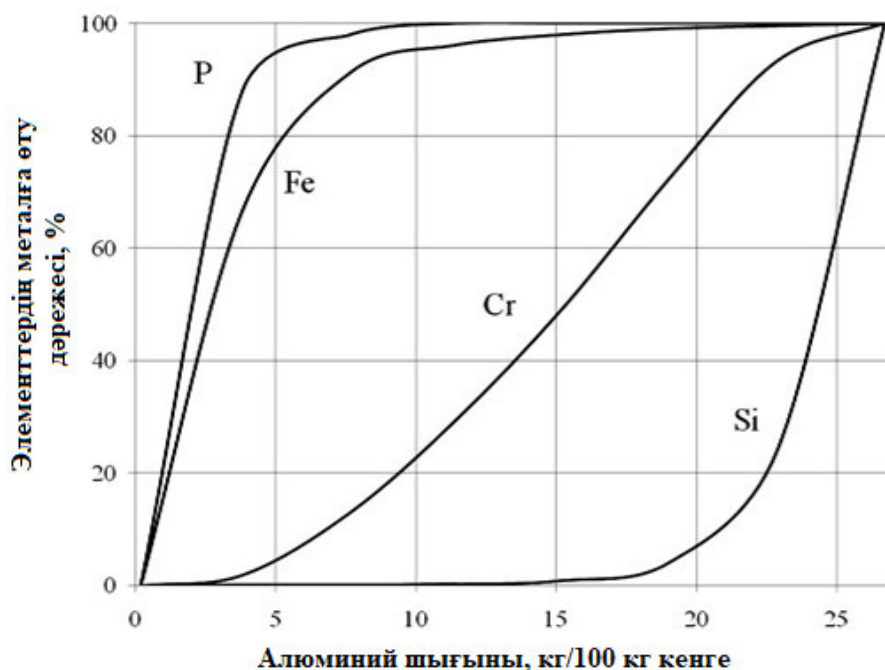
2.8-ші сурет – Диаграмма құрама жүйелер CaO-MgO-SiO<sub>2</sub>-5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,  
 ■ - ҚОЖ



2.9-шы сурет - Силикотермиялық балқытудың екінші кезеңінде ферросиликохромды тұтынудың артуымен элементтердің металға ауысу дәрежесі

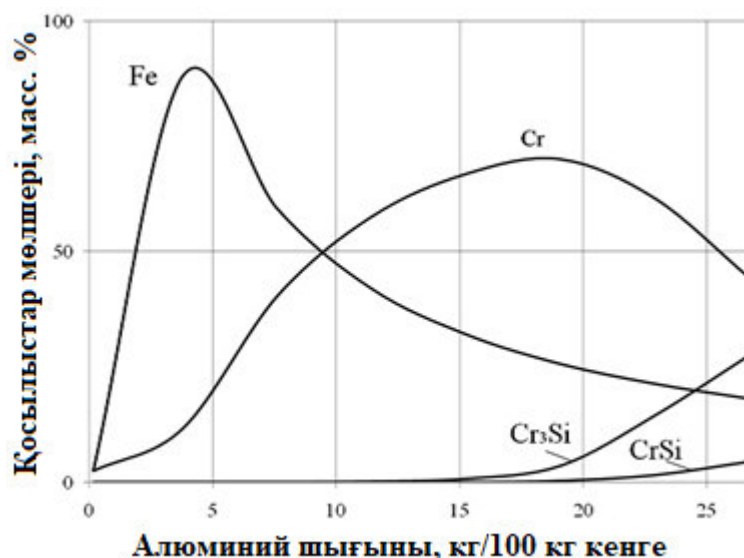


2.10-шы сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде металдағы элементтер құрамының өзгеруі



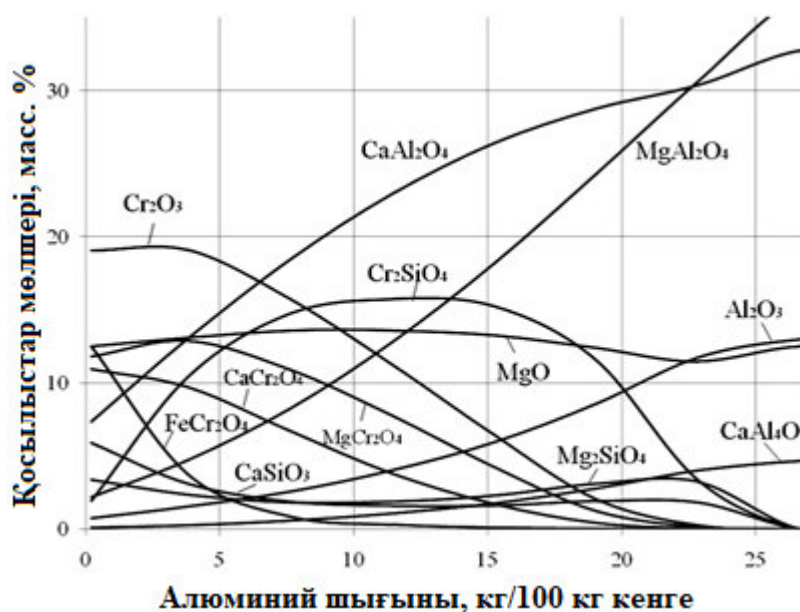
2.11-ші сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде элементтердің металға ауысу дәрежесі

Хромның толық қалпына келуіне алюминий шығыны 26 кг/100 кг руда арқылы қол жеткізіледі, бірақ кремнийдің жоғары мөлшері бар металл алынады – 7 % (сурет 2.11). Алюминиймен қалпына келтірілгенде, кремнийдің бір бөлігі кеннен қалпына келеді және металда негізінен  $Cr_3Si$  және  $CrSi$  түрінде болады (сурет 2.12).



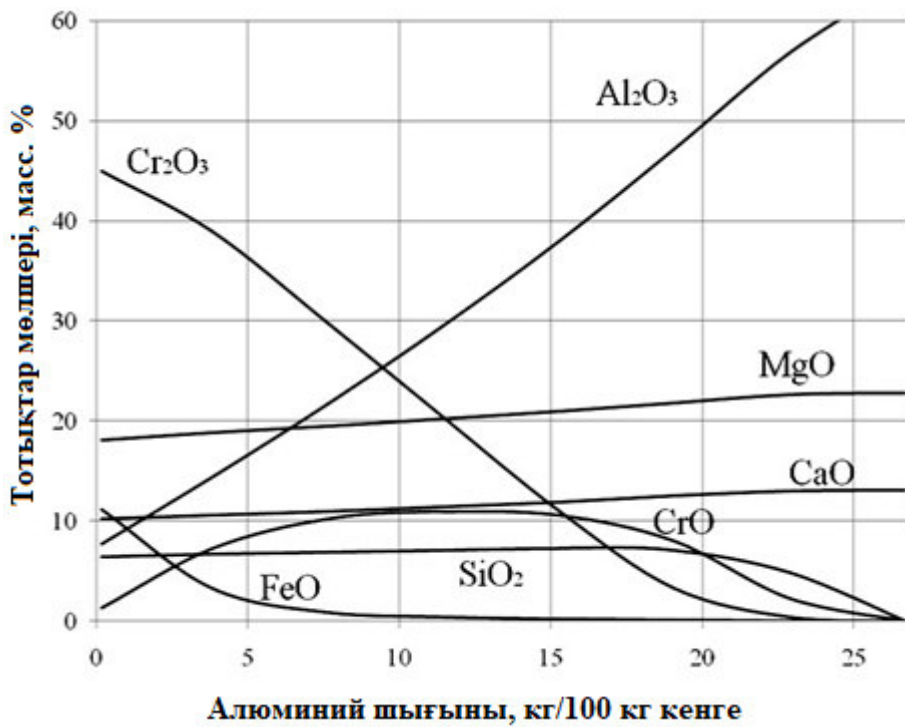
2.12-ші сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде металл фазасындағы ассоциаттар құрамының өзгеруі

Алюминотермиялық процестің ерекшелігі-шлак фазасында ассоциациялардың үлкен жиынтығының пайда болуы (сурет 2.13). Әк аз мөлшерде тұтынылған кезде, алюминий оксидінің жоғары концентрациясы және кремний оксидінің орта концентрациясы кезінде кальций оксиді негізінен кальций силикаттарына емес, алюминаттарға байланысады. Есептеу нәтижелері алюминийді пайдалану кезінде хромды хром силикатына байланыстыру нәтижесінде хромды қалпына келтіру қиын екенін көрсетеді. Кремнийді неғұрлым берік қосылыстарға, мысалы, кальций силикатына байланыстыру әк мөлшерінің көбеюіне байланысты хром силикатын бұзады, бірақ бұл металдағы фосфордың жоғарылауына және тез балқитын шлактардың пайда болуына әкеледі.

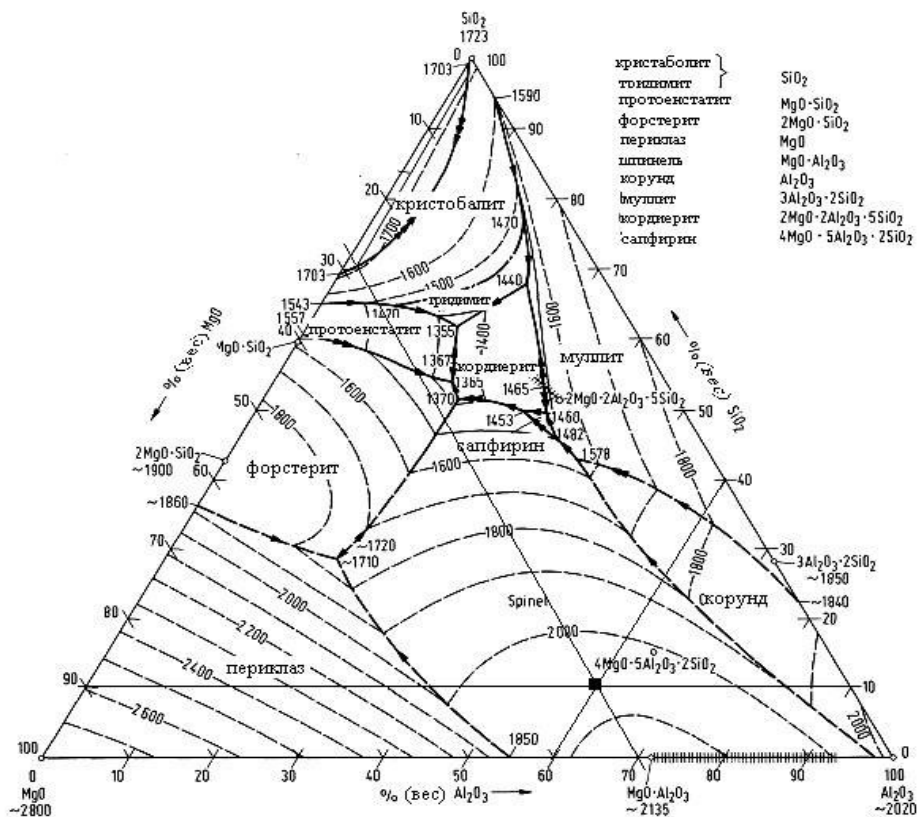


2.13-ші сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде қожды фазадағы ассоциаттар құрамының өзгеруі

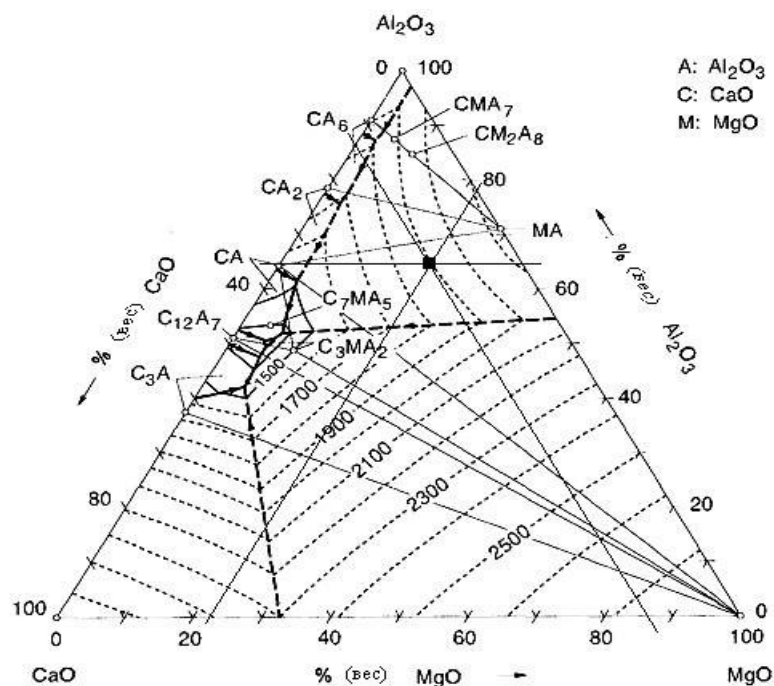




2.14-ші сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде шлактағы оксидтер құрамының өзгеруі



2.15-ші сурет - MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> жүйесінің күй диаграммасы, алюминий термиялық процестің шлағы



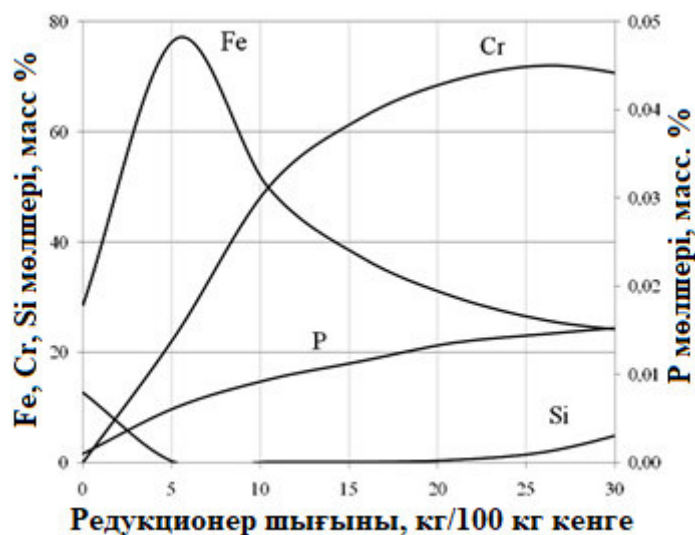
2.16-шы сурет - CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жүйесінің күй диаграммасы алюминий термиялық процестің шлағы

Алюминий термиялық процесс шлағының құрамында 22 % MgO бар, 51 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7 % SiO<sub>2</sub>, 12 % CaO, 8 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO алюминий шығыны 21 кг/100 кг кенді немесе 23 % MgO, 64 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % SiO<sub>2</sub>, 13% CaO, <1 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO – алюминий шығыны 26 кг/100 кг кенді құрайды (сурет 2.14). Шлактардың балқу температурасы сәйкесінше 2050 және 1900°С құрайды (сурет 2.15 және 2.16). Қиын балқитын шлақ ұлғайтуға қалыңдығын гарнисажа пештер мен білім төсемдерден.

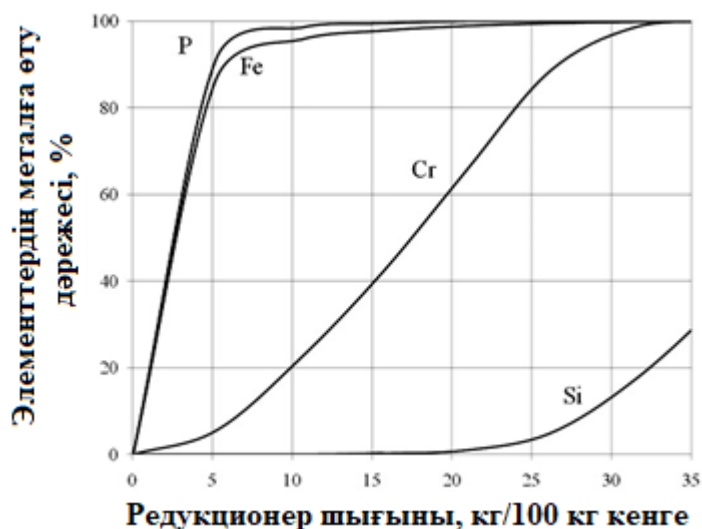
Осылайша, силикотермиялық және алюминотермиялық процестердің термодинамикалық есептеулерінің нәтижелері кремний мөлшері жоғары хром кенін пайдалану кезінде алюминий термодинамикалық процесс хромды толық қалпына келтіру кезінде фосфор мөлшері аз феррохром алуға болатындығын көрсетеді, бірақ металдың құрамында шамамен 6...7 % кремний бар. Мұндай металды кремнийден тазарту мүмкін емес. Сондықтан хромды, темірді және кремнийді хром рудасынан қалпына келтіру үшін алюминийді хромды толық алу арқылы кремнийдің көп мөлшері бар балқыманы алу үшін зарядты жүктеудің бірінші кезеңінде қолданған жөн. Бірінші кезеңде алынған қорытпадағы артық кремний екінші кезеңде ферросиликохроммен бірге тотықсыздандырғыштың бөлігі ретінде қолданылады. Ферросиликохромды және алюминийді бір мезгілде қолдану мүмкіндігі де мүмкін.

Алюминий мен ферросиликохромды 25 кг/100 кг мөлшеріндегі 1:1 қатынасында тотықсыздандырғыш ретінде бір мезгілде пайдаланудың үшінші нұсқасының есептері құрамында 0,014 % P, 1,5 % Si, 71 % Cr бар металл алу мүмкіндігін көрсетеді (сурет 2.17). Бұл жағдайда хромның ауысу дәрежесі 83 % құрайды (сурет 2.18).



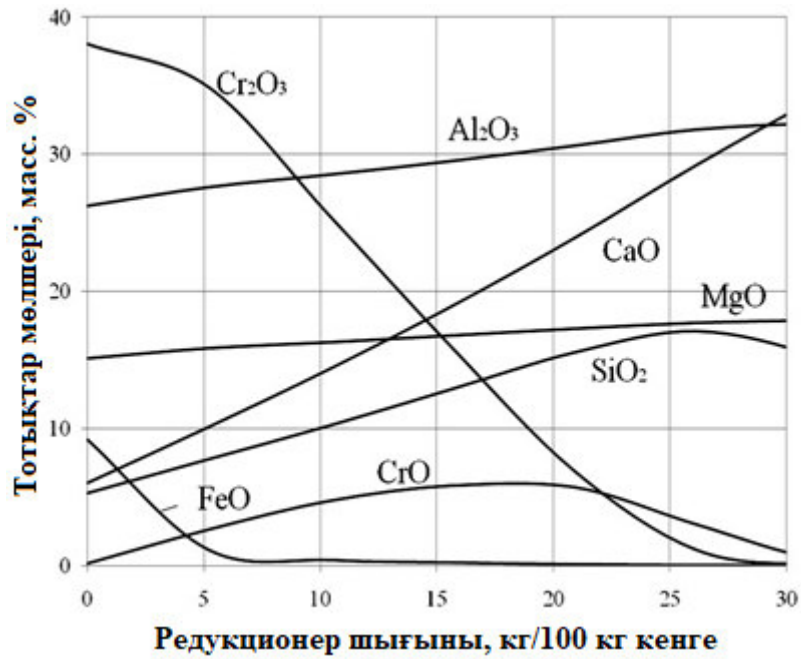


2.17-ші сурет - Редукционерлердің шығынын көбейту кезіндегі металдың құрамы



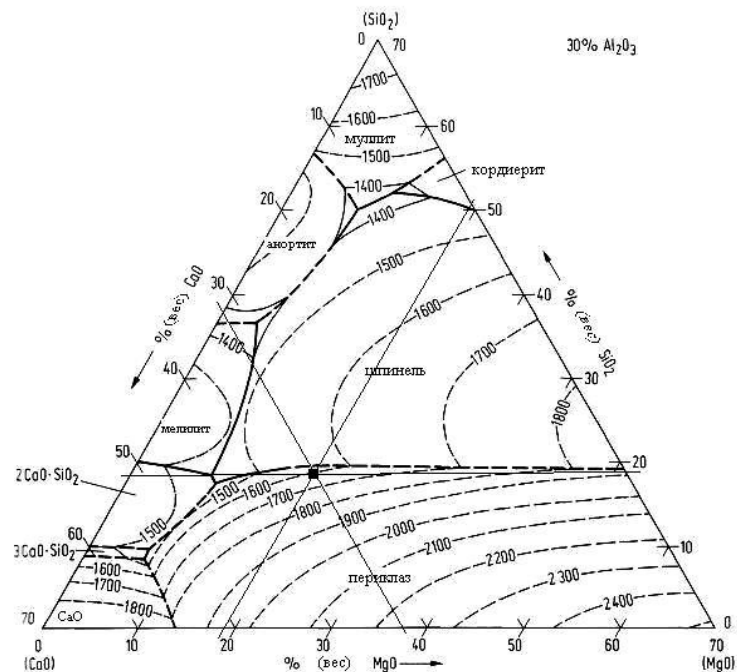
2.18-ші сурет - Редукционерлердің шығынын көбейту кезінде элементтердің металға ауысу дәрежесі

Алюминий-силикотермиялық процесс құрамында 18 % MgO, 31 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 17 % SiO<sub>2</sub>, 28 % CaO, 6 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO бар шлактың пайда болуымен бірге жүреді (сурет 2.19). Мұндай қождың балқу температурасы 1600 °С құрайды (сурет 2.20). Оңай балқитын қожды жылыту оның тұтқырлығының төмендеуімен және сұйықтықтың жоғарылауымен бірге жүреді, бұл пештің ванна төсенішін және шелектің бүйірін жуу сияқты технологиялық проблемаларға әкеледі.



2.19-шы сурет - Редукционерлердің шығынын көбейту кезіндегі шлақтың құрамы

Редукционерлердің бір мезгілде пайдалану құрамында фосфор мөлшері 0,015 %-дан төмен орташа көміртекті феррохром қорытпасын алуға мүмкіндік береді, алайда хромның өту дәрежесінің төмен мәні, хром оксидінің мөлшері жоғары жеңіл балқытын қождың түзілуі балқытудың қанағаттанарлықсыз техникалық-экономикалық көрсеткіштерімен сүйемелденіп, технологиялық проблемаларға әкеп соғады.

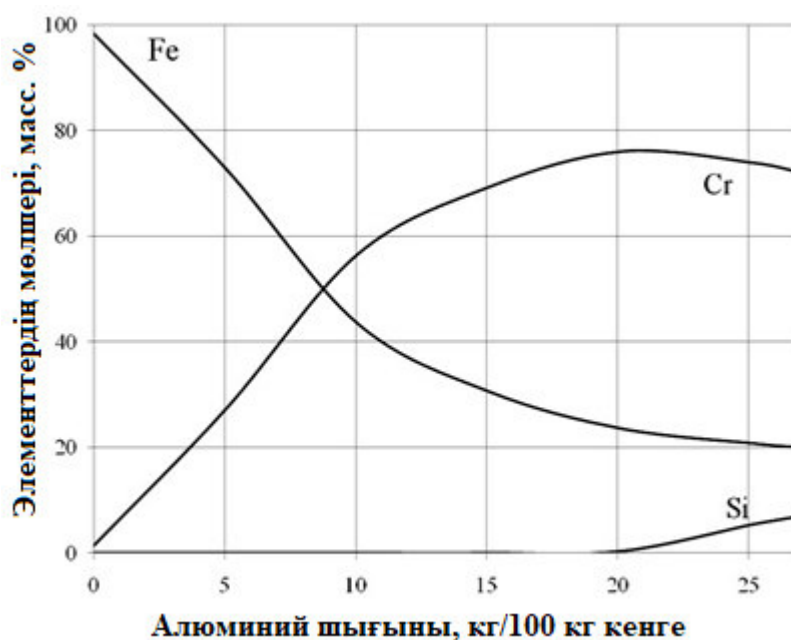


2.20-шы сурет - CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> жүйесінің күй диаграммасы - 30% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, алюминий-силикотермиялық процестің шлагы

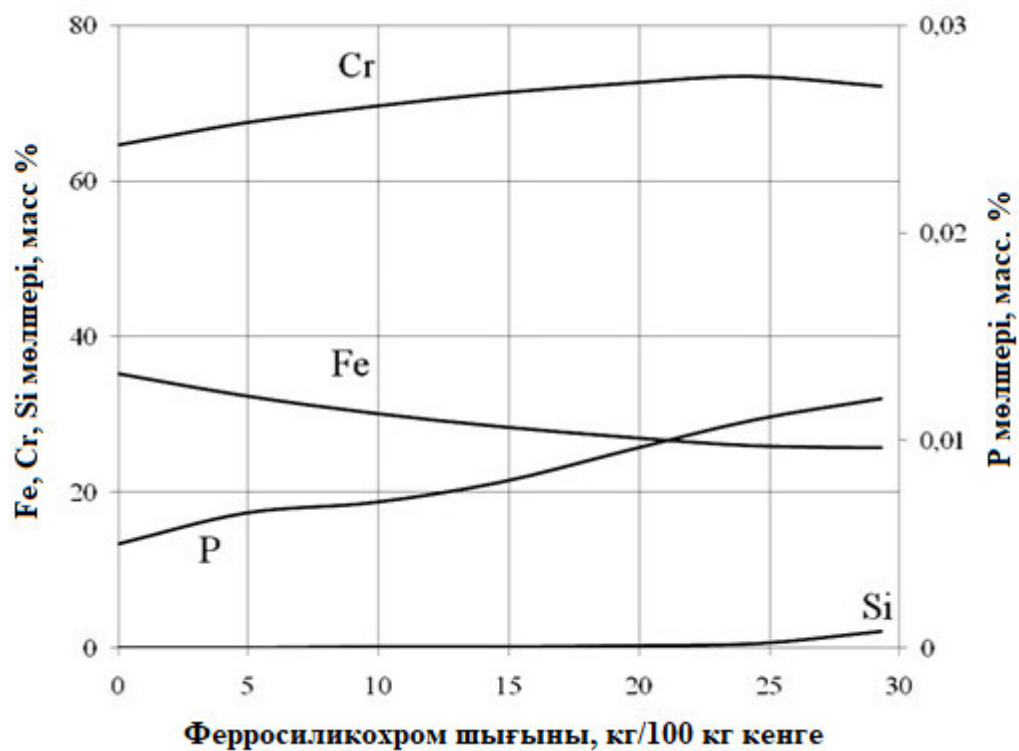
Есептеулердің төртінші нұсқасында балқытудың бірінші кезеңінде 26 кг/100 кг руда мөлшерінде алюминийді пайдаланған кезде құрамында 5,4 % Si, 74 % Cr, 0,006 % P бар металл алуға мүмкіндік беретіні көрсетілген (сурет 2.21). Екінші кезеңде 27 кг/100 кг кенді аз мөлшерде ферросиликохромды қолданған кезде құрамында 1,5 % Si, 73 % Cr, 0,011 % P бар металл алуға мүмкіндік береді (сурет 2.22).

Бірінші алюминий термиялық кезеңнің шлактарында 20 % MgO, 54 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2 % SiO<sub>2</sub>, 24 % CaO, <1 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO бар, балқу температурасы шамамен 1700 °C құрайды (сурет 2.23 және 2.25).

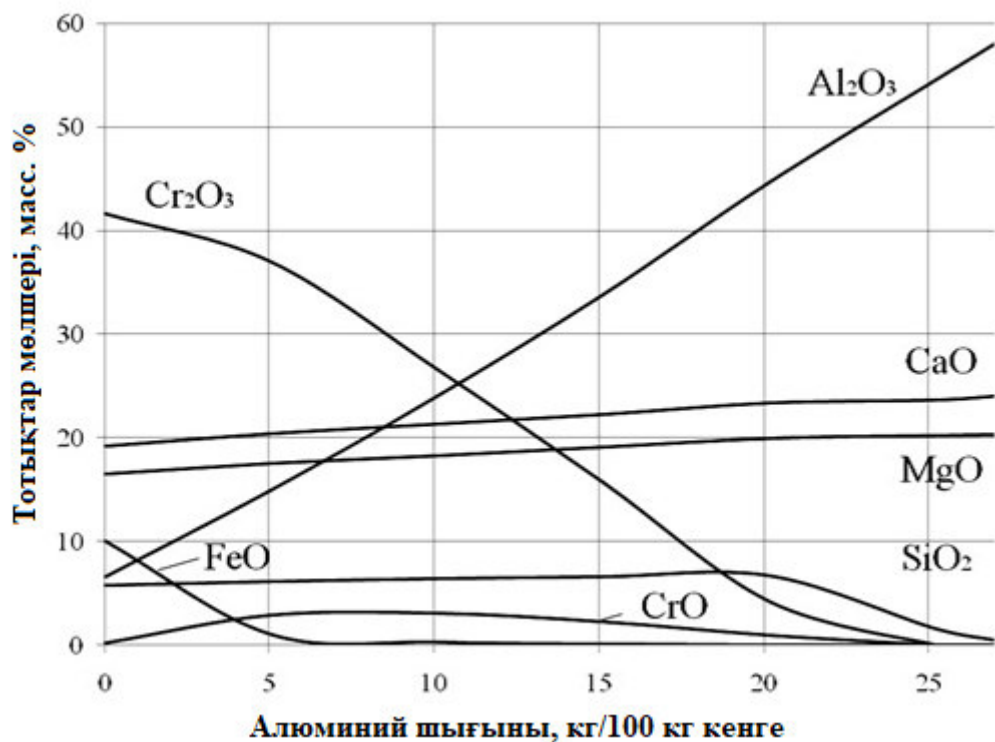
Екінші силикотермиялық кезеңнің шлактарында 16 % MgO, 6 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 32 % SiO<sub>2</sub>, 39 % CaO, 7 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO бар (сурет 2.24).



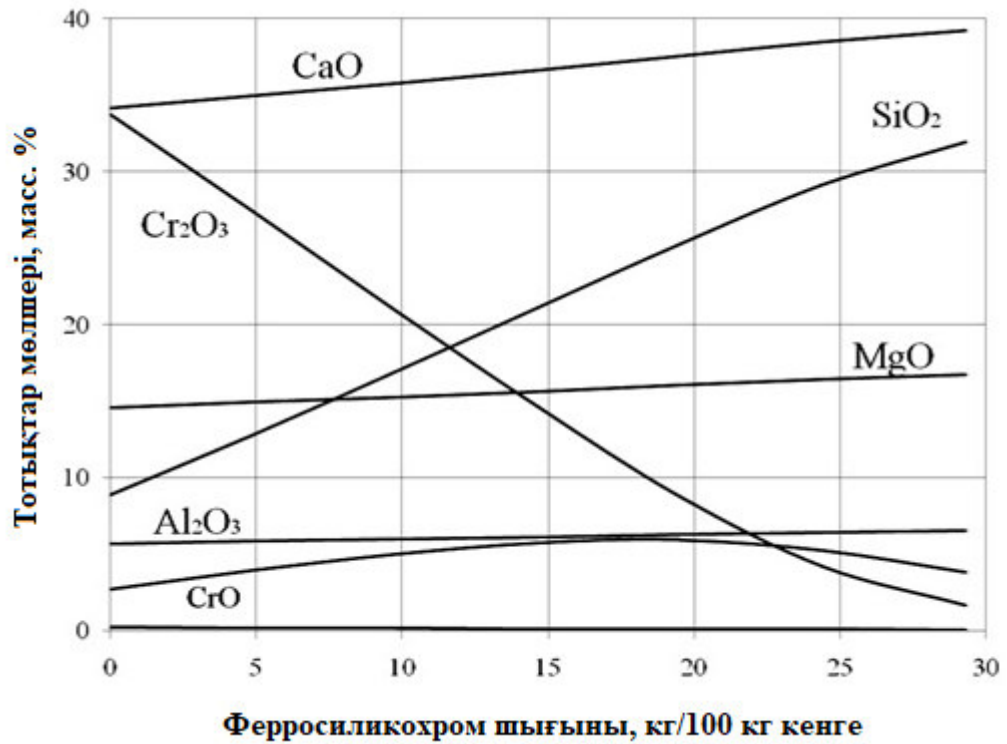
2.21-ші сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде бірінші кезеңдегі металдың құрамы



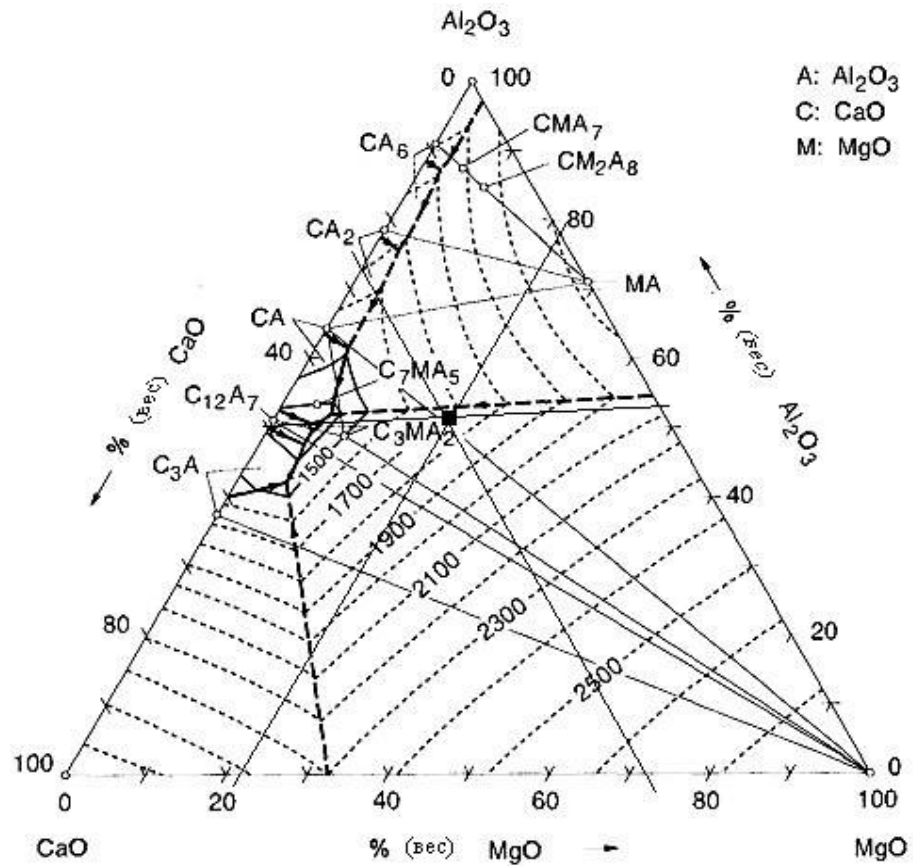
2.22-ші сурет - Ферросиликохромды тұтынудың артуымен екінші кезеңдегі металдың құрамы



2.23-ші сурет - Алюминий шығынын көбейту кезінде бірінші алюминий термикалық кезеңдегі шлақтың құрамы



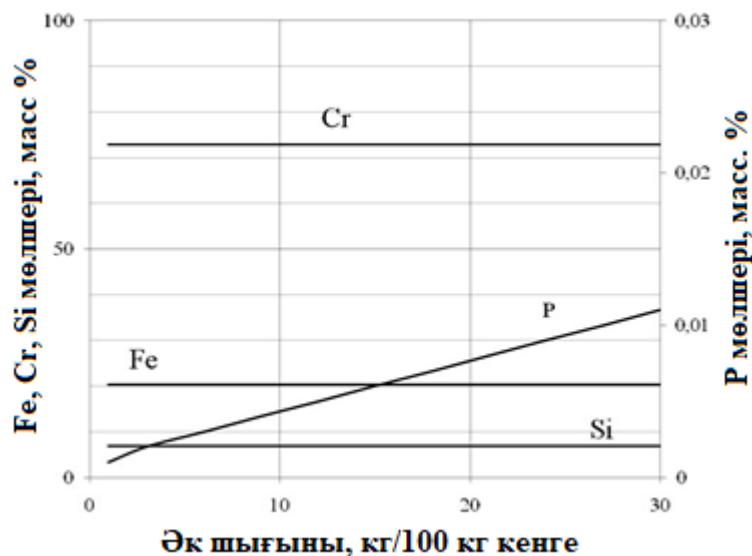
2.24-ші сурет - Ферросиликохромды тұтынудың артуымен екінші силикотермиялық кезеңдегі қождың құрамы



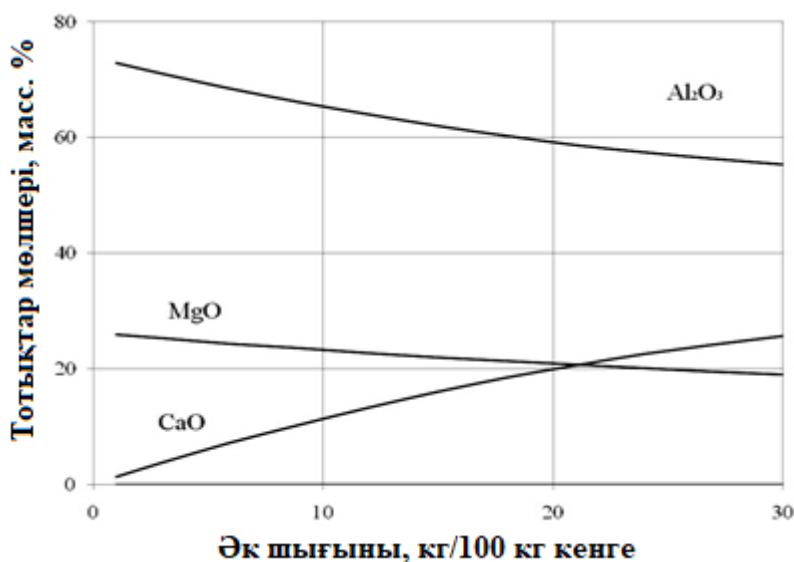
2.25-ші сурет - CaO-MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жүйесінің күй диаграммасы, алюминий термиялық процесінің шлагы

Қорытпадағы фосфордың мөлшері, хромның қалпына келу дәрежесі, сондай-ақ шлақтың балқу температурасы қолданылатын әк мөлшеріне байланысты. Сондықтан, есептеудің бесінші нұсқасында әр кезеңге қажетті әк мөлшері анықталды.

Әк 6 кг/100 кг руда тұтынған кезде құрамында 0,004 % фосфор бар металл және 24 % MgO, 68 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % SiO<sub>2</sub>, 7 % CaO, <1 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1 % FeO 1900°C шамасында балқу температурасы бар (сурет 2.26, 2.27 және 2.28). Әк мөлшерінің көбеюі шлақтың балқу температурасын төмендетуге, сондай-ақ металдағы фосфор мөлшерін, электр энергиясын тұтынуды және қождың көптігін арттыруға көмектеседі.

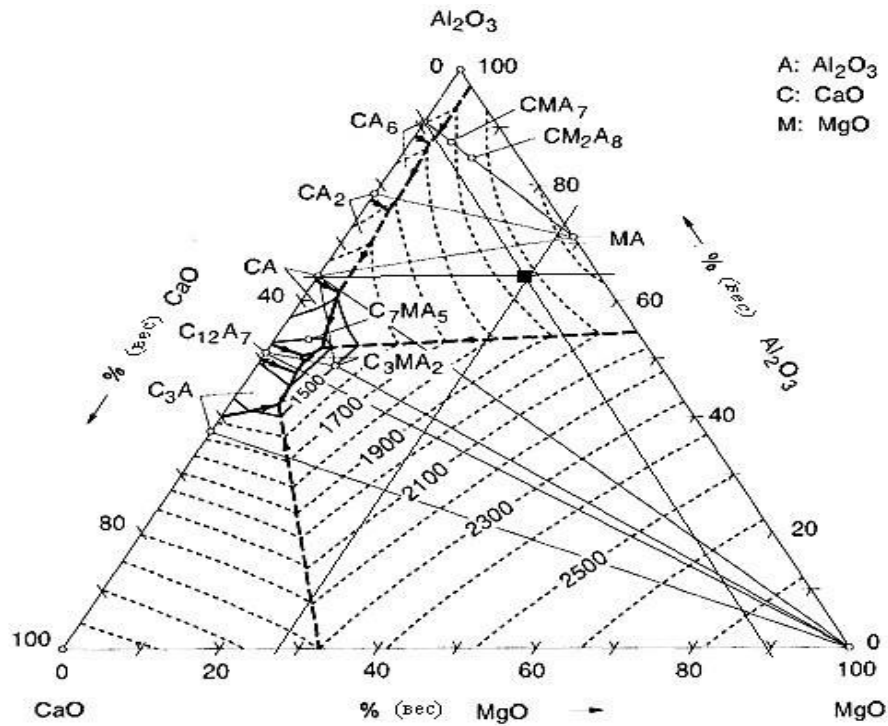


2.26-шы сурет - Бірінші алюминий-термикалық кезеңдегі металдың құрамы, әк шығыны артады



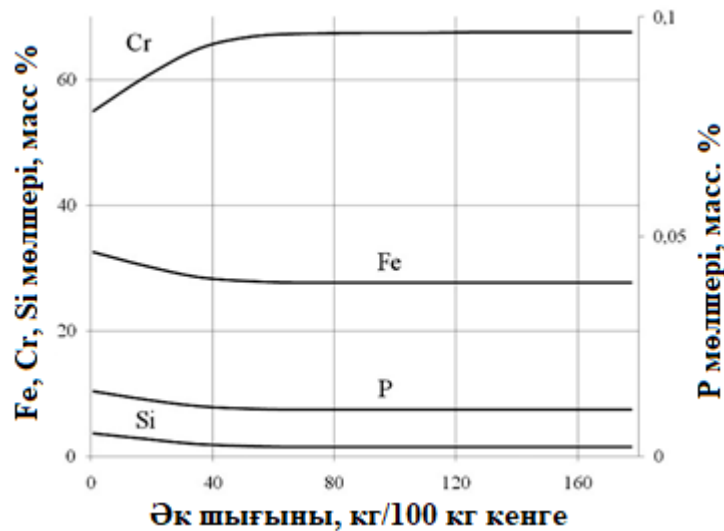
2.27-ші сурет - Бірінші алюминий-термикалық кезеңдегі әк шығынын көбейту кезіндегі шлақтың құрамы



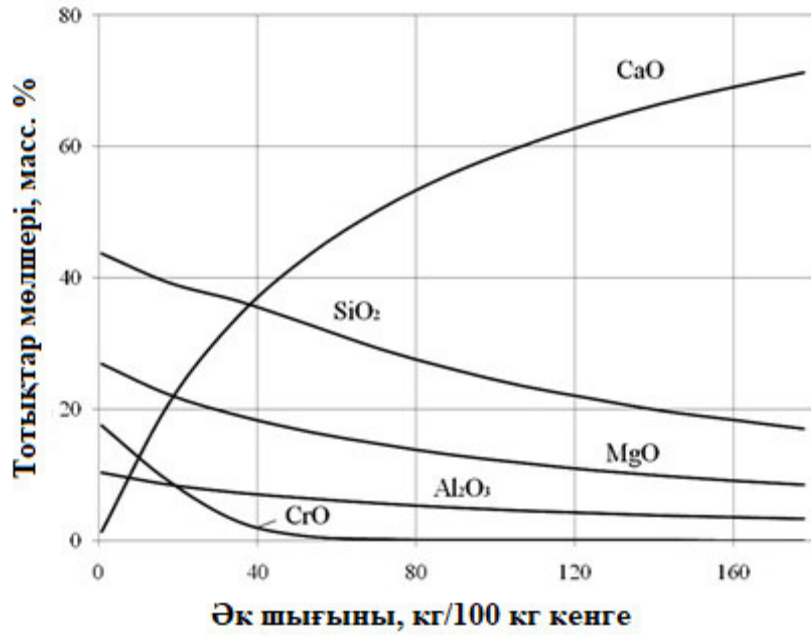


2.28-ші сурет - CaO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жүйесінің күй диаграммасы, алюминий термиялық процестің шлагы

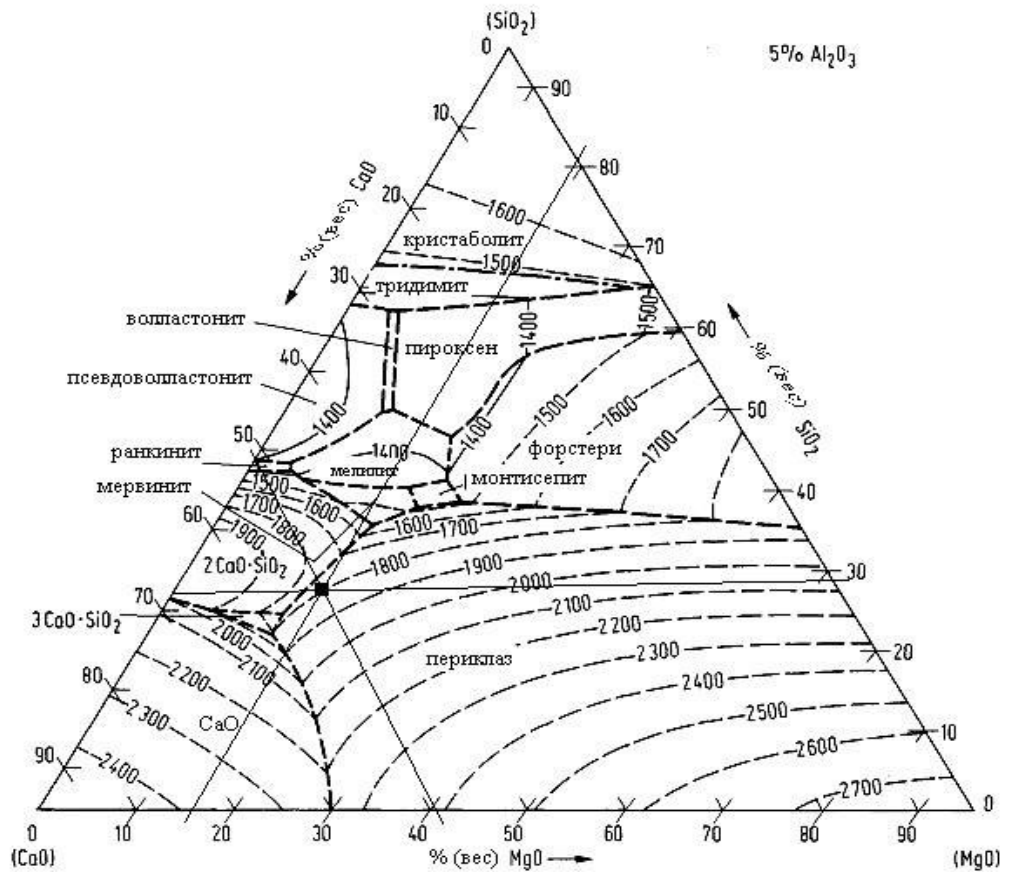
Екінші силикотермиялық кезеңде 70 кг/100 кг руда мөлшерінде әк қолдану керек, құрамында 0,011 % фосфор бар металл алынады және 15% MgO, 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 28 % SiO<sub>2</sub>, 50 % CaO, 2% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, <1% Feo (CaO/SiO<sub>2</sub>) 1,73 шлак түзіледі. Силикотермиялық кезеңдегі шлақтың балку температурасы 1800°C-қа тең (сурет 2.29, 2.30 және 2.31)



2.29-шы сурет - Екінші силикотермиялық кезеңдегі әк ағынының жоғарылауымен металдың құрамы



2.30-шы сурет - Екінші силикотермиялық кезеңдегі эк шығынын көбейту кезіндегі қождың құрамы



2.31- ші сурет - CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> - 5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> жүйесінің күй диаграммасы, силикотермиялық процестің шлағы



Термодинамикалық есептеулер нәтижесінде шихта материалдары мен металл мен қождың құрамы шығынының қорытынды кестесі құрылды (кесте. 2.2 және 2.3)

2.2-ші кесте - Металл мен шлақтың құрамы

Нұсқа		Металдың құрамы, масс.%				Шлактың құрамы, масс.%					
		Fe	Si	Cr	P	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
I	1 период	28	4,9	68	0,026	13	5	27	55	<1	<1
	2 период	28	1,5	70	0,024	13	5	26	54	2	<1
II		24	1,5	75	0,006	22	51	7	12	8	<1
III		27	1,5	71	0,014	18	31	17	28	6	<1
IV	1 период	21	5,4	74	0,006	20	54	2	24	<1	<1
	2 период	26	1,5	73	0,011	16	7	32	39	7	<1
V	1 период	20	6,8	73	0,004	24	68	<1	7	<1	<1
	2 период	26	1,5	73	0,011	15	5	28	50	2	<1

2.3-ші кесте - Шихта материалдарының шығысы

Нұсқа		Шихта материалдарының шығысы, кг/100 кг кен		
		Ферросиликохром	Алюминий	Әк
I	1 период	40	-	87
	2 период	29	-	87
II		-	21	12
III		12	13	36
IV	1 период	-	26	24
	2 период	27	-	50
V	1 период	-	26	6
	2 период	27	-	70

Құрамында 0,015 % - дан кем фосфор бар орташа көміртекті феррохромды алу алюминий редукциялаушы (II нұсқа) немесе алюминий мен ферросиликохромды кешенді редукциялаушы 1:1 қатынасында (III, IV және V нұсқалар) пайдалану кезінде мүмкін болады. Аллюминотермиялық нұсқа құрамында фосфор бар қорытпаны қажетті мөлшерден едәуір төмен алуға мүмкіндік береді және бұл қорытпаның айтарлықтай қымбаттауына әкеледі. Сонымен қатар, отқа төзімді қождың пайда болуы, хромның орта деңгейі, сондай-ақ кеннен кремнийдің қалпына келуі балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне теріс әсер етеді.

Редукциялаушыларды бір мезгілде кешенді пайдалану құрамында фосфор талап етілетін қорытпаны алуға мүмкіндік береді, бірақ тез балқытын шлақтың түзілуі технологиялық проблемаларға (пеш шегендеуінің және шөміштің гарнисажының шайылуына) алып келеді. Пеш ваннасын толтыру үшін қажетті хром кені мен әкті тұтынудың артуы балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштерін төмендетеді.

Бірінші кезеңде шлақты аралық ағызумен бірге алюминий редукциялаушыны және екінші кезеңде ферросиликохромды бөлек пайдалану алюминий термиялық кезеңде хромды неғұрлым редукциялау есебінен орта көміртекті феррохромда фосфор концентрациясын төмендетуге мүмкіндік береді. Аллюминотермиялық кезеңде аз әк қолдану әкпен бірге қолданылатын фосфор мөлшерін азайтады, ал екінші кезеңде әк мөлшерінің жоғарылауы хромның толық қалпына келуіне ықпал етеді.

Осылайша, құрамында 0,015 % – дан аз фосфор бар орта көміртекті феррохромды алу балқытудың бірінші кезеңінде алюминий мен әк шығыны – 26 және 6 кг/100 кг кен, екінші кезеңде ферросиликохромды және әк шығыны – тиісінше 27 және 70 кг/100 кг кен.

## ҚОРЫТЫНДЫ

Ферросиликохромды кремнийді және алюминийді бірге пайдаланған кезде құрамында 0,015 % - дан аз фосфор бар орташа көміртекті феррохром алу мүмкіндігі көрсетілген.

Алюминий мен ферросиликохромды бірге пайдалану оңай балқитын шлақтың пайда болуымен қатар жүреді, оны пайдалану технологиялық проблемаларға – гарнисаждың эрозиясына, пеш пен шелектің төсенішіне әкеледі.

Редукцилаушыларды бөлек пайдаланудың орындылығы көрсетілген, ал бірінші кезеңде хромды неғұрлым толық редукциялау жоғары кремнийлі балқыманы ала отырып алюминийді пайдалану, ал екінші кезеңде қалпына келтіру үшін ферросиликохромды пайдалану қажет.

Құрамында 0,015% – дан аз фосфор бар орта көміртекті феррохромды алу мүмкін, бірақ бұл ретте балқытудың бірінші кезеңінде алюминий мен әк шығыны 26 және 6 кг/100 кг кенді, ал екінші кезеңде ферросиликохром мен әк шығыны тиісінше 27 және 70 кг/100 кг кенді құрауы тиіс.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Корнаухов В.Н., Воронов Ю.И., Зайко В.П., Жучков В.И. Технология низкоуглеродистого феррохрома. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 482 с.
- 2 Бобкова О.С. Силикотермическое восстановление металлов. М.: Металлургия, 1991. – 173 с.
- 3 Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. – М.: Интермет Инжиниринг, 1999. – 764 с.
- 4 Рысс М.А. Производство ферросплавов – М.: Металлургия, 1985. – 244 с.
- 5 Лякишев Н.П., Гасик М.И. Металлургия хрома. – М.:ЭЛИЗ. 1999. –582 с.
- 6 Дуррер Р., Фолькерт Г. Металлургия ферросплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 506 с.
- 7 Сурсаев Г.Г. Производство среднеуглеродистого феррохрома в конвертере. – Алматы, 1960. – 13 с.
- 8 Гетманчук В.М., Хяккинен В.И., Шакиров З.Х., Боброва А.В. Исследование влияния качества извести на содержание углерода в феррохроме // Совершенствование сортамента и технологии производства ферросплавов. Челябинск: Металлургия. Челяб. отд-ние, 1990. – С.10-15.
- 9 Кондратьев А.И., Макаров Д.М., Данилович Ю.А. Опыт выплавки низкоуглеродистого феррохрома в конвертере // Сталь. 1991. №5. – С.39-42.
- 10 Бобкова О. С, Барсегян В.В., Топтыгин А.И. Разработка и освоение комплексной технологии производства низкоуглеродистого феррохрома с использованием шлаков в народном хозяйстве // Сталь. 1993. №10. – С.41-45
- 11 Бродский А.Я., Лапкина Ю.В., Грабеклис А.А. и др. Применение саморассыпающихся шлаков ферросплавов производства для известкования кислых почв // Сталь. 1982. №8. – С.26-28.
- 12 Баранов А.А., Гасик Л.Н. О структуре силикотермического феррохрома // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 1969. №8. – С.65-68.
- 13 Технологическая инструкция «Производство низкоуглеродистого и среднеуглеродистого феррохрома в плавильном цехе № 2» ТИ-20-08-2007. Актобе, АктЗФ. – 2007. – 24 с.
- 14 Технологическая инструкция «Производство низкоуглеродистого феррохрома методом смешения расплавов» ТИ-ПЦ№2-140-Ф-05-2008. Серов, СЗФ. – 2008. – 45 с.
- 15 Технологическая инструкция «Производство среднеуглеродистого феррохрома в кислородном конвертере» ТИ-10-03-1998. Актобе, АЗФ. – 1998. – 14 с.
- 16 Кубашевски О., Олкокк К.Б. Металлургическая термехимия. – М.: Металлургия, 1982. – 392 с.
- 17 Юренева В. Н. Теплотехнический справочник/В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. -М.: Энергия, 1976 -896 с.
- 18 Еднерал Ф.П. Расчеты по электротермии стали и ферросплавов/Ф.П. Еднерал, А.Ф. Филиппов -М.: Металлургиздат, 1956. -189 с.

- 19 Карноухов В.Н., Воронов Ю.И., Зайко В.П., Жучков В.И. Технология низкоуглеродистого феррохрома. Екатеринбург: Уро РАН, 2001. - 482 с.
- 20 Ватолин, Н.А. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах/Н.А. Ватолин, Г.К. Моисеев, Б.Г. Тру-сов. - М.: Металлургия, 1994. -352 с.
- 21 Синярев Г. Б. и др. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов //М: Наука. – 1982. – Т. 385. – С. 10.
- 22 Г.К. Моисеев, Г.П. Вяткин, Н.М. Барбин, Г.Ф.Казанцев. Применение термодинамического моделирования для изучения взаимодействий с участием ионных расплавов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002.-165 с.
- 23 Г.К. Моисеев, Г.П. Вяткин. Термодинамическое моделирование в неограниченных системах: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 256 с.
- 24 Температурные зависимости приведенной энергии Гиббса некоторых неорганических веществ (альтернативный банк данных АСТРА.OWN)/Г.К. Моисеев, Н.А. Ватолин, Л.А. Маршук, Н.И. Ильиных. - Екатеринбург: Уро РАН, 1997. -230 с.
- 25 Akimov E. N., Senin A. V., Roshchin V. E. Activity of components in the  $Al_2O_3$ -CaO system //Steel in Translation. – 2013. – Т. 43. – №. 2. – С. 39-41.
- 26 ВТИ\_165\_2006. Выплавка низкоуглеродистого феррохрома алюминотермическим процессом. Челябинский электрометаллургический комбинат. 2006. - 21 с.
- 27 ТИ 139-Ф-30-2000. Выплавка низко- и среднеуглеродистого феррохрома в цехе №6. Челябинский электрометаллургический комбинат. 2000. - 35 с.

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Нұрабай Нұрасыл Нұрғайсаұлы

**Название:** Орташа көміртекті феррохром алу процесін зерттеу

**Координатор:** Гүлзада Қойшина

**Коэффициент подобия 1:0**

**Коэффициент подобия 2:0**

**Замена букв:** 8

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 0

**Белые знаки:** 0

### После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

.....

07.06.2021 ж

Дата

Гүлзада Қойшина Д.М.

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Нұрабай Нұрасыл Нұрғайсаұлы

Название: Орташа көміртекті феррохром алу процесін зерттеу

Координатор: Гүлзада Қойшина

Коэффициент подобия 1:0

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:8

Интервалы:0

Микропробелы:0

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Займствований в дипломной работе Нұрабай Н.Н.  
не обнаружено.



Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Допуск к защите

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Дата

8-06-2021

Зав. каф. МНОП  
Барменшикова М.Б.

Подпись заведующего кафедрой /



начальника структурного подразделения