

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

ӘОЖ 669.15-198 (043)

Қолжазба құқығында

ТАЖИЕВ ЕЛЕУСИЗ БОЛАТОВИЧ

Металдарды тікелей редукциялау негізінде металқұрамды қалдықтардан темір-марганец-хромды қорытпаларды алу технологиясын жасақтау

6D070900 – Metallургия

Философия докторы (PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер
техника ғылымдарының докторы,
профессор, ҚР ҰИА академигі
Глеугабулов С.М.

техника ғылымдарының докторы,
профессор, РЖҒА академигі
Рыжонков Д.И.

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2020

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	4
АНЫҚТАМАЛАР	5
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	6
КІРІСПЕ	10
1 ФЕРРОМАРГАНЕЦ ПЕН ФЕРРОХРОМ ӨНДІРІСІНІҢ ЖАҒДАЙЫНА ШОЛУ	17
1.1 Марганец пен хром кендерінің шикізат базасы	17
1.2 Ферроқорытпа өндірісі	18
Бірінші тарау бойынша тұжырым	29
2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ	31
2.1 Тәжірибелік зерттеулерде қолданылатын шихта материалдарының сипаттамасы	33
2.2 Редукциялау реакцияларын зерттеу әдістемесінің теориялық негізі	34
2.3 Тәжірибелік зерттеулер жүргізу әдістемесі	38
Екінші тарау бойынша тұжырым	41
3 ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР	42
3.1 Қатты көміртегімен металдарды тікелей редукциялау кезіндегі физика-химиялық процестер	42
3.2 Марганец және хром тотықтарын пайдаланудың физика-химиялық негіздері	48
Үшінші тарау бойынша тұжырым	50
4 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУЛЕР	51
4.1 Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртекқұрамды темір-хром-көміртекқұрамды кешенді жүйелерді дайындау, олардың қаттыфазалы редукциялануы, металдандырылған өнімнің зертханалық үлгісін алу	51
4.1.1 Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртекқұрамды кешенді жүйені дайындау	51
4.1.2 Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртекқұрамды материалдарды қатты фазалы редукциялау. Металданған өнімдердің зертханалық үлгілерін алу	62
4.1.3 Металданған өнімдерді балқыту, ферромарганец пен феррохромның зертханалық үлгілерін алу	68
4.1.4 Кешенді хром-марганецті қорытпа алу	69
4.2 Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелерін талдау	73
Төртінші тарау бойынша тұжырым	75
5 МАРГАНЕЦ ПЕН ХРОМ КЕНДЕРІН БАЙЫТУДАН ҚАЛҒАН ҰСАҚ ҚАЛДЫҚТАРДАН ФЕРРОМАРГАНЕЦ ПЕН ФЕРРОХРОМДЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАҚТАУ	78
5.1 Темір-марганец-көміртекқұрамды және темір-хром-	

	көміртеққұрамды моношихтаны дайындау және оны редуциялап-балқыту технологиясын жасақтау	78
5.2	Ферромарганец, феррохром және кешенді қорытпа алу технологиясын салыстырмалы бағалау	84
	Бесінші тарау бойынша тұжырым	94
6	БОЛЖАМДЫҚ ТЕХНИКА-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУ	97
6.1	Жинақталған өнеркәсіптік қалдықтардан марганец-хромқұрамды ферроқорытпаларды алу технологиясының болжамдық техника-экономикалық есебі	97
	Алтыншы тарау бойынша тұжырым	103
	ҚОРЫТЫНДЫ	104
	ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	107
	ҚОСЫМША А – Ғылыми нәтижелерінің оқу процесіне енгізілгендігі туралы акт	112
	ҚОСЫМША Б – Ғылыми жұмысқа қатысқаны туралы құжат	113
	ҚОСЫМША В – Халықаралық конференциялардан алынған сертификаттар	115
	ҚОСЫМША Г – ҚР өнертабысқа патенті	116
	ҚОСЫМША Д – Зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдар тізімі	117

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Бұл диссертациялық жұмыста келесі стандарттарға сәйкес сілтемелер қолданылған:

МЕСТ 2408.1-95 – Қатты отын. Көміртекті және сутекті анықтау әдістері.

МЕСТ 5583-78 – Техникалық және медициналық газ тәрізді оттегі. Техникалық шарттар.

МЕСТ 7657-84 – Ағаш көмірі. Техникалық шарттар.

МЕСТ 10157-79 – Газ тәрізді және сұйық аргон. Техникалық шарттар.

МЕСТ 15054-80 – Темір кендері, концентраттар, агломераттар және жентектер. Химиялық талдау үшін сынамаларды іріктеу және дайындау әдісі.

МЕСТ 19908-90 –Тиглдер, тостағандар, стакандар, колбалар, құйғыштар, түтіктер және мөлдір кварц шыныдан жасалған ұштықтар. Жалпы техникалық шарттар.

МЕСТ 24104-88 – Жалпы мақсаттағы зертханалық және үлгілі таразылар.

МЕСТ 25336-82 – Зертханалық шыны ыдыстар мен жабдықтар. Түрлері, негізгі параметрлері және өлшемдері.

МЕСТ 6.38-90 – Құжаттаманың сәйкестендірілген жүйелері. Ұйымдастырушылық-жарлықтық құжаттама жүйесі. Құжаттарды ресімдеуге қойылатын талаптар

МЕСТ 7.32-2001 – Ақпарат, кітапхана және баспа істері жөніндегі стандарттар жүйесі. Ғылыми-зерттеу жұмысы жөніндегі есеп. Ресімдеу құрылымы мен ережелері

МЕСТ 8.417-81 – Мемлекеттік өлшемдер біртұтастығын қамтамасыз ету жүйесі. Физикалық шамалардың бірліктері

ҚР СТ МЕСТ 15.011-2005 – Патенттік зерттеулер

АНЫҚТАМАЛАР

Моношихта – барлық қажетті компоненттерден: флюс, көміртек құрамды редуционер, реагенттер мен металдардан алынатын тотықтардан тұратын дайындалған кесектелген шикізат.

Көмір-кенді жентек – көміртек құрамды редуционерлердің бастапқы шикізат бірлігінің қоспасынан және стехиометриялық шығынынан алынған жентек.

Стехиометрия – элемент өлшеу, реагенттердің қажетті массасын және көлемін теориялық тұрғыдан өлшеу.

Металдандыру – темірді металдық күйге толық ауыстырғанға дейінгі жентектерді редуциялап күйдіру.

Ферроқорытпалар – негізінен болатты оттексіздендіру мен легірлеуге қолдануға арналған темірдің басқа элементтерімен (Cr, Si, Mn, Ti және т. б.) қорытпалары.

Ферромарганец – құрамында 70,0-95,0 % дейінгі шамада марганец бар темір және марганец негізіндегі легірлеуші қорытпа.

Феррохром – құрамында 45,0-95,0 % дейінгі шамада хромы бар темір және хромның негізіндегі легірлеуші қорытпа.

Меласс – қант өнеркәсібінің қалдықтары, құрамы негізінен органикалық заттардан тұрады және жентектің химиялық құрамының өзгеруіне әсеретпейді.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Бұл диссертациялық жұмыста мынандай белгілеулер мен қысқартулар қолданылған:

«АрселорМиттал Теміртау» АҚ – қазақстандық тігінен интеграцияланған болат құятын және тау-кен өндіру компаниясы;

«ҚАЗХРОМ ТҰК» АҚ – тігінен интеграцияланған экспорттық-бағдарланған компания;

ААКМ – адсорбциялық-автокаталитикалық механизм;

ТКБК – тау-кен байыту комбинаты;

МЕСТ – мемлекеттік стандарт;

ГСБ-400 – газ есептегішінің қысқаша белгісі;

ДАМ – диссоциациялық-адсорбциялық механизм;

РЖБ – реакциялық-жанасу беті;

ЛПЦ – жайма илемдеу цехы (листопрокатный цех);

ВЛТК-500 – зертханалық таразы;

Гипромет – металлургиялық зауыттарды жобалайтын мемлекеттік институты;

ЫРГ – ыстық редукциялаушы газ;

ЖТЫГ – жылу тасымалдағыш ыстық газ;

ККЖ – көмір-кенді жентек;

ЫГТ – ыстық газ тасымалдағыш;

ОЗЗ – орталық зауыт зертханасы;

РНТС 80-230/15 – көлденең құбырлы пеші;

R_{Fe} – темірдің редукциялану дәрежесі;

R_{Mn} – марганецтің редукциялану дәрежесі;

R_{Cr} – хромның редукциялану дәрежесі;

e_M – шикізат бірлігінен металдың шығуы;

АК – ағаш көмірі;

К – редукциялаушы қатты көміртегінің шығыны;

MeO – металл оксиді;

СУОЛ – кедергілі зертханалық құбырлы пеші;

ТШ – техникалық шарттар;

ФМн – ферромарганец қорытпасының қысқаша белгіленуі;

ФХ – феррохром қорытпасының қысқаша белгіленуі;

ХМИ – Химия-металлургия институты;

A^c – қатты редукционердегі күлдің мөлшері, %;

В – шлақтың негізділігі;

$C_{af. \text{көм.}}$ – ағаш көмірдегі көміртегінің мөлшері;

C_m – металдың жалпы жылу сыйымдылығы;

C_{m1} – бірінші саты бойынша жылусыйымдылық;

C_{m2} – екінші саты бойынша жылусыйымдылық;

Fe_T – гематит фазасындағы темірдің мөлшері, %;

$Fe_{мет}$ – бастапқы материалдағы металдық темірдің мөлшері, %;

$Fe_{\text{общ}}$ – жалпы темір;
 g – еркін түсу үдеуі, м/с²;
 g_c – барлық металдарды редуциялау үшін жұмсалатын көміртегінің жалпы шығыны, кг/кг шихта;
 g'_{CO_2} – CO₂ газының массалық мөлшері;
 g'_{C_i} – процестің і-ші сатысындағы көміртектің жалпы шығыны, кг/кг шихта;
 $g'_{C,Mn}$ – марганецті редуциялау үшін жұмсалатын көміртегінің шығыны, кг/кг шихта;
 $g'_{C,Cr}$ – хромды редуциялау үшін жұмсалатын көміртегінің шығыны, кг/кг шихта;
 $g'_{C,Si}$ – кремнийді редуциялау үшін жұмсалатын көміртегінің шығыны, кг/кг шихта;
 g_{Fe} – бастапқы массадан металданған темірдің мөлшері, %;
 g'_{Fe} – процестің барлық кезеңдерінде жұмсалатын көміртектің шығыны, кг/кг шихта;
 g'_{H_2O} – H₂O массалық мөлшері;
 $g_{\text{көм.ком.}}$ – көміртекті компоненттердің шығыны, кг/кг шихта;
 g'_V – шихта құрамындағы ұшатын заттардың нақты саны, кг/кг шихта;
 $g_{O,Fe}$ – темірдің редуциялануы кезінде шихтадан газдандырылған оттегінің шығымы, кг/кг;
 $g_{O,Mn}$ – марганецтің редуциялануы кезінде шихтадан газдандырылған оттегінің шығымы, кг/кг;
 K_b – қатты редуционердің шығыны;
 K_p – реакцияның тепе-теңдік константасы;
 $Mn_{\text{мет}}$ – металданған марганец;
 $Mn_{\text{жалпы}}$ – жалпы марганец;
 $O_{Fe_2O_3}$ – Fe₂O₃-мен байланыстырылған оттегінің мөлшері, кг/кг Fe;
 $O_{Fe_3O_4}$ – Fe₃O₄-мен байланыстырылған оттегінің мөлшері, кг/кг Fe;
 O_{FeO} – FeO-мен байланыстырылған оттегінің мөлшері, кг/кг Fe;
 Q_{Σ} – жалпы жылу;
 Q_m – металл мен шлақты балқытуға шығындалатын жылу;
 R – редуциялану дәрежесі, бірлік үлесі немесе %;
 $SiCa$ – силикокальций;
 T – температура, К;
 t – температура, °С;
 V – ұшқыш заттардың мөлшері, кг/кг шихта;
 V_{CO} – металдардың редуциясы кезінде бөлініп шығатын CO газының жалпы мөлшері, м³/кг;
 V_{CO_2} – металдардың редуциясы кезінде бөлініп шығатын CO₂ газының жалпы мөлшері, м³/кг;
 V'_{CO_2} – CO₂ газының көлемі, м³/кг;
 g_{H_2O} – H₂O газдың көлемдік мөлшері, м³/кг;

V_r – газдың жалпы шыққан көлемі, м³/кг;
 $V_{г.кос.}$ – газдардың қоспасының көлемі, л;
 V_v – ұшқыш заттардың құрамындағы редукциялаушы газдың мөлшері, м³/кг;
 W_B – редукция жылдамдығы, мин⁻¹;
 η_{Cr} – хромды редукциялау процесіндегі бөліп алу дәрежесі;
 η_{Fe} – темірді редукциялау процесіндегі бөліп алу дәрежесі;
 η_{Mn} – марганецті редукциялау процесіндегі бөліп алу дәрежесі;
 $\eta_{мет}$ – металдандыру дәрежесі, бірлік үлесі немесе %;
 γ_{Cr} – қоспадағы хром концентратының үлесі;
 γ_{Mn} – қоспадағы марганец концентратының үлесі;
 γ_{O1} – CO₂ түрінде газдандырылған оттегінің үлесі;
 γ_{O2} – CO түрінде газдандырылған оттегінің үлесі;
 ΔG° – Гиббс энергиясының стандартты өзгерісі, кДж/моль;
 Δg_{Fe} – толығымен редукцияланбаған темір мөлшері, %;
 ΔH° – энтальпия стандартты өзгерісі, кДж/моль;
 ΔO – CO₂ және CO түрінде газдандырылған оттегінің жалпы мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Sigma O_{ш}$ – шихтадан газдандырылған оттегі жалпы мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Delta O'_{Fe}$ – темірді редукциялау кезінде газдалған оттегінің барлық мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Delta O'_{Mn}$ – Mn₂O₃ → Mn₃O₄ → MnO → Mn бойынша фазалық өзгеру сатыларында марганецті редукциялау кезінде газдалған оттегінің барлық мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Delta O'_{Cr}$ – Cr₂O₃ → Cr₃O₄ → CrO → Cr бойынша фазалық өзгеру сатыларында хромды редукциялау кезінде газдалған оттегінің барлық мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Delta O'_{Si}$ – кремнийді редукциялау кезінде газдалған оттегінің барлық мөлшері, кг/кг шихта;
 ΔO_1 – Fe₂O₃ → Fe₃O₄ бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;
 ΔO_2 – Fe₃O₄ → FeO бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;
 $\Delta O'_3$ – FeO → Fe_{мет} бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;
 $\Delta O''_3$ – конверсияның үшінші сатысында газдандырылған оттегінің массалық үлесі, соның ішінде вюститтің редукциялануы кезінде газдандыратын оттегінің мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Delta O'''_3$ – FeO түріндегі толық редукцияланбаған темірдің көлемімен байланысты оттегінің қалдық мөлшері, кг/кг шихта;
 $\Delta O_{(CO_2)}$ – CO₂ түрінде шихтадан газдандырылған оттегі;
 $\Delta O_{(CO)}$ – CO түрінде шихтадан газдандырылған оттегі;
 ΔO_{1Mn} – MnO₂ → Mn₂O₃, бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;

$\Delta O_{2Mn} - Mn_2O_3 \rightarrow Mn_3O_4$ бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;

$\Delta O_{3Mn} - Mn_3O_4 \rightarrow MnO$ бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;

$\Delta O_{4Mn} - MnO \rightarrow Mn$ бойынша фазалық өзгеру кезеңінде газдалған оттегінің массалық үлесі, кг/кг шихта;

ΔO_{Mn} – марганец оксидтерінен газдалған оттегінің жалпы мөлшері, кг/кг шихта;

$\Delta O_{қоспа}$ – металдық қоспалардан газдалатын оттегінің мөлшері, кг/кг шихта;

$\Delta O_{уг.к}$ – көміртеққұрамды редуционердің күліндегі гематиттен газдалатын оттегінің мөлшері, кг/кг шихта;

ΔQ – процесті жылумен қамтамасыз ету;

ΔS° – стандартты энтропия өзгерісі, Дж/моль·К;

$\Delta \tau$ – уақыт айырмашылығы, мин.

Осы жұмыста келтірілген физикалық мөлшердің өлшемдері МЕСТ 8.417-81 «Өлшеудің әр түрлі аймақтарындағы қондырғыларды қолдану» мемлекеттік стандартына сәйкес қабылданды.

КІРІСПЕ

Шешілетін ғылыми немесе ғылыми-технологиялық мәселенің заманауи күйін бағалау

Республикада ферроқорытпа зауыттарының негізгі көзі болып табылатын марганец және хром кенінің қоры мен өндірісі бойынша Қазақстан Еуразиялық одақта көшбасшы орынды алып отыр. Марганец кенінің негізінде Жәйрем, хром кенінде – Ақтөбе облысында орналасқан Дөң кен байыту комбинаты жұмыс істейді.

Марганец және/немесе хром кенінің ірі фракциясы мен кокстан жасалған шихтамен жұмыс істейтін ферроқорытпа зауыттарында шикізат дайындау үшін, біріншілей кен тұндырумен байытылады және ұсақ фракцияның бөлінуімен сұрыпталады. Мұндай өңдеу нәтижесінде өлшемі 5-10 мм төменұсақ фракциялар қалдықтары түзіледі, олар өндеудің негізгі технологиялық тізбегінен шығарылады және үйінділерде жиналады.

Қазіргі уақытта марганец және хром кенінің жиналған майда қалдықтарының көлемі ауданның экологиялық қауіпсіздік деңгейін анықтайтын масштабқа дейін ұлғаюда. Технологиялық тұрғыдан, үйіндіде жиналған марганец және хром қалдықтарының құрамында бағалы металдардың, оның ішінде марганец және хромның жеткілікті жоғары концентрациясы кездеседі, бұл оларды бөліп алудың экономикалық тиімділігін анықтайды. Жиналған қалдықтарда кездесетін темір, марганец пен хромның балансы бойынша оларды металлургиялық өндеуге технологиялық дайындау және жоғары құн қосылған темірмарганец пен темірхром қорытпаларын шығару бойынша қосымша өндірісті ұйымдастыру мүмкіндіктері қарастырылуда. Өндеуге балластық, кондициялық емес қалдықтардың енгізілуі, олардан сапалы тауарлы өнімнің алынуы келешекте еліміздің экономикалық қажеттіліктері, сонымен қатар экспорт үшін де пайдаланылуы мүмкін. Қойылған міндеттің шешілуі аталған қалдықтарды өндеудің тиімділігі жоғары технологиясын құруға бағытталған кешенді зерттеулердің жүргізілуін талап етеді.

Тақырыпты жасақтаудың негіздемесі және бастапқы деректері.

Қазіргі уақытта біріншілей марганец (Жәйрем КБК) және хром кенін (Дөң КБК) байытудан жиналған кондициялық емес ұсақ қалдықтардың қосынды көлемі шамамен миллион тонна құрайды. Бұл қалдықтарда марганец пен хромның жеткілікті жоғары концентрациясы, аталған металдарды қосымша бөліп алу мақсатымен оларды өндеу технологиясын ұйымдастыру үшін қолдануға болады және жарамды. Дәстүрлі технологияның техникалық шарттары үшін олардың өңделуін кесектеу және негізгі технологиялық тізбекке қайтару арқылы жүзеге асыруға болады. Мысалы, марганец кенінің ұсақ қалдықтарын кесектеуді агломерациялық күйдіру арқылы жүргізуге болады, алайда бұл энергошығыны жеткілікті жоғары технология болып келеді. Берілген тәсілдемені хром қалдықтарына қолдануға болмайды, себебі оларды жұмсару (пісіру) температурасы 2000 °С жоғары болып келеді.

Екінші мүмкін болатын шешім, металдарды бөліп алу үшін ұсақ фракцияның тікелей балқуын қамтитын пирометаллургиялық тәсіл, алайда бұл шешім дәстүрлі кен-термиялық процеске ұқсас мүлдем жаңа технологияның жасалауын талап етеді.

Ферроқорытпа зауыттарында дәстүрлі технологиялардың негізі электртермиялық пештер болып табылады, мұнда тек кесекті және/немесе кесектелген кен материалдарын балқытады. Ферромарганец балқытып шығару үшін қажетті электрқуатының шығыны 5000 кВт/т жетеді, ал феррохром балқыту үшін – 9000 кВт/т дейін. Балқытудың бастапқы шихтасы кесектелген шикізаттан, металлургиялық кокс пен шлактүзуші флюстерден тұрады.

Қолданыстағы технологияның ерекшелігі мен кемшіліктері, ферромарганец пен феррохромды редуциялап балқыту процесінің 100 %-дық электрэнергия шығынмен жүзеге асырылуы болып келеді, бұл процесті қатты қымбаттатады. Кокс тек редуциялау реагенті және балқымалар мен бөлінетін газдарды сүзу үшін саптама ретінде пайдаланылады. Мұндай жүйеде кокстың қатты көміртегісімен кеннен металды редуциялау, олардың арасында реакциялық жанасу бетінің шектеулі болуына байланысты, қаттыфазалы күйде айтарлықтай өте алмайды. Металдар редуциясы шихтаның кенді бөлігінің балқу сәтінен, яғни 1250-1350 °С жоғары температурада басталады, мұнда металл тотықтарының балқымалары кокс кесектерінің бетінен ағып өтеді. Бұл электрқуатының ауқымды бөлігі шихтаның берілген температураға дейін қыздырылуына шығындалатынын көрсетеді. Бұл кезде металдардың редуциялау процестері айтарлықтай тежелген және металл тотықтарының кокспен өзара әрекеттесуі жүрмейді.

Жоғарыда аталған кемшіліктер ескерілген және жасақталған технологияда жойылған.

Ғылыми-зерттеу жұмысын жүргізу қажеттілігін негіздеу

Бір жағынан, марганец пен хром мөлшері жоғары болатын, марганец пен хром кенін байытудың ұсақ фракцияларын өндеудің тиімді технологиясының жоқ болуы, және екінші жағынан олардың геометриялық прогрессияда жиналуы жаңа технологияның жасақталу қажеттілігін тудырады. Диссертациялық жұмыста орындалған ғылыми зерттеулер, бағалы металдарды бөліп алу үшін қосымша шикізат көзі ретінде пайдаланылатын жиналған ұсақ марганец және хром қалдықтарын металлургиялық өндеу технологиясын жасауға бағытталған теориялық және тәжірибелік міндеттер шешімінің кең спектрін қамтиды.

Жаңа бағыттар мен берілген бағыт бойынша ғылыми әдебиетте жарияланған теориялық тәсілдемелер мен шешімдерді егжей-тегжейлі талдау негізінде, бағалы легірлеуші металдар – марганец және хром тотықтары кездесетін, ұсақ қалдықтарды өндеудің жаңа технологиясын жасақтау мүмкіндігінің технологиялық шарттары орнатылды.

Марганецтің төменгі тотықтары (MnO) мен хромның тұрақты тотықтары (Cr₂O₃) жоғары химиялық беріктігіне ие және тек қана қатты көміртегімен 1200-1400 °С жоғары температурада редуциялануы мүмкін. Алайда берілген

тотықтар, дәстүрлі технологияда пайдаланылатын сұйық фазалы жүйемен салыстырғанда, жаңа теориялық қағидаға сәйкес, дисперсті күйде қатты көміртегімен әрекеттесудің аса жоғары активтілігіне ие болады. Темір, марганец және хром тотықтарын қатты көміртегімен қатты фазада редуциялау механизмінің қолданылуы жоғарыда аталған қалдықтарды тиімді өңдеудің және болат легірілеу үшін бағалы функционалды қорытпалар өндірісін ұйымдастырудың жаңа технологиялық мүмкіндіктерін ашады.

Жасақтаманың жоспарланып отырған ғылыми-техникалық деңгейі, патенттік зерттеулер жөнінде мағлұматтар және қорытындылар

Жасалған технологияның ғылыми-техникалық деңгейі теориялық білімнің жаңа жетістіктерін пайдаланумен анықталады және қаттыфазалы дисперсті және ультрадисперсті жүйеде қиын редуцияланатын марганец пен хром тотықтарын көміртегімен тікелей редуциялау механизмін жүзеге асыруға негізделеді. Жаңа технологияның мәні, дисперсті және ультрадисперсті компоненттерден, сәйкес металдар тотықтарын және бөлініп алынатын металдар редуциясы үшін қажетті қатты көміртегінің стехиометриялық мөлшерін қамтитын кешенді жүйелер қалыптасады. Мұндай механизмді жүзеге асыру және процестің орнатылған технологиялық режимдері алғаш рет дүниежүзілік тәжірибеде кондициялық өнеркәсіптік қалдықтардан сапалы темір-марганец, темір-хром және комбинирленген темір-марганец-хром қорытпаларының үлгілерін алуға мүмкіндік берді.

Жасалған технологияның ғылыми жаңалығы және тәжірибелік құндылығы механо-активтендірілген кешенді жүйені дайындау және өңдеу болып келеді, мұнда барлық өзара әрекеттесуші элементтер қатаң пропорционалды қатынаста болады.

Әлемдік деңгейдегі патенттік зерттеулер мен 20 жылдық тереңдігі бар Қазақстанның инновациялық патенттерін талдау көрсетуі бойынша, жасалған технологияның аналогтары жоқ және бірқатар теориялық, тәжірибелік артықшылықтарына ие: металдардың - темір, марганец пен хромның олардың тотықтарының химиялық беріктілігіне және жүйені қыздыру температурасына тәуелді қатты фазада редуциялаудың кинетикалық заңдылығы алғаш рет орнатылды; механо-активтендірілген кешенді жүйе болып келетін шихтадан металдардың тікелей редуциясын зерттеу нәтижелері жалпы процесс барысын реттеу мүмкіндігін көрсетеді. Дайындалған шихтада редуциялау процесі қатты фазалы күйде 600 °С температурадан басталатыны орнатылды, ал қолданыстағы технология бойынша электртермиялық пештерде редуциялау процесі сұйық фазада, материал балқығаннан кейін жүреді және 1250 °С температурада басталады.

Шихта ретінде механо-активтендірілген кешенді жүйенің пайдаланылуы әрбір металл редуциясының кинетикалық заңдылықтарын температураға тәуелді келесі көрсеткіштер бойынша орнатуға мүмкіндік береді:

– шихтадан темір – 0,98; марганец – 0,75-0,80; хромды – 0,8-0,85 редуциялау және бөліп алу коэффициенті;

– берілген массалық қатынаспен қалдықтардан шихта материалдарын дайындау арқылы балқытылатын қорытпалар құрамын реттеу мүмкіндігі.

Диссертацияның метрологиялық қамтылуы жөнінде ақпарат.

Кешенді темір кені шикізатын дайындау үшін стандарттық дірілді диірмен пайдаланылды.

Тотықтардан металдарды күйдіру және тікелей редуциялау процестері, бақылау тексерістен өткен термодинамиканың ПП және электронды потенциалометрдің КСП-2 пайдаланылуымен, стандартты СУОЛ-044/12-М2-У42, РНТС 80-230/15 пештерінде және жоғары температуралық Тамман пешінде жүзеге асырылды.

Тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде алынған қатты және сұйық өнімдердің жай-күйі мен сапасы қазіргі заманғы дәлдігі жоғары аппараттарда мұқият талдау арқылы жүзеге асырылды: Spectrolab JrCCD үстел үсті оптикалық эмиссиялық спектрометр және JSM 5910 электрондық микроскоп. Бастапқы үлгілер мен көміртекті құрамды материалдар массасы МЕСТ 24104-88 сәйкес Shimadzu ELB 1200 электрондық таразыларында анықталды. Химиялық және минералогиялық құрамды анықтау үшін МЕСТ 18895-97 сәйкес спектрометриялық талдау әдісінің сертификатталған әдістері мен аппараттары қолданылды.

Тақырып өзектілігі

Қазақстанда танымал темір кені шикізатының кенорындарымен қатар марганец және хром кенінің ірі кенорындары орналасқан. Алынатын марганец және хром кендерінің негізінде Қазақстанда ферромарганец пен феррохром өндірісінің ірі өнеркәсіптік кешендері жұмыс істейді. Әлемдік тәжірибеде ферроқорытпалар өндіру технологиясы кесекті сұрыпталған кенді кокспен бірге балқытуға негізделген, оны негізінен электртермиялық пештерде жүргізеді. Кен сұрыптау қағидасы бойынша Жәйрем (марганец шикізаты) және Дөң КБК-да (хром шикізаты) электрпешінде балқытуға шихта дайындау жүзеге асырылады. Ірі кесекті кендер ферроқорытпа зауыттарына жіберіледі, ал марганец пен хром кенінің майда ұсақтары үйіндіде жиналады. Дәстүрлі технология бойынша ферроқорытпалар өндірісінде осы майда қалдықтардың пайдаланылуы аса қиындатылған. Бұл, техникалық шарттар бойынша, олардан алдымен агломерация немесе жентектер өндірісі арқылы тотықты кесектелген материалдар алынуы қажет. Бұл ауқымды материалдық және энергетикалық шығындарды талап етеді.

Жоғары техника-экономикалық көрсеткіштерді қамтамасыз ететін майда қалдықтарды тікелей металлургиялық өңдеудің жаңа технологиясын жасау, өзекті мәселе болып табылады, және ол шешілуі қажет.

Тақырыптың жаңалығы металдарды тікелей редуциялау негізінде кондициялық емес ұсақ материалдардан (хром, марганец және темір кені) ферромарганец, феррохром және кешенді хром-марганец қорытпасын алу технологиясын жасақтау.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми жаңалығы:

– температураға және металл тотықтары мен қатты көміртегі арасында

реакциялық жанасу бетінің өлшеміне тәуелді, металдарды қатты көміртегімен редуциялау кинетикасын қамтамасыз етуде техникалық шарттардың шешуші ролі орнатылды. Мұндай техникалық шарттар дисперсті көмір-кенді шихтадан көмір-кенді жентектерді дайындаудың ұйымдастырылуымен қамтылған;

– алғаш рет, оттегімен химиялық байланысының беріктігіне тәуелді әрбір металл тотықтарының реттік фазалық түрленулерінің ескерілуімен күрделі көпкомпонентті жүйеден темір, марганец пен хромның тікелей редуциясының кинетикалық заңдылықтары орнатылды;

– алғаш рет, беріктігі мен металға дейін фазалық түрленулеріне тәуелді тотықтар редуциясына қажетті қатты көміртегінің меншікті шығынын анықтаудың детерминирленген тәсілі енгізілді, бұл көміртегі шығынын үнемдеуге, сонымен қатар металдың көміртектенуінсіз берілген құрамда балқымалардың тікелей алынуын қамтамасыз етеді;

– алғаш рет, кокс пен электртермиялық пештердің қолданылуынсыз құрамында тотық пен көміртегі болатын шихтадан марганец пен хром қорытпаларын алу процесі жүзеге асырылды, бұл электрқуатының ауқымды үнемделуін қамтамасыз етеді.

Жұмыстың өзге ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы

Диссертациялық жұмыс, Қазақстан Республикасының Білім және ғылым Министрлігімен қаржыландырылатын «Табиғи ресурстарды тиімді пайдалану, шикізатты өңдеу және өнімдер» басым бағыты бойынша «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» бағдарламасының аясында «Металдардың тікелей редуциясын ғылыми зерттеу және жиналған өнеркәсіптік қалдықтардан жаңа марганец-хромқұрамды қорытпалар алу технологиясын жасау» тақырыбына жоба бойынша орындалған (ҒЗЖ №2210/ГФ4, 12.02.2015ж. №74 келісім шарт, 2015-2017 жылдар).

Зерттеу мақсаты қалдықтардан ферромарганец және феррохром үлгілерін алу және жоғары техника-экономикалық көрсеткіштерді қамтамасыз ететін технология жасау, сонымен қатар қозғалмайтын қалдықтардың балластық қорын тауарлы өнімге түрлендіру.

Зерттеу нысаны – Жәйрем КБК марганец кенін және Дөң КБК хром кенін байытудан жиналған ұсақ қалдықтар.

Зерттеу мәні

Марганец және хром кенінің майда қалдықтары негізінде шихта және көмірқұрамды редуциялау реагенті, 600-1000 °С шегінде жүйенің режимдік қызуы кезінде көмір-кенді жентектерден темірді тікелей редуциялау кинетикасы; 1200-1500 °С температура аймағында марганец пен хромды тікелей редуциялау кинетикасы; металданған өнімдерді редуциялап балқыту; ферромарганец пен феррохром балқымаларының құрамы мен сапалық көрсеткіштері.

Зерттеу міндеттері, ғылыми зерттеу жұмысын орындауда олардың орны:

– Жәйрем КБК марганец кенін байыту және Дөң КБК хром кенін байытудың майда қалдықтарының таныстырмалы сынамаларын алу, олардың химиялық және минералогиялық құрамын кешенді зерттеу;

– температураға және металл тотықтары мен қатты көміртегі арасында реакциялық жанасу бетінің өлшеміне тәуелді, металдарды қатты көміртегімен редуциялау кинетикасын қамтамасыз етудің техникалық шарттарын анықтау;

– темір, марганец пен хромның тотықтарынан көміртегімен тікелей редуциясына көміртегіқұрамды редуциялау реагенті шығынының әсерін анықтау;

– көмір-кенді жентектердің алынуымен механо-активтендірілген кешенді көмір-кенді шихтаны күйдірудің оңтайлы көсеткіштерін анықтау;

– металданған жентектер үлгілерінің алынуын қамтамасыз ететін көмір-кенді жентектерді күйдірудің технологиялық режимдерін таңдау және негіздеу;

– нормаланған көміртегі мөлшерімен ферромарганец пен феррохром алынуын қамтамасыз ететін, металданған жентектерді редуциялап балқытудың оңтайлы технологиялық көрсеткіштерін орнату;

– кешенді марганец-хромқұрамды ферроқорытпа алу үшін шихтада марганец пен хром қалдықтарының оңтайлы сандық қатынасын анықтау.

Зерттеулердің әдістемелік базасы жаңа теориялық ережелерге негізделеді және қамтиды: қатты көміртегімен редуциясында металл тотықтарының реттік-фазалық түрленуінің жаңа механизмдері; металдарды қатты көміртегімен тікелей редуциялаудың кинетикалық заңдылықтары; жоғарыкөміртекті ферроқорытпалардың түзілуін алдын алатын, көміртегіқұрамды редуционердің стехиометриялық шығынын реттеу.

Қорғауға шығарылатын қағидалар

– көмір-кенді жентектер түрінде кешенді шихта жасау арқылы майда марганец және хром қалдықтарын металлургиялық өңдеуге дайындау әдістемесі;

– редуциялау-балқыту процестерін ұйымдастыру үшін моношихта құрамын таңдау және негіздеу;

– металданған жентектердің алынуымен көмір-кенді жентектерді редуциялап күйдіру нәтижелері;

– химиялық құрамы бойынша стандартты ферроқорытпаларға сәйкес келетін, металдың көміртектенуінсіз феррохром және ферромарганец үлгілерінің алынуымен металданған жентектерді редуциялап балқыту нәтижелері.

Диссертацияның тәжірибелік маңыздылығы

Марганец пен хром кендерін байыту процестерінің ұсақ фракциялы шикізатын және өнеркәсіптің кондициялық емес жинақталған қалдықтарын өңдеп, бағалы металдарды жоғары дәрежеде тауарлы өнім – феррохром, ферромарганец және кешенді хром-марганецті қорытпаларын бөліп алатын жаңа технология жасақталды.

Технологияның пайдаланылуы қымбат тұратын кокс пен электр пештерінің қолданылуын жояды, бұл энергия және материалдық шығындарды ауқымды төмендетеді. Өндеуге өнеркәсіптік қалдықтардың енгізілуі аймақта экологиялық ахуалды жақсартады және байытудың ұсақ фракциялы қалдықтарын сақтау үшін пайдаланылатын ауқымды жер ауданын босатуға мүмкіндік береді.

Жұмыс бойынша жарияланымдар мен сынамалар

Диссертациялық жұмыс нәтижелері бойынша 10 баспа жұмыстар жарияланды, оның ішінде Scopus Steel in Translation (United Kingdom) (IF-0,24) деректер базасына кіретін журналда 1 ғылыми мақала, ҚР БҒМ білім және ғылым саласын бақылау Комитетімен ұсынылған басылымдарда 4 мақала.

Диссертациялық жұмыстың негізгі қағидалары мен нәтижелері Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференцияларда сыналды:

– International Conference **Scientific research of the SCO countries: synergy and integration** (June 14-15, 2018.) Part 1: Participants reports in English – Beijing, China: Minzu University of China, 2018;

– «**Ғылым - білім - өндіріс: Тәжірибе және даму болашағы**»: XIV Халықаралық ғылыми-техникалық конференция материалдары. (8-9 ақпан, 2018 ж.): 2 томдық. Том. 1; Ресей Федерациясының Білім және ғылым министрлігі; ФГАОУ ВО «Ресейдің Тұңғыш Президенті Б.Н. Ельцин атындағы ОрФУ», Нижний Тагил. технол. институты (фил.) - Нижний Тагил: НТИ (филиал) ОрФУ, 2018 жыл;

– «**Ғылымның, білімнің және өндірістің интеграциясы - Ұлт жоспарын жүзеге асырудың негізі**» (Сағынов оқулары №10) Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы. 14–15 маусым 2018 жыл, Қарағанды қ.;

– «**Индустрия 4.0 шарттарында минералды және техногенді шикізатты тиімді пайдалану**» Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы, 14-15 наурыз 2019 жыл, Алматы қ.

№33666 «Құрамын реттеу мүмкіндігімен феррохром және ферромарганец алу тәсілі» өнертабысқа ҚР Патенті алынды. Тлеугабұлов С.М., Тажиев Е.Б. Өтінім. 01.08.2017 ж. Жариялануы. 04.06.2019 ж.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, 6 бөлімнен, қорытынды мен қосымшалардан тұрады. Жұмыс машиналы жазбамен 118 бетте баяндалған, 34 кестеден, 15 суреттен тұрады. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 74 атауды қамтиды.

1 ФЕРРОМАРГАНЕЦ ПЕН ФЕРРОХРОМ ӨНДІРІСІНІҢ ЖАҒДАЙЫНА ШОЛУ

1.1 Марганец пен хром кендерінің шикізат базасы

Темір және марганец. Темір кенінің әлемдік қоры 170 млрд. т. деп бағаланады. Ең көп қорға ие мемлекеттер қатарына Австралия, Бразилия, Ресей, Қытай және Украина кіреді. Қазақстанның үлесі шамамен 12 %-ды құрайды (шамамен 20 млрд. т). Темір кендерінің қоры АҚШ-та, Үндістанда, Швецияда және Кубада орналасқан. Өзге елдердің үлесіне әлемдік қорлардың 7 % келеді.

Марганец кендерінің ең көп қоры ОАР мен Украинада шоғырланған. Қазақстанда 680 млн. тоннаға жуық, 3-ші орында тұр. Сондай-ақ Австралияда, Габбонда және Бразилияда марганец кендерінің едәуір қоры бар. Өзге елдердің үлесіне 14 % келеді.

Темір өндіру бойынша республиканың жетекші өңірі Солтүстік Қазақстан болып табылады, онда темір кендерін өндіру Соколов, Сарыбай, Қашар және басқа да скарнов-магнетит кенорындарында, сондай-ақ Лисаковск қоңыртемірлі кенорнында өндіріледі. Марганец кендеріне келетін болсақ, олардың қорлары негізінен Орталық Қазақстанның Атасу кенді ауданында шоғырланған. Олар (көбінесе) тотықтық құрамымен, салыстырмалы түрде жеңіл байытылуымен, құрамында фосфор және күкірттің аздығымен сипатталады. Марганец кендерін жасақтау мен өңдеуді бірқатар кәсіпорындар жүзеге асырады, олардың ішіндегі ең ірілері – «Жәйрем КБК» АҚ және «Қазхром ТҰК» АҚ.

Жер қойнауындағы темір және марганец кендерін пайдаланумен бүгінде 67 нысан жұмыс атқаруда, оның 21-і өндірумен, 33-і барлаумен айналысады, 13-і барлау және өндіруді біріктіріп жүргізеді. 2000-2016 жылдары Қазақстанда 710 млн.т. темір және 42 млн. т. марганец кендері өндірілді, оның ішінде 2016 жылы – 34 млн. т. және 1,5 млн. т. өндірілді. Осы уақыт ішінде қорлардың өсімі темір бойынша – 2,9 млрд.т. (2016 жылы – 15,9 млн. т.), ал марганец кені бойынша – 86,6 млн. т (өсім болған жоқ) құрады.

Хром. Әлемде өндірілетін хромиттің шамамен 95 %-ы феррохром өндірісіне арналған, бұл ретте шығарылатын феррохромның шамамен 70 %-ын төрт ел: ОАР, Қазақстан, Үндістан және Қытай қамтамасыз етеді. Бұл ретте біздің мемлекетіміздің хром кендерінің әлемдік қорларындағы үлесі 38 %-ды (367 млн.т.) құрайды, және осы көрсеткіш бойынша біз ОАР-дан кейін екінші орында тұрамыз.

2016 жылдың 1 қаңтарына Ақтөбе облысында орналасқан 17 кенорнының қоры есепке алынды. Нысанның бірі Ақтөбе ферроқорытпа зауытының шлак үйінділері болып табылады. Жерқойнауындағы хром кендерін пайдалану 9 объектіде жүргізіледі, оның сегізі өндіру сатысында, ал біреуінде барлау жүргізілуде. 2000-2016 жылдары 71,5 млн. тонна хромит, оның ішінде 2016 жылы – 5,5 млн. тонна өндірілді. Бұл ретте қорлардың өсімі шамамен 1 млн. тоннаны құрады (2007 жылдан бері өзгеріссіз) [1].

1.2 Ферроқорытпа өндірісі

Ферроқорытпа өндірісі – металлургия өнеркәсібінің ірі бөлімшелерінің бірі. Олардың ішінде ферромарганец және феррохром өндірісі ерекше сұранысқа ие.

Ферромарганец пен феррохромның негізгі тұтынушысы «Үлкен металлургия» деп аталатын темір мен болат металлургиясы, әлемнің барлық индустриалды дамыған және дамушы елдерінде қарқынды дамып келеді және индустрияның негізі болып табылады. Темірдің ерекшелігі оның металл бұйымдарының конструкциясының матрицасын құрып қана қоймай, сонымен қатар оның құрамындағы көптеген басқа металдарды ерітіп, табиғаты мен концентрациясына байланысты ол жаңа қасиеттерге ие болады. Әр түрлі мақсаттағы легірленген конструкциялық болаттар туралы түсінік қалыптасады [2, 3]. Қазіргі уақытта әлемде болат өндіру жылына 1,5 миллиард тоннадан асады [4]. Мұндай жаппай өндіріс негізінен темір кен орындарындағы табиғи ресурстарға негізделген. Дайындалған темір кені шикізаты бүкіл әлемде екі сатылы технология бойынша өңделеді: 1) домналық кешендерде редуциялап балқыту [5], 2) оттекті-конвертерлік процесс технологиясы бойынша шойынды тотықтырып қайта балқыту [6]. Оттекті конвертерде болатты балқыту кезінде шойындағы көміртегі тотығады, сонымен қатар темірдің едәуір бөлігі және барлық пайдалы қоспалар - марганец, хром, ванадий және кремний тотығады. Балқытылған болат еріген оттегімен және металдық емес қосылыстармен ластанады. Осылайша, болаттың құрамындағы оттегінің мөлшерін төмендету (раскисление) және оны пештен тыс тазарту процесінің қажеттілік мәселесін өзіміз туындатамыз. Бұл мәселені шешу үшін ферроқорытпа өндірісі қажет [7]. Болаттың құрамындағы оттегінің мөлшерін төмендету негізінен ферромарганец, ферросиликомарганецтің көмегімен шешіледі [8]. Сондай-ақ, болат балқымасын тазартып және құрамындағы оттегінің мөлшерін төмендеткеннен кейін конструкциялық қасиеттерді беру үшін құрамында легірлеуші металдар бар ферроқорытпа арқылы легірлейді. Олардың ішінде болатты легірлеуге арналған ферроқорытпалардың кең таралғаны ферромарганец пен феррохром [9]. Болатты тотықтандырып балқыту технологиясы әлемнің барлық елдерінде кең таралғандықтан, ферроқорытпа өндірісі бүкіл әлемде сұранысқа ие. Бірақ ферроқорытпа өндірісі сәйкес кендердің ірі кенорындарына негізделген. Олардың ішіндегі ең қуаттысы және ең ірісі марганец пен хром кенорындары [10]. Айтпақшы, Қазақстанда марганец пен хром кендерінің ірі кенорындары орналасқан, олардың негізінде Жәйрем КБК және Дөң КБК жұмыс істейді, ал Ақсу мен Ақтөбе қалаларында ферроқорытпа зауыттары ұйымдастырылған [11]. Ферроқорытпа өнімдеріне әлемдік нарықтағы сұраныстың және тәуелсіз экспорттың арқасында ферроқорытпа өндірісі дербес металлургия кешені ретінде дамыды. Бірақ оның өнімдерін тұтынушылар болат балқыту зауыттары болып табылады, сондықтан ферроқорытпа өндірісі мен болат балқыту зауыттары өзара байланысты.

Ферромарганец пен феррохромды өндіру технологиясы сәйкесінше марганец пен хромның кесек кендерін қолдануға негізделген. Шихта құрамына

редукционер реагент ретінде металлургиялық кокс және шлак құрамын қалыптастыру үшін флюскоспасы енгізіледі [12]. Дайындалған шихтаны жоғары температурада редуциялап балқыту процесі әдетте кен-термиялық балқыту пештерінде жүзеге асырылады. Кесек кендік материалдардан, флюс пен кокстан тұратын дайындалған шихта кен-термиялық пешке қабат-қабат бойынша салынады. Шихтаны қыздыру және балқыту процестері электродтарды шихта қабатына батыру, энергияны беру және шығынын реттеу арқылы жүзеге асырылады. Шихтаның негізгі компоненттері - кен және кокс кесектелген материалдар болғандықтан, металдардың кокстың құрамындағы көміртегімен редуциялану процесі жанасу беттері арқылы топохимиялық режимде басталуы мүмкін. Мұндай жанасу беттері өте шектеулі болғандықтан, кесектелген кеннің құрамындағы металдар қатты фазалық жағдайда редуцияланбайды. Тек, шихта құрамының кендік бөлігі балқыған кезде металдардың редуциясы жүре бастайды. Темір, марганец, хром тотықтарының және кокс құрамындағы көміртегінің арасындағы химиялық өзара әрекеттесуі тотықтардың сұйық фазасында жоғары температурада жүреді. Ферроқорытпаларды өндірудің осы технологиялық жүйесі бүкіл әлемде кең таралған және дәстүрлі технология болып саналады [13].

Дәстүрлі технология бойынша ферроқорытпа өндірісіндегі энергия шығыны шихтаны қыздыру, шихтаның кендік бөліктерінің балқыту, темірдің, марганецтің, хромның, кремнийдің қатты көміртегімен редуциялану реакцияларының эндотермиялық жылуы және шлактар мен ферроқорытпалар балқымаларын қыздыру сатыларынан тұрады. Ферромарганец өндіруге кететін жалпы энергия шығыны шамамен 5000-6000 кВт·сағ, ал феррохром өндіруге кететін шығын 9000-9500 кВт/сағат аралығында болады. Сонымен қатар, пешке салынатын кокс мөлшері 500-600 кг/т ферроқорытпа аралығында болады, бұл шығындар өте жоғары және ферроқорытпа өнімдерінің өзіндік құны мен нарықтық құнын айқындайды.

Балқытудың электртермиялық процестеріне жоғары энергия мен кокс көп шығындалған кезде әдетте жоғары көміртекті ферроқорытпалар алынады, бұл ферроқорытпа құрамындағы көміртегінің мөлшерін төмендету және тазарту үшін оны екінші рет өңдеу қажеттілігін туындатады. Мұндай екі сатылы өңдеу жолы жоғары көміртекті феррохромның біріншілік өндірісіндегі кокстың көп болуымен байланысты. Кокстың стехиометриялық шығынын реттеу механизмі тәжірибеде жоқ, себебі кокс бір мезгілде редуционер реагент ретінде және балқыған материалдарды дренаждауға арналған салма ретінде қолданылады.

Электрэнергиясы мен кокс шығынын төмендеті отырып дәстүрлі технологияны жетілдіру ұсынылған [14] жұмыс бойынша алынған жоғары көміртекті ферроқорытпаның құрамындағы көміртегінің мөлшерін 6 %-дан төмендеті алмайды. Марганец құрамды шикізат пен әктен тұратын кен-әк қоспасын электрдоғалы пештерде балқытып орташа көміртекті ферромарганецті алу тәсілі жасақталған [15]. Марганец шикізат құрамындағы кальций (CaO) мен кремний (SiO₂) тотықтарының мөлшеріне байланысты шихта құрамына әкті кен-әк балқымасының негізділігі (CaO/SiO₂)

1,0-1,4 дейін қосады. Шихтаны балқыту процесінде булану жолымен марганецтің жоғалуы болмайды, себебі кен-эк балқымасы құрамындағы Mn тотық түрінде CaO және SiO₂ тотықтарымен қосылыстар түзген. Кен-эк балқымасын 1600-1800 °C температураға дейін қыздырады, одан кейін пешке балқытылған жоғары көміртекті ферромарганец (6-8 % C) құйылады.

Марганец шикізаты құрамындағы марганец пен темір оксидтеріндегі оттегінің, жоғары көміртекті ферромарганецтің құрамындағы көміртегімен өзара әрекеттесуі нәтижесінде көміртектену процесі жүреді. Балқытылып алынатын металдың құрамындағы көміртегінің қажетті мөлшеріне қол жеткізу үшін стандарттарға (МЕСТ 4755-91; ХСҰ 5446-80) сәйкес орташа көміртекті ферромарганецте 2 %-дан аспауы керек) ферромарганец балқымалары мен кен-эк қоспасын пеште 1600-1800 °C температурада балқытады.

Бұл процесте электр энергиясының шығыны кен-эк қоспасын балқытуға және жоғары көміртекті ферромарганецті көміртегіден марганец шикізатының құрамындағы марганец пен темір оксидтерінің көмегімен тазалау процесінде балқымалар қоспасын қажетті температурада ұстап тұру саталарына жұмсалатын шығындардан тұрады. Орташа көміртекті ферромарганецтің 1 тоннасына кететін меншікті энергия шығыны 3500-4500 кВт/сағ аспайды. Бұл процесте марганецтің жоғалуы болмайды, себебі суыған соңғы кен-эк қоспасы жоғары көміртекті ферромарганецті балқытуда шихтада пайдаланылатын аралық өнімі болып табылады; марганецтің булану шығыны жоқ, себебі балқытылған ферромарганецтің беті кен-эк қоспасымен жабылған. Бұл процесс бойынша марганецті 95-97 % (сұйық жоғары көміртекті ферромарганецті электр пешіне тасымалдау, оны электр доғалы пештеріне құю, ферромарганец пен кен-эк қоспасының құю және оларды ұнтақтау кезінде болатын міндетті шығындарды ескере отырып) бөліп алуға болады.

Ұсынылған әдістер мен белгілі әдістер бойынша орташа көміртекті ферромарганец алудың 3 нұсқасының нәтижелері 1.1 кестеде көрсетілген.

1.1 кесте – Ұсынылған әдістер мен белгілі әдістер бойынша орташа көміртекті ферромарганец алудың 3 нұсқасының нәтижелері

Көрсеткіші	Белгілі әдіс		Ұсынылған әдіс	
1	2		3	
Жоғары көміртекті ферромарганец өндірісіндегі марганец кенінің (48 % Mn) массасының қысқаруы	0,5	0,5	1,0	1,5
Пештегі балқыманың температурасы, °C	1700	1600	1700	1800
CaO/SiO ₂ кен-эк қоспасының негізділігі	1,2	1,0	1,2	1,4
Шихта материалдарының шығыны, кг/т:				
Марганец кені (48 % Mn)	496	438,5	832	1235
Жоғары көміртекті ферромарганец	992	877	832	823
Әк	162	158	186	307
Ферромарганец құрамы, %				

1	2		3	
Mn	81,60	83,72	84,36	83,22
Fe	14,48	12,81	13,24	14,17
C	3,64	3,22	2,16	1,98
Si	0,16	0,14	0,13	0,13
P	0,12	0,11	0,11	0,10
Үйінді шлактағы MnO мөлшері, %	21,48	-	-	-
Соңғы кен-эктас балқымасындағы MnO мөлшері, %	-	19,97	43,82	49,86
Алынған ферромарганец массасының үйінді шлак массасына қатынасы	0,46	-	-	-
Алынған ферромарганец массасының кен-эктас балқыма массасына қатынасы	-	0,41	0,61	1,04
Ферромарганецтегі марганецтің таралуы, %	78,36	90,02	77,81	66,35

Кестеде көрсетілгендей, орташа көміртегі ферромарганецті өндірудің ұсынылған әдісін қолданудың артықшылығы 96-97 % марганецті бөліп алу және электр энергиясының 1 тонна үшін меншікті шығынын 3500-4500 кВт·сағ жеткізу мүмкіндігі.

«Серов ферроқорытпа зауыты» ААҚ (РФ) жоғары көміртекті феррохром өндіру үшін негізінен жергілікті кедей хром кендері мен Қазақстанның бай хром кендерін араластырып пайдаланады. Ресейлік металлургиялық зауыттарға келіп түсетін Қазақстандық кендер фракциялық құрамы бойынша екі түрге бөлінеді: қымбат кесекті кендер және құрамында Cr_2O_3 мөлшері бірдей болатын біршама арзан ұсақ бөлшектер (10 мм-ден кем). Ферроқорытпа кен-редукцияэлектрпештерінің жұмыс тәжірибесінен шихтада көп мөлшерде ұсақ бөлшектердің болуы (10 мм-ден кем) шихта қабаттарының газ өткізгіштігін күрт төмендетеді және пештің қалыпты жұмысының бұзылуынан үздіксіз балқыту процесін жүргізу мүмкін еместігі белгілі болған. Ресейдің хром кендері негізінен Саран кенорнының кедей кендерінен тұрады, олар қазіргі уақытта арзан және қол жетімді хромқұрамды кендік материалдар.

Жоғары көміртекті феррохромды балқытуға арналған шихта құрамында 52-60 % Cr_2O_3 бар бай хром кендерінен (Кемпірсай массиві, Қазақстан), кокстан, қайта өңделетін қалдықтардан, ферросиликохром өндірісінің шлактарынан немесе кварцитті ұнтағынан және келесі массалық қатынастардан тұрады:

хром кені 700;

кокс 160-170;

ферросиликохром өндірісінің шлагы 20-30;

қайта өңделетін қалдықтар 50-100.

Шихтаны дайындаудың бұл тәсілінің кемшілігі хромның бай кесек кендерін пайдалану қажеттілігі болып есептеледі, олардың қорлары зауытта жоқ, бұл жағдай шетелдік қымбат шикізатты сатып алуға мәжбүр етеді (мысалы, Қазақстанда). Осыған байланысты зауыт проблемасын шешу үшін

қазақстандық (49 % Cr_2O_3), түрік (46 % Cr_2O_3) және ресейлік (37 % Cr_2O_3) кесек хром кендерінің қоспасынан, кремний қорытпалары алу өндірісінің шлактары мен майда кокс ұнтақтарынан тұратын шихтаның өзге түрі ұсынылады, компоненттерінің массалық қатынасы төмендегідей %:

қазақстандық хром кені 28;

түрік хром кені 28;

майда кокс 14;

кремнийлі қорытпалар өндірісінің шлагы 3;

Саран кенорнының кедей хромды кені- Ққалғаны.

Бұл шихтаның артықшылығы кедей хром кендерін пайдалану мүмкіндігі, ал кемшілігі – кен ауласында үш типті хром кендерінің қорын тұрақты қамтамасыз ету қиындығы және қымбат тұратын, тапшы шетелдік бай хром кендерін пайдалану болып табылады.

Кенді редукциялайтын ферроқорыту электрпештерінде құрамында 60 %-дан жоғары хромы бар жоғарыкөміртекті феррохром ала отырып, арзан кондиционды емес хромқұрамды материалдарды өңдеуге мүмкіндік беретін жаңа құрамды шихта дайындаудың тәсілі жасақталған.

Қойылған міндет кенді редукциялайтын электрпештерінде жоғары көміртекті феррохромды алу үшін кедей хром кенінен, көміртекті редукционерден, кремнийқұрамды шлактүзуші материалдардан тұратын шихтаға, қосымша ұсақ бай хром кенінен (45-55 % Cr_2O_3) дайындалған брикеттер қосылғанда ғана шешіледі, масса %:

ұсақ бай хром кендерінен алынған брикеттер 30-55;

көміртекті редукционерлер 11-15;

кремнийқұрамды шлак түзуші материалдар 2-6;

кедей хром кені (35-40 % Cr_2O_3).

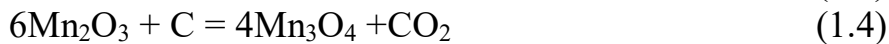
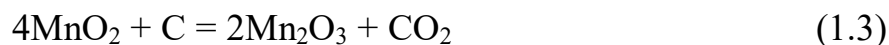
Шихтаны дайындаудың мәні ұсынылып отырған шихта ұсақ бай хром кенінің брикеттерінен (45-55 % Cr_2O_3 ; 5-10 % SiO_2 ; 11-14 % FeO) және кесекті кедей хром кендерінен (35-40 % Cr_2O_3 ; 5-7 % SiO_2 ; 14-18 % FeO) тұратындығында, кенді редукциялаушы электрпештерде хром мөлшері 60 % жоғары болатын жоғарыкөміртекті хром алу үшін қажетті жағдай жасауға мүмкіндік береді.

Қазақстанның кенорындарының кендерінде марганец пен хром тотықты қосылыстар - MnO_2 және Cr_2O_3 түрінде болады. Редукциялау процестерінің теориялық ережелеріне сәйкес [16, 17], марганец пен хром қиын редукцияланатын металдар және металдық күйге дейін тек қатты көміртегімен редукцияланады. Бірақ редукциялану механизмі тізбектей-фазалық өзгеріс түрінде жүреді.



Металдардың жоғарғы тотықтарынан төменгі тотықтарына және металдық күйге өту мүмкіндігі бойынша металдың оттекті потенциалының

төмендеуі мен тотықтардың химиялық беріктігінің артуы тізбекті жағдайда жүреді. Жоғары оттекті әлеуеті бар марганец тотықтары көміртегінің қос тотығын (көмірқышқыл газды) CO_2 [18] қалыптастыра отырып, қатты көміртеппен оңай редуцияланады.



Марганецтің төмен тотығы MnO ең берік деп саналады және тек CO түзе отырып жоғары температура кезінде редуцияланады.

Хромға келетін болсақ, оның тұрақты тотығы Cr_2O_3 берік химиялық қосылыс болып табылады және жоғары температурада қатты көміртеппен редуциялананады, нәтижесінде CO газы түзіледі.

Ферромарганец пен феррохром өндірісі кесектелген шикізат пен металлургиялық коксты қолдануға негізделген. [19-22]. Бастапқы кесекшикізатты дайындау процесі марганец пен хром кендерін тұндырып байытудан тұрады, мөлшері ≥ 10 мм үлкен фракциялар бөлінеді. 5-10 мм-ден кіші ұсақ фракция - байытудың қалдықтары болып саналады. Сұрыпталған кесекмарганец пен хром кендері концентрат деп аталады, ол Қазақстанның ферроқорытпа зауыттарында қолданылады және шет елдерге экспортталады. Осыған байланысты концентраттарды қарқынды өндіру марганец пен хром кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтардың жиналуының негізгі факторы. Марганец концентраттарында марганецтің мөлшері 40-42 % жетеді, ал ұсақ қалдықтарда ол 15-20 % дейін төмендейді. Хром кендерін байыту кезінде Cr_2O_3 хром тотығының мөлшері бірдей болып қалады, концентратта қанша мөлшерде болса, ұсақ қалдықтарда да сонша мөлшерде, яғни 52-53 % Cr_2O_3 деңгейінде болады. Сондықтан ұсақ қалдықтар гранулометриялық құрам бойынша ғана кондиционды емес болып саналады. Ферроқорытпа өндірудің дәстүрлі технологиясы кесектелген шикізатты өңдеуге негізделгендіктен, алғашқы нұсқалардың бірі ұсақ қалдықтарды кесектендіру технологиясын жасақтау [23] және оларды дәстүрлі ферроқорытпа өндірісіне қайтару. Белгілі болғандай, шикізатты кесектендіру агломерациялау және жентектер өндірісі арқылы жүзеге асырылады. Марганец кендері мен оның байытуынан қалған қалдықтарды физикалық-химиялық қасиеттеріне байланысты 1450 °C температурада агломерациялау процесімен өңдеуге болады [24]. Хром кендері мен оны байытудан қалған қалдықтарға келетін болсақ, олар агломерациялық процестердің көмегімен кесектелмейді, себебі олардың жұмсаруы басталатын температурасы 2000 °C-тан асады. Сондықтан марганец пен хром кендерін байытудан қалған ұсақ және дисперсті қалдықтарды тиімді өңдеуде жаңа технологияларды іздеу маңызды және әлі де шешілмеген мәселе болып қала береді.

Соңғы жылдары ұсақ хром қалдықтарын брикеттеп кесектеу әдісі ұсынылды [25]. Процестің мәні хромқұрамды компонент ретінде,

тазарту немесе кенді редукциялау пештерінде феррохромды балқыту кезінде газтазарту жүйесінде ұсталған шаңдарды пайдалануда.

Возгондардан алынған магнезиалды байланыс - магний тотығынан тұрады, хром кенінен алынған брикеттер, хромқұрамды ферроқорытпаларды өндіру үшін қолданылуы мүмкін. Сонымен, ұсынылып отырған әдіс бойынша алынған брикеттер тазарту және кенді редукциялау пештерде феррохромды балқыту процесінде жоғары тұрақтылыққа ие.

Қатты көміртек ферромарганец пен феррохром өндірісі үшін редукционер реагент болып табылатындығы белгілі. Бірқатар жұмыстарда шахталық, сондай-ақ электртермиялық пештерде, оларды редукциялап балқыту мүмкіндігін ескере отырып, көмір-кенді жентектер мен брикеттер алу мүмкіндігі ұсынылған [26, 27]. Мұнда көмір-кенді жентектерді алу үшін дисперсті материалдарды пайдаланылады. Сондықтан жаңа технология шикізатты кесектеуге емес, керісінше ұсақтауға негізделуі мүмкін. Бұл жағдайда марганец пен хром кендерінің ұсақ қалдықтары кенінен қолданылуы мүмкін және оларды металлургиялық өңдеу мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Кендер мен концентраттардан металдарды алу үшін көмір-кенді қоспаларды қолдану жағдайлары қарастырылған [28]. Алайда, қоспаны редукциялап балқыту металдың көміртектенуіне әкелді. Көміртегінің құрамы бойынша көміртекқұрамды редукционерлерді қолдану кезінде кондиционды металл алуда да қиындық тудырады [29]. Егер марганец кендерінде негіздік шлак түзетін тотықтар SiO_2 (30 % дейін) болса, хром кендерінде оның мөлшері 5,0 %-бен шектеледі. Сондықтан феррохром өндіру технологиясында шлак режимін қамтамасыз ету және шлакпен бірге жоғалатын хром мөлшерін азайту үшін кварцит түріндегі флюс қолданылады [30].

Жұмыста [31] жоғары көміртекті феррохром өндіру тәсілі ұсынылды, ол әрі қарай дәстүрлі технология бойынша төмен көміртекті феррохромды алу үшін қолданылады. Феррохром өндірісінде тек кесекті бай хром кені пайдаланылады, ал бай бірақ ұсақ (фракциясы 0-10 мм) хром кендері пайдаланылмайды.

Электртермиялық пештерде фракциясы 10,0 мм кіші ұсақ және бай кенді пайдалану бойынша редукциялап балқыту әдісі жасақталды [32]. Процесс келесі тәртіппен іске асырылады.

Көміртекті массамен шегенделген немесе сумен салқындатылатын металдық қаңқадан тұратын кенді редукциялау электрлі пештің ваннасына балқығыш шпаты жүктеледі, оны доғалық режимде балқытады және кентермиялық режимде сұйық жылжымалы күйге келтіреді. Одан кейін пештің ваннасына ұнтақ хром кенінің қоспасы мен көміртекті редукционерден тұратын шихтаны үздіксіз беріп отырады. Қорытпаның бетінде жүзетін қатты көміртек балқығыш шпат балқымасындағы ерітілген темір, хром және кремний тотықтарын редукциялайды, редукцияланған металқорытпасы пештің табанына жинақталады. Шихтаны балқымаға күйу циклі – металдың редукциялауы бірнеше рет қайталанады, нәтижесінде алынған феррохром пеште қалады (блокқа балқыту) немесе эксцентрлік түтік арқылы шығарылады.

Тәжірибеде қуаты 100 кВ·А (пайдаланылатын кернеуі - 50 В, ток күші 1,0-1,5 кА) болатын айнымалы ток трансформаторына қосылған, диаметрі 50 мм екі графитті электродпен жабдықталған электр пеші қолданылады. Пеш ваннасы, астыңғы және ваннаның қабырғаларында гарниссаж жасау мүмкіндігі бар өлшемі 350x200x400мм болатын тік бұрышты сумен салқындатылатын қаңқадан тұрады. Пеш ваннасына салмағы 25 кг болатын балқығыш шпат салынады, ол ашық электр доғасымен балқытылады және 25-30 минут ішінде сұйық жылжымалы күйге дейін келтіріледі, содан кейін пеш жұмысы электрлі кедергілік режимге ауысады. Одан кейін 1500-1600 °С температурасы бар балқыманың реакциялық көлеміне бір сағатқа ұрамы 30 кг, ірілігі - 2,5 мм болатын хромды кен ұнтағы, 4 кг редуционерден (графит ұнтағынан) тұратын шихта жүктеледі. Хром, темір және кремний тотықтарын редуциациялау процесі шихтаны жүктеу процесіндегі ретпен жүреді, сонымен жүктеуді аяқтау бойынша (40 минут бойына) ванна пешінің үстінде көміртек тотығының жануы бойынша байқалды. Редуциациялап балқыту аяқталғаннан кейін пеш тоқтатылды. Балқу нәтижесінде пештің түбінде ірі (көлденең қимасы 100 мм-ге дейін) металл тамшы-түйіршіктерінен (королектарынан) конгломерат түзіледі. Металл қорытпасының химиялық құрамы, %: Cr-60,0; Fe-31,5; C-8,9; Si 0,9; P-0,03. Бұл қорытпа феррохром екенін көрсетті.

Сонымен, ұсынылған әдіс бойынша ұсақ хром кенінен немесе ірілігі 10 мм болатын концентраттан жоғары көміртекті феррохром алынды.

Бірқатар зерттеулерде құрамында 70 % марганец бар тазартылған ферромарганец алу әдістері ұсынылған [33-35]. Жұмыста [33] тазартылған ферромарганецті алу тәжірибелері тазарту пешіне марганец кенінен немесе концентраттан, әктен тұратын шихтаны салу және балқыту арқылы жүргізілді, және де кешенді қорытпа редуционер ретінде – алюмосиликомарганец қолданылады, химиялық құрамы, масс. %, 40-60 Mn; 25-45 Si ; 5-25 Al; қалғаны – темір. Қол жеткізілетін техникалық нәтиже марганец кенімен әк қосылған қоспадан тұратын жаңа кешенді редуционер – алюмосиликомарганецті енгізу есебінен марганецті алу дәрежесін 70 %-ға дейін арттыру. Алайда, мұндай тәсіл тек қымбат кешенді алюмосиликомарганец қорытпасын пайдаланумен жүзеге асады.

Кейбір жұмыстарда [34, 35] ферромарганецті флюсты тәсілмен әктас пен әкті қоса отырып алу қарастырылған. Ферромарганец құрамында кремнийдің үлкен мөлшері болады, ол легірлеу үшін барлық жағдайда тиімді бола бермейді. Марганецті алудың дәрежесін арттыру мақсатында ондағы фосфор концентрациясын азайту, флюс шығынын және шлақтың мөлшерін төмендету бойынша [36] жұмысы орындалған, онда балқыту бір мезгілде екі электрпешінде жүреді, бірінші пеште шихтада $CaO/SiO_2 = 1,2-1,3$ қатынасында құрамында 1,0 % аспайтын кремний бар қорытпа балқытылады, ал екінші пеште шихтада $CaO/SiO_2 = 1,0-1,1$ қатынасы және редуционердің артық мөлшерін шығындаған кезде – құрамында 3-4 % кремнийі бар қорытпа алынады. Одан кейін екінші пеште алынған ферромарганец құрамындағы кремнийдің артық бөлігін бірінші электрпештегі шлактар мен металдардан

алынған марганец редуциялайды, редуциялауға дейін пайда болған марганец ожауда кремнийлігі төмен ферромарганецпен араластырылады.

Ожауға шығару тізбектей жүзеге асырылады: алдымен бірінші электрпештен металл мен шлакты, одан кейін екінші электрпешінен жоғары кремнийлі ферромарганецті шлактан бөліп шығарады.

Екінші пештің металын біріншінің шлагымен тазартқан кезде кремний мөлшері стандартты деңгейге дейін азаяды және қосымша 5-6 % марганец алынады (оның құрамындағы пайыздық үлесі бірінші пештің шихтасына байланысты).

Марганецті бөліп алу дәрежесінің артуы металдағы фосфор мөлшерінің шамамен 10 %-ға автоматты түрде төмендеуіне әкеледі.

Алайда, бұл процестердің барлығы энергияны көп тұтынатын электртермиялық пештерде дәстүрлі технология бойынша жүзеге асырылады.

Марганец кендерінің ұсақ қалдықтарын өңдеу бойынша оттекті үрлегіші бар көмір-кенді брикет пен жентектерді дайындау мен өңдеу технологиясы ұсынылды [37]. Бұл тәсілде кенді материалдар, флюстер мен көміртекті отындардан тұратын шихтаны жүктеу, отындық қабатқа төменгі фурма арқылы оттегі немесе құрамында 25-95 % оттегі бар ауаны жоғарғы фурма арқылы жүктелген шихтадеңгейінің үстінен үрлеп беру қарастырылған. Сонымен бірге кесек немесе дисперсті кен материалдары салынады, көміртекті отын ретінде кокс және/немесе көмір қолданылады.

Процестің басты ерекшелігі – көміртек тотығын қатты көміртекті қабатының үстіне жағу есебінен агрегат ішіндегі көмір мен кокстың жылу шығару қабілетін толық пайдалану. Сонымен қатар, күйдірілмеген көмір-кенді жентектерді пайдалану кезінде редуциялану аймағы негізінен кокс қабатының бетінде ғана, процестің негізгі жылу энергиясы жиналатын – кеңістікте таралады. Техникалық нәтиже көміртекті отынының жалпы шығынын азайту және кокстың көп бөлігін көмірмен күйдірілмеген көмір-кенді жентектер немесе брикеттерден тұратын көмірмен алмастыру, шойын мен ферроқорытпаларды балқыту процесін күшейту. Көміртекті отынының шығыны: шойынды балқыту кезінде - домна пешінде 1 тонна шойынға 600 кг-ның орнына ұсынылған агрегатта 500 кг/т кокс (кокс - 200 кг/т, брикеттердегі көмір - 300 кг/т); марганец, хром, кремний негізіндегі ферроқорытпаларды балқыту кезінде – домна пешінде ферроқорытпаларды балқыту жағдайында 2000 кг/тонна орнына ұсынылған агрегатта 700 кг/т қорытпа (кокс - 300 кг/т, брикеттердегі көмір - 400 кг/т). Домна пешімен салыстырғанда агрегаттың конструкциясына шахта, кауперлер, күрделі тиегіш аппараттар кірмейді.

Ферромарганец пен феррохром өндірудің жоғарыда қарастырылған әдістері дәстүрлі технологияда жаңа болып саналады. Алайда, оларды іске асыру әлі де даму болашағын таппай отыр.

Сонымен қатар, ұсақ қалдықтар болат балқыту өндірісінде де пайда болатынын және жинақталатынын атап өткен жөн.

Темір мен болат металлургиясының теориясы мен технологиясының дамуы негізінен домна пешінің кешенінде жинақталған [38, 39]. Темір және

болат металлургиясының барлық саласы үш негізгі және ірі бөлімнен тұратыны белгілі: 1) шикізатты дайындау және дайын шикізатты редуциялап балқыту [40-42]; 2) жоғарыкөміртекті жартылай өнімдерді өңдеу және болат өндірісі [43-45]; 3) ферроқорытпаларды негізінен электртермиялық пештерде өндіру [46-49].

Ферроқорытпа өндірісінің айырмашылығы домна-конвертер кешенінде технологиялық процестер барысы кезінде домна-конвертер шлагы түрінде ұсақ қалдықтар пайда болады. Конвертерлік шлакпен прокаттық окалина құрамында темірдің концентрациясы жоғары. Ферроқорытпалардың негізін темір құрағандықтан, бұл қалдықтарды ұсынылып отырған технологияда пайдалану шын мәнінде қызығушылық тудырады.

Мұндай үлкен өзара байланысты кешен тек индустрияның, экономиканың және мәдениеттің негізі ғана емес, сонымен бірге шығарылатын газдардың, шаңның, сондай-ақ пайдаланылмайтын өнеркәсіптік қалдықтарды жою көзі болып табылады. Жоғарыда көрсетілген кешендердің әрқайсысының шикізат пен отын ресурстарын пайдалану бойынша техникалық шарттары (ТШ) бар. ТШ сәйкес келмейтін шикізат ресурстары мен отындар шығарылып тасталады да, кондиционды емес шикізат түрінде жинақталады. Металлургиялық кешендерден шығарылатын газдар мен қатты қалдықтардың үлкен көлемдері әлемдік экологиялық кеңістікті бұзады. Осылайша, адамзаттың мәдени және білімді бөлігі құрған индустриялық даму бүкіл адамзаттың тіршілігіне кері әсерін тигізіп отырады. Міне сондықтан, алдымен Киот келісімі, содан кейін әлемнің барлық жетекші елдерінің басшылары қол қойған 2015 жылғы Париж келісімі қалдықтардың шығымын төмендетуді басым бағыт ретінде ұстауды ұсынды. Сұрақ қалай туындайды? Бұл сұрақтың жауабына экономика мен экология арасында қарама-қайшылық бар. Бұл әлемдік проблеманы экономика мен экология пайдасына шешуде жаңа ғылыми-техникалық міндеттерді әзірлеу және жаңа технологиялық процестерді дайындау қажет, олардың негізінде өңделетін шикізат пен отын ресурстарына жаңа ТШ құрылатын болады [50]. Бұл бағытта [51-54] жұмыс жасалған. Қалыптасқан жаңа теориялық қағидаларға сүйене отырып, «кен-болат» үздіксіз технологиясын қолдана отырып, шикізатты металлургиялық өңдеудің «Тараз-процесс» деп аталатын технологиясы жасалды. Процестің міндеті темір-марганец және хромқұрамды шикізатты өңдеудің жаңа және жоғары нәтижелеріне қол жеткізу мен құрамында көміртегінің мөлшері көп жартылай өнімдерді айналып өтіп, металдарды редуциялап балқытудың бір сатылы процесін жүзеге асыру; әлемдік тәжірибеде тұңғыш рет бағдарламаландырылған болат өндірісі мен дайындалған шикізаттың сапасын реттеу мүмкіндігі бар редуциялап балқыту арқылы қорытпалар алу өндірісін құру.

Қазіргі қолданыстағы адсорбция-каталитикалық механизм туралы теориялық жағдайдың орнына «диссоциациялық-адсорбциялық механизмге» (ДАМ) негізделген [51] жаңа теориялық ережелер енгізілді, олар қалдық көміртегінің рұқсат етілген концентрациясын реттеу мүмкіндігімен металдарды қатты көміртекпен тікелей редуциялау процестердің негізіне алынды. Дәл осы

жағдай эксперименталды жұмыстарда жүзеге асырылды және әлемдік тәжірибеде алғаш рет металдың көміртектенуін жеңуге мүмкіндік берді [52]. Шихтаны редуциялап балқыту барысында болаттағы көміртегінің концентрациясы шегінде металды көміртектендіру процесін реттеу келешекте принципті жаңа технологиялық процесті құруға болады [55]. Бүкіл әлемде, соның ішінде жетекші металлургиялық компаниялардың бірі болып табылатын ThyssenKrupp компаниясында болат өндірісі редуциялап балқытумен жүзеге асырылады. Нәтижесінде бастапқыда «шикі» болат алынады, ол одан әрі пештен тыс көп сатылы өңдеуге ұшыратылады.

«Тараз-процесс» бойынша инновациялық технология әлемдік тәжірибеде алғаш рет болатты редуциялап балқытуды жүзеге асырады. Бұл ретте балқытылатын болат дайындалған кешенді темір кені шикізаттан барлық пайдалы легіренетін металдарды өзіне сіңіреді және «шикі» болып есептелмейді, одан әрі пештен тыс өңдеуді қажет етпейтін жоғары сапалы болат алынады. Болаттың сапасына бастапқы шихтаны реттеуге қол жеткізуге және өнімнің құрамын алдын-ала болжауға болады.

Технологияны іске асыру шихтаға енгізілетін компоненттердің саны мен құрамына байланысты бірден легіренген болатты редуциялап балқыту процесін қамтамасыз етеді, аглоендірісі, кокс өндірісі, домна пеші өндірісі сияқты ірі сатыларды жоққа шығарады. Мұндай ірі сатыларды қысқарту күрделі шығындарды төмендетеді.

Әлемдік тәжірибеде «Мидрекс-процесс», «Ну1-III-процесс», «Аусмель-процесс», «Ромельт-процесс» сияқты балама процестер құрылды [29, 56]. Бірақ олар құрамы қиын реттелетін жартылай өнімдер өндірумен шектелген.

Қолданыстағы технологиямен салыстырғанда жаңа технологияны енгізу, БРГ-ны қатты көміртеппен алмастырғандығына байланысты, газдардың шығуын төрт есе азаюына себепші, өнеркәсіптің жинақталған қатты металқұрамды қалдықтарын өңдеуге мүмкіндік береді, үйінді шлак қалдықтарын бірнеше есе азайтады, кокс-химия өндірісі, аглоендірісі сияқты зиянды өндірістерді кешеннен шығарады, бұл еңбек өнімділігін бірнеше есеге арттырады.

Дәстүрлі технологияны «Тараз-процесс» технологиясымен алмастыру металлургия саласындағы ірі әлемдік проблеманы шешуге мүмкіндік береді. Оны іс жүзінде жүзеге асыру барлық технологиялық процестердің басынан аяғына дейін жаңа металлургиялық агрегаттармен қамтамасыз ету қажеттілігіне байланысты созылып отыр, себебі оған айтарлықтай қомақты инвестиция қажет.

Әзірленген теориялық ережелерді ферроқорытпа өндірісінің редуциялап балқыту процестерін ұйымдастыруға да қолданылады. Мұнда ферроқорытпаларды дәстүрлі технология бойынша өндіру, болатты тотықтыра балқытудан айырмашылығы, редуциялап балқыту арқылы жүруінде екендігін айта кеткен жөн. Ферроқорытпалар негізі әдетте қиын редуцияланатын металдар – марганец, хром, ванадий және т.б. тұрады. Сондықтан редуциялау процесі қатты көміртегіні пайдалану арқылы жүзеге асырылады, оның ішінде

шикіқұрамның кен бөлігін балқытылған күйге айналдыру жағдайында жоғары температурада кокс көміртегісі қолданылады [47].

Ферроқорытпа өндірісіндегі коксты тұтыну негізгі екі рөлді атқарады: 1) редуционерреагент ретінде; 2) газды және балқыманың ағындарын қарама-қарсыағынды сүзуге арналған қатты кокс қабаты ретінде қолданады. Сондықтан металдарды стехиометриялық редукциялағанда оның шығынын реттеудің мүмкін еместігі, әдетте, оның артық болуына және жоғары көміртекті ферроқорытпалар алуға әкеледі.

Марганец пен хром сияқты металдар болатты легірлейтін құнды элементтер болып табылады және оларды марганец пен хром қорытпалары түрінде өнім беретін өнеркәсіп стратегиялық маңызды деп есептеледі. Қазақстанда «ҚазХром» ТҰК АҚ Дөң КБК-ның дайындалған хром кендерін феррохром өндіру үшін де, экспорт үшін де пайдаланады.

Хром кендерін дайындау және оларды металлургиялық өңдеу кезінде металқұрамды ұсақ қалдықтар түзіледі, олар: 1) хром кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтар; 2) ұсталынған шаң тәрізді хромқұрамды қалдықтар; 3) жұмыс істеп тұрған электртермиялық пештерде ферроқорытпаларды өндіру кезінде металқұрамды шлактардан тұрады.

«ҚазХром» ТҰК АҚ-даұсақ және дисперсті металқұрамды өндіріс қалдықтарын өңдеудің жаңа технологиясын жасау өзекті тапсырма болып отыр.

Зерттеу жұмыстарының кешенін оданәрікеңейту жаңа технологиялық процестерді әзірлеуге және енгізуге, құрамындағы көміртегіні реттей отырып феррохром өндіру.

1 бөлім бойынша қорытындылар

1) Марганец және хром концентраттарын дайындау тиісті кенорындарында жүргізіледі және 5-10 мм-ден жоғары ірілік фракцияларына бөлуден тұрады.

2) Қазақстанда марганец пен хром концентраттар көздерінің базасында ферроқорытпа өндірісі ұйымдастырылған.

3) Ферроқорытпа өндірісі технологиясы кентермиялық пештерде тиісті концентраттарды редукциялапбалқытудан тұрады. Металлургиялық кокс қажетті редуционер компоненті болып табылады. Кокс, сондай-ақ кен концентраты пешке ірі кесек материалдар түрінде жүктеледі, кокстың қатты көміртегісімен редукциялау процесі тотықтардың сұйық фазасында жүзеге асырылады.

4) Әлемдегі барлық болат балқыту комбинаттарына ферромарганец пен феррохромның қажеттілігі ферроқорытпа кешенінің дербес дамуын қамтамасыз етті.

5) Ферроқорытпа өндірісінің дамуы, марганец пен хром концентраттарын тұтынудың өсуі, байытудан шығатын ұсақ қалдықтардың көлемін арттырды және олардың үйінділерде жиналуына алып келді.

6) Марганец пен хромды алу үшін оларды тиімді өңдеу проблемасы туындады.

7) Ұсақ қалдықтарды ферроқорытпа өндірісіне қайтару мақсатында оларды кесектеуге бағытталған қолда бар әдістемелердің әзірше тиімді дамуболашағы жоқ.

8) Диссертациялық жұмыс көрсетілген кемшіліктердің орнын толтыру және марганец пен хром кендерін байытудан шыққан ұсақ қалдықтарды тиімді өңдеу проблемаларын шешу, олардан тікелей темір-марганецті және темір-хромды қорытпалар алуға арналған.

2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕМЕСІ

Марганец пен хром кендерінде және байытудан қалған ұсақ қалдықтарда марганец пен хром тотықтар түрінде болады. Олармен бірге темір тоттығының белгілі бір мөлшеріілесө жүреді. Сондықтан кеннен металдарды алу процесі редуция реакцияларына негізделген. Мұндай процесі орындау үшін, ең алдымен, шихтамен редуциялаушы реагенттерін дайындау қажет. Темірді редуциялау әдістемесі кесектелген теміркенді шикізатты өндіруге, оларды шахталық пешке жүктеуге және әдетте CO, H₂ газдарынан тұратын ыстық редуциялаушы газын (ЫРГ) шихтаның тығыз қабаттары арқылы үрлеуге негізделген. Дайындау және шихта қабатына ЫРГ беру дайындық операцияларының екінші жартысына жатады. Сонымен бірге ЫРГ CO және H₂ компоненттердің редуциялау потенциалы шектеулі. CO және H₂ – екіатомды газдар берілген температурада темір тотығымен өзара әрекеттеседі де ұшатомды газдарды құрайды:



А.А. Байковтың екі сатылымеханизміне сәйкес, химиялық реакцияның жүруіне диссоциациялық буын ықпал етеді. (2.1) және (2.2) реакциялар 800-900 °С температура аймағында басталады, бұл кезде жүйенің қызуы FeO, және де CO₂, H₂O тотықтарының диссоциациялануына да әсер етеді. Егер FeO диссоциация дәрежесі, IgPo₂ диссоциация серпімділігімен бағаланатын болса және сол температурада CO₂ және H₂O диссоциация дәрежесінен едәуір көп болса, онда реакция солдан оңға қарай жүреді. Егер диссоциация дәрежесі оның шамасына жақындайтын немесе салыстырылатын болса, онда реакция баяулайды, және де ақырында тура және кері реакциялар арасында тепе-тең жағдай қалыптасады. Сонымен, 900-1000 °С аймағында (2.1) және (2.2) реакцияларда тепе-теңдік шын мәнінде айқындалады, бұл кезде (2.1) реакция үшін CO газды пайдалану дәрежесі 0,25-0,3, ал (2.2) реакция үшін H₂ пайдалану дәрежесі 0,28-0,32-ге жетеді. Бұл, реакцияның солдан оңға қарай өтуі үшін CO және H₂ редуциялаушы реагенттердің белгілі бір артық мөлшері болуы қажет дегенді білдіреді. Дегенмен, редуцияланатын темір бірлігіне ЫРГ-дың көп шығыны жіберіледі де редуциялану дәрежесі 0,95-0,98 болатын металдандырылған өнім алынады [57].

Сәйкес кендердегі марганец пен хром тотықтарына келетін болсақ, онда оларды ЫРГ-ды пайдалана отырып металдық күйге дейін тотықсыздандыруға мүмкін болмайды, себебі MnO және Cr₂O₃ диссоциация серпімділігі CO₂ және H₂O газдарының диссоциация дәрежесіне қарағанда бірнеше есе төмен. Бұл CO₂ және H₂O газдары температураның жоғарылағанда MnO және Cr₂O₃ тотықтарынан бұрын диссоциацияланады, яғни марганец пен хром тотықтарына қатысты газ фазасы редуцияланбайды, керісінше тотықтырғыш атмосфераға айналады. Сондықтан ЫРГ марганец пен хром тотықтарына

қатысты оларды металдандыруға ұшырату үшін редукциялаушы қабілеті жеткілікті емес.

Бұл жағдайдан шығудың жолы неғұрлым жоғары реакциялық потенциалға ие басқа редукциялаушы реагент іздеу және оны қолдану.

Табиғатта таралған редукциялаушы реагенттерінің ішінде қатты көміртегі жоғары редукциялаушы потенциалға ие және оны негізгі редукциялаушы реагентретінде қолдану расталған.

Қатты көміртегінің қатты фазалық жүйелерде кеңінен пайдалануына ұзақ уақыт бойы оның қатты металл тотықтарымен өзара әрекеттесуінің реакцияларын тек контактілі-диффузиялық механизм деп аталатын байланыс нүктелері бойынша ғана қарастырған, редукция процестерінің адсорбциялық-автокаталитикалық механизмі туралы ескі теориялық ережелер кедергі жасады.

Мұндай жағдайлардың ықпалына байланысты ферромарганец пен феррохром өндірісінің редукциялап-балқыту процестері іс жүзінде сұйық фазалық жүйеде жүргізілген. Кентермиялық пештерде балқытылған оксидті кен жоғары температурада (1500-2000 °С) металлургиялық кокс қабаттарын қоршайды. Бұл кезде реакциялық бет дамиды және қатты көміртегімен редукциялану жүреді.

Алайда, қатты көміртектің металл тотықтарымен тек контактілі-диффузиялық механизмі бойынша өзара әрекеттесуі туралы түсінік қате болды және бұл жүйенің қызуына қарай қатты көміртегінің бөлшектерінде құрылымдық және физикалық-химиялық өзгерулері түсінбеушіліктен немесе жеткілікті бағаламағандықтан пайда болды.

Көміртектің қатты бөлшектерінің құрылымы мен жай-күйінің өзгеруін тереңдетіп зерттеу, қатты көміртегі бөлшектерінің қызу мүмкіндігіне қарай жазықтықта да, жазықтық аралықтарында да кристалды торларға ыдырауы, қуатты электрон ағындарының бөлінуі болады, яғни электрондық эмиссия пайда болатынын көрсетті. Электрондар ағыны нүктені емес, шектес орналасқан оксидтердің қатты бөлшектерінің барлық бетін қамтиды. Бұл ретте электрондардың ағыны газдандырылған оттегі тотықтарын кері зарядтайды, олар қызған кезде де қозғалыста болады. Бұл қайтымсыз химиялық реакциялардың басы болып табылады. Дәл осындай жағдайлар барлық массаалмасу процестерінің іргелі механизмі – донорлық-акцепторлық механизмімен тығыз байланысты. БІРГ СО және Н₂ молекулалары әлсіз электрондық донор болып табылады, сондықтан редукциялау потенциалы шектеулі. Қатты көміртегі қуатты электрондық потенциалға ие, күшті электрондық донор болып табылады, сондықтан ол жоғары редукциялау потенциалына ие.

Қатты көміртегінің осындай ерекше қасиеттерін назарға ала отырып, осы жұмыста марганец және хром кендерінің ұсақ қалдықтарын өңдеудің редукциялау процесінде көміртеққұрамды редукциялаушы реагент ретінде көмірді пайдалану ұйымдастырылған.

Осы ұстанымға сүйене отырып, шихта құрауыштарын дайындау, металл тотықтар мен қатты көміртектен тұратын кешенді жүйе құру, қатты көміртекті

қатты фазалық металдарды редуциялау және қорытпаларды редуциялап балқытуды ұйымдастыру әдістемесі әзірленді.

Ұнтақталған компоненттер берілген массалық қатынаста металл тотықтары мен қатты көміртегі шихта массасында біркелкі таралатындай етіп араластырылады. Ұсақ дисперсті кешенді шихта судағы мелас ерітіндісі түрінде органикалық байланыстырғышпен табақша түйіршіктегіште түйіршіктеледі. Алынған шикі түйіршіктер фракциясы 8-20 мм, алдын ала 400 °С температурада кептіріледі. Кептірілген түйіршіктер 100-200 гр. мөлшерлеп диаметрі 38 мм. кварц түтігінен жасалған герметикалық зертханалық ұяшыққа салынып, қыздыру пешіне енгізіледі және қатты фазалы редуцияреакцияларын аяқтау үшін қыздыру жылдамдығы 10 °С/мин 1000-1220 °С температураға дейін қыздырылады. Бір мезгілде CO₂ және CO реакцияларынан бөлінетін газ-өнімінің мөлшері мен құрамы бақыланады, сонда тотықтардангаздандырылған оттегімөлшерін мына формула бойынша анықтауға болады

$$\Delta V_{O_2} = 0,714 \cdot 10^{-2} \Delta V_{\Gamma} \cdot (CO + 2CO_2), \text{ м}^3 \quad (2.3)$$

мұндағы, 0,714 – газ көлемін оттегі массасына есептеу коэффициенті (кг/м³);
ΔV_Γ – бөлінген газ көлемі, м³;
CO, CO₂ – CO және CO₂ газдарының концентрациясы, %.

Түйіршіктер түрінде дайындалған кешенді шихта құрамында редуцияланатын темір, марганец немесе темір, хром металдарының тотықтары, сонымен бірге қатты көміртекті – редуциялаушы реагент бар. Шихтада темір тотықтарыныңоксидтерінің болуы міндетті болды. Темір көміртегімен тотықтан металдық күйге дейін марганец пен хромға қарағанда 1000 °С температурада ерте редуцияланады және қатты бөлшектер арасында байланыс түзеді. Бұл түйіршіктердің шашылып кетуге жол бермейді. Әлі редуцияланбаған MnO және Cr₂O₃ тотықтары металданған темірдің қоршауында болады, сондықтан оларды қатты көміртекпен редуциялауы температураны одан әрі жоғарылатқанда жақсара түседі. 1500-1550 °С температура аймағында металдандырылған және жартылай металдандырылған өнімдерді балқыту марганец пен хром оксидтерінің қалдық концентрациясының металдық жағдайға дейін редуциялануына және шихтаның құрамына енгізілген қатты көміртектің іс жүзінде толық жұмсалыуына алып келеді. Сонымен, қатты көміртегіні пайдалана отырып, шихтаны дайындау және редуциялау процестерін ұйымдастыру әдістемелері марганец және хром кендерінің ұсақ қалдықтарын өңдеу және олардан темір-марганец және темір-хром қорытпаларын алу процесіне мүмкіндік береді.

2.1 Тәжірибелік зерттеулерде қолданылатын шихта материалдардың сипаттамасы

Тәжірибелік зерттеулерді ұйымдастыру және жүргізу үшін ұсақ дисперсті тотықты материалдар қолданылды: марганец қалдықтары (Жәйрем КБК), хром

қалдықтары (Дөң КБК) және прокаттық окалина («Арселор Миттал Теміртау» АҚ ЛПЦ-1 цехының өндіріс қалдықтары). Қатты редуциялаушы реагенті ретінде ағаш көмірі пайдаланды. Шихта компоненттерінің химиялық құрамы 2.1 кестеде көрсетілген.

2.1 кесте – Шихта компоненттерінің химиялық құрамы

Материалдардың атауы	Химиялық құрамы, %										
	Fe	FeO	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
Марганец қалдығы	11,21	–	28,35	–	32,25	4,20	1,78	0,55	0,8	0,21	–
Хром қалдығы	10,28	13,24	–	52,36	5,72	7,86	0,64	18,35	0,002	0,013	–
Прокаттық окалина	66,67	32,21	0,44	–	–	–	–	–	0,014	0,50	–
Ағаш көмірі (биококір)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,37	98,0
Ескертпе: *** – қалғаны күл А° = 1,63.											

Теориялық зерттеулер негізінде бір жағынан қатты көміртекті темір, марганец, хром тотықтарының өзара әрекеттесуінің кинетикасы және екінші жағынан - олардың жұмсаруының басталу температурасының айырмашылығы анықталды.

Әдістемелік тұрғыда міндет шихтаның құрамына енгізілетін қатты көміртегі металдарды редуциялау кезінде шығынсыз толықтай пайдаланатындай етіп қойылған. Аталған металдардың тотықтары көміртегімен әртүрлі температуралық аймақтарда редуцияланады: темір 800-1000 °С; марганец – 1000-1250 °С; хром – 1100-1400 °С. Шихта қоспасындағы темірдің толық металдануы кезінде марганец пен хромның едәуір мөлшері тотықты түрде қалады. Оларды редуциялауға арналған көміртегі мөлшері жүйеде шығынсыз қалуы тиіс және материалды редуциялап балқыту кезінде толық пайдаланылуы тиіс.

2.2 Редуциялау реакцияларын зерттеу әдістемесінің теориялық негізі

Адсорбциялық-автокаталитикалық теория негізіндегі металдарды көміртегімен тікелей редуциялау есептеулерінің белгілі әдісі екі сатылы реакцияны қарастырады [58]:



Көрініп тұрғандай, алғашқы екі реакцияны жинақтап қосу үшіншіні береді, ол тек СО түріндегі газ тәрізді өнімнің қалыптасуымен ғана өтеді. Алайда мұндай әдістеме шындыққа сәйкес келмейді. MeO металдар тотықтары

диссоциацияның серпімділігіне немесе Гиббс энергиясына байланысты "күшті" және "әлсіз" химиялық байланыстармен сипатталады. Мысалы, Fe₂O₃ және MnO₂ тотықтары айтарлықтай "әлсіз" болып келеді, 800-900 °C температурада-ақ еркін диссоциацияланады және қатты көміртекпен өзара әрекеттескен кезде CO₂ түзілуімен бірге жүреді. Бұл принципті мәнге ие. Бір атомдық металл бірлігін тотықсыздандыру (2.6) реакция бойынша көміртегі шығыны 12 г-атомды құрайды. CO₂ тотығын түзе отырып, көміртекпен тікелей әрекеттескен кезде реакция бойынша



металдың бір атомдық бірлігіне көміртек шығыны 6 г-атомды құрайды, яғни, екі есе аз.

Бұл жұмыстағы зерттеулерді жүргізу үшін диссоциациялық-адсорбциялық теорияға негізделген, (2.7) реакцияның жүру мүмкіндігін есепке ала отырып, теориялық есептеулер әдістемесі мен экспериментті ұйымдастыру әдістемесі қабылданған.

Алынатын элементтер марганец, хром, кремний және темір тотықтары түрінде берілгендіктен, олардың бірнеше тотықты формасы бар, газдандырылатын оттегі мөлшері және газ фазасының құрамы редуцияланатын металдардың тотығуына байланысты.

Темірдің тотығуы жалпы темірдің Fe және FeO концентрациясының болуына байланысты анықталуы мүмкін. Егер шикізатта металдық темір жоқ болса, онда жалпы темір Fe₂O₃, FeO, екі тотығының арасында бөлінеді, өйткені Fe₃O₄ кешенді қосылыстардан тұрады (Fe₃O₄=Fe₂O₃·FeO). Темірдің үш тотығы массасының бірлігіне жатқызылған байланысқан оттегінің мөлшері келесі мәнге ие:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Fe}_2\text{O}_3\text{-тен, } O_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,4285 \text{ кг/кг Fe;} \\ \text{Fe}_3\text{O}_4\text{-тен, } O_{\text{Fe}_3\text{O}_4} = 0,3809 \text{ кг/кг Fe;} \\ \text{FeO-дан, } O_{\text{FeO}} = 0,2857 \text{ кг/кг Fe.} \end{array} \right\} \quad (2.8)$$

Шикізатты химиялық талдауда, әдетте, Fe₂O₃ және FeO тотығы немесе жалпы темір Fe_{жалпы} және FeO ғана анықталады. Fe₂O₃-тен темір көп сатылы редуцияланады Fe₂O₃→Fe₃O₄→FeO, ал FeO тотығынан темір бір сатыда, яғни FeO→Fe. Қатты көміртекпен редуциялау кезінде реакциялардың барлық сатыларында жылу теріс мәнді және олардың сандық мәндері де әртүрлі болады. Барлық реакциялар бір мезгілде түрлі қатынастағы CO₂ және CO түзілуімен жүреді. Газ тәрізді реакция өнімдеріндегі CO₂ концентрациясы оттегінің темірге атомдық қатынасын азайту бағытында төмендейді, ал CO концентрациясы артады. Түзілетін газдың мөлшері мен арақатынасы ең алдымен газдандырылатын оттегінің жалпы санына және оның тотықтарының фазалары бойынша таралуына байланысты. Металл тотықтарынан газдалатын оттегінің жалпы мөлшері тізбекті фазалық өзгеру әдісімен анықталуы мүмкін.

Металдар тотықтарының тізбектей фазалық редукциялануын есептеу әдістемесі. (2.8) өрнектенкөрініп тұрғандай, гематитте газданатын 0,4285 гр/гр Fe немесе кг/кг Fe жиынтығы бар. Гематиттің металдық темірге айналуына дейінгі $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe_{мет}$ үш сатылы фазалық өзгеруі кезінде фазалық өзгеруінің әрбір сатысында, оның жалпы санынан 0,4285, оттегінің белгілі бір үлесі газдалады:

$$1. Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4: \Delta O_1 = 0,111 \cdot 10^{-2} \cdot 0,4285 \cdot Fe_{(г)}, \text{ кг/кг шихтаға,} \quad (2.9)$$

$$2. Fe_3O_4 \rightarrow FeO: \Delta O_2 = 0,222 \cdot 10^{-2} \cdot 0,4285 \cdot Fe_{(г)}, \text{ кг/кг шихтаға,} \quad (2.10)$$

$$3. FeO \rightarrow Fe_{мет}: \Delta O_3 = 0,667 \cdot 10^{-2} \cdot 0,4285 \cdot Fe_{(г)}, \text{ кг/кг шихтаға,} \quad (2.11)$$

мұндағы $Fe_{(г)}$ – шихта құрамындағы гематит түріндегі темірдің мөлшері.

Бірақ темірдің бір бөлігі шихтада FeO түрінде болады. Сонда темір гематиті жалпы темірден келесі қатынас бойынша анықталады:

$$Fe_{(г)} = Fe_{(общ)} - 0,777 \cdot FeO, \text{ \%}. \quad (2.12)$$

FeO-дан газдалатын оттегі:

$$\Delta O_4 = 0,223 \cdot R_{Fe} \cdot FeO, \text{ кг/кг шихтаға.} \quad (2.13)$$

Темірдің редукциялану дәрежесін R_{Fe} отырып, Fe_2O_3 және FeO-дан газдандырылған оттегінің жиынтық мөлшері мына теңдеу бойынша анықталады:

$$\Delta O_{\Sigma Fe} = \frac{10^{-2} [Fe_{общ} - 0,777 \cdot FeO] \cdot 0,4285 (0,333 + 0,667 \cdot R_{Fe}) + 0,228}{R_{Fe} \cdot FeO}, \text{ кг/кг шихтаға.} \quad (2.14)$$

Марганец пен хром тотықтарынан оттегінің газдануы. Mn және Cr қоспасындағы MnO_2 , MnO, Cr_2O_3 тотық түрінде кездесетін өзге де металдардың тізбектей редукциялануы темірдің редукциялануы сияқты жүреді.

Марганец сатылы редукцияланады:

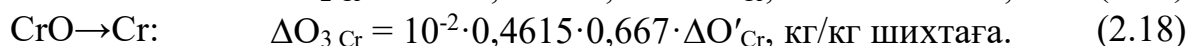
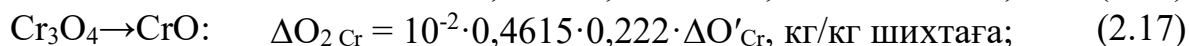
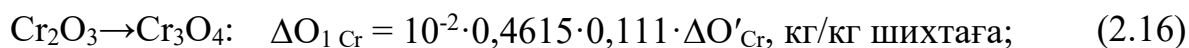


Себебі, марганец пен оның тотығының жалпы сипаттамасы темірдің қасиеттеріне өте жақын, $Mn_2O_3 \rightarrow Mn_3O_4 \rightarrow MnO \rightarrow Mn$ сатысында газданатын оттегін анықтау үшін марганец үшін мына формула қолданылады:

$$\Delta O'_{Mn} = 10^{-2} \cdot Mn \cdot [0,1455 + 0,2908 \cdot R_{Mn}], \text{ кг/кг шихтаға,} \quad (2.15)$$

мұндағы R_{Mn} – марганецтің тотықсыздану дәрежесі.

Хром тотықтары сатылы редуцияланады:



Хром тотығындағы газдалатын оттегінің жалпы мөлшері:

$$\Delta O'_{\text{Cr}} = \Delta O_{1\text{Cr}} + \Delta O_{2\text{Cr}} + \Delta O_{3\text{Cr}}, \text{ кг/кг шихтаға}. \quad (2.19)$$

Кремний кенді материалдарда SiO_2 түрінде болады, кремний тотығынан газдалатын оттегінің мөлшері, оның металдағы күтілетін концентрациясы бойынша 0,10-0,3 % шегінде есепке алынады.

Сонымен, сәйкес кендерден алынатын темір, марганецтің және темір, хромның редуциялануы есебінен оттегінің келесі мөлшері газданады:

$$\Sigma O_{\text{Mn}} = \Delta O_{\Sigma\text{Fe}} + \Delta O'_{\text{Mn}}, \text{ кг/кг шихтаға}. \quad (2.20)$$

$$\Sigma O_{\text{Cr}} = \Delta O_{\Sigma\text{Fe}} + \Delta O'_{\text{Cr}}, \text{ кг/кг шихтаға}. \quad (2.21)$$

Көміртекті-редуционердің стехиометриялық шығынын анықтау.

Диссоциациялық-адсорбциялық механизм бойынша қатты көміртектің металды тотықтарымен тікелей әрекеттесуінің нәтижесі CO және CO_2 газ тәрізді фазасының бөлінуі болып табылады. Газ компоненттерінің арақатынасы жүйенің дисперсиялығына және процестің температурасына байланысты. Бұл теориялық жағдай, тәжірибе жүзінде CO және CO_2 түріндегі газ тәріздес реакция өнімдерінің қатартүзілуімен расталған.

Тотықты фазалардың химиялық беріктігі бойынша CO_2 түзуші газының үлесін ескеріп, марганецті қалдықтардан темір және марганец тотықтарынан оттегінің газдандыруға кететін көміртегі шығынын тиісті формула бойынша анықтадық.

$$g_{\text{C, Mn}} = 0,75 \cdot 10^{-2} [(\text{Fe}_{\text{общ}} - 0,777 \cdot \text{FeO}) \cdot 0,333 + 0,187 \cdot R_{\text{Fe}} \cdot \text{FeO} + (0,1455 + 0,2908 \cdot R_{\text{Mn}}) \cdot \text{Mn}], \text{ кг/кг шихтаға}; \quad (2.22)$$

$$g_{\text{C, Cr}} = 0,75 \cdot 10^{-2} [(\text{Fe}_{\text{общ}} - 0,777 \cdot \text{FeO}) \cdot 0,333 + 0,187 \cdot R_{\text{Fe}} \cdot \text{FeO} + 0,32 \cdot R_{\text{Cr}} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3], \text{ кг/кг шихтаға}; \quad (2.23)$$

Мысалы, $\text{FeO} = 13,24 \%$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 52,36 \%$.

$$g_{\text{C, Cr}} = 0,75 \cdot 10^{-2} [(0 + 0,187 \cdot 0,98 \cdot 13,24 + 0,32 \cdot 0,8 \cdot 52,36)] = 0,75 \cdot 10^{-2} (2,427 + 13,4) = 0,75 \cdot 10^{-2} \cdot 15,83 = 0,118 \text{ кг/кг}.$$

Ағаш көміріне есептегенде $g_{\text{C}} = 0,118 / 0,95 = 12,5 \text{ кг/кг}$.

Есептеу жолымен алынған көміртегінің шығыны шихтаға нақты көміртекқұрамды компонент түрінде енгізілді. Мұндай компонент ретінде ағаш көмірі, кокс күліжәне көмір пайдаланылуы мүмкін. Олардың әрқайсысының құрамында көміртекпен бірге белгілі бір мөлшерде күл болады. Сондықтан көміртегінің шығыны бойынша бұдан әрі көміртекті компоненттердің шығыны анықталды.

Белгілі болғандай, редуциялау белгілі бір температурада басталып ары қарай нәтижелі дамиды, және де әрбір метал үшін өзіне сәйкес температурасы болады. Негізгі редуцияланатынметалдар темір, марганец және хром болғандықтан, олар үшін қатты көміртекпен редуциялану процесі шихтаның қаншалықты тотыққандығына байланысты басталады. Қатты көміртектің гематитпен өзара әрекеттесуі 710°C-та басталады, магнетитпен – 830°C, ал вюститпен – 920°C температурада басталады, марганец пен хром тотықтары мен сәйкесінше 1150°C және 1240°C температураларда басталады.

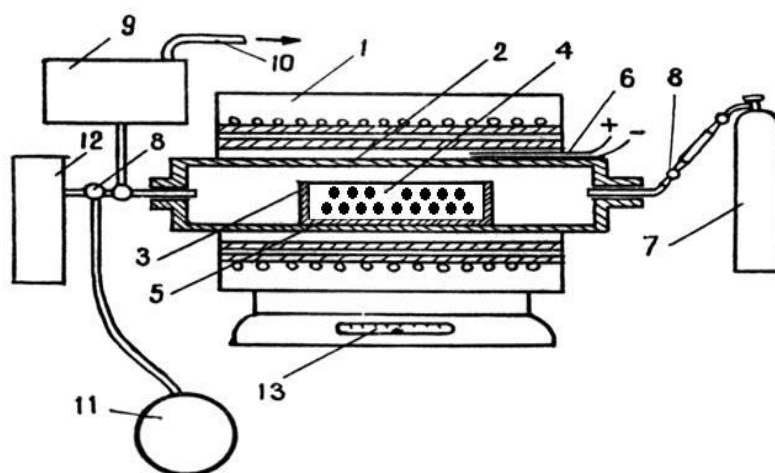
2.3 Тәжірибелік зерттеулер жүргізу әдістемелері

Жентектерді алу үшін 2.1 суретте көрсетілген табақшалы зертханалық түйіршіктегіш пайдаланылды. Арнайы барабанда материал ылғалдылығы 6 %-ға дейін ылғалдандырылды.



2.1 сурет – Табақшалы зертханалық түйіршіктегіш

Тотықтардан темірдің, марганецтің, хром мен кремнийдің қатты фазада тізбектей редуциялануы кезіндегі CO-CO₂ газ қоспасының температураға байланысты газ фазасындағы тепе-теңдік қатынасын зерттеу және көміртекті редуциялаушы реагенттің стехиометриялық мөлшері бар ұсақ дисперсті темір кенді, марганецті және хромитті материалдардың қоспаларын редуциялап күйдіру 2.2 суретте көрсетілген СУОЛ-044 12-M2 электрпешінде жүргізілді.



1 – кедергілік электрпеші; 2 – реакциялық түтік; 3 – шихтаны жүктеуге арналған науа; 4 – редуциялық ұсақ дисперсті материалдар қоспасы; 5 – реакциялық тигель; 6 – термопара; 7 – аргон баллоны; 8 – үштік крандар; 9 – газды есептеуіштер; 10 – газ шығару жолы; 11 – газды камера; 12 – газталдауышы; 13 – температураны өлшеу құралы

2.2 сурет – СУОЛ-044 12-M2 электрпеші

Зерттелетін материалдардың үлгілері қатты редуциялаушы реагентпен бірге есептік мәліметтерге сәйкес мөлшерде ұяшыққа араласатын қабат түрінде орналастырылған. Дисперсті материал мен редуционерден дайындалған редуциялатын шихта минут бойы мұқият араластырылады. Шихта салынған ұяшық МЕСТ 9147-80 сәйкес Ø38 мм кварцты реакциялық түтікке салынады және сонымен бірге электрпешіне енгізіледі.

Газ талдауышы газды қоспадағы СО және СО₂ құрамдық мөлшерін анықтау мақсатында жалпы газдарды талдауға арналған. Газ талдауышы – МЕМТ 25336-82 сәйкес жәшіктен, жұту ыдыстарынан, теңестіргіш сауыттардан, өлшеу бюреткасынан және үш арналы крандардан тұрады.

Аспаптың жұмыс істеу принципі көміртегі тотығын, қанықпаған көмірсутегін сәйкес сіңіргіш ерітінділермен іріктеп сіңіруге негізделген. Бұл ретте компоненттің пайыздық құрамы тізбектеп жүргізілетін сіңіру операциялары кезіндегі газдың талданатын сынама көлемінің азаюын өлшеу жолымен анықталады.

СО₂ және басқа да қышқыл газдарды сіңіру үшін МЕСТ 6408-75 сәйкес дайындалған күйдіргіш калийдің (KOH) 30-35 % сулы ерітіндісі қолданылады. СО сіңіру үшін мыстың шала тотығы (Cu₂O) суспензиясы қолданылады, оны дайындау МЕСТ 16539-79 сәйкес келеді. Өлшеуірде (бюреткада) жабылатын сұйықтық ретінде МЕСТ 4233-77 бойынша дайындалған натрий хлоридінің (NaCl) 22 %-дық ерітіндісі немесе МЕСТ 4204-77 сәйкес келетін күкірт қышқылының (H₂SO₄) 10 %-дық ерітіндісі қолданылған. Жабылатын сұйықтық метилоранжбен боялады (n, n'- натрийдің диметиламиноазобензол сульфаты).

Сіңіру әдісімен жасалатын талдау қатаң тәртіпте жүргізілді, онда әрбір келесі реагент тек бір компонентті ғана жұтады. Газды айдау көмірқышқыл газы және басқа да қышқыл газы жұтылатын КОН ерітіндісімен толтырылған ыдыстан басталды. Газ 3-4 рет ерітінді бойымен өткізіледі, одан кейін өлшеуірге (бюреткаға) аударылады.

КОН ерітіндісі бойымен өткізу 2-3 рет қайталанады. Егер ерітіндінің бойымен қайта өткізілген газдың көлемі өзгермесе, онда қышқыл газдардың қосындысын сіңіру аяқталды деп саналады; ал егер газ көлемі азая бастаса, ондатұрақты көлем туындағанға дейін ерітінді арқылы өткізу процесін жалғастырады. Көміртегі қостотығын сіңіргеннен кейін қалған газ күкірт қышқылынан Cu_2O суспензиясы бар ыдыс арқылы өткізіледі. Операция бірнеше қайталанғаннан кейін газ өлшеу шкаласы бар бюреткаға жіберіледі. Суспензиямен сіңірілген газ көміртегі тотығы ретінде қабылданады. Бюреткадағы газ үштік жүйесі арқылы газ есептегішке жіберіледі, оның көрсеткіші бойынша бөлінген газдың көлемі белгіленеді. Алынатын қақпақтағы келтеқұбыр реакциялық камераны жууға арналған аргонмен қосылған.

Өлшеуіш аппаратураның тізбектік қосылыстары – милливольтметрлі термопара, газ жинақтаушы, газ талдағыш, есептеуіштен тұрады, бөлінетін газ мөлшерібарлық металдардың қатты фазалық редуциялық процестерінің жүруін бақылауға мүмкіндік береді, «Seteram» (Франция) типті жоғары дәлдікті термоталдағыштар (анализаторлардың) жұмысына ұқсас, тек автоматтандырылған компьютерлі басқарылмайды. Ұсынылған әдістеде маңызды артықшылығы бар – егер «Seteramға» үлгілерді миллиграмдап жүктесе, онда ұсынылатын қондырғының ұяшығына бір мезгілде 20-40 грамм үлгіні жүктеуге болады. Егер тәжірибеде бастапқы үлгі массасынан елеулі ауытқуды есепке алсақ, онда біздің жағдайда массаны бірнеше есе ұлғайту өлшеудің ықтимал қателіктерін барынша азайтуға әкеледі.

Тәжірибелік зерттеулер нәтижесінде алынған қатты және сұйық өнімдердің жай-күйі мен сапасы қазіргі заманғы дәлдігі жоғары аппараттарда мұқият талдау арқылы жүзеге асырылды: Spectrolab JrCCD үстел үсті оптикалық эмиссиялық спектрометр және JSM 5910 электрондық микроскоп. Бастапқы үлгілер мен көміртеққұрамды материалдар массасы МЕСТ 24104-88 сәйкес Shimadzu ELB 1200 электрондық таразыларында анықталды. Химиялық және минералогиялық құрамды анықтау үшін МЕСТ 18895-97 сәйкес спектрометриялық талдау әдісінің сертификатталған әдістері мен аппараттары қолданылды.

Көмір-кенді жентектерді (ККЖ) металдандырудың температуралық режимі

Жоғарыда көрсетілгендей, негізгі алынатын металдардың: темір, марганец және хром арасында ең алдымен темір төменгі температурада (600-1000 °С) металды күйге дейін редуцияланады. ККЖ-де темірдің редуциялануы жентектер көлемінде бірден өтеді. Бөлінетін CO , CO_2 газ тәріздес өнімдердің мөлшері темірдің редуциялану жылдамдығына тәуелді.

Темірдің редуциялану жылдамдығы жоғары болған кезде газдың көп бөлінуі жентектің ыдырауына әкелуі мүмкін, бұлай болмағаны жөн. Сондықтан жентектер көлемінде темірдің редуциялану жылдамдығын бөлінетін газ жентектің бұзылуына жол бермейтіндей реттеу қажет. Темірдің редуциялану жылдамдығын реттеу жүйені қыздыру температурасы бойынша анықталады. Темірді тікелей редуциялай бастағанда, температура 550-600 °С деңгейінде болады, осы температурада газдың бөлінуі де айтарлықтай баяу жүреді. Температура 600 °С жеткеннен кейін, бөлінетін газдар жентек көлемінен диффузионды режимде шығу үшін жүйенің қызу жылдамдығын 5-6 °С/мин деңгейінде ұстап тұру қажет. Мұндай уақыты өте баяу режимде металдық темір массасы біртіндеп пайда болады және салмағы артады. Темірдің салмағы оның жалпы салмағының 30-40 %-на жеткенде қыздыру жылдамдығын сенімді түрде 10-12 %-ға дейін арттыруға болады. Металдық темірдің пайда болу дәрежесін CO, CO₂ газы бойынша айтарлықтай дәл анықтауға болады. Темірдің металдану дәрежесі 30-40 % жеткен кезде, біріншіден, жентектің кеуектілігі артады, екіншіден, металдықтемір басқа тотықтардың қатты бөлшектерін байланыстыратын қаңқа түзеді және жентектердің ыдырауына жол бермейді.

2 бөлім бойынша қорытындылар

1. Зерттеуде алға қойылған міндеттерді орындау үшін тотықты ұсақ дисперсті марганец, хромит, теміркенді материалдар, прокаттық окалина және ағаш көмірі қолданылды. Бастапқы және алынған материалдарды химиялық талдау сертификатталған аспаптарда аккредиттелген зертханаларда жүргізілді.

2. Fe, Mn және Cr-ның тотықтарынан редуциялануы үшін жұмсалатын көміртегінің стехиометриялық мөлшерін анықтау үшін, сондай-ақ теориялық зерттеулер әдістемесін жасақтағанда академик С.М. Тлеугабуловтың диссоциациялық-адсорбциялық механизмі туралы теориялық ережелері қолданылды.

3. Байланыстырушы қоспамен және байланыстырусыз металдандырылған жентектерді күйдіру және алу бойынша эксперименттік жұмыстар СУОЛ-044 12-М2 және Тамман зертханалық пештерінде жүргізілді.

4. Ұсақ дисперсті теміркенді, марганец және хромит материалдардың әртүрлі қоспаларынан жасалған Fe, Mn және Cr көміртекті реагенттің стехиометриялық есептелген мөлшері бірлесіп қатты фазада редуциялануының бірінші сатысы СУОЛ-044 12-М2 электрпешіндегі тотықты материалдар қоспаларының жұмсаруының температуралық деңгейімен шектелді.

5. Алдын-ала металданған өнімдерден легірлеуші металдарды, Mn және Cr-ды толықтай редуциялануының екінші сатысын Тамман пешінде дайындалған материалдар үлгілерін балқыту температурасына дейін қыздырып жүргізеді.

3 ТЕОРИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР

3.1 Қатты көміртекті металдарды тікелей редуциялау кезіндегі физика-химиялық процестер

Темір болаттың негізі болып табылады, және де негізгі легірілеуші металдар (марганец, хром, ванадий, кремний) бастапқы шикізатта – кендер мен концентраттарда тотығу дәрежесі әртүрлі тотықтар түрінде болады. Пирометаллургиялық процесте табиғи шикізат ресурстарындағы тотықты қосылыстарынан осы металдарды алу жүзеге асырылады. Тотықты қосылыстардан тиісті металдарды алу редуциялық процестерін ұйымдастыруды және жүргізуді көздейді. Металды редуциялауға жұмсалатын энергия әртүрлі мәнге ие, және де ең алдымен оттегінің металмен химиялық байланысының беріктігіне байланысты болады. Тотықтардың кристалды торларының құрылымы мен өлшемдері тек металл түрлері бойынша ғана емес, сонымен қатар оттегі мен металдың атомдық қатынасы бойынша да ерекшеленеді O/Me . Темір, марганец және хромды O/Me қатынасы бойынша жоғары және төменгі тотықтарға жатқызуға болады. Темір үшін O/Me мынандай мәндерге ие 1,5; 1,33; 1,0; марганец үшін $O/Me = 2,0; 1,5; 1,33; 1,0$; хром үшін $O/Me = 1,5; 1,33; 1,0$. Оттегі атомының металмен химиялық байланысының беріктігі олардың атомдық қатынасы азайған сайын артады.

Оның жоғары тотығынан металды редуциялауы фазалық өзгеру бойынша тізбекті түрде өтеді. Бұл ретте, кез келген жағдайда, энергия шығынын көп қажет ететін соңғы саты болып табылады, яғни $MeO \rightarrow Me$.

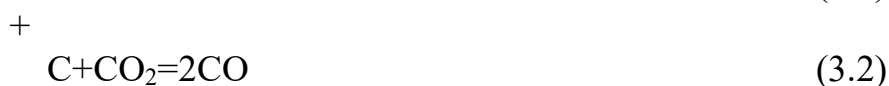
Сондықтан, легіріленген конструкциялық болатты өндіру үшін қажетті үлкен металлургия технологиясы ең алдымен редуциялау және редуциялап-балқыту [59-60] процесіне негізделген және мына жүйе бойынша жүзеге асырылады: 1) кендерден темірді домна пештерінде редуциялау және балқыту; 2) болатты балқыту агрегаттарында көміртекті, кремнийді, марганецті, фосфорды тотықтандыру, күкіртті жою, яғни шойыннан берілген құрамдағы металл алу; 3) ферроқорытпаларды балқыту; 4) берілген химиялық құрамдағы болатты алу үшін металды ферроқорытпалармен легірілеу.

Белгілі конструкциялардың жоғары қуатты агрегаттарын (сыйымдылығы 4000-5000 м³ домна пештері, сыйымдылығы 300-350 т конвертерлер, сыйымдылығы 200-300 т доғалы электрпештері) қолданылып жүрген шикізаттар бойынша өнімділігі соншалықты жоғары, сондықтан басқа агрегаттар мен болат балқыту процесінің тәсілдері олармен бәсекелесе алмайды [61]. Алайда, өндірілетін шикізаттың сапасы жыл сайын төмендеп бара жатқанын айтқан жөн, бұл қалыптасқан дәстүрлі болат балқыту процестерінің алдында белгілі бір мәселелерді туындатады.

Дәстүрлі технология бойынша металды жаппай өндіру кезінде редуциялаушы реагенттердің аздау CO , H_2 газ тәрізді реагенттерге және қатты көміртекке түседі, табиғи көмірсутекті шикізат – табиғи газ бен көмір осы реагенттердің қажеттілігін толықтыру үшін қолданылады. Алайда, жоғарыда аталған редуционерреагенттері әртүрлі редуциялаушы потенциалдарға ие,

сәйкесінше оларды қолданған кезде өздеріне тән әртүрлі мүмкіндіктері бар. Газ тәрізді редуционерлер – CO және H₂ бір ретті редуциялаушы потенциалға ие. Олар, ең алдымен, екіатомды газдар және металдардың редуциялануы кезінде металл тотықтары мен әрекеттесе отырып үшатомды газдар – CO₂ және H₂O түзуі мүмкін. Сандық қатынаста екіатомды газдардың үшатомды газға толықтай айналуы көп күттірмейді. Екіатомды газдың металл тотықтарымен үшатомдыққа өзара әрекеттесуі әсер ету дәрежесі үшатомды газдың рудың нде ара Дегенмен, газ тәрізді реагенттердің физикалық қозғалысы мен адсорбциялануының арқасында авторлар тобы [62-63] өз уақытында «адсорбциялық-автокатализикалық механизмге» (ААКМ) негізделген теория шығарды. Ұсынылған теорияның ережелері бойынша газ тәріздес реагенттердің редуциялану процесінің басымдығын ғылыми тұрғыдан айтып қана қоймай, қаралып жатқан құбылыстардың логикалық ұсынысы да айтылды. Осы «ғылыми ережелерді» жалпының мойындауы бұдан әрі металлургия саласындағы техникалық саясатты айқындады. Газ ағынының қозғалысын ұйымдастыру жағдайында шихтаны дайындау және шикізатты металлургиялық өңдеу келесі ретпен жүретінін анықтады: концентраттар мен ұсақ кендерді кесектеу – агломерат, жентектер және кокс өндірісі; домналық процесс – шойын өндірісі; оттекті-конвертерлік процесс – болат өндірісі. Бұл ретте, редуциялау процесіндегі қатты көміртегінің рөлі, оның жоғары потенциалына қарамастан, екі сатылы реакциямен (3.1)-(3.3) шектелген.

Негізінде жатқан тағы бір аспект – бұл металдарды қатты көміртекпен тікелей редуциялау [59-60]. Алайда, бұл анықтама екі жақты мағынаға ие, ол кең таралған ААКМ [62-63] арқасында қалыптасқан, осыған сай қатты көміртектің металл қосылыстарымен (тотықтармен және сульфидтермен) тікелей өзара әрекеттесуі тек контактілі-диффузиялық механизммен ғана болған және оның жылдамдығының баяулығына қарай елеусіз деп саналған. ААКМ жақтастары, қатты көміртекке қатысты контактілі-диффузиялық механизмнен бас тарта отырады, дегенмен де, тәжірибеде редуциялау қатты көміртекпен жүретінін байқаған, сонымен екі сатылы газды фаза арқылы түсіндіруді ұсынды:



(3.1) және (3.2) реакцияларды жинақтағанда металды тікелей көміртекпен редуцияланатындығы байқалады. Мұндай теориялық түсінік ғылыми және практикалық ортада ғасырлар бойы үстем болып келді, осыған сәйкес металлургиялық процестердің барлық бөлімшелері газды ағындарды пайдаланған, қазір оны біз дәстүрлі металлургия деп атап кеттік.

(3.1)-(3.3) өрнектер ғылыми ортада редуция процесінің пирометаллургиясында қатты көміртек металл тотықтарымен тек реакциялық өнім СО түзе отырып әрекеттеседі деген ұғымды туындатқан.

Бұл жерде, шегініс ретінде, заң немесе заңдылық талап етпейді, тек нақты бір процестің феноменологиялық параметрлерін бейнелейді, қатты көміртектің СО және СО₂ түзе отырып металл тотықтарымен өзара әрекеттесу мүмкіндігін жоққа шығармайтынын байқауға болады. Көрініп тұрғандай, бұл ретте шихтаның СО₂ түзе отырып оттегін газдандыруға кететін көміртегінің шығыны СО түзілуімен салыстырғанда, бірнеше есе аз. Схеманы пайдалану кезінде (3.1)-(3.3) теңгерім нәтижелерінде әрине үлкен қателіктер жіберіледі. Бұдан басқа, MnO, Cr₂O₃, SiO₂ сияқты берік тотықтар жарнамаланатын газ реагенттерімен СО және Н₂ редуциялауға болмайды, себебі олардың бұл тотықтарды редуциялау потенциалы жеткіліксіз.

Металл тотығының редуциялаушы реагентімен өзара әрекеттесуі металл немесе оның төмен тотығын және басқа да реакциялардың газ тәрізді өнімдерінің тотықтарын түзе жүреді. Олардың массалық арақатынасы қандай да бір тотықтардың химиялық беріктігіне немесе басқаша айтқанда, берілген температура кезінде олардың диссоциациясының серпімділігіне, атмосфераның түріне және жүйенің қысымына байланысты болады. Диссоциациялық-адсорбциялық механизмнің (ДАМ) ерекшелігі ол металл тотықтарының фазалық айналуының барлық интервалында және туынды тотықтардың пайда болуында тек осы қатынастарды ғана ескереді. Редуциялау реакциялары барысындағы соңғы қалыптасулар үстем болуы мүмкін, өйткені олардың диссоциациясының серпімділігі металды тотықтар диссоциациясының серпімділігінен төмен. Бұл заңдылыққа пайда болатын газ тәрізді тотықтардың – СО₂ және СО қатынасы да бағынады. Бұл тотықтардың химиялық беріктігі әр түрлі. СО диссоциациясының энергиясы СО₂ диссоциация энергиясына қарағанда бірнеше есе көп. Сонымен металл диссоциациясының серпімділігінің төмендеуіне қарай ($MeO_2 \rightarrow Me_2O_3 \rightarrow Me_3O_4 \rightarrow MeO \rightarrow Me$) реакция өнімдеріндегі СО концентрация беріктігі аз туынды концентрациясының СО₂ тотығының төмендеуі есебінен жоғарылайды. Мұндай заңдылықтар ДАМ бойынша тек фазалық өзгерісте ғана таралмайды, бір фазаның ішінде де болады. Мысалы, гематитте темір бірлігіне газдандырылатын оттегінің салмақтық үлесі 0,4285 құрайды, ол $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ фазалар бойынша 0,111; 0,222; 0,667 сәйкес бірлік үлесіне бөлінеді. Гематиттің диссоциациясының ең жоғары серпімділігі оттегінің жалпы санының 0,4285 газдандырудың бастапқы кезеңіне 0,111 үлесіне сәйкес келеді, яғни 0,001-0,01 деңгейінде. Газдандырылған оттегі үлесінің 0,111 жақындауына қарай гематит диссоциациясының серпімділігі магнетит диссоциациясының серпімділік деңгейіне дейін төмендейді. Тиісінше СО₂ газының концентрациясы 85 %-дан 55 %-ға дейін төмендейді. Осындай ұқсас жолмен Fe₃O₄ және FeO тотықтары диссоциациясының серпімділіктері өзгереді және СО үлесінің артуы есебінен СО₂ концентрациясының төмендеуі болады, бұл неғұрлым берік тотық болып табылады. Сонымен қатар, металл тотықтарына тікелей әрекеттесетін қатты

көміртегі диссоциацияланбайды, сондықтан ең берік тотықтардан алынған металдардың көпшілігі тек қатты көміртегімен редуцияланады. SiO_2 , MnO , Cr_2O_3 және т.б. сияқты берік тотықтардың ұшатомды CO_2 және H_2O газдарға қарағанда диссоциация серпімділігіне едәуір төмен болады. Бүгінгі күнде дәстүрлі технология бойынша металдарды жаппай өндірудің ауқымды көлемі оның техникалық кемшіліктерімен қатар бүкіл әлемге экологиялық баланстыңнашарлау қаупін тудырып отыр. Жаңа ғасырдың проблемасы жоғары технология әзірлеу болды. Сол себепті қабылданған ААКМ осы уақытқа дейін өзінің теориялық негізін жоғалтуда. Дәстүрлі технологияның техникалық кемшіліктеріне тоқтамай-ақ, ААКМ-ның теориялық негізінің атына сыни ескертулерді айтуға болады:

– (3.1) – (3.3) реакциясының жүру тәртібі нақтылы эксперименттердің нәтижелерімен расталмаған, тек саналық ойлау нәтижесі, ал молекулалар деңгейінде өзара әрекеттесетін бөлшектердің механикалық көрінісінен туындайтын бөлшектердің молекулалар деңгейінде өзара әрекеттесуі – көзбен көріп те, заманауи аппараттармен де байқалмаған - логикалық көрінісі болып табылады;

– металл тотықтарының және өндірістік газ тәрізді тотықтардың химиялық беріктігінің арақатынасы қарастырылмаған;

– газдың адсорбирленген молекулаларының (CO және H_2) MeO тотықтармен тікелей өзара әрекеттесуінің міндеттілігі туралы позиция термодинамикалық бекітілмеген. MeO -дегі химиялық байланыстың беріктігі CO-CO_2 немесе $\text{H}_2\text{-H}_2\text{O}$ -ға қарағанда көп болуы мүмкін. Онда бұл екеуінің арасында реакциялық ағынның жүруі мүмкін емес. Сондықтан ААКМ тек әлсіз тотықтарға қатысты жеке жағдай ретінде қарастырылуы мүмкін;

– қатты көміртегі де механикалық түрде, тек диффузияға қабілетті «домалақтар» түрінде қаралады. Оның тотықтармен өзара әрекеттесуі тек байланыстық жағдайда ғана емес, сонымен қатар кеңістіктік ажыратылған жағдайда да ықпал ететін құрылымы мен қасиеттеріназардан тыс қалды;

– электрондық алмасу және электрондық орбитальдардың өзара іс-қимылы арқылы атомдар мен молекулалар арасындағы өзара әрекеттесетін жалпыға ортақ механизмі, яғни донорлық-акцепторлық механизм назарға алынбаған, оған сәйкес тотықсыздандырғыш реагенттері жалпы және көміртегі, атап айтқанда, әрқашан донор болып табылады, ал оттегі тотықтар – акцептор болып табылады.;

– механизмде металл тотықтарыоксидтері мен адсорбцияланған газдардың хемосорбцияланған молекулалары арасындағы өзара әрекет электрондық алмасу деңгейінде де жүргізілетіні туралы мәселе қаралмаған. Бұл жағдайда қатты көміртегі алдындағы адсорбцияланған газдардың артықшылығы олардың тотықтарының кристалдық құрылымына жақын орналасуы болып табылады. Алайда, көміртегі атомдары тотықтардың кристалды торына бағытталған күшті электрондық ағынмен байланыстырудың осы жетіспеушілігін өтей алады;

– газ ағынын пайдалану тәжірибесі ААКМ-ның теориялық ережелерінің күтілетін нәтижесімен қарама-қайшылығына алып келді. ААКМ жүзеге асыру шарттары бойынша міндетті түрде шикізатты кесектеу газ адсорбциясының күтілетін әсерін іс жүзінде жоққа шығарады. Кесек кендердің үстінде адсорбцияланған газ тотықтардың бірінші молекулалық қабатымен ғана өзара әрекеттеседі. Бұдан әрі реакция өнімінде түзілген қатты фазалы жұқа қабаты, мысалы, металл қабаты, іс жүзінде кесекшенің орталық ауданына газ ағынының тереңдеп енуін шектейді және реакциялық бетте газдың одан әрі адсорбциясын болдырмайды. Кесек көлеміндегі процесс тек қана реакциялардың топохимиялық сипатымен, яғни диффузиялық режимде жүзеге асырылады. Көрініп тұрғандай, көміртекті пайдалану кезінде ААКМ неден бас тартса, диффузиялық механизм, процесте оның шектеуші буынына айналады. Домна және шахта пештерінің жұмыс тәжірибесі агломерат мен 10-20 мм фракциялы жентектердің 5-6 сағат деңгейінде металдануының ұзақтығын, яғни реакцияның өте төмен жылдамдығын көрсетеді. ААКМ-ның күтілетін кинетикалық нәтижелеріне қол жеткізілмеген.

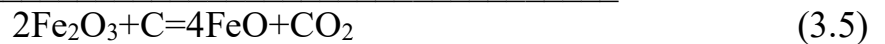
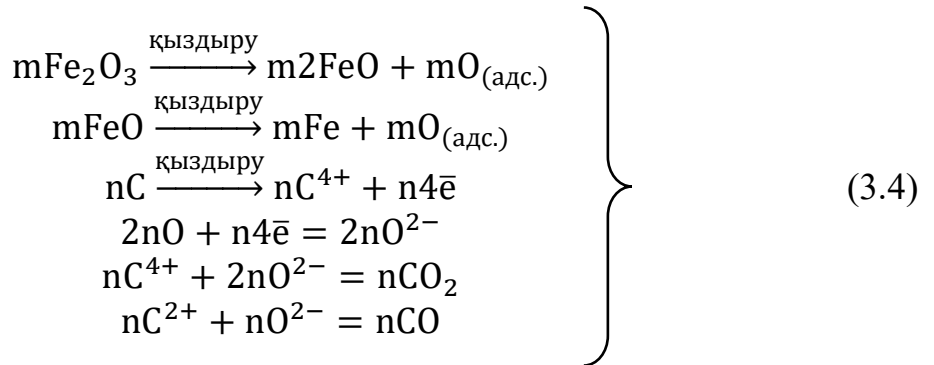
Қатты көміртек тек әмбебап редуционер реагенті ретінде таңдау, температураның жоғарылауымен металл тотықтарына қатысты оның белсенділігін арттыруға негізделген. Бірақ атомды реагент ретіндегі көміртегінің бұл қасиеті, екі атомды редуционер реагенттерден ерекшелендіреді, бұл іргелі заңға сәйкес диссоциацияланумен нақтыланған. Көміртегі диссоциация мүмкіндігінен айырылған. Температураның жоғарылауымен ол тек электрондардың эмиссиясын арттыра алады, бұл оның металл тотықтарымен өзара әрекеттесуін тездетеді.

Дәстүрлі металлургиямен қатар соңғы 20 жылда қатты көміртекті пайдалана отырып металл және металдандырылған өнімдер өндірісінде елеулі табыстарға қол жеткізілді. Мұнда тәжірибе теориядан озып отыр. Тек тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері негізінде ғана «кен-болат» жүйесі бойынша өндірістің жаңа процестері құрылды [64-65], олар бүгінгі таңда теориялық негіздерді қажет етеді, оларды әзірлеу ары қарай «тек қана» ААКМ негізінде қалыптасқан теориялық көзқарастарды ұстана алмайды. Сонымен бірге жаңа теориялық ережелер табиғаттың феноменологиялық құбылыстарының іргелі ғылыми негіздеріне және арнайы қойылған тәжірибелердің сенімді нәтижелеріне сүйенуі тиіс.

Жинақталған ғылыми ақпараттарды және көміртекпен металдардың тікелей редуциациялануы бойынша эксперименттердің нәтижелерін талдай отырып, 1991 жылы алғаш рет «Диссоциациялық-адсорбциялық механизм» (ДАМ) қалыптасқан болатын [51]. Химиялық қосылыстардың, оның ішінде металл тотықтарының диссоциациясы сыртқы жағдайларға қарамастан, олардың жекелеген элементтерден түзілуі сияқты феноменологиялық құбылыстардан туындайды. Сыртқы факторлардың әсері мысалы энергия (температураның жоғарылауы) термиялық диссоциацияны тудырады, жалпы алғанда диссоциация бар ма, жоқ па оны нақты дәлелдемейді, элементті

мақсатты редуциялау немесе жаңа қосылыстың пайда болуы үшін нақты диссоциация дәрежесін көрсетеді.

Металл тотықтарының диссоциациясы бөлшектер көлемінің пропорционалды кішіреюімен және температураның артуымен қарқындайды. Дисперсті тотықты материалдар темірдің редуциялану есебінен қатты көміртегімен реакциялар бойынша бірнеше ондаған минут ішінде 950-1100 °С температурада металдануы мүмкін:



ААКМ бойынша газ ағынын пайдаланған кезде 1 кг жентек немесе агломераттың металдануына шығындалатын газ мөлшері келесі формула бойынша анықталады:

$$v_r = 1,4 \frac{\left[\frac{3}{7}(\text{Fe} - \text{Fe}_{\text{мет}}) - \frac{1}{9}\text{FeO} \right]}{100 \cdot B \cdot \eta_r}, \quad (3.7)$$

мұндағы Fe, Fe_{мет}, FeO – жалпы темірдің құрамы, шихтадағы металдың және вюститтің сәйкес құрамдары, %;

B – редуциялаушы компоненттердің көлемдік үлесі – CO және H₂ үрленетін газдағы;

η_r – газдың редуциялау потенциалын пайдаланудың орта дәрежесі.

Концентраттарды немесе көміркенді жентектерді металдандырудағы қатты көміртегінің шығыны мына формула бойынша анықталуы мүмкін:

$$q_c = 0,75 \sum (\Delta O_i (1 - 0,5 \gamma_{01,i})), \text{ кг/кг} \quad (3.8)$$

мұндағы ΔO_i – концентрация бірлігінен алғандағы газдалушы оттегінің саны, і-ші тотықтардың фазалық өзгеруі, кг/кг;

γ_{01,i} – CO₂ түріндегі газданушы оттегінің массалық үлесі.

Көмір-кенді жентектер 1000 °С температура аймағындағы темір бойынша металдануы мүмкін. MnO және Cr₂O₃ алынатын қиын редуцияланатын металдар 1200-1400 °С жоғарғы температурадаредуцияланады, яғни балқыту кезінде металдық жағдайға дейін редуцияланады және ферроқорытпаны құрайды.

3.2 Марганец пен хром тотықтарын қолданудың физика-химиялық негізі

Марганец полиморфты металл болып саналады.Полиморфты түрге айналуының нақтылы температурасы мынандай: $\alpha\text{-Mn} \xrightarrow{1000\text{K}} \beta\text{-Mn} \xrightarrow{1360\text{K}} \gamma\text{-Mn} \xrightarrow{1410\text{K}} \delta\text{-Mn}$.

Айналу температурасы $\delta\text{-Mn}$ Mn_ж-да 1517 К тең қабылданады. Полиморфты айналу көлемді өзгерістермен жүреді: $\beta\text{-Mn} \rightarrow \gamma\text{-Mn}$ (+0,77%); $\gamma\text{-Mn} \rightarrow \delta\text{-Mn}$ (+0,90 %).

Mn- жүйесі.

Ғалымдар Казенас Е.К. пен Чижиков Д.М. [66] масса-спектрометриялық әдіспен оттегі қысымын және MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄, MnO үстіндегі бу фазасының құрамын анықтады. MnO₂, Mn₂O₃ диссоциациясы кезінде оттегінің қысымы температураға ғана емес, тотық құрамына да байланысты екені анықталды, себебі MnO₂-Mn₃O₄жәнеMn₂O₃-Mn₃O₄арасында гомогендік облыс бар.

Mn₃O₄ және MnO марганецтің төменгі тотықтарының термиялық диссоциация нәтижелері 3.1 кестеде берілген. Осы кестеден көрініп тұрғандай, 3 және 4 реакциялары бойынша жүреді, және де диссоциация қысымы температураға ғана байланысты, өйткені Mn₃O₄ гомогенді аймағы жоқ.

3.1 кесте – Марганецтің оттекті қосылыстарының термиялық диссоциясы реакциясының термодинамикалық мәліметтері

Реакция нөмірі	Реакция	$\lg p_{\text{O}_2} = A / T + B (\text{Па})$	T, K
1	$4\text{MnO}_{2(\text{т})} = 2\text{Mn}_2\text{O}_{3(\text{т})} + \text{O}_{2(\text{г})}$	$\lg p_{\text{O}_2} = -9680 / T + 15,98$	560-640
2	$6\text{Mn}_2\text{O}_{3(\text{т})} = 4\text{Mn}_3\text{O}_{4(\text{т})} + \text{O}_{2(\text{г})}$	$\lg p_{\text{O}_2} = -11740 / T + 13,92$	810-910
3	$2\text{Mn}_3\text{O}_{4(\text{т})} = 6\text{MnO}_{\text{т}} + \text{O}_{2(\text{г})}$	$\lg p_{\text{O}_2} = -23910 / T + 17,73$	1270-1350
4	$2\text{MnO}_{\text{т}} = 2\text{Mn}_{\text{г}} + \text{O}_{2(\text{г})}$	$\lg p_{\text{O}_2} = -24730 / T + 14,00$	1602-1747

Марганец пен оның қорытпаларын термодинамикалық талдау процестері үшін маңызды мәні бар тотықтардың кейбір физика-химиялық қасиеттері 3.2 кестеде келтірілген.

3.2 кесте – Марганец тотықтарының физика-химиялық қасиеттері

Көрсеткіштер	MnO	Mn ₃ O ₄	Mn ₂ O ₃	MnO ₂
Салыстырмалы молекулалық масса	70,93	228,81	157,87	86,93
Оттегі құрамы, %:				
атомдық	50	57,12	60	66,67
массалық	22,55	27,97	30,40	36,80
Тығыздық, г/см ³	5,18	4,70	4,94	5,026
Түзілу жылуы – ΔH [°] _{298К} , кДж/моль	385,186	1387,5	971,75	521,257
Стандартты энтропия S [°] _{298К} , Дж/(моль·К)	59,746	148,63	110,53	53,172
Гиббс энергиясының өзгеруі ΔG [°] _{298К} , кДж/моль	-363,41	-1281,16	-882,0	-466,409
Балқу температурасы, К	2115	1863	1620	1120
Балқу жылуы ΔH [°] _{298К} , кДж/моль	–	138,164	–	–
Жылулық кеңеюдің сызықтық коэффициенті α · 10 ⁺⁶ , 1/К	11,0	–	–	–
298К кезіндегі меншікті жылу сыйымдылығы C _p , Дж/(кг·К)	607,086	659,002	–	658,165
Кристалды тор энергиясы, мкДж/моль	3876,977	–	–	13067,003

Хром оттегімен сұйық және қатты ерітіндіні, сондай-ақ бірқатар оксидтерді тотықтарды қалыптастырады. Қатты хромдағы оттегінің еруі 973-1593 К аралықта айқындалып сипатталады:

$$\lg [O]_{Cr} = (-7900/T) + 2,58. \quad (3.9)$$

Жүйеде аса тұрақты тотық Cr₂O₃ пайда болады. Үлкен мәні бар тотықтар Cr₃O₄, CrO и CrO₃. Сондай-ақ белгілі тотықтар Cr₃O₈, Cr₂O₅, CrO₂. Анағұрлым хроммен тотыққан CrO₃ тотығы қыздыру кезінде мынандай реттілікпен оттегіні бөле отырып диссоциацияланады.

Тұрақты фаза	CrO ₃	Cr ₃ O ₈	Cr ₂ O ₅	CrO ₂	Cr ₂ O ₃
T, К	300-463	463-550	550-640	640-820	820

Тотықтан бөлініп алынатын хром металды хром не хром карбидтерін түзе отырып, 3.3 кестеде берілген реакция бойынша редуциялануы мүмкін. Хром карбидін түзе отырып Cr₃C₂ (13,3 % C) хромның редуциялануы 1107 °С температура кезінде-ақ басталуы мүмкін [67]. Термодинамикалық талдау көрсеткендей, егер хромның редуциялануы 1252 °С жоғары температура кезінде жүрсе, онда реакция нәтижесі металдық хром болуы мүмкін. Шын мәнінде 3.3 кестеде көрсетілгендей, хромды көміртекпен редуциялау кезінде металдық хром алынбайды, себебі, хромның редуциялану процесі жүретін температураның барлық интервалы үшін 1 реакцияға қарағанда таңдап

алынған реакция потенциалының кері мәндері 2, 3 және 4 реакциялары үшін көп.

3.3 кесте – Хромның оттекті қосылыстарының термиялық диссоциациясының термодинамикалық мәндері

Реакция №	Реакция теңдеуі	Изобарлық потенциалдың өзгеруі, кал	Реакцияның басталу температурасы ($\Delta G^{\circ}=0$), °C
1	$Cr_2O_3_{ТВ} + 3C_{ТВ} = 2Cr_{ТВ} + 3CO_{газ}$	$\Delta G^{\circ} = 186000 - 122 \cdot T$	1252
2	$Cr_2O_3_{ТВ} + \frac{7}{2} C_{ТВ} = \frac{1}{2} Cr_4C_{ТВ} + 3CO_{газ}$	$\Delta G^{\circ} = 177500 - 122 \cdot T$	1177
3	$Cr_2O_3_{ТВ} + \frac{27}{7} C_{ТВ} = \frac{2}{7} Cr_7C_{3ТВ} + 3CO_{газ}$	$\Delta G^{\circ} = 173000 - 123 \cdot T$	1132
4	$Cr_2O_3_{ТВ} + \frac{13}{3} C_{ТВ} = \frac{2}{3} Cr_3C_{2ТВ} + 3CO_{газ}$	$\Delta G^{\circ} = 171700 - 124 \cdot T$	1107

3 бөлім бойынша қорытынды

1. Редукция процесінің теориялық жағдайын талдаудиссоциациялық-адсорбциялық механизмнің (ДАМ) теориялық негізі мысалдармен және ұсақ өнеркәсіп қалдықтарының – прокаттық окалина, теміркенді, марганецті және хромитті концентраттарын пайдалана отырып қатты көміртегімен Fe, Mn және Cr редукциялаудың тәжірибелік зерттеулерінің нәтижесімен негізделген. ДАМ теориялық жағдайы негізінде ферроқорытпалар алудың жоғары технологиясы жасалуы мүмкін және металдағы көміртегі концентрациясын болжау және реттеу мүмкін.

2. Легірілеуші металдардың тотықтарының түрлі температура деңгейінде жүретін полиморфты процестері қарастырылған. Полиморфты түрлендіргіштердің (модификацияларының) біркомпонентті және көп компонентті жүйелері берілген.

3. Теориялық зерттеулер негізінде ұсақдисперсті қалдықтар мен көміркенді жентектерден Fe, Mn және Cr қатты көміртегімен тікелей редукциялау бойынша кешенді экспериментальді зерттеулер жүргізу қажет.

4 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУЛЕР

4.1 Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртек құрамды кешенді жүйелерді дайындау, олардың қаттыфазалы редукциялануы, металдандырылған өнімнің зертханалық үлгісін алу

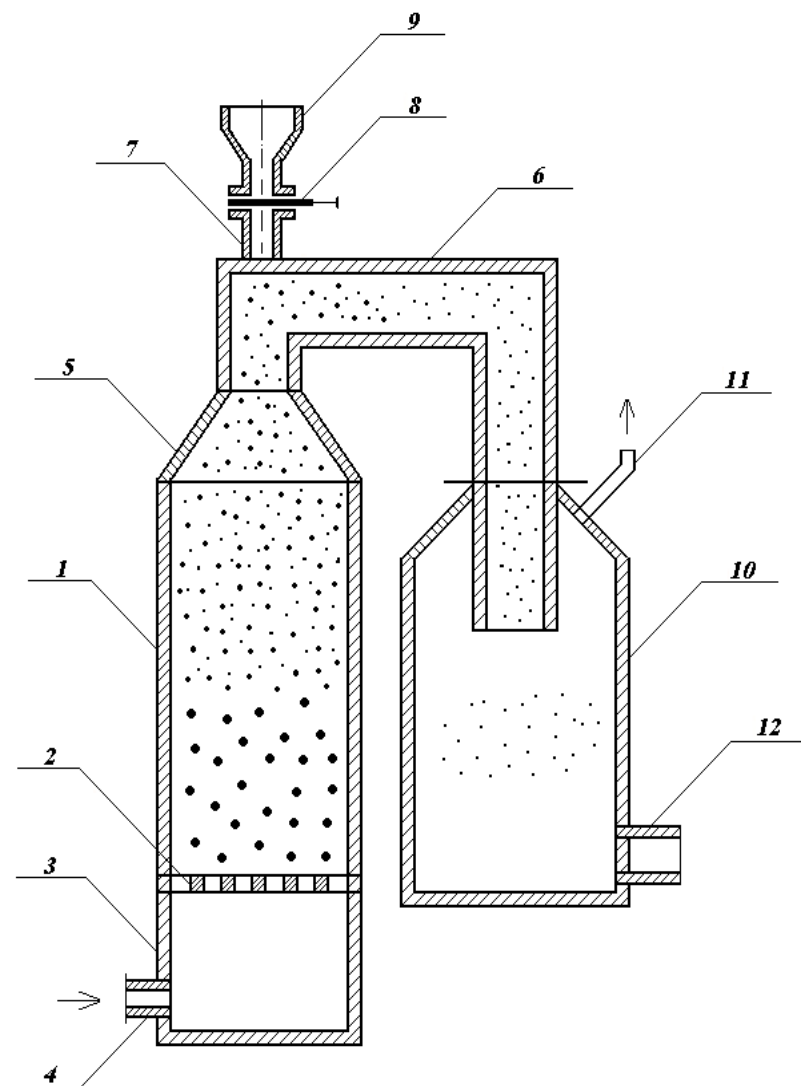
4.1.1 Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртек құрамды кешенді жүйені дайындау

Жәйрем КБК бастапқы кендеріндегі марганецтің орташа мөлшері 40 %-ға жетеді. Байытудың негізгі мақсаты 5,0 мм-ден ірі фракцияларды 5,0 мм-ден ұсақ фракциялардан бөліп алу. Алынған ірі фракциялар концентраттар деп аталады, ал ұсақтары байыту қалдықтары деп есептеледі. Сондықтан марганец кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтарда марганец концентрациясы айтарлықтай төмен және 15,0-18,0 % деңгейге дейін нақты төмендейді.

Хром кендеріне қатысты, оларды байытудан да қалдықтар қалады, ірі фракцияларды концентраттарға бөліп алып, ал ұсақтарын қалдыққа жібереді. Дөң КБК хром кендерінің ерекшелігі оларда шлак түзуші тотық SiO_2 емес MgO , және де SiO_2 концентрациясы мардымсыз болуында. Бірақ хром тотығының Cr_2O_3 марганец тотығынан Mn_2O_3 айырмашылығы MgO тотығымен минералды қосылыстар түзеді. Сондықтан хром кендерін байыту кезінде MgO шөгінділері бөлініп алынбайды. Осыған байланысты Cr_2O_3 концентрациясы ірі фракцияда қандай болса, ұсақ фракцияда да сондай мөлшерде болады. Егер Дөң КБК бастапқы хромды кендерінде орташа мөлшері $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 52,5-53,0$ % болса, ұсақ қалдықтарда да олардың концентрациясы 52,0-52,4 % деңгейінде қалады. Сондықтан кешенді жүйені дайындау үшін хромды кендерді байытудан қалған қалдықтарды алдын ала өңдеусіз тікелей пайдаланған.

Қалдықтардан алынатын негізгі металдар марганец пен хром болғандықтан, алдымен тиімді редукциялаушы реагенттерді таңдап алу қажет. Тотықтардың химиялық байланыстарының беріктігі туралы термодинамикалық мәліметтерден марганец пен хромның қиын редукцияланатын металдарға жататыны белгілі. Сондықтан олар ыстық редукциялаушы газдармен (ЫРГ) металды күйге дейін редукцияланбауы мүмкін. Аса тиімді әрі қолайлы редукционер реагент ретінде қатты көміртегі алынған, ол жоғарғы редукциялаушы потенциалға ие. Осыған байланысты металл тотықты көміртек құрамды жүйе қалыптастыру туралы мақсат қойылған.

Марганец кендерін байытудан қалған қалдықтарда пайдалы металл темір мен марганецтің айтарлықтай төмен концентраттары қалған, бар болғаны 6,0-7,5 % және 15,0-20 %. Осыған байланысты оларды эксперименталдық зерттеулерге пайдалану үшін ауа-гравитациялық байытуды қолдана отырып, қосымша байыту қажеттілігі туындады. Гравитациялық байытуды жүзеге асыру үшін зертханалық тәжірибелік қондырғы дайындалып, конструкциясы жасалды, ол 4.1 суретінде берілген.



1 – металды цилиндрлі корпус, 2 – торлы аралық бөлгіш, 3 – ауаүрлеу камерасы, 4 – ауа ағынын беруге арналған келте құбыр, 5 - күмбез тәрізді керілген конус, 6 – газшығарғыш, 7 – цилиндрлі келте құбыр, 8 – ысырма тәріздес тықпа қақпақ, 9 – қабылдаушы құрылғы, 10 – шаң ұстағыш, 11 – газшығарғыш

4.1 сурет – Зертханалық ауа-гравитациялық байыту қондырғысы [68]

Ауа-гравитациялық байыту қондырғысы металды цилиндрлі корпуста тұрады 1. Корпустың төменгі жағы торлы аралық бөлгіш 2, ауаүрлегіш камерамен 3, ауа ағынын беруге арналған келте құбырмен 4 жалғасқан. Корпустың жоғарғы жағы күмбез тәрізді керілген конуска өтеді 5, жоғарғы жағында газ шығарушымен 6 жалғасқан. Корпус осі бойынша айналма газ шығарғышқа тиеу аппараты орнатылған, ол цилиндрлі келте құбырдан 7, ысырма тәріздес тықпа қақпақ 8, қабылдаушы құрылғыдан 9 тұрады.

Газшығарғыш төмен қарай иіліп шаң ұстағышқа 10 шығады, жоғарғы бөлігі ластанған ауаны шығаратын газшығаратын бөлікпен 11 жалғасқан, ал төменгі жағы шаңұстағышты жүктеуге арналған келте құбырмен жалғасқан.

Жәйрем КБК-нан марганец кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтар тікелей жеткізілген. Қалдықтар жақтық ұнтағышта 2,0 мм-ден кіші фракцияларға ұнтақталды. Ұнтақталған қалдықтар пропорциямен қабылдаушы құрылғы 9 арқылы ауа-гравитациялық қондырғыға салынды. Одан әрі ысырма тықпа қақпақты ашып 8, материалдың порциясы төменге жіберіледі және материал торлы аралық бөлгішке 2 жиналады. Корпус биіктігінің ортасына дейін толғаннан соң жүктеуді тоқтатып, ысырмалы тықпа қақпағы 8 жабылады. Компрессор жұмысқа қосылып, келте құбыр 4 арқылы ауа үрлеу камерасына 3 сығылған ауа жіберіледі. Тор үстіндегі 2 материалдар қабаты арқылы ауа ағынының сүзілуі жүреді. Материалдың тығыз қабатын қайнау қабаты күйіне дейін жеткізгенше ауа ағынының шығыны реттеліп отырады, яғни бірінші критикалық жылдамдыққа дейін жеткізіледі. Мұның мақсаты меншікті көлемдік массасы $\gamma_{об} = 2,2-2,5$ гр/см³ тең салыстырмалы ұсақ бөлшектерді екінші критикалық жылдамдыққа дейін ауа ағымын мұқият реттеп отыруда. Мұндай бөлшектерге SiO₂ және Al₂O₃ бөлшектері жатады, олар дайындалған ұсақ қалдықтар массасының құрамында болады. Екінші критикалық жылдамдық – бұл қалықтау жылдамдығы, яғни берілген меншікті массадағы бөлшектерді алып кету мына формула бойынша анықталады:

$$\omega_s = \sqrt{\frac{g \cdot d_r}{\psi \cdot \gamma_{об}}}, \text{ м/с} \quad (4.1)$$

мұндағы, d – бөлшек диаметрі, м;

ψ – материал қабатының кедергі коэффициенті;

$\gamma_{об}$ – бөлшектің массалық көлемі, кг/м³.

Ұсақ материалдардың физикалық сипаттамалары бойынша теңестіруге сәйкес параметрлерді қойып (4.1) бөлшектерінің қалықтау жылдамдық мәні анықталады.

Көрсетілген қалықтау жылдамдығының мәні келте құбыр 4 арқылы қондырғы қаңқасына берілетін сығымдалған ауа шығынын реттеу арқылы белгіленеді. Қаңқасының еркін қимасында ауа ағынының жылдамдығы мына қатынасқа тең болады,

$$\omega_{en} = \frac{4 \cdot V_g}{60\pi D^2}, \text{ м/с} \quad (4.2)$$

мұндағы, V_g – сығылған ауа шығыны, м³/мин;

D – цилиндр қаңқаның диаметрі, м;

60 – 1 минуттың секундқа аударылуы.

Бірақ қақпаның жұмысшы кеңістігі жартысына дейін сусымалы материалдардың тығыз қабатымен толтырылған. Оның кеуектілігі (бос бөлшекаралық кеңістік) тығыз қабатта 0,3 құрайды, ал тығыз қабатты қайнау қабаты жағдайына жеткенде оның жағдайы 0,50-0,60 дейін ұлғаяды. Сондықтан сығылған ауа шығынын қалқыған бөлшектерінің жылдамдығына байланысты мына теңдеу бойынша анықтауға болады,

$$V_g = 15 \cdot \pi D^2 \cdot \varepsilon \cdot \omega_g V, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (4.3)$$

мұндағы, ε – қайнау қабатындағы кеуектілік;
 ω_g – қалқыған бөлшектерінің жылдамдығы.

(4.1) - ден (4.3) қалқыған бөлшектердің жылдамдығының мәнін қоя отырып, ауа ағынының шығынын реттеу мына теңдеулер бойынша жүргізіледі,

$$V_g = 15 \cdot \pi D^2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot V_g}{60 \pi D^2}}, \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (4.4)$$

Торлы аралық бөлгіш арқылы сығылған ауа шығынын есептеп белгілеу кезінде шын мәнінде ұсақ бөлшектерді алып кеткені байқалды. Қабаттағы қалқыған бөлшектер жағдайындағы режим 15-20 минутта ұсталып тұрады. Осындай тәсілмен 4 тәжірибе жасалды. Жүктелетін ұсақ қалдықтар массасы 1 кг құрады. Гравитациялық өңдеуден кейін қайнау қабатында өнімнің қалдық массасы 0,78-0,80 кг шамасында болды. Гравитациялық байытылған марганецті қалдықтарды химиялық талдау 4.1 кестеде келтірілген нәтижелерді көрсетті.

4.1 кесте – Марганецті қалдықтардың гравитациялық байытылған үлгілерінің химиялық құрамы

Үлгілердің атауы	Химиялық құрамы, %								
	Fe _{общ}	FeO	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
1 үлгі	9,82	–	27,90	34,30	4,33	1,82	0,62	0,22	0,82
2 үлгі	10,11	–	28,12	33,12	4,26	1,81	0,58	0,21	0,81
3 үлгі	10,56	–	28,53	32,20	4,21	1,80	0,56	0,20	0,79
4 үлгі	10,62	–	28,65	31,40	4,20	1,76	0,55	0,20	0,80

4.1 кестеде көрсетілгендей, ауа-гравитациялық байыту нәтижесінде алынған марганец концентраттары едәуір жоғары марганец қалдықтарының тәжірибелік үлгілері, кешенді темір-марганец-көміртеққұрамды жүйені алу үшін пайдаланылды.

Хром кендерінің байытуынан қалған қалдықтарының химиялық құрамы бойынша сұрыпталған хром концентраттарынан айырмашылығы болмайды, тек гранулометриялық құрамы бойынша ғана айырмашылығы болады. Химиялық

құрамы бойынша концентрациясы $Cr_2O_3=52,36$ %. Сондықтан хромды қалдықтар кешенді темір-хром-көміртеқұрамды жүйелерді дайындау үшін тікелей қолданылды.

Темір тотығының концентрациясы марганецті және де хромды қалдықтар сияқты сәйкес кешенді жүйе дайындау үшін жеткіліксіз. Сондықтан кешенді шихтаның құрамына қосымша темірқұрамды өндіріс қалдығы – прокаттық окалина енгізілген.

Дайындалған марганец пен хром қалдықтарынан дайындалған қоспаға темірі бар прокаттық окалинаның белгілі бір массалық үлесі енгізіледі. Марганецті және хром қалдықтарымен прокаттық окалина қоспасы 0,1-0,9 және 0,2-0,8 массалық арақатынаспен дайындалды.

Осы массалық қатынасқа сәйкес дайындалған кешенді шихтаның орташа өлшенген құрамы анықталды.

Марганец қалдықтары – прокаттық окалинадан және хром қалдықтары-прокаттық окалинадан тұратын тотықты кешенді жүйенің орташа өлшенген химиялық құрамы 4.2 кестеде көрсетілген.

4.2 кесте – Кешенді шихта материалдарының орташа өлшенген химиялық құрамы

Шихтаның атауы	Химиялық құрамы, %								
	Fe _{жалпы}	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S
Марганец 0,1-0,9	15,85	25,56	–	29,02	3,78	1,60	0,49	0,19	0,77
Марганец 0,2-0,8	21,50	22,76	–	25,80	3,36	1,42	0,44	0,17	0,65
Хромит 0,1-0,9	15,92	0,044	47,12	5,15	7,07	0,57	16,52	0,003	0,061
Хромит 0,2-0,8	21,56	0,085	41,88	4,57	6,29	0,42	14,70	0,004	0,05

4.2 кестеде ұсынылған кешенді жүйелердің құрамынан қатты көміртеқұрамды темір, марганец және хром тотықтары редуциялануы есепке алынды. Металдарды қатты көміртеқұрамды тікелей редуциялануына сәйкес әрбір кешенді жүйеге жұмсалатын қатты көміртектің стехиометриялық шығыны және биокөмір (ағаш көмір) түріндегі көмірқұрамды реагенттің енгізілетін мөлшері анықталды. Сонымен, кешенді жүйе темір-марганец-көміртеқұрамды және темір-хром-көміртеқұрамды шихта материалдарынан тұрады. Барлық кешенді жүйелерде пайдаланылған ағаш көмірі (биокөмір) шын мәнінде ағаштан емес, ауыл шаруашылық дақылдарының органикалық қалдықтарынан алынған. Пайдаланылған шихта компоненттерінің химиялық құрамы 4.3 кестеде көрсетілген.

4.3 кесте – Пайдаланылған компоненттердің химиялық құрамы

Материалдың атауы	Химиялық құрамы, %										
	Fe	FeO	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
Марганец қалдығы	11,21	–	28,35	–	32,25	4,20	1,78	0,55	0,8	0,21	–
Хром қалдығы	10,28	13,24	–	52,36	5,72	7,86	0,64	18,35	0,002	0,013	–
Прокаттық окалина	66,67	32,21	0,44	–	–	–	–	–	0,014	0,50	–
Ағаш көмірі (биокөмір)	–	–	–	–	1,02	0,26	–	–	–	0,37	98,0

Олардың тиімді физика-химиялық өзара әсерін қамтамасыз ету мақсатында әрбір жүйе жеке-жеке 4.2 суретте көрсетілген электр дірілдегіш ұнтақтағышта ұсақталды.



4.2 сурет – Шихта компоненттерін ұсақтайтын зертханалық қондырғы

Алынған фракциясы 1,0 мм-ден кіші дисперті қоспа құрамы редуциялау процестерін жүргізу үшін қажетті барлық химиялық компоненттерден тұрады. Алайда, редуция процесін ұйымдастыру одан әрі дайындық операцияларын жүргізуді қажет етеді. Мұндағы міндет кешенді жүйелердегі барлық металдарды қатты көміртекпен тікелей редуциялау эндотермиялық жылу әсерімен, яғни жылу энергиясын жұтумен бірге жүретіндігінде. Бұдан басқа, жүйенің өзі 700-1200 °С температураға дейін қызуы тиіс, ол металдарды тікелей редуциялану реакциясының басталуы және дамуы үшін. Осыған байланысты жүйенің қызуын және металдарды редуциялану реакцияларының қарқынды ағымын қамтамасыз ететін жылу энергиясының мөлшерін жеткізу тәсілі туралы мәселені шешу қажет болды. Дайындалған дисперті кешенді жүйеге жылуды тікелей жеткізу, біріншіден, газдардың CO, CO₂ реакция өнімдерінің қарқынды бөлінуіне және газ ағынымен бірге ұсақ

дисперсті бөлшектердің едәуір бөлігін шығарылуына алып келер еді. Екіншіден, жылу энергиясын таңдау да маңызды. Бұл жағдайда жылу энергиясының отын көзіне негізделген орынға жақын орналасу дұрыс, ол жылу бірлігіне есептегенде – ккал немесе кДж электрэнергиясынан алынатын жылуға қарағанда 4 есе арзан. Дәстүрлі технология, бүкіл әлемде, марганец пен хром кендерін электртермиялық пештерде өңдеу тәсіліне негізделген.

Отындық энергия көзінен кешенді жүйеге берілетін жылу энергиясын отынды жағу арқылы алу жүзеге асырылады және де жылу тасымалдаушы жоғары температуралы газ ағыны болып табылады. Жоғары температуралы газ ағыны-жылу тасымалдаушы және кешенді көміртекті жүйе арасында жылу алмасудың жүруі, ең алдымен, кешенді шихтаның тығыз қабатындағы газ өткізгіштігін қамтамасыз ету қажет. Дисперсті қоспа табақшалы түйіршіктегіште түйіршіктелді, 4.3 суретінде берілген.



4.3 сурет – Табақшалы зертханалық түйіршіктегіш

Түйіршіктеу процесінде байланыстырушы компонент ретінде органикалық байланыстырушы-меласс қолданылды.

Материалдың құрғақ массасына 3 % меласс және 6 % материал ылғалдылығы есебімен сумен меласс қоспасының ерітіндісін енгізді. Алынған және сұрыпталған 8,0-20,0 мм фракцияның түйіршіктелген материалы 4.4 суретте ұсынылған кептіру пешінде 400 °С температурада кептіріледі.



4.4 сурет –SNOL зертханалық кептіру пеші

Кептірудің 400 °С температуралық режимі кезінде кешенді жүйе құрамындағы қатты көміртек ауа атмосферасында редукцияланбайды. Екіншіден, оның металл тотықтарымен өзара әрекеттесу реакциясы да басталмайды. Түйіршіктерді кептіргеннен кейін, шахталық пеште тасымалдау, арту-тиеу және редукциялап күйдіру кезінде қажетті неғұрлым жоғары механикалық беріктікке ие болады. Ферромарганец пен феррохром алуға арналған шихтаның шлактүзуші компоненттерінің химиялық құрамы 4.4 және 4.5 кестелерде көрсетілген [69].

4.4 кесте – Ферромарганец алуға арналған шихта компоненттерінің химиялық құрамы

Материалдардың атауы	Химиялық құрамы, %									
	Fe	FeO	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
Марганец қалдығы	12,3	4,8	28,32	25,27	10,25	1,78	0,55	0,9	0,21	-
Марганец концентраты	11,21	-	40,12	10,5	6,72	1,70	0,42	0,81	0,20	-
Прокаттық окалина	67,65	28,25	0,23	-	-	-	-	0,017	-	-
Ағаш көмірі*	-	-	-	-	-	-	-	0,37	-	98,0

Ескертпе:* – қалғаны күл A^c = 1,63.

4.5 кесте – Феррохром алуға арналған шихта компоненттерінің химиялық құрамы

Материалдардың атауы	Химиялық құрамы, %											
	Fe _{жал.}	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	C
Қызыл темір тотығы	68,6	–	98,0	–	–	–	–	–	–	0,03	0,02	–
Хромит қалдығы	10,30	13,24	–	0,52	52,36	5,72	7,86	0,64	18,35	0,002	0,013	–
Ағаш көмірі*	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,37	98,0

Ескертпе: * – қалғаны күл А^c = 1,63.

4.4 кестеде марганец концентраты ретінде кесектелген және сұрыпталған марганец кені ұсынылады. Сондықтан онда марганец концентрациясы 40 %-ға жетеді, ал қалдықтарда 28,32 %-ға жетеді және кремнезем мен глиноземнің шлаққұраушы жыныстарға жататын жоғары пайызы болады.

«Арселор Миттал Теміртау» АҚ металлургиялық комбинатының темірқұрамды қалдықтарымен Жәйрем КБК марганец кендерін байытудан қалған қалдықтар түрлі массалық қатынастағы қоспасының құрамындағы металдарды тікелей редуциялау процестеріне қосымша эксперименттер жүргізілді. Қосымша жүргізілген үш тәжірибе бойынша байытылған марганец қалдықтарының химиялық құрамы 4.6 кестеде көрсетілген.

4.6 кесте – Байытылған марганец қалдықтары үлгілерінің химиялық құрамы

Тәжірибелер бойынша	Химиялық құрамы, %									Шығым кг/кг
	Fe	Feo	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	
1 тәжірибе	13,22	5,40	31,90	18,24	7,45	1,65	0,54	0,91	0,22	0,82
2 тәжірибе	14,30	5,55	33,01	15,32	6,22	1,60	0,53	0,88	0,24	0,78
3 тәжірибе	14,45	5,90	35,60	12,25	5,02	1,58	0,52	0,86	0,23	0,65

Үш тәжірибе бойынша байытылған марганец қалдықтарының масса бірлігінен (1 кг) күтілетін нәтиже кестенің соңғы бағанасында көрсетілген.

Ферроқорытпаларды редуциялап балқытуда шлақ түзуші процестің маңызы зор. 4.4, 4.5 кестеде ұсынылған шлақтүзуші компоненттердің құрамын ескере отырып, 93 % концентрациясы бар күйдірілген әк түрінде тағы да флюсті тотықты қоспаның құрамына енгізу қажеттілігі туралы қорытынды жасалды.

Ең алдымен, 4.4 және 4.5 кестелерде келтірілген тотықты компоненттерден марганец қалдығы + прокаттық окалина және хром қалдығы + темір тотығы қоспаларының орташаланған құрамын анықтадық.

Қоспалардың орташаланған химиялық құрамы 4.7 кестеде көрсетілген.

4.7 кесте – Темір тотығы бар прокаттық окалина менхром қалдықтарынан тұратын жәнeproкаттық окалина менбастапқы/байытылған (1,2,3) марганец қалдықтары қоспаның орташаланған химиялық құрамы

Материалдардың атауы	Химиялық құрамы, %								
	Fe	Cr ₂ O ₃	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
Марганецті қалдық(алғашқы)	15,62	–	26,63	23,75	9,63	1,67	0,52	0,84	0,197
Байытылған қалдық №1	15,94	–	30,32	17,33	7,08	1,56	0,51	0,86	0,20
Байытылған қалдық №2	16,96	–	31,37	14,55	5,90	1,52	0,50	0,84	0,23
Байытылған қалдық №3	17,10	–	33,83	11,64	4,77	1,50	0,49	0,22	0,22
Хромитті қалдық	13,16	49,68	0,506	5,43	7,46	0,61	17,43	0,012	0,002

Шлак түзетін тотықтардың концентрациясы бойынша алынған нәтижелердің негізінде келесіқатынас бойынша флюс шығыны анықталды.

$$B = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{CaO} + \text{MgO}) = 1,2.$$

4.7 кестеде ұсынылған бес позиция бойынша флюс шығыны: 0,39; 0,28; 0,23; 0,18; 0,00 кг/кг тотықты шихтаны құрады. Көріп отырғанымыздай, хромқалдықтары үшін флюс шығыны нөлге тең, өйткені оның құрамындағы негізгі тотық MgO өте жоғары. Бұдан әрі флюс шығынын ескере отырып, 4.8 кестеде ұсынылған флюстелген шихтаның орташаланған химиялық құрамы белгіленді.

4.8 кесте – Флюстелген шихтаның химиялық құрамы

Қалдықтардан алынған шихта	Химиялық құрамы, %								
	Fe	Cr ₂ O ₃	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
Марганецті қалдық(алғашқы)	11,25	–	19,17	17,10	6,93	27,0	0,37	0,60	0,14
Марганецті қалдық1	12,45	–	23,68	13,53	5,53	21,27	0,40	0,67	0,15
Марганецті қалдық2	13,79	–	25,50	11,83	4,80	18,43	0,40	0,68	0,18
Марганецті қалдық3	14,48	–	28,65	9,86	4,04	15,35	0,41	0,18	0,18
Хром қалдығы	13,16	49,68	0,506	5,43	7,46	0,61	17,43	0,012	0,002

Флюстелген марганецтішихтаның құрамын талдау және олардың диссоциация серпімділігінің термодинамикалық көрсеткіштері бойынша темір, марганец және кремний тотықтарының беріктік сипаттамалары негізінде металдарды тікелей редукциялау жүзеге асырылады, алдымен 600-1000 °C температура аймағында темір, одан кейін 1000-1250 °C температурада марганец және 1250 °C-тан жоғары температурада кремний редукцияланды.

Сондықтан бірінші кезекте редуцияланған металдық темір марганецті редуциялау және сіңіру үшін матрица болып табылатыны анықталды және оның редуциялану дәрежесінің жоғарылауына қарай ерітеді.

Темірдің, марганец және жартылай кремнийдің қолжеткізілген редуциялану дәрежелеріне сәйкес, редуционер реагент ретінде, флюстелген шихта материалдарының бірлігіне жұмсалатын көміртегі шығыны анықталды. Төрт қалдық бойынша қатты көміртегінің шығындық коэффициенті 4.9 кестеде берілген.

4.9 кесте – Элементтер бойынша ағаш көміріне қайта есептегендегі қатты көміртектің шығын коэффициенттері

Элемент бойынша	Алғашқы және байытылған қалдықтардың шығындық коэффициенттері (1, 2, 3) ретпен, кг/кг			
	бастапқы қалдық	байытылған қалдық №1	байытылған қалдық №2	байытылған қалдық №3
Темір бойынша	0,0312	0,0336	0,0364	0,0370
Марганец бойынша	0,1051	0,1124	0,1225	0,1321
Кремний бойынша	0,006	0,0070	0,0072	0,0075
Жалпы шығын	0,1423	0,1530	0,1661	0,1766

Хром шихтасының бірлігіне ағаш көмірдің шығыны 0,143 кг/кг құрады.

Флюстелген тотықты шихтаның құрамына ағаш көмірін енгізу оның құрамының өзгеруіне және көмірқұрамды моношихта алуға әкеледі. 4.9 кестеде ұсынылған позициялар бойынша ағаш көмірінің шығынын есепке ала отырып, моношихта түзетін флюстелген көміртекті шихта материалдарының орташа өлшемді химиялық құрамы анықталды және 4.10 кестеде көрсетілген.

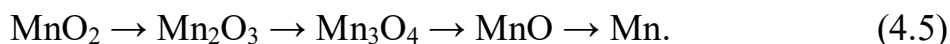
4.10 кесте – Көмірқұрамды марганец және хром шихта материалдарының химиялық құрамы

Қалдықтар негізіндегі шихта	Химиялық құрамы, %									
	Fe	Cr ₂ O ₃	Mn	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
1 марганецті	9,86	–	16,70	15,0	6,07	23,65	0,33	0,52	0,12	13,52
2 марганецті	10,81	–	20,56	11,74	4,80	18,46	0,35	0,58	0,13	14,60
3 марганецті	11,83	–	21,88	10,15	4,12	15,81	0,34	0,58	0,15	15,80
4 марганецті	12,32	–	24,38	8,39	3,44	13,06	0,35	0,15	0,15	16,72
Хромды	11,56	43,62	0,44	4,77	6,55	0,54	15,30	0,011	0,002	13,6

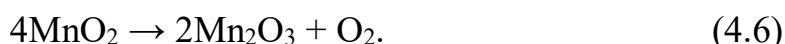
4.10 кестеде көрсетілген дисперсті шихтаның $\leq 1,0$ мм фракцияның барлық 5 позиция бойынша моношихтадан тұратын көмір-кенді жентектерді алу үшін өңдеуге ұшыраған және оның химиялық құрамы 4.10 кестедегі сияқты болып қалады.

4.1.2 Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртек құрамды материалдарды қатты фазалы редукциялау. Металданған өнімдердің зертханалық үлгілерін алу

Дайындалған тотықты жүйеден алынатын негізгі металдар марганец пен хром. Бастапқы концентратта марганец барынша тотыққан MnO_2 жағдайда кездеседі. Редукция фазалық өзгеріс бойынша тізбектей жүреді.



MnO_2 тотығының бірінші фазасы әлсіз химиялық қосылыстар болып есептеледі және оны $800\text{ }^\circ\text{C}$ дейінгі қыздыруда-ақ жеңіл диссоциацияланады:



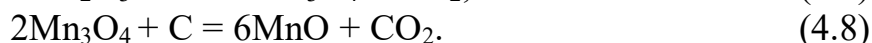
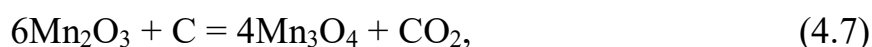
Жоғарыдан төмен тотықтарға өзгерген сайын тотықтардың химиялық беріктігі жоғарылайды, бұл олардың диссоциациясының серпімділік көрсеткіші деп аталады.

Хром концентратында хром оның тұрақты тотығы Cr_2O_3 түрінде болады, ол жоғары химиялық беріктікке ие. Марганецті концентратта да, хромды концентраттарда да темір тотығы бар, оның химиялық беріктігі нашар және марганец пен хромнан бұрын редукциялана бастайды. Темірді, марганецті және хромды редукциялау тәртібі температураға байланысты олардың тотықтарының серпімділігімен бағаланады, ол 4.11 кестеде берілген.

4.11 кесте – Қыздыру температурасына байланысты тотықтардың диссоциациясының серпімділік мәндері

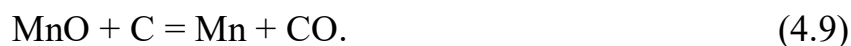
Тотықтар	Температура (К) кезіндегі диссоциацияның серпімділігі ($\lg P_{O_2}$)						
	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Mn_2O_3	-1,91	-1,27	-0,735	-0,28	-0,10	–	–
Mn_3O_4	-16,90	–	-12,65	–	-9,55	–	-7,22
MnO	-37,74	–	-30,60	–	-26,73	–	-23,33
Cr_2O_3	-30,12	-26,55	-23,58	-21,07	-18,21	-17,04	-15,41
Fe_3O_4	-18,89	–	-14,35	–	-10,39	–	-7,42
FeO	-20,84	-18,27	-16,13	-14,31	-12,75	-11,40	-10,22

Көрініп тұрғандай Mn_2O_3 және Mn_3O_4 тотықтары 1000-1400 К ($727-1127\text{ }^\circ\text{C}$) температура интервалында жоғары диссоциация серпімділігінің $-(1,91-(+0,1))$ және $-(16,9-9,55)$ шектік мәндеріне ие, олар қатты көміртекпен жеңіл редукцияланады.



Одан әрі қарай MnO тотығына өту кезінде диссоциация серпімділігі бірден $-(37,7-26,7)$ деңгейге дейін төмендейді және оның қатты көміртегімен

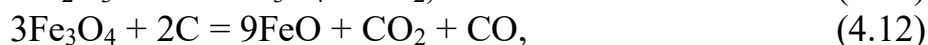
редукциялануы тек CO газының түзілуімен, (4.5) реакциясы бойынша анағұрлым жоғарғы температурады жүреді.



Cr₂O₃ хром тотығы диссоциацияның аз беріктігіне ие –(30,12-18,2) және оның қатты көміртегімен редукциялануы тек CO газының түзілуімен жүреді.



Fe₃O₄ және FeO тотықтарының диссоциациялық беріктігі 927-1027°C (1200-1300) K температура аймағында айтарлықтай жоғары мәнге ие –(14,35-16,13), темір металдық жағдайға дейін CO₂ және CO газдарын түзе отырып қатты көміртегімен жеңіл редукцияланады. Жоғарғы тотық - гематит MnO₂ сияқты еркін оттегіні бөле отырып диссоциацияланады, сондықтан негізінен CO₂ бөле отырып жүреді.



Осыдан металдарды редукциялау тәртібі: температура деңгейі 950-1050 °C болғанда темір толығымен металдық күйге дейін редукцияланады, MnO құрамындағы марганец және Cr₂O₃ құрамындағы хром енді ғана редукциялана бастайды және металдық жағдайға өтуі 1450-1500 K жоғары температура аймағында аяқталады. Металдық темірдің марганец пен хромның редукциялануынан бұрын пайда болуы қолайлы жағдай. Марганец пен хром экзотермиялық әсері бар металдық темірде жақсы ериді, бұл олардың түзілу реакциясының температурасының төмендеуіне алып келеді. Сондықтан бастапқы концентраттарда темір тотықтарының болуы практикалық мәнге ие.

Түйіршіктелген материал кептіргеннен кейін 38 мм кварц түтігінен жасалған зертханалық герметикалық ұяшыққа жүктеледі және оның ішіндегісімен СУОЛ-044 12-М2 қыздыру пешіне енгізді. Реакциялық камераны 10-15 °C/мин жылдамдықпен 1000-1150 °C деңгейіне дейін қыздырды, 40-50 мин бойына ұстап тұрады. Берілген температура кезінде тікелей редукциялау процесінің аяқталуы редукциялану реакциясынан газ өнімдерінің - CO₂ және CO бөлінуінің аяқталуымен белгілі болады [70]. Тәжірибе барысында редукциялау реакциясынан бөлінетін газ-өнімдерінің шығуы мен құрамы үздіксіз белгіленіп отырылды, бұл редукцияланған металл тотықтарынан газданған оттегінің мөлшерін теңдеуі бойынша бағалауға мүмкіндік берді:

$$\Delta O = V_{\Gamma} (\text{CO} + 2\text{CO}_2) \cdot 10^{-2}, \text{ кг} \quad (4.14)$$

мұндағы, V_{Γ} – бөлінетін газ мөлшері, м³

CO, CO₂ – ондағы тиісті газдардың концентрациясы, %.

Fe₂O₃→Fe; MnO₂→Mn; Cr₂O₃→Cr тотықтарындағы барлық газданушы оттегінің мөлшері бастапқы кешенді шихтаның химиялық құрамы бойынша бағаланды

$$O_2 = 10^{-2} [0,1427 \cdot Fe_{\text{общ}} (1 + 2R_{Fe}) + 0,2909 \cdot Mn \cdot (1 + R_{Mn}) + 0,316 \cdot Cr_2O_3 \cdot R_{Cr}], \text{ кг/кг} \quad (4.15)$$

мұндағы, Fe_{жал}; Mn; Cr₂O₃ – кешенді шихтадағы көрсетілген заттар концентрациясы, %;

R_{Fe}; R_{Mn}; R_{Cr} – сәйкесінше темір, марганец және хромның редуциялану дәрежесінің күтілетін мәні. Темір мен марганец шикізатта Fe₂O₃ және MnO₂ тотығы түрінде болады.

(4.15) теңдеуі бойынша, сондай-ақ редуцияланатын металл тотықтарынан, яғни темір, марганец пен хром тотықтарынан газданған оттегінің саны жекелей анықталды. Сонда кешенді шихта материалдарының үлгілері бойынша металл тотықтарының газданатын оттегінің мөлшері 4.12 кестеде көрсетілгендей тәртіппен бөлінеді.

4.12 кесте – Кешенді тотықты жүйелер үлгілерінде газданатын оттегі мөлшерінің таралуы

Шихта үлгілері	Газдандырылатын O ₂ саны			
	Темір тотығынан	Марганец тотығынан	Хром тотығынан	Сомасы
1 үлгі	0,0670	0,1301	0	0,1971
2 үлгі	0,0910	0,1158	0	0,2068
3 үлгі	0,0670	0	0,1191	0,1861
4 үлгі	0,0910	0	0,1058	0,1968

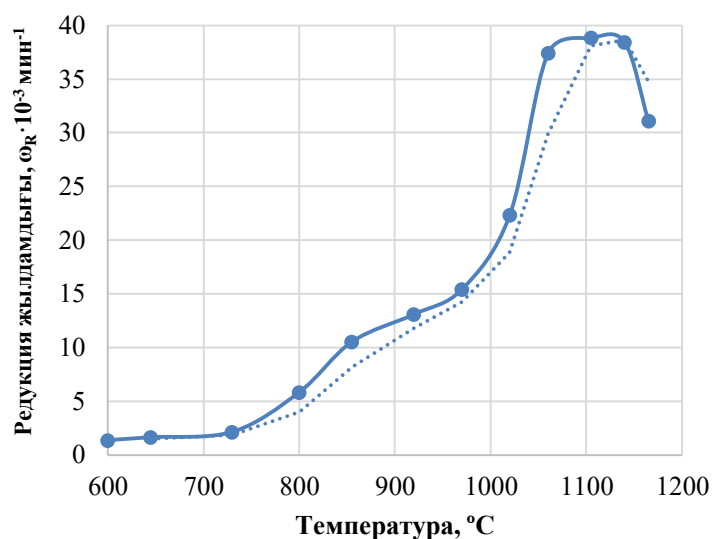
Шихтаны дайындау мен СУОЛ-044 12-М2 электрпешіне жүктеу және эксперименталды зерттеулер 2.3 бөлімде сипатталған әдіс бойынша жүргізілді.

Дисперсті материалдардың қоспасынан темірдің редуциялану процесінің нәтижелері 4.13 кестеде көрсетілген.

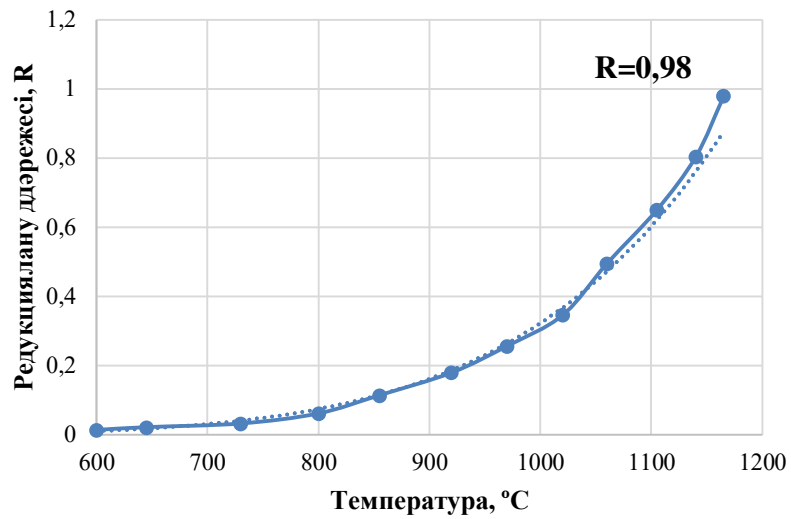
4.13 кесте – Дисперсті материалдардың қоспасынан темірдің редуциялану процесінің нәтижелері

Уақыт, мин	Т, °С	V _{газ} , л	Газ құрамы, %		$\Delta O_{(CO)}$, г	$\Delta O_{(CO_2)}$, г	ΔO_1 , г	ΔO , г	R, үлес бірл.	$\omega_R \cdot 10^{-3}$, мин ⁻¹
			CO	CO ₂						
0	500	Начало выделения газа								
10	600	0,12	73,3	26,7	0,0628	0,0458	0,1087	0,109	0,0135	1,35
15	645	0,19	68,0	32,0	0,0340	0,0320	0,0660	0,175	0,0216	1,62
20	730	0,28	66,8	33,2	0,0430	0,0427	0,0857	0,260	0,0322	2,12
25	800	0,54	73,4	26,6	0,1363	0,0988	0,2351	0,496	0,0613	5,82
30	855	1,0	70,8	29,2	0,2326	0,1919	0,4245	0,920	0,1139	10,52
35	920	1,54	63,0	37,0	0,2430	0,2854	0,5284	1,448	0,1793	13,08
40	970	2,18	63,8	36,2	0,2916	0,3310	0,6226	2,071	0,2563	15,40
44	1020	2,96	70,6	29,4	0,3933	0,3276	0,7209	2,792	0,3456	22,33
48	1060	4,33	76,4	23,6	0,7475	0,4619	1,2094	4,001	0,4952	37,40
52	1105	5,76	77,2	22,8	0,7884	0,4658	1,2542	5,256	0,6505	38,83
56	1140	7,19	78,4	21,6	0,8007	0,4412	1,2419	6,497	0,8042	38,43
60	1165	8,37	80,8	19,2	0,6810	0,3236	1,0046	7,502	0,9285	31,08
64	1195	8,92	86,0	14,0	0,3378	0,1100	0,4478	7,950	0,9840	13,88

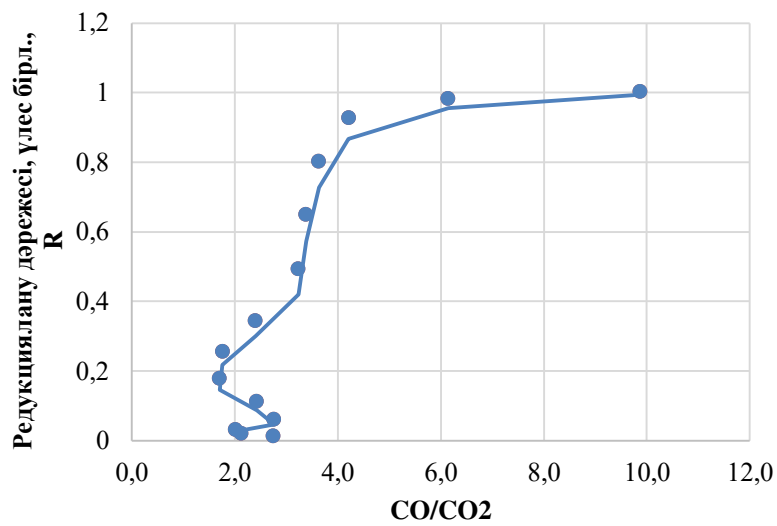
Тәжірибелік жұмыстардың барысында бөлінетін газдың мөлшері мен құрамы бойынша алынған нәтижелер негізінде редуциялану дәрежесінің, редуциялану жылдамдығының және бөлініп шығатын газдағы CO₂ тепе-теңдік концентрациясының температураға тәуелділігі 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 суреттерде көрсетілген.



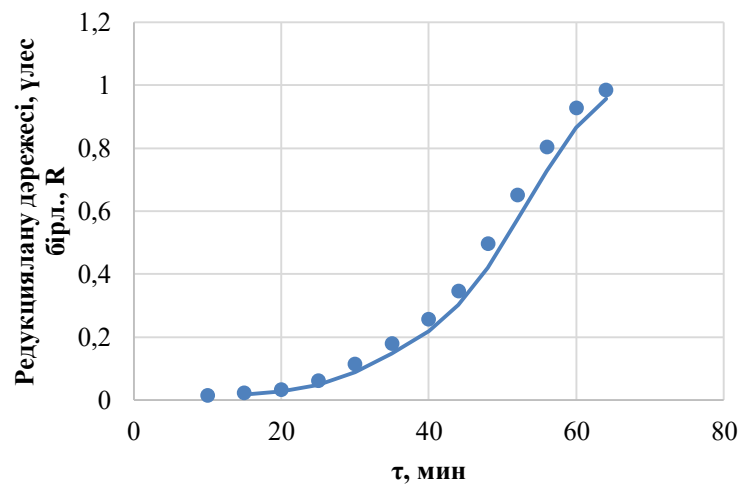
4.5 сурет – Редуция жылдамдығының температураға тәуелділігі



4.6 сурет – Темірдің редукциялану дәрежесінің температураға тәуелділігі



4.7 сурет – Редукциялану дәрежесінің CO/CO₂ газының қатынасына тәуелділігі



4.8 сурет – Редукциялану дәрежесінің уақытқа тәуелділігі

Графиктік тәуелділік бойынша жасалған қорытындылар:

1) 550-600 °С температурада СО және СО₂ газдарының бөліне бастауы байқалды, ары қарай температураның көтерілуі барысында шығарылатын газ құрамындағы СО₂ мөлшері барлық тәжірибе барысында өзгеріп отырғандығы және 700-750 °С және 920-970 °С температура кездерінде екі оптимум болатындығы байқалды, сәйкесінше құрамында 33 % СО₂ болады;

2) Қарқынды редуция 1000-1200 °С температура кезінде жүреді, ал ~1200 °С температурада СО және СО₂ түріндегі барлық газданған оттегі мөлшері тотық түріндегі Fe, Mn и Cr байланыстағы барлық оттегінің мөлшеріне тең;

3) Әрбір өлшенді бойынша СО және СО₂ түріндегі газдандырылған оттегінің мөлшері шихтадағы Fe, Mn және Cr тотықтарымен байланыстағы оттегінің есептік мөлшерімен салыстырғанда көп, бұл Fe, Mn және Cr шекті редуциясы, сондай-ақ Si, P және т.б. тотықтардың редуциясы жүргендігін дәлелдейді. Бұл құбылысты редуцияланған элементтер мен балқытылған металдандырылған жентектерге жасалған химиялық талдаулар нәтижелері де нақтылайды;

4) Fe, Mn және Cr тотықтарының редуциясының жиынтық жылдамдығы ~1000 °С кезінде бірқалыпты баяу өседі, ~1100 °С кезінде өзінің (қолайлы жағдайына) оптимумына жетеді, әрі қарай монотонды ~1200 °С дейін төмендейді.

Жоғарыда айтылған 1000-1200 °С температура кезінде реакцияның газ-өнімінің бөлінуінің аяқталуы барлық металдардың толық редуциялануын білдірмейді. Толықтай металдық күйге дейін редуцияланған тек қана темір. Көрсетілген температурада марганец (MnO) пен хром (Cr₂O₃) тотықтары толықтай редуциялана алмайды. Олардың металл күйге дейін толықтай редуциялануы үшін жоғарыда айтылғандай, жүйені 1200-1300 °С жоғары қыздыру қажет. Сондықтан олар бұл тәжірибелерде аздап қана редуциялана алады. Осыған қарамастан, кешенді шихта құрамында барлық алынатын металдарды редуциялануына арналған көміртектің стехиометриялық мөлшері бар. Сондықтан қатты көміртектің пайдаланылмаған бөлігі металдандырылған өнімде қалады, және де ол балқытуға дейін қыздырған кезде марганец пен хромның қалдық тотықтарымен сөзсіз өзара әрекетке түседі. Металданған өнімдер 1500-1600 °С температурада қорытпалар балқытуға арналғандықтан, редуцияланбай қалған тотықтар көміртегінің қалдық мөлшерімен редуциялануы мүмкін:



Сондықтан, металдандырылған өнімде тотық қалдықтары ΔMnO және $\Delta\text{Cr}_2\text{O}_3$ мен қатты көміртегінің аздаған мөлшерінің болуы заңдылық және мақсатты құбылыс болып табылады. 4.2 кестеде ұсынылған металл тотықты –

көміртеққұрамды кешенді жүйені қатты фазада редукцияландыру нәтижесінде металдандырылған өнімдер үлгісі алынды, олардың химиялық талдаулары 4.14 кестеде берілген.

4.14 кесте – Алынған металдандырылған өнім үлгілерінің химиялық құрамы

Металданған өнімдердің үлгілері	Химиялық құрамы, %									
	Fe _{жалпы}	Fe _{Me}	Mn _{Me}	MnO	Cr _{Me}	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	C
№1 үлгі	17,12	16,78	0,68	34,28	0	0	31,3	4,08	0,52	5,3
№2 үлгі	23,67	23,2	0,70	28,47	0	0	28,4	3,7	0,48	5,0
№3 үлгі	16,70	16,35	0	0	1,2	43,3	5,39	7,4	17,3	8,6
№4 үлгі	22,45	22,0	0	0	1,4	40,8	4,76	6,55	15,3	8,2

Талдау нәтижесінен көрініп тұрғандай, металдандырылған өнімдерде бір мезгілде MnO және Cr₂O₃ тотықтарының, сондай-ақ қатты көміртегінің елеулі концентрациялары болады. Әрбір жолда көміртегінің ұсынылған және қалдық концентрациясы, олардың 0,75 және 0,80 сәйкес редукциялану дәрежесі марганец пен хром тотықтарын металдандыру үшін жеткілікті. Әрине, мұның бәрі 1200-1400 °C жоғары температураға дейін қыздырылғанда болады, балқыту процесімен бірге жүреді. Сондықтан да, балқыту процесінің бастапқы сатысында – бұл 1200-1400 °C аймағы, марганец пен хромның қатты көміртекпен металл күйге дейін редукциялануы міндетті түрде жүреді. Сонымен, 1 және 2 металданған үлгілерді балқыту кезінде темір-марганецті қорытпалары, ал 3 және 4 металданған үлгілерді балқыту кезінде темір-хромды қорытпалар алынады.

4.1.3 Металданған өнімдерді балқыту, ферромарганец пен феррохромның зертханалық үлгілерін алу

4.10 кестеде ұсынылған моношихтаның химиялық құрамы бойынша қорытпаларды есептеп шығару белгілі болды. Темір-марганец-көміртеқ құрамды моношихтадан 4.10 кестесінде көрсетілген төрт позиция бойынша қорытпалардыңшығымы мына тәртіп бойынша анықталды, кг/кг:

$$1) e_m = 0,335; 2) e_m = 0,365; 3) e_m = 0,377; 4) e_m = 0,39;$$

Темір-хром-көміртеқ құрамды моношихтадан $e_m = 0,38$ кг/кг.

Әрбір моношихта металдандырылып балқытылғаннан кейін темір-марганец және темір-хром қорытпаларының үлгілері алынды, олардың химиялық құрамы есептелген мәндерге жақын келді.

4.15 кесте – Қорытпалардың химиялық құрамы

Моношихтаның орналасу тәртібі	Металдың шығымы кг/кг	[C]	[Mn]	[Cr]	[Si]	[S]	[P]	Қалғаны Fe
Моношихта 1	0,340	0,45	50,0	-	2,25	0,33	0,10	Fe
Моношихта 2	0,360	0,52	51,2	-	2,5	0,35	0,10	Fe
Моношихта 3	0,375	0,48	50,68	-	2,85	0,36	0,12	Fe
Моношихта 4	0,395	0,56	52,38	-	2,74	0,38	0,11	Fe
Хромитті моношихта	0,390	0,58	0,50	59,05	2,35	0,020	0,005	Fe

Химиялық талдау алынған конвертерлік болаттарды легірлеу үшін қажетті жеткілікті түрде сапалы марганец-хромқұрамды қорытпалардың алынғандығын көрсетті.

4.14 кестеде ұсынылған марганец пен хром қалдықтарынан алынған металдандырылған өнімдер жеке балқытылды.

Металданған үлгілерді 100 гр. массалық реті бойынша Тамман пешінде балқыту, салмағы 38,7-ден 45 гр-ға дейін массалы қорытпа балқымаларын алуға мүмкіндік берді. Алынған қорытпалардың химиялық құрамы 4.16 кестеде көрсетілген.

4.16 кесте – Балқытылған қорытпалардың химиялық құрамы

Балқытылған өнімдердің үлгілері	Металдың шығымы, гр.	Химиялық құрамы, %						
		[Mn]	[C]	[Si]	[Fe]	[Cr]	[S]	[P]
1 үлгі	37,8	51,68	2,30	1,65	43,54	-	0,035	0,032
2 үлгі	41,7	41,36	1,25	1,18	55,60	-	0,032	0,034
3 үлгі	42,6	–	1,45	0,85	38,43	58,40	0,025	0,015
4 үлгі	45,7	–	1,56	0,75	48,15	48,9	0,023	0,018

Талдау нәтижесінен көрініп тұрғандай, 1 және 2 үлгілерін балқыту кезінде сәйкесінше құрамында 51,68 % және 41,36 % марганец бар ферромарганец алынды және 3 және 4 үлгілерін балқыту кезінде құрамындай сәйкесінше 58,40 % және 48,9 % хром бар феррохром құймалары алынды.

Қорытылған үлгілер қалдықтардан алынған, олардың өзіндік құны тауарлық концентраттардың өзіндік құнынан бірнеше есе төмен.

4.1.4 Кешенді хром-марганецті қорытпа алу

Кешенді марганец пен хромқұрамды қорытпаларды алу үшін қорытпадағы марганец концентрациясына [Mn] байланысты массалық қатынасқа сай компоненттер пайдаланылды. Хром қалдықтарын негізге ала отырып, қоспадағы марганец қалдықтарының массалық үлесі баланстық теңдеу арқылы анықталды.

$$[Mn] = \frac{(1-\gamma_{Mn}) \cdot R_{Mn} \cdot Mn' + \gamma_{Mn} \cdot R_{Mn} \cdot Mn''}{e_{Cr_{сн}} \cdot (1-\gamma_{Mn}) + e_{Mn_{сн}} \cdot \gamma_{Mn}}, \% \quad (4.18)$$

Бұл теңдеудің қалыптасуы қоспадағы марганецтік қалдықтың массалық үлесіне қатысты өзгеруі – γ_{Mn} есептеу формуласын алуға мүмкіндік берді

$$\gamma_{Mn} = \frac{[Mn] \cdot e_{Cr_{ср}} - R_{Mn} \cdot Mn'}{[R_{Mn} \cdot (Mn'' - Mn') + [Mn](e_{Cr_{ср}} - e_{Mn_{ср}})]} \quad (4.19)$$

мұндағы, Mn' , Mn'' – хром мен марганец қалдықтарындағы марганецтің концентрациясыны сәйкес мөлшері, %;

R_{Mn} – марганецтің редукциялану деңгейі.

Мысалы. Қажетгі марганец концентрациясын ала отырып кешенді марганец-хром қорытпаларын балқыту үшін қоспадағы марганец қалдықтарының массалық үлесін анықтау $[Mn] = 20$ %.

(4.19) теңдеуі бойынша сәйкес мәндерді қою:

$$e_{Cr_{ср}} = 0,395; e_{Mn_{ср}} = 0,342; Mn' = 0,506 \%; Mn'' = 28,65 \%; R_{Mn} = 0,75; [Mn] = 20 \%;$$

Мынаны аламыз:

$$\gamma_{Mn} = \frac{20 \cdot 0,395 - 0,75 \cdot 0,506}{[0,75(28,65 - 0,506) + 20(0,395 - 0,342)]} = \frac{7,52}{21,108 - 1,06} = \frac{7,52}{20,048} = 0,375.$$

Одан әрі кешенді қорытпаларды алу үшін шихта дайындау технологиясы кешенді қорытпада марганецтің берілген концентрациясын алу үшін сынақтан өтті $[Mn] = 10; 15; 20; 25; 30$ %.

(4.19) формула бойынша марганецтің әрбір берілген концентрациясы үшін хром-марганец қалдықтарынан алынған шихта қоспасындағы марганец қалдықтарының массалық үлесі анықталды. Олар көрсетілген марганец концентрациясының реті бойынша 0,173; 0,273; 0,375; 0,480; 0,587 сәйкес болады. Аталған марганец қалдықтарындағы хром мен марганец қалдықтарының массалық үлестері араластырылып, қоспаның орташа өлшенген химиялық құрамы анықталды, ол 4.17 кестеде келтірілген.

4.17 кесте – Қоспаның орташа өлшенген химиялық құрамы

Хром кені+ марганец кенікомпоненттерінің арақатынасы	Қоспаның химиялық құрамы, %									
	Fe	FeO	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
0,827-0,173	10,65	11,13	5,31	43,18	9,07	8,24	0,84	15,20	0,15	0,037
0,727-0,273	10,80	10,08	8,09	37,86	11,05	8,47	0,95	13,42	0,25	0,058
0,625-0,375	11,05	10,07	10,94	32,72	13,05	8,75	1,07	11,67	0,34	0,08
0,52-0,48	11,26	9,18	13,85	27,23	15,10	9,00	1,18	9,81	0,44	0,10
0,413-0,587	11,47	8,28	16,83	21,63	17,20	9,26	1,31	7,90	0,53	0,25

SiO₂ шлак түзуші тотықтардың құрамы бойынша алынған қоспада Al₂O₃; CaO; MgO қатынастар бойынша шихтаның негізділігін анықтау:

$B=(CaO+MgO)/SiO_2+Al_2O_3$) 4.17 кестеде көрсетілгендей бес позиция бойынша мынаны құрады: $B_1=16,4/16,3=1,0$; $B_2=14,37/19,52=0,736$; $B_3=12,74/21,80=0,585$; $B_4=11,0/20,56=0,535$; $B_5=9,21/26,46=0,348$.

Көрініп тұрғандай, шихтаның негізділігі тек бірінші позицияда ғана шлак түзілу процесін қанағаттандырады. Ал қалған төрт позиция бойынша шихтаның негізділігін реттеу үшін құрамында $CaO = 93 \%$ болатын флюсті қосуды қажет.

4 позиция бойынша флюстың шығыны 4.17 кестеде мынандай мәндермен көрсетілген:

$$g_{ф2} = 0,080 \text{ кг/кг}; g_{ф3} = 0,125 \text{ кг/кг}; g_{ф4} = 0,172 \text{ кг/кг}; g_{ф5} = 0,219 \text{ кг/кг}.$$

Бірінші позиция бойынша шихтаның құрамы өзгеріссіз қалады, ал қалған 4 позиция бойынша флюс қосылған шихта құрамдары 4.18 кестеде келтірілген.

4.18 кесте – Кешенді қорытпа алуға арналған флюсті шихтаның құрамы

Компоненттердің арақатынасы бойынша шихта	Химиялық құрамы, %									
	Fe	FeO	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P
0,827-0,173	9,65	11,13	5,31	43,18	9,07	8,24	0,84	15,20	0,15	0,037
0,727-0,273	10,00	10,07	7,50	35,06	10,23	7,84	8,32	12,42	0,23	0,053
0,625-0,375	9,82	8,95	9,73	29,09	11,60	7,78	12,57	10,37	0,30	0,07
0,520-0,480	9,60	7,83	11,81	23,23	12,88	7,68	17,0	8,36	0,37	0,08
0,413-0,587	9,41	6,79	13,80	17,74	14,10	7,59	21,44	6,48	0,43	0,20

Алынған флюсті шихта редуциялап балқытып, кешенді қорытпалар алуға арналған. Сондықтан әрбір позиция бойынша оның құрамына көмірқұрамды редуциялаушы реагент ендірілген.

Fe, Mn, Cr металды тікелей редуциялау көміртек құрамды реагенттердің шығынын математикалық теңдеу түріндегі авторлардың жасақталған әдістемесі бойынша анықталды:

$$g_{C/yr} = \frac{0,75 \cdot [0,332 \cdot Fe - 0,0777 \cdot R_{Fe} \cdot FeO + 0,2909 \cdot R_{Mn} \cdot Mn + 0,316 \cdot R_{Cr} \cdot Cr_2O_3]}{C_{yr}} \quad (4.20)$$

мұндағы C_{yr} – байытылған көмірдегі көміртегінің концентрациясы, %.

Редуциялаушы реагент ретінде ағаш көмірі қолданылды, ондағы көміртегінің мөлшері $C = 95 \%$ жетеді.

Бес позиция бойынша орташаланған және флюстелген шихта құрамы қорытпадағы берілген марганец концентрациясына сәйкес шихтаның мынандай массалық қатынастары үшін шихтаның кендік бірлігіндегі ағаш көмірінің шығыны анықталған.

$$0,827-0,173 \quad g_{C/yr}=0,124 \text{ гр/гр}$$

$$0,727-0,273 \quad g_{C/yr}=0,118 \text{ гр/гр}$$

0,625-0,375	$g_{C/yr}=0,114$ гр/гр
0,52-0,48	$g_{C/yr}=0,111$ гр/гр
0,413-0,587	$g_{C/yr}=0,107$ гр/гр.

Есептелген көмір шығыны флюсті шихтаның бірлік массасына қосылған, одан кейін жаңа құрам флюстелген көміртекқұрамды шихта алынды. Флюстелген көміртекқұрамды шихта қоспасы алдын ала 1,0 мм фракцияға дейін ұнтақталған, одан табақшалы түйіршіктегіште көмір-кенді жентектер алынған.

Дайындалған көмір-кенді жентектердің химиялық құрамы көрсетілген позициялар бойынша 4.19 кестеде берілген.

4.19 кесте – Көмір-кенді жентектердің химиялық құрамы

Компоненттердің арақатынасы бойынша шихта	Химиялық құрамы, %										
	Fe	FeO	Mn	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	P	C
0,827-0,173	9,48	9,90	4,73	38,43	8,07	7,33	0,75	13,53	0,13	0,033	10,5
0,727-0,273	8,94	9,00	6,71	31,35	9,15	7,00	7,44	11,10	0,20	0,047	10,02
0,625-0,375	8,82	8,04	8,74	26,12	10,41	6,99	11,28	9,31	0,27	0,062	9,73
0,52-0,48	8,64	7,05	10,63	20,90	11,59	6,91	15,30	7,52	0,33	0,072	9,50
0,413-0,587	8,50	6,14	12,48	16,04	12,75	6,86	19,35	5,80	0,39	0,18	9,30

Кешенді қорытпадағы берілген марганец концентрациясына байланысты флюсті шихтадағы марганец қалдықтары мен марганец концентраттарының массалық үлесін реттеу көмір-кенді жентектердің химиялық құрамын шығаруға және 4.9 суретте берілген графикалық тәуелділікті тұрғызуға мүмкіндік берді.

Алынған көмір-кенді жентектердің химиялық құрамы бойынша әрбір жентекте қажетті барлық компоненттердің, Fe, Mn, Cr редуциялануына арналған көміртегінің, шлак түзуші процестерге арналған флюстің болатындығы; кешенді балқыма алуға арналған хром мен марганец концентрациясының қатынасы болатындай реттелген.



4.9 сурет – Кешенді қорытпадағы берілген марганец концентрациясын флюсті шихтадағы марганец қалдықтары мен марганец мөлшерінің массалық үлесіне тәуелділігі

4.20 кесте – Балқытылған кешенді қорытпалардың химиялық құрамы мен шығуы

Балқытылған өнімдердің атауы	Металл шығымы, гр.	Химиялық құрамы, %						
		[Mn]	[Cr]	[Fe]	[C]	[Si]	[S]	[P]
1 үлгі	35,9	9,89	62,25	25,87	1,25	0,35	0,15	0,06
2 үлгі	32,2	15,62	54,62	27,28	1,35	0,42	0,12	0,05
3 үлгі	30,6	21,40	48,46	28,23	1,18	0,43	0,13	0,05
4 үлгі	28,87	27,60	41,08	29,30	1,30	0,38	0,14	0,065
5 үлгі	27,34	34,23	33,31	30,46	1,38	0,42	0,12	0,07

Көріп тұрғанымыздай, балқыту процесінде құйма үлгілері алынды, құрамы кешенді қорытпаларға сәйкес келеді, марганец, хром және темірден тұрады. Қорытпадағы жинақ концентрация $[Cr]+[Mn]=67,54\div 72,14$ % шегінде, бұл стандартты ферроқорытпалар шегіне жатады.

4.2 Тәжірибелік зерттеулердің нәтижесін талдау

Барлығынан бұрын, ұсақ қалдықтардан шихта дайындау дәстүрлі технология бойынша дайындау қағидалардан принципті түрде ерекшеленетінін атап айтқан жөн. Дәстүрлі технология бойынша шихта кесекті тотықты материалдардан (кен) және редукциялаушы реагент ролін атқаратын кесекті кокстен дайындалады. Қатты фазада металдарды көміртеппен редукциялау

процесінің теориялық ережесінде мынандай критерий қалыптасқан, шихта қабатында реакциялық жанасу беті (РЖБ) деген ұғым қалыптасқан. Кесекті кен мен кокстен тұратын шихта қабатында бұл критерий бірлік массасында соншалықты аз, қатты фазада реакция мүлдем жүрмейді. Егер шихта дисперсті (шашыранды) тотықты матриалдар мен көмірден тұрса, мысалы фракция 1,0 мм кіші, онда қабатта РЖБ мыңдаған есе артады және тотық пен қатты көміртегі арасында 600 °С температурадан бастап темірдің тікелей редуциялану реакциясы жүреді, ал 1000-1100 °С температурадан бастап марганец пен хром температураның көтерілуімен қарқындалады. Міне сондықтан, марганец пен хром кендерінің ұсақ қалдықтарынан және редуциялаушы реагент көмірдің стехиометриялық мөлшерінен көмір-кенді қоспа дайындалады, ары қарай түйіршіктегіштерде түйіршектеледі. Нәтижесінде көмір-кенді жентек алынады. Сонымен, әрбір жентек құрамындағы темір, марганец және хром металдарын толықтай редуциялау үшін қажетті көміртегі болады.

Орындалған эксперименттік зерттеулердің нәтижелері темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртекқұрамды дисперті жүйелерді дайындаудың жаңа бағытын жүзеге асыру, оларды кейіннен түйіршіктеу және металдандыру мүмкіндігін көрсетті. Кешенді жүйелерді дайындаудың дәл осындай тәртібі металдарды көміртекпен қатты фазалық редуциялау процесін жүзеге асыруға және металданған өнімдердің үлгілерін алуға мүмкіндік береді.

Процестерді ұйымдастырудың ерекшелігі металдандырылған өнімдерден алынатын үлгілердің және олардан балқытылған ферромарганец және феррохром қорытпа үлгілерінің химиялық құрамы кешенді жүйелерді дайындау кезінде алдын ала болжанып отыратындығында.

Металл тотығының редуциялануреагентімен өзара әрекеттесуі металл немесе оның төмен тотығының және басқа да реакциялардың газ тәрізді өнімдері тотығының пайда болуымен бірге жүреді. Олардың массалық арақатынасы қандай да бір тотықтардың химиялық беріктігіне немесе басқаша айтқанда, осы температура кезінде олардың диссоциациясының серпімділігіне, атмосфераның түріне және жүйенің үстіндегі газдың парциалды қысымына байланысты болады.

Көмір-кенді жентектерінің дәл осындай құрамықатты фазалы металдандырып қыздыру кезінде – R_{Fe} темірдің, R_{Mn} марганецтің, R_{Cr} хромның редуциялану дәрежесін және R_{Fe} металданған өнімдегі темірдің концентрациясы көрсеткіштерін қамтамасыз етті, оның нәтижелері 4.21 кестеде келтірілген.

4.21 кесте – Темірдің R_{Fe} , марганецтің R_{Mn} , хромының R_{Cr} редуциялану дәрежесі және R_{Fe} металданған өнімдегі темірдің концентрациясы [71]

Сипаттамалары	Көрсеткіштер
Редуциялану дәрежесі R_{Fe}	0,98
Редуциялану дәрежесі R_{Mn}	0,75
Редуциялану дәрежесі R_{Cr}	0,80
Металданған өнімдердегі темір концентрациясы Fe_{Me} , %	16-25

Жүйеге енгізілетен қатты көміртегінің мөлшерін реттей отырып металл тотықты – көміртекқұрамды кешенді жүйеде металл тотықтарының қатты фазадаредукциялануынұйымдастыру және жүзеге асыру балқытылып алынған металдардың көміртектенуі (науглероживание) сияқты маңызды мәселенің алдын алуға мүмкіндік берді.

Осы жұмыстағы тәжірибелік зерттеулер дифференциалдық әдіс бойынша жүргізілген. Көмір-кенді жентектер хром мен марганец кендері негізінде дайындалған.

Сәйкес шихта бірлігіне ағаш көмірінің шығыны, бірінші шихтада темірдің, марганецтің, екінші шихтада темір, хромның редукциялану стехиометриясына сүйене отырып анықталды. Көмір-кенді шихта қоспасы $\leq 1,0$ мм фракцияға дейін ұнтақталды және табақшалы түйіршіктегіште түйіршіктелді. Байланыстырушы материал ретінде меласс ерітіндісі пайдаланылды. Фракциясы 8,0-20,0 мм болатын көмір-кенді жентектер алынды, ол 350-400 °С кептіргеннен кейін 200 гр. жентек герметикалық отқа төзімді ұяшыққа салынады. Ұяшықтың ішіндегісімен алдын ала 400 °С дейін қыздырылған RHTC 80-230/15 1550 °С Controller B410 кедергілік құбырлы электрпешіне салынады, ол реакциялық зонасында 1550 °С дейінгі температураны қамтамасыз етеді.

Химиялық құрамнан көрініп тұрғандай, балқытылған металл үлгілері айтарлықтай сапасы жоғары ферромарганец пен феррохромға сәйкес келеді. Сәйкес кендерді байытудан жинақталып қалған ұсақ қалдықтардан алынған мұндай сападағы феррохром мен ферромарганецтің тәжірибелік маңызы бар. Жоғарыда сипатталған көмір-кенді материалдарды дайындау жүйесі тауарлық кендерге байланысты да қолданылған.

Редукциялап балқыту процесінің тиімділігіне кесек кендер мен көмірден емес алдын ала ұсақталып, ұнтақталған компоненттерден көмір-кенді қоспаларын дайындау арқылы қол жеткізуге болады. Дисперсті көмір-кенді қоспаларды қалыптастыру РЖБ жүйесін дамытуды қамтамасыз етеді, бұл металдарды тікелей редукциялау кинетикасында аса маңызды.

4 бөлім бойынша қорытынды

1. Дайындау мен өңдеу үшін таңдап алынған марганец пен хром кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтардың құрамында бағалы – марганец, темір және хром тотықтар түрінде кездеседі. Редукциялаушы реагент ретінде редукциялаушы потенциалы жоғары қатты көміртегі алынған және жоғарыда аталған металдарды толықтай бөліп алу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

2. Қатты көміртегімен металдардың тікелей редукциялау механизімін талдау металл тотықтарының бөлігі мен қатты көміртегі арасындағы реакциялық жанасу беті (РЖБ) сияқты критерияның әсері бар екенін көрсетті.

3. РЖБ мәнінің металл тотығы және көміртекқұрамды реагенттердің фракциялық көлеміне тәуелді екені белгілі болды: қатты реагент бөлшектерінің көлемі кіші болған сайын РЖБ соншалықты жақсы дамиды.

4. Марганец және хром қалдықтарын өңдеуге дайындау процесінде өлшемі 1,0 мм кіші фракциядан тұратын сәйкес қоспалар жасалды, бұл шихтаның кесек компоненттерімен салыстырғанда металл оксидтерінің қатты бөлшектері мен көміртегі арасындағы РЖБ 1000 есе арттырады.

5. Дисперсті көмір-кенді қоспалардан алынған 8,0-20,0 мм фракциялы көмір-кенді жентектер (ККЖ) моношихтаны құрайды, және де құрамында қажетті металдар құрамын алу үшін барлық компоненттер бар.

6. 1000-1100 °С температурада ККЖ-ді металдандыру бойынша эксперименталдық жұмыстар орындалды, онда темір толық металл күйіне дейін қатты көміртегімен редуцияланды және жентектердің кеуектілігі мен беріктігін қамтамасыз еткен металдық байланыстырғыш рөлін атқарды.

7. Сәйкес ККЖ құрамындағы марганец және хром металдарын қатты көміртекпен тікелей редуциялау темірге қарағанда жоғары температурада 1250-1400 °С жүреді, сондықтан металданған жентектерді балқыту процесіне дайындалды.

8. Алдын ала металдандырылған жентектерді балқыту 1550-1600 °С температурада балқыту пешінде жүргізілді, марганец жентек бірлігінен 0,342 кг/кг, ал хром жентектерінен 0,395 кг/кг металл балқытып алуға мүмкіндік берді.

9. Масс-спектрометриялық аппаратта алынған металл үлгілерін талдау олардың химиялық құрамында сәйкесінше $[Mn] = 50-52,38 \%$, $[C] = 0,45-2,30 \%$ және $[Cr] = 48,9-59,05 \%$, $[C] = 0,58-1,56 \%$ бар марганецқұрамды және хромқұрамды қорытпаларға сәйкес келетінін көрсетті.

10. Хром және марганец қалдықтарының берілген массалық арақатынасынан кешенді қорытпаларды алу, сондай-ақ көмір-кенді қоспа мен көмір-кенді жентектерді алудың аралық процестерін ұйымдастыру, металдандыру және соңғы балқыту бойынша бірқатар тәжірибелік зерттеулер орындалды.

11. Тізбектеліп балқыту нәтижесінде олардың жинақтық концентрациясы шегінде $[Cr] + [Mn] = 67,54 \div 72,14 \%$ хром мен марганецтің концентрациясын реттеп отыратын кешенді қорытпа үлгісі алынды.

12. Көмір-кенді қоспаны жасау мен алынатын металдарды толықтай редуциялауға жұмсалатын көміртегінің стехиометриялық шығынын реттеуге, эксперименталдық зерттеулердің нәтижесіне қол жеткізуге және ферромарганец, феррохром мен кешенді қорытпа – хром-марганец ферроқорытпаларын артық көмірсіз, көміртегінің деңгейі $[C] = 0,25-0,55 \%$ болатын концентрациясы төмен және орташа көміртекті ферроқорытпалар алуға мүмкіндік береді.

13. Экспериментальдық жолмен алынған ферроқорытпалар үлгілері химиялық құрамы бойынша стандартты қорытпаларға сәйкес келеді және оларды қосымша көміртексіздендіру үшін қайта өңдеудің қажеті жоқ.

14. Жалпы алғанда кешенді тәжірибелік зерттеулер нәтижелері марганец және хром кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтарды өңдеу мүмкіндігін

және жинақталған қалдықтардан сапалы тауарлық металл өндіру мүмкіндігін көрсетті.

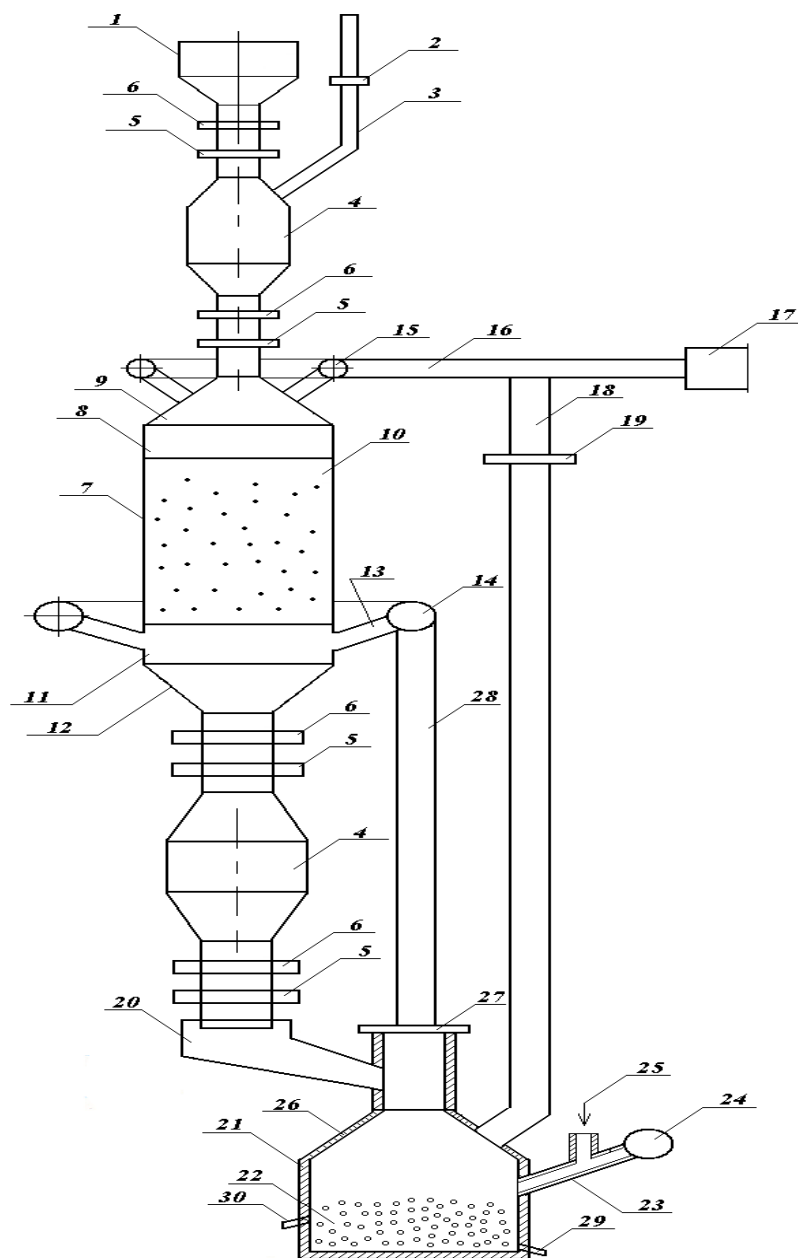
5 МАРГАНЕЦ ПЕН ХРОМ КЕНДЕРІН БАЙЫТУДАН ҚАЛҒАН ҰСАҚ ҚАЛДЫҚТАРДАН ФЕРРОМАРГАНЕЦ ПЕН ФЕРРОХРОМДЫ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАҚТАУ

5.1 Темір-марганец-көміртекқұрамды және темір-хром-көміртекқұрамды моношихтаны дайындау және оны редуциялап-балқыту технологиясын жасақтау

Жасақталған технология отын энергиясын қолдануға негізделген, ал қазіргі қолданыстағы технологиялар тек электрэнергиясымен жұмыс істейді. Сондықтан, отын энергиясына, марганец пен хром кендерінің қалдықтарын өңдеуге негізделген технология соңғы өнім - қорытпаның өзіндік құнын кемінде 3,0-3,5 есе төмендеуді қамтамасыз етеді. Бұл ретте қорытпаның кешенділігі мен сапасы оларды өндіру мен пайдаланудың тиімділігін арттыруға қосымша мүмкіндіктер береді. Біріншіден, электртермиялық пештерде дәстүрлі технология бойынша ферроқорытпалар алуекі сатыдан тұрады: 1) жоғары көміртекті ферроқорытпа өндірісі; 2) көміртегі концентрациясын 1,2-2,0 % деңгейге дейін төмендету үшін бастапқы ферроқорытпаны тазарту. Жасақталатын технология бір сатылы процеске негізделген. Металдарды редуциялауға жұмсалатын қатты көміртегінің шығының реттеу, оның металды балқымадағы артықмөлшерін шектейді, құрамында көміртегінің мөлшері стандартты және белгіленген мөлшерде болатын соңғы өнім алуға мүмкіндік береді.

Темір-марганец-көміртек және темір-хром-көміртекқұрамды жүйелерді металдандыру және олардан тиісті ферроқорытпаларды отын энергиясын пайдалана отырып балқыту процестерін ұйымдастыру принциптік жаңашылдыққа және жоғары техника-экономикалық әсерге ие.

Технологияны сипаттау. Шахталық пештерде дайындалған шихталық материалдарды кешенді металдандыру және балқыту агрегаттарында оларды металдық өнімге дейін балқыту жүйесі әзірленді. Жұмыстың барлық кешендері отын жылу энергиясымен жұмыс істейді және жүйелі түрде 5.1 суретінде көрсетілген:



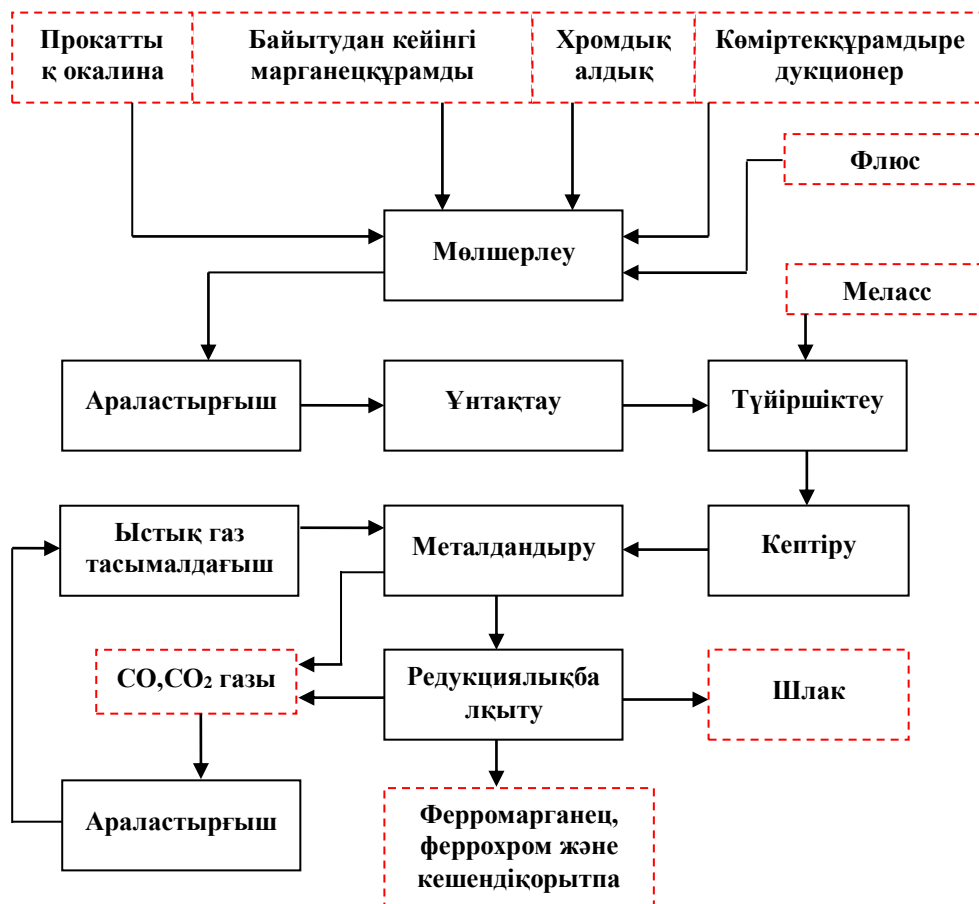
1 – қабылдаушы құрылғы; 2 – атмосфералық шығару қақпақшасы;
 3 – атмосфералық газшығару; 4 – шлюзды камера; 5 – газды қақпақша; 6 – шихталы тықпа қақпақ (шихтовый затвор); 7 – шахта пеші; 8 – колошник; 9 – пеш күмбезі; 10 – шихта бағаны; 11 – пешқазан (распар); 12 – иықтама (запечики); 13 – түтік; 14 – сақиналы газ құбыры; 15 – сақиналы газ шығарғыш; 16 – тікелей газ шығарғыш; 17 – жалпы зауыттық газ коллекторы; 18 – айналмалы газға арналған құбыр; 19 – газшибері; 20 – шығарушы науаша; 21 – балқыту пеші; 22 – шихтаны балқыту; 23 – бүріккіш; 24 – оттегімен қанныққан газүрлеу; 25 – отын; 26 – балқыту пешінің күмбезі; 27 – ыстық газ шибері; 28 – ыстық қоспа газ-жылутасығыш газ құбыры; 29 – металды шығаруға арналған науаша; 30 – шлақты шығаруға арналған науаша

5.1 сурет – Отын энергиясымен жұмыс істейтін редуциялап балқыту кешені

Редуциялап балқыту кешенінің жұмысы. Қабылдаушы воронкаға 1 порциямен дайындалған көміртеқұрамды темір-марганец пен темір-хром

түйіршіктері беріледі. Шлюзды камераның 4 атмосфералық газ шығаратын құбырындағы 3 газ шығарылатын қақпақша 2 ашылады. Шихталы тықпа қақпақ 6 пен газды қақпақшаның 5 кезектесіп ашылуынан шихта қабылдағыш құрылғыдан шлюзды камераға түседі. Шлюзды камераға қажетті материалдар массасын алғаннан кейін көміртеккұрамды түйіршіктер жоғарыда қарастылырған ретпен төменгі қақпақшалардың кезектесіп ашылуымен шахталық пешке 7 түседі. Шихта қалың қабатымен 10 колошникке дейін толтырылады. Пеш күмбезі 10 шихтаны жүктеу және колошниктегі өңделген газдарды шығару үшін кеңістікті қамтамасыз етеді. Шихтабағанасы арқылы ыстық газ ағыны – жылутасымалдағыш өтеді, сақиналы газ құбыры 14 және келетін түтіктер 13 арқылы распарға 11 түседі. Шихтабағаны мен ыстық газ ағынының қарама-қарсы ағын режимімен жұмыс жасайтындығының нәтижесінде газ бен шихта арасында жылу алмасу, металдардың көміртегімен тікелей редукциялануы жүреді. Металдандырылған шихта төмен түсіріледі және иықтама (запечник) 12 арқылы шлюзды камераның төменгі бөлігіне барып түседі де, әрі қарай мерзімді түрде науаша 20 арқылы балқыту пешіне түседі 21. Жүктелетін металдандырылған шихта қабаты 22 пештің астында орналасады, жоғары форсункадан температурасы 2200-2400 °С-тан жоғары оттегімен қаныққан газ үрлеу 24 есебінен отынның жануынан пайда болатын газ ағыны беріледі. Металдандырылған шихта балқытылады, балқыма бетінен шағылысқан ыстық газ бір мезгілде 26 балқыту пешінің күмбезін қыздырады және балқыту пешінің кеңістігінен шығып кетеді. Шығып жатқан жоғары температуралы газ ағыны шығар жерінде төмен температуралы колошникті газбен араласады. Сондықтан балқыту пешінің күмбезіне реттеуші газ қақпақшасы 19 арқылы колошник газының газ құбыры 18 арқылы төмен температуралы колошник газы кіреді. Шығарда 27 газ қоспасының температурасы төмен температуралы колошник газ шығынының өзгеруімен реттеледі, оны 1150-1220 °С деңгейінде ұстап тұрады және тік газ құбыры бойынша 28 сақиналы газ құбыры 14 мен фурма арқылы 13 патрубок бойынша 11 шихта бағанына енгізеді.

Шахталық пеште шихтамен газдың қарама-қарсы ағын режимі орын алады. Газ ағыны шахта пеші мен балқыту агрегатының арасында айналым жасайды. Балқытылған металл балқымасын төменгі науаша 29 арқылы, ал шлакты жоғарғы науаша арқылы 30 шығарады. Көріп тұрғанымыздай, шихтаны қыздырудан бастап феррокорытпаларды балқытуға дейінгі барлық процестер отынның жылу энергиясын пайдаланумен тиімді жүреді.



5.2 сурет – Ферроқорытпа өндірісіне арналған технологиялық схема

Моношихтадеп аталатын қоспаны дайындау және оны пирометаллургиялық өңдеу тауарлық өнімді өндіру үшін жинақталып қалған металқұрамды өнеркәсіптік қалдықтарын тиімді пайдаланудың өзекті мәселесін шешуге негізделген.

«Моношихта» – массалық қатынасы редукциялап күйдіруге және балқыту кезінде металл мен қорытпаның берілген құрамы түзілетіндей алдын-ала дайындалған және өңделген металқұрамды компоненттерден және көміртекті редукциялаушы реагенттен тұратын қоспаны білдіреді. Бұл жағдайда моношихтаның негізін марганец және хром кендерін байытудан жиналған қалдықтар құрайды. Бұрын айтылғандай, металқұрамды қалдықтар ұсақ немесе дисперсті фракциялардан тұрады, ал құрамындағы металдың мөлшері жоғары. Болат пен қорытпаларды дәстүрлі технология бойынша өндіру тек қана кесектелген шикізатты пайдалануға негізделгендіктен, олар қалдықтар санатына жатқызылған. Жасақталған технология ұсақ және дисперсті металқұрамды қалдықтарды тиімді пайдалануға бағытталған. Темірқұрамды қалдықтар ретінде құрамында темірдің мөлшері 68-69 %-ға жететін прокаттық болаттың бетін улаудан жиналған ұсақ темір тотықтары немесе прокаттық окалина қолданылған. Жинақталып қалған марганец пен хромның 0-5,0 мм фракциялы ұсақ қалдықтарында марганец MnO_2 тотығы және хром Cr_2O_3 тотықтарының концентрациясы айтарлықтай жоғары.

Марганец пен хром стратегиялық маңызы бар болатты легірлеуші бағалы металдар болып саналады. Бүкіл әлемнің металлургиялық комбинаттарында болатты легірлеу үшін ферроқорытпалар қолданылады. Олардың арасында ферромарганец пен феррохром жетекші орын алады.

Ферромарганец пен феррохром өндірісі металлургиядағы басым бағыттар болып есептелінеді. Дәстүрлі технология бойынша оларды өндіру үшін марганец пен хром кендерінің сәйкес кесек сұрыпталған түрі пайдаланылады.

Қазақстандағы сәйкес ферроқорытпа зауыттарын марганец кенімен Жәйрем КБК, ал хром кенімен Дөң КБК қамтамасыз етеді. Екі КБК марганец пен хром кендерін байытудан 5 мм кіші фракциялы ұсақ қалдықтар пайда болады және жинақталады. Жинақталған мұндай қалдықтардың көлемі миллион тонна. Оларды өңдеу технологиясын жасақтау өзекті мәселе болып табылады.

Марганец пен хром қалдықтарын өңдеу технологиясын жасақтай бастағанда, бірінші қойылған мақсат жиналған ұсақ қалдықтар базасында моношихтаны дайындау болды. Бұл алдымен марганец пен хром кендерінің байытудан қалған қалдықтары және прокаттық окалина немесе прокаттық болаттың бетін улаудан жиналған ұсақ темір тотықтары – металлургия комбинаттарының темірқұрамды қалдықтары. Бұл қалдықтар ферромарганец пен феррохром алудың технологиялық процестерін ұйымдастыруға негіз болды. Алынған марганецті қорытпаны қолдану болаттағы марганец концентрациясының шегі 1,5-тен 2,0 %-ға дейін болатын конвертерлі болатты легірлеу үшін олардың шығыны 20 кг-дан 40 кг-ға дейін болады. Сондықтан марганец қорытпаларындағы күкірт пен фосфордың мөлшері 0,35-0,38 % және 0,10-0,12 %, бұл легірлеу кезінде болаттың сапасына ешқандай әсер етпейді.

Конвертерлі болатты легірлеу кезіндегі хром қорытпасының шығыны шығар жерінде $[Cr] = 1,5 \div 2,5$ % шекте болады, оның өзіндік шығыны 1т болатқа 25-42 кг/т болат болады. Хром қорытпасы күкірт пен фосфордан таза болады. Сондықтан бұл қорытпалармен легірлеу үшін оның мөлшерін өлшемсіз пайдалануға болады.

Моношихтаны дайындау және алу технологиясын әзірлеу жинақталған металқұрамды ұсақ қалдықтарды өңдеудің тиімді әдісі болып табылады. Темірқұрамды қалдықтардан алынатын негізгі металдар- темір мен марганец - марганец қалдығынан, темір мен хром - хром қалдығынан алынады. Сәйкес қалдықтардан алынған моношихта құрамына шлак түзуші ретінде қажетті мөлшерде флюс және көмірқұрамды редуциялаушы реагент ретінде ағаш көмірі енгізілген. Дайындалған мұндай дисперсті қоспалардан тиісті ферроқорытпаларды, ферромарганец пен феррохромды тікелей өндіру үшін көмір-кенді жентектер алынды. Көмір-кенді жентектер ғажайып техникалық сипаттамасы бар моношихтадан тұрады. Жентектің әрбір түйіршіктерінде барлық қажетті компоненттер: 1) темір, марганец, хром тотықтары, берілген массалық қатынастағы шлак түзуші тотықтар және аталған барлық металдардың толықтай редуциялануына қажетті қатты көміртегі бар. Дайындалған көмір-кенді жентектердің моношихта деп аталу себебі оны

ферроқорытпа өндірісінде пайдалану өзгерістер әкелді: 1) кесектелген кендерді жекелеп және үйіп салуды болдырмайды; 2) флюсты; кесекті кокс. Тек моношихтаның салыну ферроқорытпаларды редуциялап балқытуда тиімді пирометаллургиялық процестерді қалыптастырады.

Жалпы алғанда ферроқорытпа өндірісі темір мен болат кешенді металлургиясының маңызды бөлігі болып табылады және бүкіл әлемде сұранысқа ие.

Дәстүрлі технология бойынша балқытылып жатқан болат оттекті-конвертердетотықтыра балқытқаннан кейін құрамында ешқандай легірлеуші металдар болмайды. Сондықтан сәйкес пештен тыс өңдеуден кейін, балқыған болатты легірлеу үшін сәйкес ферроқорытпаларды қолданылады. Көптараған ферроқорытпалар - феррохром мен ферромарганец. Барлық конструкциялық болаттар құрамында міндетті түрде әртүрлі қатынастарда 0,5-ден бірнеше пайызға дейін (кейде 10 %-ға дейін болады) марганец және хром болады. Бірақ әрбір ферроқорытпа балқымаларға алынатын болат маркасына байланысты қажет етілетін концентрацияға сай жеке қосылады. Осыған байланысты өзекті мәселе құрамында бірмезгілде бірнеше легірлеуші элементтері бар, кешенді қорытпалар алу қажеттілігі болып отыр, біздің жағдайымызда – бұл марганец пен хром.

Жоғарыда аталған марганецпен хромқұрамды ұсақ қалдықтарды алға қойған бұл мақсатты шешу үшін пайдалану қызығушылық тудыруда.

Мұнда кешенді ферроқорытпаның негізін көрсетілген легірлеуші металдардың бірі құрайды, мысалы хром болатындығын атап айтқан жөн.

Қалдықтардағы темір концентрациясы мен кешенді қорытпалардағы марганец концентрациясының жетпейтін мөлшерін темір тотығы мен марганец қалдықтарын реттеп қоса отырып түзетуге болады.

Ең алдымен бұл компоненттерге темір концентратын беру кезінде хром-және марганецқұрамды компоненттердің массалық қатынастарын реттеу қағидаларын анықтау қажет.

Темір, марганец және хромның қатты көміртегімен редуциялануының шектік дәрежесі 0,98; 0,75; 0,80 мәндеріне сәйкес екендігі анықталды. Бұл көрсеткіштерді қолдана отырып, ең алдымен, теңдеулер бойынша сәйкес компонент бірлігінен қорытпаларды шығару анықталды.

$$e_m = \frac{R_{Fe} \cdot Fe + R_{Mn} \cdot Mn + R_{Cr} \cdot 0,6842 \cdot Cr_2O_3 + R_V \cdot 0,5604 \cdot V_2O_5}{([Fe] + [Mn] + [Cr] + [V])}, \text{ кг/кг} \quad (5.1)$$

мұндағы, R_{Fe} ; R_{Mn} ; R_{Cr} ; R_V – темір, марганец, хром, ванадийдің редуциялану дәрежесі;

0,6842; 0,5604 – металды хром мен ванадийдегі сәйкес хром (Cr_2O_3), ванадий (V_2O_5) тотықтарының түрлену коэффициенті;

Fe, Mn, Cr_2O_3 , V_2O_5 – шихта компоненттерінің құрамындағы темір, марганец, хром мен ванадий тотығының сәйкес концентрациясы, %;

[Fe], [Mn], [Cr], [V] – қорытылатын балқымалар құрамына берілетін темір, марганец, хром және ванадий концентрациялары, %.

5.2 Ферромарганец, феррохром және кешенді қорытпа алу технологиясын салыстырмалы бағалау

Жоғарыда аталған әрбір ферроқорытпаларды өндіруге арналған дәстүрлі технологияда хром мен марганецтің тиісті кендері пайдаланылады. Феррохром мен ферромарганец өндірудің технологиялық процесі ұқсас және редуциялап балқытуда электрпештерде тек кесектеліп сұрыпталған кендерді пайдалануға негізделген. Редуциялаушы реагент ретінде кесек металлургиялық кокс пайдаланылады. Сонымен, кесек кендер мен кокс қабаттары электртермиялық пешке салынады. Cr_2O_3 және MnO сәйкес тотықтардан тұратын хром мен марганец қиын редуцияланатын металдар. Бұл металдарды редуциялау потенциалы жоғары қатты көміртегімен жүргізіледі. Бірақ, ірі кесек кендер мен кокс қабатында қатты фазада оларды тікелей редуциялау процесі мүлдем жүрмейді. Сондықтан, электртермиялық пештерде редуциялау процесі шихтаның кендік бөлігінің балқу кезінен бастап кокс қабаты арқылы тотықтардың ағуы және сүзгілеу кезінен басталады. Шихтаның қызуы мен кендік бөлігінің балқуына тек электрэнергиясы ғана жұмсалады. Кендік материалдың, әсіресе хром кенінің балқу температурасы өте жоғары болып келеді ($2000\text{ }^\circ\text{C}$). Сондықтан кендік бөліктің балқу температурасын төмендету үшін шихтаға флюстер енгізіледі. Сонда шихтаның балқыту температурасы $1250\text{-}1300\text{ }^\circ\text{C}$ дейін төмендейді. Бұдан, көрсетілген температураға дейін редуция процесі басталмайтындығымен, ал қыздыруға кететін электрэнергиясының шығыны жалпы шығынның жартысынан асатындығымен қолданыстағы технология тиімділігінің төменділігін көрсетуге болады. Балқытып алынатын ферроқорытпалар бірлігіне жұмсалатын электрэнергиясының шығыны жоғары, бұл оның өзіндік құнын жоғарылатады және қымбат болғандықтан нарықта сату қиын болады.

Осыған байланысты, электрэнергиясын толықтай немесе жартылай отын энергиясымен алмастыру есебінен төмендетуге және де редуциялану процесінің тиімділігін арттыруға болады, мақсатты металдарды алу деңгейін қамтамасыз ету қызығушылық тудырады.

Жасақталатын феррохром, ферромарганец және хром-марганецті кешенді ферроқорытпаны алу технологиясы [72] хром және марганец кендерін байытудан жинақталған ұсақ қалдықтар негізінде, бастапқы шикізатта тиісті металл тотықтарының концентрациясына байланысты алынатын металдарды (темір, хром, марганец) редуциялауға шихтаның кендік бөлігінің құрамына көмірді мөлшерлеп енгізуге, көмір-кенді қоспасны араластыруға, ұсақтауға және кейіннен редуциялауға негізделген. Кесектеу нәтижесінде алынған көмір-кенді жентектер, одан әрі металдандыруға және балқытуға жіберіледі. Шахталық агрегаттағы металдандырылған өнімді шлюз камералары арқылы балқыту агрегатына тиейді, онда оны балқытады және феррохромдағы хромның мақсатты металдарының жоғары мөлшері бар тиісті ферроқорытпалардың балқымаларын алады $[\text{Cr}]=68\text{-}73\text{ }%$; көміртегі $0,5\text{-}1,5\text{ }%$; ферромарганецтегі марганец $[\text{Mn}]=60\text{-}65\text{ }%$; көміртегі $[\text{C}]=0,5\text{-}2,0\text{ }%$.

Хром-марганецті кешенді қорытпалары болатты бір мезгілде хроммен және марганец пен легірілеу және оның сапасын арттыру мақсатында көмір-кенді қоспасы дайындалады, оның кендік бөлігі хром мен марганец кендерінің массалық қатынасынан тұрады, ондағы марганецтің массалық үлесі кешенді қорытпадағы күтілетін марганец концентрациясына байлынысты – [Mn] және бастапқы кенде Mn мына формула бойынша анықталады:

$$\gamma_{Mn/p} = \frac{e_{m/Cr} \cdot [Mn] - R_{Mn} \cdot Mn''}{(e_{m/Cr} - e_{m/Mn})[Mn] + R_{Mn} \cdot (Mn' - Mn'')} \quad (5.2)$$

мұндағы, $e_{m/Cr}$, $e_{m/Mn}$ – хром мен марганец кен бірлігіндегі тиісті металдың шығу үлесі, кг/кг немесе т/т;

Mn'' , Mn' – марганец концентрациясы, марганец пен хром кендеріндегі тиісті %;

[Mn] – кешенді қорытпадағы марганецтің берілген концентрациясы, %;

R_{Mn} – марганецтің редукциялану дәрежесі (әдетте $R_{Mn}=0,75$).

Көмір-кенді шихтаны дайындаудың мұндай жүйесі, оны тізбектеп металдандыру және редукциялап балқытуы хром кенінің бірлігіне марганец кенінің массалық үлесін реттей отырып хром-марганецті кешенді ферроқорытпаны алудың тиімді тәсілін ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Ферроқорытпа өндірісі – жинақталған ұсақ марганец пен хром қалдықтарынан феррохром, ферромарганец және хром-марганецті кешенді ферроқорытпалар алу мынандай тізбектік процестерде жүреді.

- 1) Шихта компоненттерін дайындау – кенді бөлік, көмір және флюс.
- 2) Берілген массалық қатынаста шихта компоненттерін араластыру.
- 3) Көмір-кенді қоспаларды кесектеу және көмір-кенді жентектерді алу.
- 4) Көмір-кенді жентектерді қыздыруға арналған жылу тасығыш ыстық газдарды дайындау және металдандырылған өнім алу.
- 5) Металдандырылған өнімді редукциялап балқыту.

Көмір-кенді қоспаны ұсақтау дисперсті жүйедегі қатты бөлшектердің мөлшері кіші болған сайын металдарды көміртекпен тікелей редукциялануының қатты фазада жүретін реакцияларының жылдамдығы соғұрлым жоғары болуына негізделген. Қатты күйдегі кокс немесе көмір қабаттарындағы үлкен мөлшердегі бөлшектер немесе кесек рудалардың редукциялану реакциясының жылдамдығы нөлге жақын. Тіпті CO, H₂ редукционер газды кесек шикізат қабаты арқылы үрлеу кезінде де металдарды (темірді) редукциялану реакциясының жылдамдығы топочимиялық режиммен шектелген, яғни әр кесектің сыртқы бетінен оның ортасына дейінгі қабаттарында, жоғары тотықтардан төменге дейін және металды күйге дейін, мысалы, ретімен Fe₂O₃ → Fe₃O₄ → FeO → Fe_{мет} немесе MnO₂ → Mn₂O₃ → Mn₃O₄ → MnO. Жұқа металдық қабат Fe_{мет} бірінші жағдайда және марганецтің төменгі тотығы MnO екінші жағдайда тотықтың ішкі қабаттарына редукциялау

реагенттерінің (CO и H₂) өтуіне кедергі жасайды. Мұндай топохимиялық режим тізбекті фазалық түзілулердің диффузионды кедергілерімен ұштасады.

Көмір-кенді қоспаларды ұсақтау топохимиялық режимдерді болдырмайды.

Осыған байланысты металдарды редуциялау жылдамдығы бірнеше есе артады. Егер электртермиялық пеш жағдайында кесекті кен (кг, т) массаларының бірлігі кокс қабатында 6 сағат бойына редуцияланса, онда ұсақталған көмір-кенді қоспасы немесе көмір-кенді жентектің массалық бірліктегі уақытты, энергияны үнемдей және өнімділікті арттыра отырып, 60 мин ішінде редуцияланады.

6) Көмір-кенді жентектерді түйіршіктеу және алу жылу тасымалдағыш ыстық газды сүзу үшін шихта қабатынан газдың өтілуін және металдардың тікелей редуциялануынан пайда болатын газ тәріздес өнімдерді шихта қабаты арқылы өткізуді қамтамасыз етуге негізделген.

7) Жылу тасымалдағыш ыстық газды көмір-кенді жентектердің қалың қабатына үрлеу металдардың көміртегімен тікелей редуциялану процестерін жылумен қамтамасыз етуге негізделген.

Металдарды көміртекпен тікелей редуциялаудың барлық процестері олардың кез келген фазада тотыққа айналуы эндотермиялық болып есептелінеді, яғни жылу энергиясының шығынымен қоса жүреді. Сондықтан шихта қабатын берілген температураға дейін қыздыру керек. Ең арзан және тиімді қыздыруға шихта мен жылу тасымалдағыш ыстық газдың (ЖТЫГ) қарама-қарсы ағуы арқылы қол жеткізуге болады.

8) ЖТЫГ температурасы шихта қабатының шығар жерінде 1100-1150 °С деңгейінде шектеледі. Температураның 1100 °С төмендеуі металдардың редуциялану жылдамдығын төмендетеді, 1150 °С жоғары температурада металданған бөлшектердің бір-біріне жабысуы мүмкін, ірі конгломераттар пайда болады және металданған өнімді алуды қиындатады. Шихтаны 1000-1150 °С температурада қыздыру темірді металды жағдайға дейін толық редуциялайды және хром мен марганецтің төменгі тотықтарына дейін CrO және MnO аздап редуцияланады, аса жоғары 1250-1350 °С температурада қатты көміртегімен металдық күйге дейін редуцияланады, яғни қалған қатты көміртегімен металданған өнім балқыту агрегатына жүктеледі.

9) ЖТЫГ құрамын реттеу қатты көміртектің стехиометриялық шығынымен металдардың редуциялану реакцияларының толықтығын қамтамасыз етуге негізделген, бұл кезде түзілетін газ тәрізді өнімнің құрамы 25-30 % CO₂ және 75-70 % CO тұратын тепе-теңдікте болады. Сондықтан үрленетін ЖТЫГ құрамы металдардың тікелей редуциялану реакциясына түзілетін газ тәрізді өнімдерге сәйкес тепе-теңдікте болуы тиіс, яғни төмендегі қатынасты сақтау керек:

$$\frac{CO_2}{CO+CO_2} = 0,25 \div 0,30. \quad (5.3)$$

Бұл қатынас 0,25-тен төмен түссе, көміртектің артық пайда болуынан және балқыған металдардың көміртектенуінен редукция реакцияларына ЖТЫГ қатысуышектеледі. Бұл қатынасты 0,30-дан жоғары көтеру редукцияланатын металдардың тотығуымен және реакциялар бойынша металдарды редукциялауға қажетті қатты көміртегі тапшылығының пайда болуымен шектеледі:



(5.3) бойынша 0,25-0,30 шегінде металдардың тікелей редукциялануының толықтығын және көмір-кенді жентектердің құрамында қатты көміртекті пайдалануды қамтамасыз етеді.

Кесек кендер мен кокстан шихтаны дайындау және тиеу жағдайында реакциялық жанасу бетінің (РЖБ) шектеулігіне байланысты металдарды кокстың көміртегісімен қатты фазадаредукциялау мүмкін емес.

Жаңа теориялық ережелер негізінде қатты фазада металдарды көміртекпен редукциялаудың тиімділігінің негізгі көрсеткіші – реакциялық жанасу бетінің (РЖБ) қабаттағы қатты бөлшектердің өзара әсеріне байланысты. Әрбір жекеленген бөлшектерді геометриялық жылтыр шардың бетіне қарағанда бөлшектердің беткі алаңының ауытқуларын ескеріп, радиусы R_r және коэффициент формасы k_f түріндегі шар тәрізді елестетуге болады.

Көлемі $V_{\text{ш}} = 4\pi R^3/3$ қатты шартәріздес кендік шикізат бөлшектерінің, г/см^3 тығыздығын ескере отырып, массасы G_r , гр үйілген кен қабатындағы бөлшектер анықталды:

$$n_r = \frac{3G_r}{4\pi R^3 \cdot \rho_p}. \quad (5.7)$$

Дәстүрлі жағдайда электртермиялық пешке фракциясы орташа 40 мм немесе $R_r = 2$ см болатын кендерді жүктейді. Сонда, $G_r = 1000$ г, $\rho_p = 3,5$ г/см^3 , $R_r = 2$ см қабылдай отырып, 1 кг үйінді кендік шикізаттың құрамында қанша бөлшектің болатынын табамыз.

$$n_r = \frac{3 \cdot 1000}{4 \cdot 3,14 \cdot 2^3 \cdot 3,5} = \frac{3000}{351,68} = 8,53 \text{ дана.}$$

Егер фракция мөлшерін 1 мм дейін немесе 0,1 см кішірейтсек, яғни, $R_r = 0,05$ см болса, онда 1 кг кенді шикізаттағы бөлшектердің санын аламыз.

$$n_r = \frac{3000}{0,00549} = 546448,0 \text{ дана.}$$

Шихта қабатындағы реакциялық жанасу беті

$$F_p = 4\pi R^2 \cdot k_\Phi \cdot n_r, \text{ см}^2. \quad (5.8)$$

Осы теңдеуді негізге ала отырып, бірінші жағдайда 1 кг кен шикізатының РЖБ мына мәнді береді:

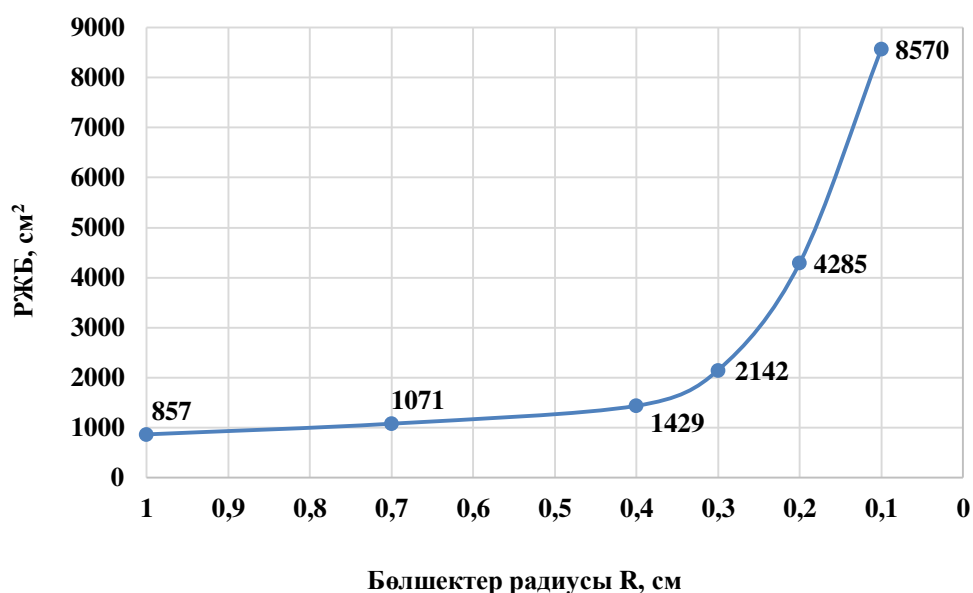
$$F_p = 4\pi R^2 \cdot 1,16 \cdot 8,53 = 4 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 1,16 \cdot 8,53 = 497,1, \text{ см}^2/\text{кг}.$$

Екінші жағдайда шихта 1,0 мм (0,1 см) фракциядан тұратын болса РЖБ мәні жетеді:

$$F_p = 4\pi R^2 \cdot 0,0025 \cdot 1,16 \cdot 546668,0 = 19903,8, \text{ см}^2/\text{кг}.$$

Көрініп тұрғандай, РЖБ мәні екінші жағдайда бірінші нұсқаға қарағанда 40-есе артық.

РЖБ өзгеруі шихтада пайдаланылатын фракция көлемдеріне байланысты екендігі 5.3 суретте көрсетілген.



5.3 сурет – Реакциялық жанасу беті (РЖБ) өзгеруінің шихтада пайдаланылатын фракция көлемдеріне тәуелділігі

Графиктен көрініп тұрғандай, шихта қабатындағы фракция мөлшерінің кішіреюінен РЖБ мәні геометриялық прогрессияда дамиды, бұл металдарды көміртеппен қатты фазадаредукциялану реакциясының өту қарқындылығына тікелей қатысы бар [73]. Бұл тотықты фазалардың кез келген деңгейінде металдарды редукциялану температураның жоғарылаумен жүретіндігі баршаға белгілі, яғни жүйеге сырттан келетін энергия бірінші кезекте электрондардың қозғалыс жылдамдығының жоғарылауына әсер етеді. Электрондар ағынының

орбиталдарының кеңеюі тотықтар бөлшектерінің бетіндегі донорлық-акцепторлық байланыстың әлсіреуіне және көміртегі бөлшектерінің бетіндегі электрондар ағыны тығыздығының жоғарылауына әкеледі. Тотықты қосылыстардағы металдың донорлық потенциалының төмендеуі және қатты көміртегі бөлшектерінің донорлық потенциалының жоғарылауы нәтижесінде РЖБ дамуына байланысты оттегі тотықтардың қатты фазада қосылыстарынан көміртегінің газфазасы қосылысына өту жылдамдығы күшейе түседі.

Бұдан байқайтынымыз, дисперсті көмір-кенді шихтаны дайындау тек теориялық тұрғыда негізделіп қана қоймай, сонымен қатар редукциялап балқыту процестерін тиімді жүзеге асыру үшін практикалық маңызы бар екендігі.

Жәйрем КБК бастапқы кенінде және оны байытудан қалған ұсақ қалдықтарында марганецжоғары тотығы – MnO_2 түрінде болады. Дөң КБК хром кенінде және оны байытудан қалған қалдықтарда Cr_2O_3 хром тотығы едәуір дәрежеде темір және магний хромшпинелидтерімен $FeO \cdot Cr_2O_3$ және $MgO \cdot Cr_2O_3$ байланысты.

Марганец кеніндегі қышқылдытотықтардың жоғары концентрациясына SiO_2 және Al_2O_3 және хром кеніндегі негізгі MgO тотығына флюс ретінде бірінші жағдайда күйдірілген әкті ($CaO=93\%$), екіншіде – кварцитті SiO_2 пайдаланады

Марганец пен хром қалдықтарының негізінде келесі массалық қатынаста прокаттық окалинамен флюстің сәйкес массалық үлестерімен қоспалар жасалды. Ол 5.1 кестеде көрсетілген.

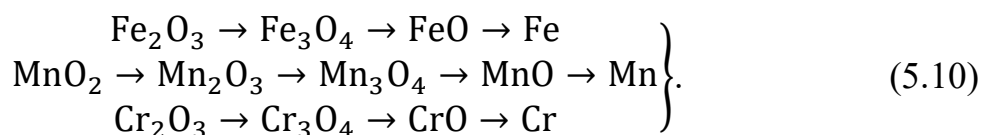
5.1 кесте – Марганец пен хром қалдықтары негізіндегі қоспа

<i>1.Марганец қалдықтары негізіндегі қоспа</i>			
	марганец қалдығы	прокаттық окалина	әк ($CaO=93\%$)
Массалық үлес	0,735	0,075	0,19
<i>2.Хромит қалдықтары негізіндегі қоспа</i>			
	хромит қалдығы	прокаттық окалина	кварцит ($SiO_2=98\%$)
Массалық үлес	0,76	0,10	0,14

Дайындалған қоспалардан көмір-кенді жентектер алынды. Шихтаның құрамына енгізілетін көміртегінің нормаланған мөлшері айтарлықтай қалдықсыз металдарды тікелей редукциялауға жұмсалады. РЖБ айырмашылығы (CO, H_2), пайдалану дәрежесі 0,40-0,45 деңгейінде болатын газ құрамының тепе-теңдігімен шектелгенде, қатты көміртекті пайдалану дәрежесі (1,0) бірлікке жетіп қана қоймай, одан да айтарлықтай асып түседі. Бұндай баға металдардың тікелей редукциялануы туралы жалпы ұғымға өзгерістер енгізеді. Қазіргі уақыттың өзінде көптеген әдеби көздерді металдардың қатты көмірегімен тікелей редукциялануы тек CO түріндегі газ тәрізді өнімді түзе отырып көміртегінің металл тотықтарымен әрекеттесу реакциясын түсінеді:



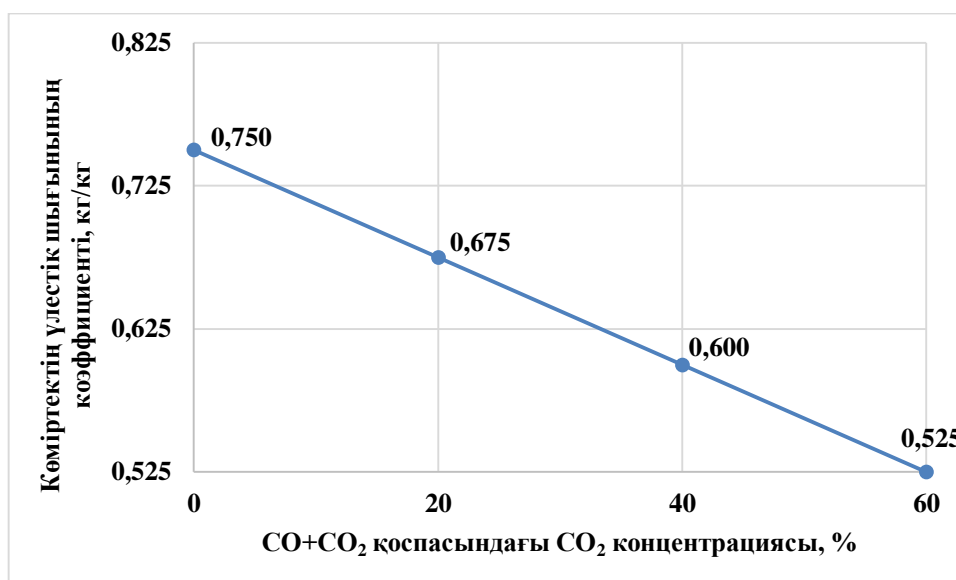
Тек соңғы онжылдықта ғана металдар тотықтарының тізбекті-фазалық түрленуімен тікелей редукциялану туралы теориялық ережелердің дамуымен байланысты газ тәрізді реакция өнімі тек СО-дан ғана емес, СО₂-ден де тұратыны анықталды. Олардың ара қатынасы тотықтық фазаның химиялық беріктігіне байланысты өзгереді, осы тотықтың – lgK_{CO2} диссоциациялық беріктілігімен (немесе оттегінің тепе-тең парциалдық қысымымен) сипатталады. Атап айтқанда, темірдің, марганецтің және хромның көміртегімен тікелей редукциялануы фазалық түрлену арқылы өтеді:



Көріп тұрғанымыздай, жоғарғы тотықтан төменгі тотыққа тізбекті фазалық түрленуі оттегінің металға қатысты атомының төмендеуімен 2,0-ден 1,0-дейін жүреді.

Ең әлсіз буын металдардың жоғары тотықтарындағы химиялық байланыс болып табылады және, әрине, осы фазадағы оттегі СО₂ қосылысы түрінде қатты көміртеппен газдандырылады. Металл тотықтарының жоғарыдан төменге өтуіне қарай соңғылардың байланыс беріктігі жоғарылайды және СО қалыптасуының үлесінің арту есебінен, оттегінің СО₂ түріндегі газдану үлесі азаяды. Металдардың тікелей редукциялануы процесіндегі мұндай дифференциалды тәсілдің маңызы зор. Хром мен марганец кендерінде, негізгі мақсатты металдар – хром, марганец тотығынан басқа, темір тотығы болады. Бірақ, осы кендерден қатты көміртегімен металдарды редукциялау туралы әңгіме болғанда, көмір немесе кокс шығыны қолданыстағы әдістеме (3) бойынша есептеп шығарылады, онда газ тәрізді өнім ретінде тек СО есептеледі. Сонда 16 кг оттегіні газдандыруға 12 кг көміртегі кетеді. Металл тотықтарының оттегіні газдандыруға кететін көміртегінің үлестік коэффициенті $k_c=0,750$ кг/кг құрайды. Ұсынылып отырған дифференциалды әдіс бойынша жоғарыда көрсетілгендей шихта тотықтарындағы оттегінің газдануы тек СО түрінде ғана емес, СО₂ түрінде де болатынын ескерсек, онда 32 кг оттегіне 12 кг көміртегі кетеді. Мұнда өзіндік шығын коэффициенті 0,375 кг/кг оттегін құрайды.

Көмір-кенді қоспадағы металдарды қатты көміртегімен редукциялау реакциясынан түзілетін газ тәрізді өнімдер тек СО мен СО₂, жиынтықта олар 100 %. 5.4 суретте көрсетілгендей, металл тотықтарындағы оттегіні газдандыруға көміртегінің кететін үлестік коэффициенті түзілетін СО және СО₂ газдардың пайыздық қатынасына байланысты қалыптасады.



5.4 сурет – Металл тотықтарындағы оттегіні газдандыруға көміртегінің кететін үлестік коэффициентінің түзілетін CO және CO₂ газдардың пайыздық қатынасына байланысы

Шихтаның кен компоненттерінің химиялық құрамына сүйене отырып, марганец кеніндегі газдандырылатын оттегінің массалық үлесі 0,19 кг/кг және хром кенінде 0,185 кг/кг құрайды деп айтуға болады. Бұдан көмір-кенді қоспасын қалыптастыру үшін шихтаның құрамына енгізілетін көмір (немесе көміртегі) шығыны металдарды көміртегімен тікелей редуциялау процесін есептеу әдістемесіне байланысты екенін байқаймыз.

Егер металдарды тікелей редуциялау реакциясын тек CO түріндегі газ тәрізді өнім түзуші ретінде қарастырсақ, онда шихта бірлігіне кететін көмір мына коэффициент бойынша анықталады $k_c = 0,750$. Онда қатты көміртегінің марганецті және хромды кендер (1 т) бірлігіне кететін өзіндік шығын 0,1425 және 0,1387 (т/т) болады. Егер концентрацияның қалыптасуын есептесек CO₂ = 10; 20; 30; онда марганец пен хром кенінің бірлігіне кететін қатты көміртегі немесе көмірдің (бөлшегінде) өзіндік шығыны тәртiппен төмендей бастайды.

CO ₂ концентрациясы, %	10	20	30
Марганец кеніне көмірдің үлес шығыны, кг/кг	0,1345	0,1283	0,1212
Хромит кеніне көмірдің үлес шығыны, кг/кг	0,1318	0,1249	0,1180

Көріп тұрғанымыздай, газ тәрізді өнімді тек CO түрінде қарастыру кезінде, шын мәнінде, CO₂ газының түзілуі есебінен марганец кеніне 0,0071÷0,0213 кг/кг, ал хром кеніне 0,0069÷0,0207 кг/кг шегінде көмірдің артық үлестік шығыны пайда болады. Көмір үшін көрсетілген артық шығын қалай дегенде де металдардың көмірленуіне, яғни көміртегі жоғары ферроқорытпа

алуға алып келеді, және де оларды көмірсіздендіруге байланысты екінші ретқайта өңдеу қажет болады.

Көмірқұрамды редуционерлердің стехиометриялық шығынын нормалап айқындай отырып, көмір-кенді қоспаларды дайындау және көмір-кенді жентектерді алудың жасақталған технологиясы оларды кейіннен өңдеудің тиімділігін және айтарлықтай көміртектенбеген металл ферромарганец пен феррохром алуды қамтамасыз етеді және ферроқорытпаларды екінші рет балқытуды қажет етпейді.

Металдарды редуциялапбалқытудың жаңа процестерінің басым көпшілігі – Ромельт, Аусмельт, ITmk3 – дифференциалды әдістері ескерілмегендіктен металдарда көміртектің көбеюіне итермелейді, бұл металлургиядағы ең үлкен проблема, бұл екі сатылы кешенді домна-оттекті-конвертерлі өндірістің қалыптасуымен және пештен тыс өңдеуге, қышқылдауға және легірлеуге кететін белгілі қосымша шығындармен байланысты.

Жентектерді дайындау және өңдеуге ұсынылған технологиялық жүйеден процестің тиімділігінің арттыруын ғана емес, сонымен қатар энергия шығыны құнының бірнеше есе төмендеуін де байқауға болады.

Металдандыру пешінде металдарды қатты фазалық редуциялау реакциясы кезінде бөлінетін газ мөлшерін – мына теңдеу бойынша анықтауға болады

$$v_{\text{BG}} = \frac{v_{\text{O,Fe}} \cdot (O_{\text{Fe}} + v_{\text{O,Mn}} \cdot O_{\text{Mn}} \cdot \text{Mn} + v_{\text{O,Cr}} \cdot O_{\text{Cr}} \cdot 0,6842 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3)}{0,714(2 \cdot \text{CO}_2 + \text{CO})}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (5.11)$$

мұндағы, O_{Fe} , O_{Mn} , O_{Cr} – темір, марганец пен хромның жоғарғы тотықтарының оттеппен газдануының жалпы массалық үлесі, металдың масса бірлігіне келетіні, кг/кг металл;

$v_{\text{O, Fe}}$, $v_{\text{O,Mn}}$, $v_{\text{O,Cr}}$ – оның жалпы мөлшеріндегі оттегінің газданатын бөлшегінің массалық үлесі;

Fe , Mn , Cr_2O_3 – шихтадағы темір, марганец, хром тотығының концентрациясы, %;

CO_2 , CO – реакцияның газ тәріздес өнімдеріндегі газдың сәйкес концентрациясы, %.

Металдар қатты фазада редуцияланғанда, пештен металданған өнім аламыз, онда темір толықтай металданған жағдайда, марганец пен хром төменгі тотықтарда MnO , Cr_3O_4 болады және олар тек CO түзе отырып, балқыту агрегаттарында металдық күйіне дейін редуцияланады. Оның шығуы мына теңдеу бойынша есептеледі

$$v_{\text{CO}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot ((1 - v_{\text{O,Mn}}) \cdot O_{\text{Mn}} \cdot R_{\text{Mn}} \cdot \text{Mn} + (1 - v_{\text{O,Cr}}) \cdot O_{\text{Cr}} \cdot R_{\text{Cr}} \cdot 0,6842 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3), \text{ м}^3/\text{кг} \quad (5.12)$$

мұндағы, R_{Mn} , R_{Cr} – марганец пен хромның тиісті редуциялану дәрежесі.

Бастапқы сандық деректердің тиісті мәнін (5.11) және (5.12) теңдеулерге қоя отырып, металдандыру пешінде көмір-кенді жентектер бірлігінен

металдарды қатты фазада редуциялау реакциясынан газ тәрізді өнімдердің шығуы алынды.

а) марганецті көмір-кенді жентектерден

$$v_{\text{вг}} = \frac{0,98 \cdot 0,4285 \cdot 13,49 + 0,5 \cdot 0,5818 \cdot 21,1 + 0}{0,714(2 \cdot 26 + 74)} = \frac{11,86}{90} = 0,131, \text{ м}^3/\text{кг},$$

б) хромқұрамды көмір-кенді жентектерден

$$v_{\text{вг}} = \frac{0,98 \cdot 0,2858 \cdot 14,69 + 0,21 \cdot 0,4615 \cdot 0,6842 \cdot 39,8}{0,714(2 \cdot 26 + 74)} = \frac{6,75}{90} = 0,075, \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Балқыту агрегатынан шығатын СО түріндегі газ (5.11) теңдеу бойынша есептеледі, сәйкесінше,

$$\text{а) } v_{\text{CO, Mn}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot ((1 - 0,5) \cdot 0,5818 \cdot 0,78 \cdot 21,1 + 0) = 0,067 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\text{б) } v_{\text{CO, Cr}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot ((1 - 0,21) \cdot 0,4615 \cdot 0,8 \cdot 0,6842 \cdot 39,2) = 0,112 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Балқыту агрегаттарында кремний мен қоспалы металдарды редуциялағанда қосымша СО газы шығады. Сондықтан (а) және (б) тармақтары бойынша алынған сандық нәтижелерді минимум деп қарастыруға болады.

Тізбекті орналасқан екі агрегаттан шығарылатын газ ағындары реттеледі және бөлінеді және жинақты құрайды.

$$V_{\Sigma} = G_{\text{ок}}(v_{\text{вг}} + v_{\text{со}}), \text{ м}^3/\text{сағ}, \quad (5.13)$$

мұндағы, $G_{\text{ок}}$ – өңделетін жентектер шығыны кг/сағ.

Ферромарганец пен феррохром өндірісінің варианттары бойынша газ құрамының және үлестік шығуларының сандық мәндері 5.1 кестеде көрсетілген.

5.2 кесте – Марганец және хром жентектерді өңдеу кезінде металдарды тотықсыздандырудың газ тәрізді өнімдерінің шығарылу үлесі мен құрамдары

Көмір-кенді жентектердің атауы	Газ шығымы, м ³ /кг	Газ құрамы, %		Газдың калория мөлшері, кДж/м ³
		СО ₂	СО	
марганецті	0,198	17,17	82,83	10480,0
хромды	0,187	10,16	89,84	11367,0

Редуциялау процесінен шығатын газ тәріздес өнімдерді баланстық есептер бойынша энергия көзі ретінде пайдалану тиісті ферроқорытпа өндірісіне керекті энергияның жиынтық шығынының 25 %-ын өтейді [74].

5 бөлім бойынша қорытынды

1. Феррохром және ферромарганец сияқты қорытпаларды алу технологиясын жасақтау осы жұмыстың 4-бөлімінде ұсынылған эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін талдаудан туындап отыр.

2. Ферроқорытпа өндірісі металлургия саласының ірі бөлімшелерінің бірі болып табылады. Олардың ішінде феррохром мен ферромарганец өндірісі маңызды стратегиялық мәнге ие. Феррохром мен ферромарганец бүкіл әлемнің металлургиялық комбинаттарында болатты легіртуге аса қажетті компоненттер болып табылады.

3. Феррохром мен ферромарганец өндірісінің дәстүрлі технологиясы кесекті және сұрыпталған хром мен марганец кендеріне және кесек металлургиялық коксты, редуциялаушы реагентінің көзі ретінде – қатты көміртекті, металл мен шлақтың балқымаларын оның қабаты арқылы сүзуді пайдалануға негізделген. Электртермиялық пештерде шихтаны қыздыру мен ферроқорытпаны балқытуға кететін электрэнергиясының шығыны 100 %, бұл ферроқорытпалардың өзіндік құнынан ықпал етуші факторы болып табылады.

4. Дәстүрлі технологияда шихтаның құрамындағы кокс шығыны нормаланбаған, оның біршама артық, сондықтан электртермиялық пештерінде қорытылған ферроқорытпалардың көмірлігі жоғары (6-7 % C) болады және шығарылатын тауар өнімінің талаптарына сәйкес келмейді.

5. Жоғары көміртекті феррохром мен ферромарганец екінші реттік өңдеуден өтеді. Бұл кезде көміртектендіру процесі жүреді және онымен біршама материалдық және энергетикалық шығындар және қалдық шлактармен металдардың жоғалуы болады.

6. Қазақстанда Дөң КБК және Жәйрем КБК жұмыс істейтін хром мен марганец кендерінің ірі кенорындары шоғырланған, олар тиісті сұрыпталған кесек кендерін ферроқорытпа зауыттарына жібереді, ал 5,0 мм-ден кіші ұсақ фракциялар қалады да, үйінділерде жиналады.

7. Дөң КБК хром кендерін және Жәйрем КБК марганец кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтардың ұсынылатын (өкілетті) сынамалары іріктеліп алынды және талданды, олар қалдықтар санатына тек 5,0 мм-ден төмен гранулометриялық құрамның белгісі бойынша жатқызылған, ал химиялық құрамы бойынша оларда тиісінше хром мен марганец тотықтарының мөлшері айтарлықтай жоғары болады.

8. Темірқұрамды өнеркәсіп қалдықтары мен құрамында $\text{CaO} = 93\%$ болатын күйдірілген әк түріндегі флюсты қоса отырып, марганец пен хром қалдықтары негізінде дайындалатын шихтаның технологиясын жасақталды.

9. Компоненттердің массалық қатынастарынан бірінші шихтада темір-хромның, екінші шихтада темір-марганецтің редуциялану деңгейін ескере отырып, хром мен марганец қалдықтары негізінде флюсты шихтаның орташаланған химиялық құрамы анықталды, сәйкесінше феррохром мен ферромарганец алу болжануда.

10. Сәйкес шихтадан темір-хром мен темір-марганецті редуциялау үшін әмбебап және тиімді редуционер ретінде қатты көміртегі алынды, ол қоспаға

кокс түрінде емес, Шұбаркөл кенорнының дайындалған энергетикалық көмірі түрінде енгізіледі. Күлділігі аз Шұбаркөл көмірін ауаның қатысуынсыз 600 °C температурада күйдіру оның құрамындағы ұшқыш заттарды жоюға және құрамында ұшпайтын көміртегі бар $C=82\%$ қатты қалдық алуға мүмкіндік береді, ол редуциялаушы реагент ретінде пайдаланылған.

11. Әрбір шихтадан алынатын металл тотықтарының тізбекті-фазалық түрленуін ескеретін, жасақталған әдістеме бойынша құрамында көміртегі бар редуциялаушы реагенттің стехиометриялық шығыны анықталды, олар металдарды артық тотықтарсыз толық редуциялауды қамтамасыз етеді, бұл оларда көміртектендіруді болдырмайды және де сол арқылы технологиялық кешенде екіншілік шектер болмайды.

12. Дайындалған көмірдің стехиометриялық шығынын тиісті флюстелген шихтаның құрамына енгізу көмір-кенді шихтаны алуға, олардың орташа өлшенген химиялық құрамын анықтауға мүмкіндік берді.

13. Тиісті көмір-кенді шихтадан көмір-кенді жентектерді алудың дайындалған технологиясы 1,0 мм кіші фракцияларға дейін ұсақтау, стандартты табакшалы кесектеуде дисперсті көмір-кенді қоспаларды кесектеудің тізбектік процесін ұйымдастырады.

14. Күйдіру температурасы 1000 °C кезінде көмір-кенді жентектерді металдандырудың технологиясы әзірленді. Көмір-кенді жентектер құрамында қажетті барлық компоненттері бар моношихта дайындалды. Моношихта: металдарды балқытуға арналған металл тотықтары, ферроқорытпа құрамына кіретін металдарды толықтай редуциялауға қажетті көміртеққұрамды редуциялаушы реагенттер, шлақты балқытуға арналған флюстерден дайындалды.

15. Металданған жентектердің үлгілері алынды, ондағы темір $R_{Fe}=0,98$ дәрежеде металдық жағдайға дейін редуцияланған және барлық қатты бөлшектердің байланыстырушы буынына айналды.

16. Қатты көміртегімен металдарды тікелей редуциялануының эндотермиялық реакциясының ағуына термодинамикалық талдау жасалды. Көмір-кенді жентектерді металдандыру процесінде жылу тапшылығын өтеу үшін шығар жеріндегі температура 1100-1150 °C болатын жылу тасымалдағыш ыстық газ (ЖТЫГ) ағыны пайдаланылды.

17. Металданған жентектерді шахталық пештен тізбектеліп орналасқан герметикалық камералар арқылы салқындатусыз балқыту пешіне жүктеу қондырғысы мен технология жүйесі жасалды, бұл балқыту агрегатындағы электрэнергиясының шығынын 25 %-ға қысқартуға мүмкіндік береді.

18. Металдандырылған өнімдердің үлгілері Тамман пешінде балқытылып, стандартты феррохром мен ферромарганец құрамына сәйкес келетін, құрамында 1,0-2,0 % көміртегі бар төмен көміртекті феррохром және ферромарганецтің үлгілері алынды.

19. Хром мен марганец кендерінің ұсақ қалдықтарын пайдалану негізінде кешенді хром-марганецқұрамды ферроқорытпаны алу технологиясы жасақталды.

20. Марганец концентрациясының берілген концентрациясы бар хром негізіндегі күрделі ферроқорытпаның құрамын реттеудің математикалық моделі жасалды және алынды.

21. Жасақталған технология бойынша феррохром, ферромарганец және кешенді хром-марганецті қорытпасын алу туралы ҚР өнертабысқа патенті алынды.

6 БОЛЖАМДЫҚ ТЕХНИКА-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУ

6.1 Жинақталған өнеркәсіптік қалдықтардан марганец-хромқұрамды ферроқорытпаларды алу технологиясының болжамдық техника-экономикалық есебі

Қазақстанда феррохром мен ферромарганец өндірісі металлургия саласындағы басым бағыттардың бірі болып табылады және оның экономикасына елеулі үлес қосады. Ферроқорытпа зауыттары тиісті (қажетті) шикізат ресурстарына негізделеді. Ақтөбе «Қазхром» кешені – хром кені кенорнында орналасқан, онда Дөң КБК жұмыс істейді, Орталық Қазақстанның марганец кені кенорнында-ферромарганец пен силикомарганец өндіретін Ақсу зауыты орналасқан, онда тиісті хром және марганец кендерін байыту бойынша Жәйрем КБК жұмыс істейді.

Феррохром мен ферромарганец өндірісі әлемдік ауқымда сұранысқа ие, сондықтан олардың өзіндік құнына қарамастан, тұтастай алғанда жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштермен бағаланады. Алайда, атап өткеніміздей, дәстүрлі технология кесекті хром мен марганец кендерін ғана пайдалануға негізделген, олар Дөң КБК мен Жәйрем КБК-нен тиісті ферроқорытпа зауыттарына жеткізіледі. Міне сондықтан да сол КБК-да хром мен марганец кендерін байытудан қалған ұсақ қалдықтар пайда болады және жинақталады. Қазіргі уақытта ұсақ қалдықтар жиынтығы миллион тоннаны құрайды. Бұл қалдықтар құрамында бағалы металдарды легірлеуші хром мен марганецтің айтарлықтай жоғарғы концентрациясы бар.

Жасақталған инновациялық технология оларды өңдеуге және жұмыс істеп тұрған өндірістік кәсіпорындарға қарағанда аз шығынмен тауарлық өнім алуға мүмкіндік береді.

Теориялық және тәжірибелік зерттеулердің нәтижелері, сондай-ақ жинақталған ұсақ қалдықтардан шихтаны дайындау және металлургиялық өңдеу бойынша жасақталған технология құрамы бойынша стандартты үлгілерге сәйкес келетін феррохром мен ферромарганец үлгілерін алуға мүмкіндік берді. Алынған технологиялық көрсеткіштер импакт факторы жоғары халықаралық басылымдарда ғылыми жұмыстардың іріктелген жариялымдарымен және олардың құрамын реттеу мүмкіндігі арқылы феррохром мен ферромарганецті алу тәсілі туралы патентпен бекітілген.

Бұдан жасақталған технология бойынша феррохром мен ферромарганец өндірісінің техника-экономикалық көрсеткіштерін бағалаудың қажеттілігі туындайды.

Дәстүрлі технологияға қарағанда инновациялық технологияның айырмашылығы жоғарыда аталған ұсақ қалдықтардан ерекше шихта дайындауды қарастыруында. Мұнда мынаны айта кеткен жөн, кондиционды хром кендерінің химиялық құрамы қандай болса, ұсақ хром қалдықтарының құрамы да сондай. Ұсақ қалдықтар мен кесек кен құрамындағы Cr_2O_3 мөлшері бірдей, $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 52,0 \%$. Сондықтан хром қалдықтарынан дайындалған шихта алдын ала байытудан өтпейді. Марганец қалдықтарындағы марганец

концентрациясы 25,0-27,0 % деңгейінде, ал кесекті кенде оның деңгейі 40,0-42,0 %. Міне сондықтан марганец қалдықтары алдын ала гравитациялық байытудан өтеді. Өзірленген технологияны жүзеге асыру ең алдымен техникалық тапсырманы жасақтауды, агрегаттар мен қондырғылардың кешендерін жобалауды талап етеді. Күтілетін шығын мынандай тәртіппен есептелінеді (6.1 кесте).

6.1 кесте – Агрегаттар мен қондырғыларға кететін капиталдық шығын

№ п/п	Атаулары	Өлшем бірлігі	Бағасы, мың. \$ АҚШ	Саны	Құны, мың. \$ АҚШ
1	2	3	4	3	6
1.	Марганец қалдығын гравитациялық байыту қондырғысы				
1.1.	Кендік бункерлер	дана	40,0	10	400,0
1.2.	Кенді байыту қондырғысы	дана	150,0	2	300,0
1.3.	Флюске арналған бункер	дана	40,0	3	120,0
1.4.	Көмірге арналған бункер	дана	40,0	5	200,0
2.	Таспалы конвейерлер	дана	70,0	3	210,0
3.	Шарлы диірмен	дана	100,0	1	100,0
4.	Шихтаны араластыруға арналған барабанды араластырғыш пен қосымша жабдықтар	дана	800,0	1	800,0
5.	Автоматтандырылған бункер-дозатор	дана	60,0	3	180,0
6.	Табақшалы кесектегіш кешені	дана	100,0	5	500,0
7.	Шахталы кептіру пеші	дана	150,0	2	300,0
8.	Жүктегіш аппарат	дана	200,0	3	600,0
9.	Жүктегіш және шығаратын қондырғылармен жабдықтандырылған шахталы күйдіру пеші	дана	800,0	2	1600,0
10.	Суыту жүйесі	дана	100,0	4	400,0
11.	Барабанды араластырғыш кешені	дана	200,0	2	400,0
12.	Металдандыруға арналған күйдіру пешінің кешені	дана	10000,0	3	30000,0
14.	Индукциялық пештің кешені	дана	10000,0	3	30000,0
15.	Оттекті станция	дана	14000,0	1	14000,0
16.	Өндірістік ғимарат	дана	15000,0	2	30000,0
17.	Көтеріп-тасымалдағыш машиналар	дана	200,0,	5	1560,0
18.	Ішкі теміржол көлігі	–	–	–	1200,0
19.	Ішкі автокөлігі	–	–	–	800,0
20.	Ауа үрлегіш машина	дана	500,0	2	1000,0
21.	Газ тазалаушы қондырғы	дана	400,0	2	800,0
22.	Құрылыс-монтаж жұмысы	–	–	–	10000,0
23.	БӨА (КИП) жәнеавтоматика	–	–	–	5150,0
24.	ОЗЗ (орталық-завод зертханасы) қондырғылары	–	–	–	7880,0
25.	Тәжірибелік-өндірістік кешенді құру	–	–	–	500,0
26.	Ескерілмеген шығындар	–	–	–	2800,0
БАРЛЫҒЫ					141000,0

6.2 кесте – Марганец кендерін байытудың ұсақ қалдықтары негізінде ферромарганец қорытпаларын өндіруге кететін шығындар

Шығын түрлері	Өлш. бір.	Бағасы, \$	Шығын	Сомасы, \$	Ескертпе
Марганец қалдығы	т	30	2,3	69,0	Барынша мүмкін баға
Прокаттық окалина	т	40	0,23	9,2	Нақты баға
Ағаш көмірі	т	200	0,322	64,4	Өз өндірісі
Табиғи газ, 1000 м ³	м ³	170	0,2	34,0	Нақты баға
Сығылған ауа, 1000 м ³	м ³	50	1,0	5,0	
Су	т	2	2,6	4	
Бу	т	3	3,0	9	
Электроэнергия	кВт·ч	0,07	180	12,6	Қолданыстағы баға
<i>Барлық материалдық және энергетикалық шығындар</i>				207,2	
Еңбек ақысы				40,0	
Амортизациялық аударымдар				20,0	
Көлік шығындары				35,0	
<i>Барлығы</i>				95	
<i>Зауыттың өзіндік құны</i>				302,2	

1 500 т/айына өндіру кезінде жылына 18 000 т/жыл.

1) Өндіріс шығындары

$E_{\text{ш}} = 18\ 000 \cdot 302,2 = 5\ 439\ 600$ АҚШ доллары;

2) Өнімді сатудан түскен табыс 1 500 АҚШ долл./т.

$E = 18\ 000 \cdot 1\ 500 = 27\ 000\ 000$ АҚШ долл./жыл;

3) ҚҚС салығы $\Delta E = 324\ 000$ АҚШ долл./жыл;

4) Пайда $\Delta E = 27\ 000\ 000 - 5\ 439\ 600 - 3\ 240\ 000 = 18\ 320\ 400$ АҚШ долл./

жыл;

5) Пайдаға салынатын салық 30 % $\Delta E_{\text{п.с}} = 546\ 120$ АҚШ долл./жыл;

6) Таза пайда $E_{\text{т.п}} = 18\ 720\ 000 - 5\ 496\ 120 = 12\ 824\ 280$ долл./ жыл.

6.3 кесте – Ұсақ хромит кендерінің қалдықтары негізінде феррохром қорытпаларын өндіруге кететін шығындар

Шығын түрлері	Өлш. бір.	Бағасы, \$	Шығын	Сомасы, \$	Ескертпе
Хром қалдығы	т	200,0	2,0	400,0	Барынша мүмкін баға
Темір оксиді	т	800,0	0,2	16,0	Келісім б/ша баға
Ағаш көмірі	т	200,0	0,36	72,0	Өз өндірісі
Табиғи газ, 1000 м ³	м ³	170	0,25	42,5	Нақты баға
Сығылған ауа, 1000 м ³	м ³	5,0	1,2	6,0	
Су	т	2,0	5,0	10,0	
Бу	т	3,0	4,0	12,0	
Электрэнергия	кВт·ч	0,07	200,0	14,0	Қолданыстағы баға
<i>Барлық материалдық және энергетикалық шығындар</i>				572,5	
Еңбек ақысы				50,0	
Амортизациялық аударымдар				25,0	
Көлік шығындары				35,0	
<i>Барлығы</i>				110,0	
<i>Зауыттың өзіндік құны</i>				682,5	

Жоспарланған өндіріс кезінде 18 000 т/жылына

1) Өнімді өндіруге кеткен шығындар, АҚШ долл./жыл

$$E_{\text{ш}} = 18\,000 \cdot 682,5 = 12\,285\,000 \text{ АҚШ долл./жыл};$$

2) Өнімді сатудан түскен табыс бағасы 5 000 АҚШ долл./т болған кезде

$$E_{\text{т}} = 18\,000 \cdot 5\,000 = 90\,000\,000 \text{ АҚШ долл./жыл};$$

3) ҚҚС салығы

$$\Delta E_{\text{ккс}} = 90\,000\,000 \cdot 0,12 = 10\,800\,000 \text{ АҚШ долл./жыл};$$

4) Кіріс бойынша пайда

$$E_{\text{п}} = 90\,000\,000 - 12\,285\,000 - 10\,800\,000 = 67\,915\,000 \text{ долл. АҚШ/жыл};$$

5) Пайдаға салынатын салық 30 %.

$$\Delta E_{\text{псс}} = 67\,915\,000 \cdot 0,30 = 20\,374\,500 \text{ АҚШ долл./жыл};$$

6) Таза пайда

$$\Delta E_{\text{тп}} = 67\,915\,000 - 20\,374\,500 = 47\,540\,500 \text{ АҚШ долл./жыл}.$$

Бірінші нұсқа бойынша таза пайда \$ 12 800 000 АҚШ доллары және екінші нұсқа бойынша 47 400 000 АҚШ долларын құрайды. Бұл түскен пайда өндірістік кешен салуға және қажетті жабдықтар мен бақылау-өлшеу жабдықтарын сатып алуға, күрделі шығындарды жабуға жеткілікті. Осылайша, өнеркәсіптік өндірісті құруға жұмсалған барлық шығындардың өтелімділігі 1 жылдан аспайды.

Жинақталған ұсақ қалдықтардан алынатын кешенді ферроқорытпа өндірісі жобасының құны.

Жобаны жүзеге асыру өндірістік кәсіпорынды жобалауды талап етеді.

Кешенді ферроқорытпа өндірісін жобалауға технологиялық және техникалық тапсырмаларды әзірлеу белгілі бір келісімшартты орындауға байланысты жүзеге асуы мүмкін. Осы жұмыстардың нәтижелері негізінде кешенді ферроқорытпа кешенінің барлық бөлімшелерінің жобаларын жасауға Гипромезге тапсырмалар беруге болады. Бұл ретте жобалау үшін технологиялық және техникалық параметрлер мен өндіріс қуаты бастапқы деректер болып табылады. Ең алдымен, әзірленген технология бойынша өндіріс шығындарын анықтау қажет.

6.4 кесте – Инновациялық технология бойынша кешенді ферроқорытпа өндірісін жобалауға кететін шығындар

№ п/п	Атаулары	Өлшем бірлігі	Бағасы, мың. \$ АҚШ	Саны	Құны, мың. \$ АҚШ
1	2	3	4	3	6
1.	Шикізат пен отынды дайындау аймағының жобалық құжаттары	кешен			
1.1.	Кендердің, концентраттар, флюс, көмірге арналған бункерлердің және бекітуші қақпақтардың жобасы	дана	10,0	20	200,0
1.2.	Материалдар мен көмірді сұрыптауға арналған елек жобасы	дана	8,0	6,0	48,0
1.3	Конвейерлер мен барабанды араластырғыштың жобасы	дана	6	5	30,0
1.4	Барабанды кептіру пешінің жобасы	дана	10,0	3	30,0
2.	Магниттеп күйдіруге арналған шахталық пештің жобасын жасақтау				
2.1	Жүктегіш және шығаратын қондырғының жобасы	дана	10,0	8	80,0
2.2	Табақшалы кесектегіштердің жобасы	(кешен)	10,0	5	50,0
2.3	Шахталық пештің қаңқасы мен металдық конструкцияның жобасы	дана	10	8	80,0
2.4	Жентектерді металдандыруға арналған шахталық пештің жобасы	дана	20,0	5	100,0
2.5	Шахталық пештің отқа төзімді шегенінің жобасы	дана	6,0	8	48,0
2.6	Газ клапаны бар шахталық пештің газшығару және газ ұстау қондырғыларының жобасы	дана	10,0	10	100,0
2.7	Үздіксіз қайта жүктегіш қондырғының және шлюзді бункерлердің, индукциялық пештің түйісу аймағының жобасы	дана	10,0	10,0	100,0
3.	Газогенераторлардың жобасы	дана	10,0	5,0	50,0
4.	БӨА қондырғысының және автоматтандырылған жүйесінің жобасы	дана			114,0
5.	Өндірістік ғимараттардың жобасы				370,0
Барлығы					1400,0

6.5 кесте – Материалдық шығындар

№ п/п	Атаулары	Өлшем бірлігі	Бағасы, \$ АҚШ	Саны	Құны, \$ АҚШ
1.	Марганец және хром қалдықтары	т/т	50,0	2,5	125,0
2.	Флюс	т/т	20,0	0,070	1,4
3.	Ағаш көмірі	т/т	500,0	0,280	140,0
4.	Энергетикалық көмір	т/т	18,0	0,50	9,0
5.	Табиғи газ 1000 х	м ³ /т	160,0	0,10	16,0
6.	Сығылған ауа 1000 х	м ³ /т	2,6	0,6	1,56
7.	Су	т/т	0,15	0,50	0,80
8.	Бу	т/т	10,0	0,065	0,65
9.	Электрэнергиясы	кВт·ч/т	0,15	150	225,0
Барлық материалдық шығын					519,35
10.	Жалақы қоры				40,0
11.	Қажетті жөндеу жұмыстары				2,5
12.	Көлік жұмысы				2,6
13.	Негізгі бөлімдерді автоматтандыру				3,15
14.	Әлеуметтік сақтандыруға есептеу				1,2
Заводтық өзіндік құны					568,8 шамамен 570,0

Қорытпаның өзіндік құны 570 \$/т болған кезінде өндіріс бірлігіне жоғарыда келтірілген шығындардың нәтижелері бойынша қуат деңгейі тәулігіне 800 т болатын өнеркәсіптік кешеннің техникалық-экономикалық көрсеткіштерін анықтаймыз.

6.6 кесте – Қуаттылығы тәулігіне 800 т болатын өнеркәсіптік кешеннің техникалық-экономикалық көрсеткіштері

Көрсеткіштер	Өндірістік модуль, \$, США
Жылына өндірілетін өнімге жұмсалатын барлық шығын $M = П \cdot C = 800 \cdot 357 \cdot 570 =$	162 792 000,0
Орташаланған нарық құны – 2600 \$/т	2600,0 \$
Өнімді таратудан алынатын пайда $D = П \cdot Ц = 800 \cdot 357 \cdot 2600 =$	742 560 000,0
Салықтар: ҚҚС + МС = 12 %.	89 107 200,0
Пайда $E = 742 560 000 - 89 107 200 - 22 008 000$	653 452 800,0
Пайданың салығы ~ 30 % Таза пайда $653 452 800 - 196 035 840 =$	457 416 960,0

Көріп тұрғанымыздай қуаты тәулігіне 800 т болатын өнеркәсіптік кешен АҚШ **457416960,0 \$** таза пайда бере алады және кешенді жобалауға кететін

барлық күрделі шығындар мен жобалауға кететін шығындарды іс жүзінде өтей алады = 141000000+1430000 = 142430000,0 \$ АҚШ.

Жобаның өзін өзі ақтау мерзімі

$$T = \frac{142430000,0}{457416960,0} = 0,312 \text{ жыл.}$$

Көрініп тұрғандай, өнеркәсіптік кәсіпорын құруға, шығарылатын өнімді сатуға кететін шығындар, тауар өнімін сатудан түскен табыс пен сатылатын өнімнен түскен пайда өндірістің жоғары рентабельділігін көрсетеді. Жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштер инновациялық технология есебінен ұсақ жинақталған марганец пен хром қалдықтарын тиімді өңдеу есебінен анықталған, тиісті тауарлық кенге қарағанда оның бағасы бірнеше есе төмен. Осы ұсақ қалдықтардан моношихтаны дайындау технологиясы әзірленді, бағасы қымбат кондициялық марганец және хром кеніне қарағанда ол айтарлықтай жоғары технологиялық сипаттамаларға ие. Алынған моношихтаны одан әрі редукциялап балқытуы процестердің өту тиімділігін арттырумен, физика-химиялық процестердің ағуын жылдамдатумен, электрэнергиясы шығынын қысқартумен, балқыту агрегатының өнімділігін арттырумен қатар жүреді.

6 бөлім бойынша қорытынды

Белгіленген техника-экономикалық көрсеткіштер өнеркәсіптік кәсіпорынды құру және феррохром, ферромарганец кешенді ферроқорытпа өндірісін ұйымдастыру үшін осы инновациялық технологияны пайдаланудың маңыздылығын ғана емес, сонымен қатар тауар өнімі ретінде ішкі және әлемдік нарықта сұраныста екенін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыс нәтижелері бойынша қысқаша қорытынды

1) Минералды шикізат базасының күйін және марганец пен хром кендерінен ферроқорытпалар өндірісін талдау негізінде зерттеу бағыты таңдалды және ғылыми негізделуі жүргізілді, зерттеу міндеттері анықталды.

2) Кесекті кен шикізатынан феррохром және ферромарганец өндірісі бойынша дәстүрлі технологияның кемшіліктерін толтыру мақсатында жаңа тәсілдемелер таңдалды және Дөң мен Жәйрем КБК-да сәйкесінше хром және марганец кенін байытудың жиналған майда қалдықтарынан феррохром мен ферромарганец алу бойынша кешенді ғылыми зерттеулер ұйымдастырылды.

3) Марганец және хром қалдықтарының таңдалмалы сынамаларының химиялық және фазалық құрамын зерттеу негізінде марганец пен хром кенін байытудың ұсақ фракциялы қалдықтарында темір, марганец пен хромның қосылыстары анықталды. Қалдықтарда хром тұрақты тотық Cr_2O_3 түрінде кездесетіні орнатылды және шпинелде ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3\cdot\text{MgO}$) шоғырланған. Марганец кенінің қалдықтарында марганец пен темір жоғарғы тотықтар – MnO_2 және Fe_2O_3 түрінде анықталған. Ұсақ хром және марганец қалдықтарының химиялық және минералогиялық құрамының ескерілуімен сәйкесінше феррохром және ферромарганец үлгілерін алу үшін шихта құрамы қалыптастырылды.

4) Қатты фазалы күйде тотықтардың қатты бөлшектерінен металдарды көміртегімен тікелей редукциялаудың теориялық зерттеулері негізінде дисперсті күйіне тәуелді жүйенің реакциялық-жанасу бетін (РЖБ) анықтайтын тиімді критерий орнатылды. Қатты бөлшектер өлшемі кіші болған сайын, РЖБ соншалықты жоғары болатыны көрсетілді. Кинетикалық режимде тотықтардан металдардың қатты көміртегімен тікелей редукциясының жоғары дәрежесін және металл тотықтарының қатты бөлшектері мен қатты көміртегі арасында РЖБ кеңеюін қамтамасыз ету үшін, кен көмір шихтасы 1,0 мм кіші фракциясына дейін қосымша ұнтақталу қажеттілігі анықталды.

5) Жиналған ұсақ хром және марганец қалдықтарының негізінде кен көмір шихтасын дайындау әдістемесі жасалды және металданған жентектердің алынуымен оларды күйдіру бойынша тәжірибелік зерттеулер жүргізілді.

6) Алғаш рет, тотықтардың химиялық беріктігі мен жүйені қыздыру температурасына тәуелді, металдардың – темір, марганец пен хромның қатты фазада редукциясының кинетикалық заңдылығы орнатылды; механо-активтендірілген кешенді жүйе болып келетін шихтадан металдардың тікелей редукциясын зерттеу нәтижелері процесс барысын реттеу мүмкіндігін көрсетеді. Дайындалған шихтада редукциялау процесі қатты фазалы күйде, 600 °С температурадан басталатыны орнатылды, ал қолданыстағы технология бойынша электртермиялық пештерде редукциялау процесі сұйық фазада, материалдың балкуынан кейін және 1250 °С температурада басталады.

7) Хром және марганец қалдықтарының негізінде алынған шихта құрамына алдынала дайындалған көмірдің нормаланған шығынын енгізу

негізінде ерекше көмір-кенді шихтаның орташаланған құрамы алынды. Технологиялық процестерді ретпен ары қарай ұйымдастыру үшін дайындалған шихтадан фракциясы 8,0-20,0 мм көмір-кенді жентектердің үлгілері алынды, мұнда байланыстырғыш ретінде меласстың сулы ерітіндісі пайдаланылды.

8) Шикі көмір-кенді жентектердің механикалық беріктігін арттыру үшін, оны 350-400 °С температурада кептіруге ұшыратады, мұнда қатты көміртегі атмосфералық ауада айтарлықтай тотықпайды, ал ылғал толығымен буланады. Кептірілген жентектер тасымалдау, шахталы пешке түсіру және металдандыру үшін қажетті жеткілікті жақсы беріктікке ие болады.

9) СУОЛ-044 12-М2 құбырлы пешінде герметикалық шарттарда ауаның қатысуынсыз 1000 °С температурада кептірілген көмір-кенді жентектерді металдандыру ұйымдастырылған. Жоғарғы марганец пен хром тотықтарының бір бөлігінің редуциялануымен, темір металдануының жоғары дәрежесіне $R_{Fe}=0,98$ қол жеткізілді. Металды темір процесте тотықтардың барлық қатты бөлшектерін байланыстыру түйіні ретінде пайдаланылады, бұл металданған жентектердің тығыздалған үлгілерін алуға мүмкіндік береді.

10) Қиын редуцияланатын хром және марганец тотықтарын толық редуциялау үшін, алынған металданған жентектер үлгілері сұйық феррохром және ферромарганец балқымаларының алынуымен 1500-1600 °С дейін жоғары температуралық балқытуға ұшырайды. Алынған өнімдер жоғары көміртекті қорытпалар болып табылмайды: мұнда көміртегі концентрациясы 0,5-1,5 % және 0,5-2,0 % аралығында болады. Алынған қорытпалар хром [Cr] мен марганец [Mn] концентрациясы бойынша стандартты феррохром мен ферромарганец құрамына сәйкес келеді.

11) Жасалған технология қорытынды сатысында бағалы жоғары сапалы тауарлы өнімдерді – феррохром және ферромарганецті алуға мүмкіндік беретін, бастапқы құндылығы жоқ, хром және марганец кенін байытудан жиналған ұсақ қалдықтарды пайдалануға негізделген. Алынған қорытпалар сапасы бойынша осы уақытқа дейін қолданылатын жаңа және дәстүрлі технологиялық процестермен өндірілетін ұқсас өнімдерден біршама жақсы .

Қойылған міндеттердің толыққанды шешілуін бағалау

Диссертациялық жұмыста қойылған міндеттер толық көлемде шешілді.

Нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар және бастапқы деректер

Марганец және хром кенін байытудың жиналған ұсақ қалдықтарын өңдеудің жасалған технологиясы өндіріске енгізу, мәселен Жәйрем және Дөң КБК-да қосалқы өндірісті құру үшін ұсынылуы әбден мүмкін.

Технологиялық процесс ҚР патентімен қорғалған: **Құрамын реттеу мүмкіндігімен феррохром және ферромарганец алу тәсілі** // Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. ҚР Патенті № 33666, Өтінім. 01.08.2017 ж. Жариялануы. 04.06.2019 ж.

Енгізудің техника-экономикалық бағасы

Марганец және хром қалдықтарын өңдеу бойынша үлкейтілген зертханалық зерттеулер нәтижелері бойынша дәстүрлі және жасалған

технологиялар бойынша сәйкес ферроқорытпалар өндірісінің өзіндік құнына салыстырмалы талдау орындалды. Жасалған технология бойынша темір-марганец және темір-хром қорытпаларының алынған үлгілерінің өзіндік құны қазіргі таңда өндірісте шығарылатын ферроқорытпалардың өзіндік құнынан, олардың салыстырмалы нарықтық құнында 2,5-3,0 есе төмен. Жаңа технология бойынша сәйкес қорытпалар өндірісін ұйымдастыру кезінде жиналған өнеркәсіптік қалдықтардан шынайы өнім өндірісін ұйымдастырудың жоғары рентабельділігіне қол жеткізіледі.

Берілген салада үздік жетістіктермен салыстырғанда жасалған жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау

Марганец және хром қалдықтарын өңдеу бойынша ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру және әдістемесі диссертанттың ғылыми жетекшімен бірігіп жасаған редуциялау-балқыту процестерінің жаңа теориялық қағидаларын қамтиды. Жаңа қағидалар мен нәтижелер импакт-факторы жоғары халықаралық басылымдарда жарияланған және Халықаралық конференциялар мен симпозиумдарда сыналды.

Темір, марганец пен хром тотықтарының негізінде шихта компоненттері мен қоспасын дайындау принципіалды жаңа негізде жүзеге асырылды. Газды редуционерді қатты көміртегімен толық алмастыру нәтижесінде бастапқы шихтаны шахталы пеште металдандыру процесі жүзеге асырылды. Металдар редуциясына қажетті көміртегі шығынын реттеу нәтижесінде алғаш рет металдың көміртектену процесі жойылды. Металданған өнімдерді ары қарай балқыту кезінде, стандартты үлгілерге сәйкес келетін, көміртегі мөлшері 0,6-1,0 % болатын темір-марганец және темір-хром қорытпалары алынды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 <http://www.investkz.com/journals/116/1615.html>
- 2 Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. Марочник сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
- 3 Кудрин В.А. Металлургия стали. - М.: Металлургия, 1981. – 287 с.
- 4 Ш. Петер, Б. Ханс. Производственные мощности по выплавке чугуна в мире // «Металлургическое производство и технология металлургических процессов». – 2008. - №2. - 22-28 с.
- 5 Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. - Киев: Вища школа, 1981. – 496 с.
- 6 Шишкин Ю.И., Торговец А.К. Современный кислородно-конвертерный процесс: учебное пособие. – Алматы: Ғылым, 2013. - 145 с.
- 7 Рысс М.А. Производство ферросплавов. - М.: Металлургия, 1985. – 244 с.
- 8 Куликов И.С. Раскисление металлов. - М.: Металлургия, 1969. – 576 с.
- 9 Казачков И.П. Легирование стали. - Киев: Техника, 1982. – 120 с.
- 10 Гасик М.И., Емлин Б.Н. Электрометаллургия ферросплавов: Теория и технология получения ферросплавов. - Киев, Донецк: Вища школа, 1983. – 376 с.
- 11 Тлеугабулов С.М. Теоретические основы получения металлов, сплавов и перспективных материалов: Учебное пособие для вузов / Тлеугабулов С.М., Алматы: издание РИК по учебной и методической литературе, 2001. – 332 с.
- 12 Пат. 2013/0338.1 Республика Казахстан. Способ стабилизации шлаков производства рафинированных марок ферромарганца / Байсанов А.С., Байсанов С.О., Толымбетов М.Ж.; опубл. 15.07.2014, Бюл. № 7.
- 13 Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 769 с.
- 14 Пат. 2033455 Россия. Способ производства малофосфористого углеродистого ферромарганца / Толстогузов Н.В., Гуменный В.Ф.; опубл. 20.04.95.
- 15 Пат. 2428499 Россия. Способ получения среднеуглеродистого ферромарганца / Юсфин Ю.С., Шалыгин А.Г., Подгородецкий Г.С. опубл. 10.09.2011.
- 16 Tleugabulov S., Tolukpayev B., Kiyekbayev Y., Koishina G. Dissociation – Adsorption Mechanism as a Theoretical Basis of High Technology for Steels Reduction Melting // Journal of Materials Science and Engineering - 2012. - B2 (4). 281-2887.
- 17 С.М. Тлеугабулов, Е.Е. Киекбаев, Г.М. Койшина, Е.М. Алдангаров Прямое восстановление металлов - высокотехнологичное производство: сборник // Сталь. - М.: ООО "Интермет Инжиниринг", 2010. - №2. - С. 4-8
- 18 Тлеугабулов С.М., Киекбаев Е., Койшина Г.М., Алдангаров Е.М. Прямая редуция металлов ведёт к высокой технологии производства //

Международный научно-технический и производственный журнал Сталь. – 2010. – №2. – С. 4-8.

19 Ростовцева С.Т., Гасика М.И. Физико-химические основы металлургии марганца. - М.: Наука, 1977. - 185 с.

20 Толстогузов Н.В. Теоретические основы восстановления марганца, кремния и примесей при плавке ферромарганца и силикомарганца. - Новокузнецк, 1991. – 128 с.

21 Карноухов В.Н., Воронов Ю.И., Зайко В.П., Жучков В.И. Технология низкоуглеродистого феррохрома. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - 482 с.

22 Еднерал Ф.Д. Электрометаллургия стали и ферросплавов. - М.: Металлургия, 1977. - 480 с.

23 Пат. 1716807 Россия. Способ производства высокоуглеродистого феррохрома / Акбердин А.А., Матвиенко В.А., Ким А.С., и др.; опубл. 14.03.97, Бюл. №1.

24 Торговец А.К., Суслов А.В., Зобнин Н.Н., Байсанов С.О., Жукенов М.Д., Пикалова И.А. Опыт использования оборотных отходов производства ферросплавов мелкой фракции // Научные труды международной конференции «Научно – технический прогресс в металлургии». Алматы: изд. РИК, - 2005. – С. 87-94.

25 Агеева Н.В. Физико-химия и металлургия марганца. - М.: Наука, 1979. – 285 с.

26 Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Металлургия железа: учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.: ил

27 Тлеугабдулов С.М., Б.С., Койшина Г.М., Алтыбаева Д.Х., Тажиев Е.Б. Восстановительная плавка шихты // Научно-производственный технический журнал «Металлург», - 2015. - № 12.

28 Пат. 2007125796/02 Россия. Способ получения металлов / Дигонский С.В., Тен В.В.; опубл. 10.03.2009.

29 Тлеугабдулов С.М. Теория металлургических процессов. – Verlag / Издатель: Palmarium Academic Publishing, Heinrich-Böcking-Str. 6-8, 66121, Deutschland / Германия, - 2014. - 569 с.

30 Заякин, О.В., Заякин, В.И. Жучков, В.И. Афанасьев. Изучение процессов восстановления компонентов хроморудных материалов в рудовосстановительных электропечах // Материалы международной научно-практической конференции Абишевские чтения - 2011 «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии». - Караганды: АО «Карагандинская полиграфия», 2011. - С. 110-112.

31 Пат. 4476. Республика Казахстан. Способ производства высокоуглеродистого феррохрома / Акбердин А.А.; опубл. 14.03.1997.

32 Пат. 2148672 Россия. Способ получения феррохрома / Дигонский С.В., Дубинин Н.А., Крабцов Е.Д., Тен В.В.; опубл.10.05.2000.

33 Пат. 2012/0289.1 Республика Казахстан. Способ получения рафинированного ферромарганца / Толымбеков М.Ж., Байсанов С.О., Байсанов А.С.; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 12.

- 34 Елютин В.П. Производство ферросплавов. Экспресс-информация ЦНИИЧМ, 1977, серия 5, вып. 4, С. 1-12.
- 35 Елютин В.П. Производства ферросплавов. - М.: Metallurgy, 1957. – 119 с.
- 36 Пат. 773088 Россия. Флюсовый способ производства низкокремнистого углеродистого ферромарганца / Толстогузов Н.В., Серов Г.В., Матющенко В.И., Величенко Б.Ф.; опубл. 23.10.1980, Бюл. № 19.
- 37 Перетягин В.А., Павлов А.В. Особенности высокотемпературного восстановления марганцевых руд углем // Metallurg. -2003. - № 10. - С. 52-55.
- 38 Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. - М.: Metallurgy, 1985. 480 с.
- 39 Кудрин В.А. Металлургия стали. – М.: Metallurgy, 1981. – 287 с.
- 40 Хитрик С.И., Емлин Б.И., Ем А.П., Гасик М.И., Рабинович А.В. Электрометаллургия феррохрома. М.: Metallurgy, 1968. - 148 с.
- 41 Тлеугабдулов С.М., Тлеугабдулов Б.С., Койшина Г.М., Алтыбаева Д.Х., Тажиев Е.Б. Восстановительная плавка моношихты // Научно-производственный технический журнал «Металлург», – 2016. – № 1. – С. 35-40.
- 42 Воскобойников В.Г., Макаров Л.П. Технология и экономика переработки железных руд. – М.: Metallurgy, 1977. – 256 с.
- 43 А.с. 492546. Способ доменной плавки / М.Ф. Курунов, А.И. Истеев, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин; опубл. 25.11.1975, Бюл. № 43. – 2 с.
- 44 Жучков, В.И. Метод комплексной оценки ферросплавов / В.И. Жучков, Н.А. Андреев, О.В. Заякин // Сборник докладов Литейного консилиума № 4 «Плавка чугуна и стали. Модифицирование – эффективный метод повышения качества металла». - Челябинск: Челябинский Дом печати, 2010. - С. 61-63.
- 45 Казачков Н.С. Раскисление стали. – Киев: Техника, 1982. – 120 с.
- 46 Жучков В.И. Технология марганцевых ферросплавов. Ч. 1. Высокоуглеродистый ферромарганец / В.И. Жучков, Л.А. Смирнов, В.П. Зайко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 414 с.
- 47 Саранкин В.А., Хитрик С.Н. Электрометаллургия стали и ферросплавов // Сб. научн. тр. Днепропетровск, 1963. - С. 143-161.
- 48 Дуррер Р., Фолькерт Г. Металлургия ферросплавов. - М.: Metallurgy, 1976. - 480 с.
- 49 Сучильников С.И., Униговский Я.Б., Павлов В.А. и др. Восстановительные процессы в производстве ферросплавов // Сб. научн. тр. М., 1977. -С. 136-138.
- 50 Тлеугабдулов С.М. Теоретические положения прямого производства стали восстановительной плавкой // Международный научно-технический и производственный журнал «Сталь». – 2003. – №8. – С. 18-21.
- 51 Тлеугабдулов С.М. Диссоциационно - адсорбционный механизм и кинетика твердофазного восстановления железа углеродом // Международный научно-технический и производственный журнал «Сталь». – 1991. – №1. – С. 15-18

52 Tleugabulov S., Ryzhonkov D., Altybaeva D., Koishina G. Limitation of metal carbonization results in implementation of “Ore-Steel” process // International Journal of Chemical Sciences. India. 13(1), 2015, №2. –P. 39-42, Scopus.

53 Kiyekbayev Y.Y., Tleugabulov S.M. High-technology process of reduction melting for steel production // Proceedings of 19th International Metallurgical and Materials Conference “Metal2010”. Roznov pod Radhostem, Czech Republic, EU. 2010, 18-20th of May. P. 36.

54 Тлеугабулов С.М., Койшина Г.М., Тлеугабулов Б.С., Пыхтеева-Тлеугабулова К.Б. К совершенствованию системы управления восстановительно-плавильным процессом в высокой шахтной печи типа доменной // Международный научно-технический и производственный журнал «Сталь». – 2012. – №5. – С. 12-16.

55 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б., Тлеугабулов Б.С. Системный подход к разработке технологии восстановительной выплавки стали // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. №9, 2018, - С. 40-47.

56 Горбачев В.А., Евстюгин С.Н., Копоть Н.Н. Принципы выбора технологии прямого получения железа // Международный научно-технический и производственный журнал «Сталь». – 2006. – №6. – С. 42-46.

57 Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М., Рыжонков Д.И., Койшина Г.М. Восстановительная плавка металлосодержащих промышленных отходов без науглероживания металлического сплава // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – №4. – С. 71-76.

58 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. Теоретические основы восстановительной плавки стали // НАУКА – ОБРАЗОВАНИЕ – ПРОИЗВОДСТВО: Опыт и перспективы развития: мат-лы XIV Международной науч.-техн. конф. (8-9 февраля 2018 г.): в 2 т. Т. 1; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2018. – С. 116-123.

59 Воскобойников В.Г. Металлургия чёрных металлов. – Москва: Металлургия, 2002. – 450 с.

60 Любан А.К. Кинетика и механизм восстановления железа углеродом // Журнал «Сталь», 1947, №2. – С. 163.

61 Кнышев Э.А., Баум Б.А., Гельд П.В. и др. Физико-химические основы производства стали / Сб. научн. тр. М., 1968. - С. 400-403.

62 Чуфаров Г.И., Татиевская Е.П. Механизм и кинетика восстановления металлов // Физико-химические основы доменного производства и современная практика производства чугуна. Свердловск: Металлургиздат, 1956, – С. 21-64.

63 Гельд П.В. Роль газовой фазы при восстановлении окислов твёрдым углеродом // Химия и технология редких элементов. ТР. ин-та химии УФАН СССР. Свердловск, 1957. Вып.8. – С. 8-14.

64 Могутнов Б.М., Томилин И.А., Шварман Л.А. Термодинамика сплавов железа. М.: Металлургия, 1984. - 208 с.

65 Тлеугабулов С.М., Нурумгалиев А.Х. Результаты исследования процесса получения комплексного сплава из углеотходов // Журнал «Сталь», Москва, 2005, №7. – С. 57-60.

66 Казенас Е. К., Чижигов Д. М. Давление и состав пара над окислами химических элементов. - М.: Наука, 1976. - 342 с. 68 Крамаров А.Д. Соколов А.Н. Электрометаллургия стали и ферросплавов. М.: Metallurgy, 1976. 376 с.

67 Гасик М.И., Лякишев М.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. Учебник для вузов. М.: Metallurgy, 1988. - 784 с.

68 Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М., Койшина Г.М. Воздушно-гравитационное обогащение марганцевых отходов //Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0» 14-15 марта. Алматы: КазНИТУ, 2019. – С. 374-377.

69 Tazhiev E.B., Tleugabulov S.M. Preparation of a mono-beam for obtaining ferroalloys from small waste from enrichment of chromite and manganese ores of Kazakhstan // International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» (June 14-15, 2018.) Part 1: Participants reports in English – Beijing, China: Minzu University of China, 2018. – P. 244-250.

70 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. Марганец-ванадий құрамды қорытпа мен болат алудың сандық технологиясы // Вестник Казахстанского-Британского Технического Университета, №3 (46), 2018, - С. 47-53.

71 Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М. Технология во восстановительной плавки комплексного железо-марганец-хромсодержащей руды // Международная научно-практическая конференция«Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации»(Сагиновские чтения №10). 14–15 июня 2018 года, Караганда, С. 252-253.

72 Патент РК на изобретение №33666 «Способ получения феррохрома и ферромарганца с возможностью регулирования их состава».Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. заявл. 01.08.2017 г. опубл. 04.06.2019 г.

73 Tleugabulov S. M., Tazhiev E.B. Energy-saving ferroalloy production // Steel in Translation (United Kingdom), 2017, Vol. 47, No. 10, pp. 682–687.

74 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. Энергосберегающая технология производства ферросплавов // Международный научно-технический и производственный журнал «Сталь», – 2017.– № 10, – С. 13-18.

ҚОСЫМША А

Ғылыми нәтижелерінің оқу процесіне енгізілгендігі туралы акт

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА



Наурызбаева Д.К.

2020 г.

АКТ внедрения (использования) результатов НИР в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся, директор института Metallургии и промышленной инженерии, канд. техн. наук, профессор Турысбекова Г.С., заведующий кафедрой «Metallургия и обогащение полезных ископаемых», канд. техн. наук Барменшинова М.Б. и научный консультант докторской диссертации Тажиева Е.Б. на тему: «Разработка технологии получения железо-марганец-хромсодержащих сплавов из металлсодержащих отходов на основе прямого восстановления металлов» д-р техн. наук, академик НИА РК, профессор Тлеугабулов С.М. составили настоящий АКТ ВНЕДРЕНИЯ (ИСПОЛЬЗОВАНИЯ) результатов НИР по докторской диссертации в учебный процесс (2019/2020 уч. год) для подготовки обучающихся в виде материалов лекционных курсов по дисциплинам: «Metallургиялық өндірістің технологиясы» для бакалавров специальности 5B070900 – Metallургия, «Современные тенденции в развитии теории и технологии металлургических процессов» для докторантов специальности 8D07204 – Metallургическая инженерия.

Внедрение (использование) отдельных результатов диссертационной работы в учебный процесс позволяет повысить качество обучения студентов бакалавриата, магистрантов и докторантов путем их ознакомления с новыми технологиями и приемами в производстве черных металлов, с соответствующим оборудованием для их осуществления, с существующими проблемами в отрасли и возможностями выбора и применения технологических решений.

По теме докторской диссертации подготовлено 1 дипломная работа студента бакалавриата КазНТУ им. К.И. Сатпаева по специальности 5B070900 – Metallургия.

Директор ИМиПИ

Г.С. Турысбекова

Заведующий кафедрой МиОПИ

М.Б. Барменшинова

Научный консультант работы

С.М. Тлеугабулов

Ассоциированный профессор
кафедры МиОПИ

Б.С. Баимбетов

Сениор-лектор каф. МиОПИ

Л.Т. Бошкаева

ҚОСЫМША Б

Ғылыми жұмысқа қатысқаны туралы құжат

Министерство образования и науки Республики Казахстан

НАО "КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА"
(НАО "КазНТУ имени К.И. Сатпаева")

ГРНТИ: 53.31.21

УДК: 669.11

Номер госрегистрации: 0115РК01809

Инвентарный номер:

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке НАО
"КазНТУ имени К.И. Сатпаева",
д-р ф.-м.н., профессор
М.К. Орунханов
« _____ » _____ 2017 г.



ОТЧЕТ

О НАУЧНО – ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме:

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ
МЕТАЛЛОВ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВОГО
МАРГАНЕЦ-ХРОМСОДЕРЖАЩЕГО СПЛАВА ИЗ НАКОПЛЕННЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

(заключительный)

2210/ГФ4

Программа 217 «Развитие науки»

Подпрограмма 102 «Грантовое финансирование научных исследований»

Приоритет: «Рациональное использование природных ресурсов,
переработка сырья и продукции»

Научный руководитель проекта
д-р техн. наук, акад. НИА РК

С.М. Тлеугабуров

Алматы 2017

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,
главный научный сотрудник,
д-р техн. наук, профессор:



подпись, дата

С.М.Тлеугабулов
(реферат, введение,
разделы 1 – 4, заключение)

Исполнители:

Ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук:



подпись, дата

С.Б.Абиков
(введение, разделы 1 – 4)

Старший научный сотрудник,
канд. тех. наук, профессор:



подпись, дата

А. Джантуреев
(разделы 1 – 4)

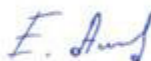
Старший научный сотрудник,
канд. тех. наук, профессор:



подпись, дата

А.Х.Нурумгалиев
(разделы 1 – 4)

Научный сотрудник,
магистр экономических наук :



подпись, дата

Е.М.Алдангаров
(разделы 2 – 4)

Научный сотрудник,
докторант PhD:



подпись, дата

Г.М.Койшина
(разделы 2 – 4)

Научный сотрудник,
докторант PhD:



подпись, дата

Е.Б.Тажиев
(разделы 2 – 4)

Младший научный сотрудник,
магистрант:



подпись, дата

Д.К. Көккөзов
(разделы 2 – 4)

Младший научный сотрудник,
магистр:



подпись, дата

Н.Б. Асабаев
(разделы 2 – 4)

Нормоконтролер – Инженер,
магистрант:

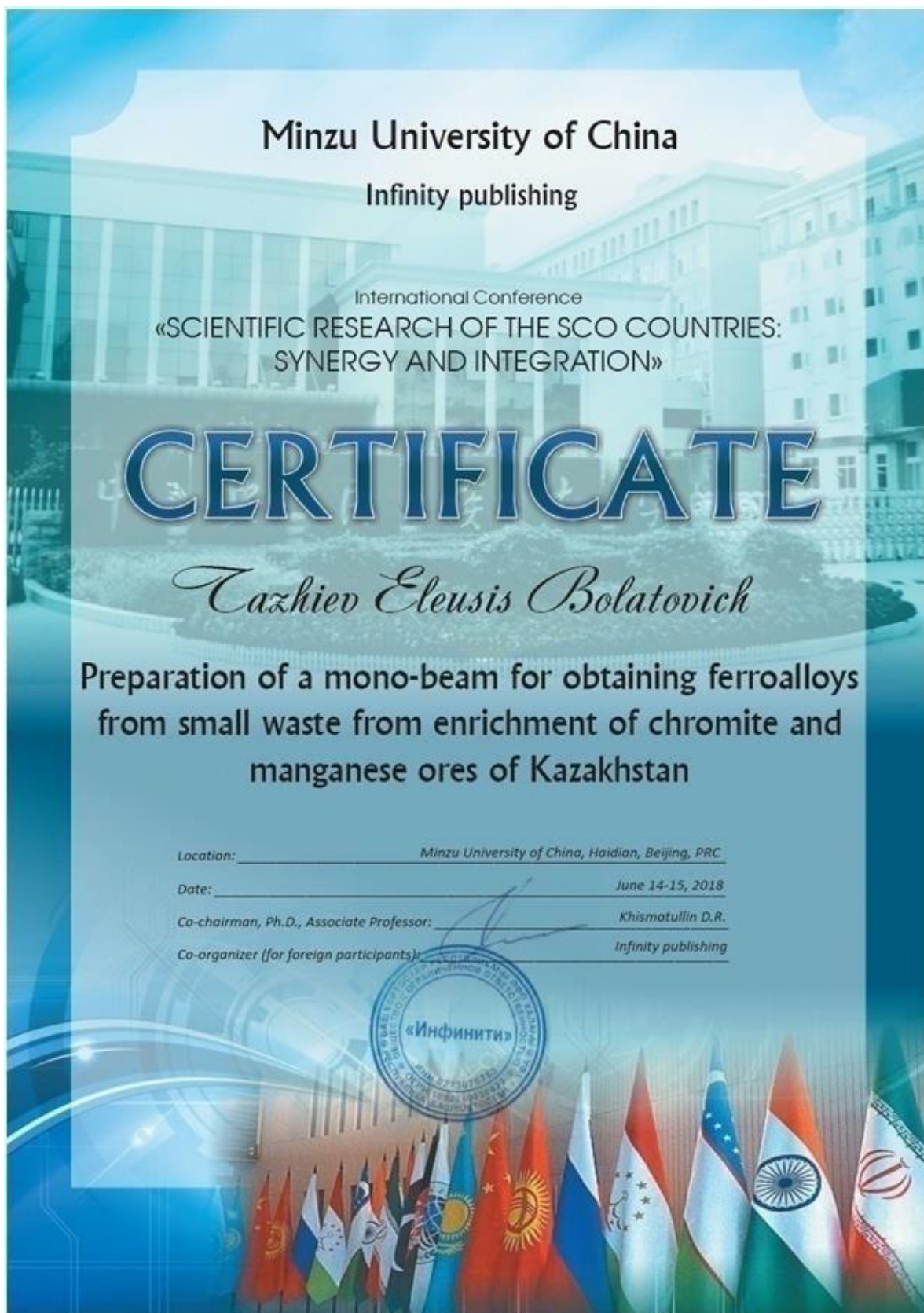


подпись, дата

Б.К. Тлеубекова
(разделы 2 – 4)

ҚОСЫМША В

Халықаралық конференциялардан алынған сертификаттар



ҚОСЫМША Г

ҚР өнертабысқа патенті

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ
PATENT**

№ 33666

ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION

 (21) 2017/0649.1
(22) 01.08.2017

Қазақстан Республикасы Өнертабыстары мемлекеттік тізілімінде тіркеу күні / Дата регистрации в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан / Date of the registration in the State Register of Inventions of the Republic of Kazakhstan: 04.06.2019

(54) Құрамын реттеу мүмкіндігімен феррохром және ферромарганец алу тәсілі
Способ получения феррохрома и ферромарганца с возможностью регулирования их состава
Method for obtaining of ferrochrome and ferromanganese with the possibility of regulating their composition

(73) Тлеугабулов Сулейман Мустафьевич (KZ); Тажиев Елеусиз Болатович (KZ)
Tleugabulov Suleiman Mustafyevich (KZ); Tazhiyev Yeleusiz Bolatovich (KZ)

(72) Тлеугабулов Сулейман Мустафьевич (KZ) Тлеугабулов Сулейман Мустафьевич (KZ)
Тажиев Елеусиз Болатович (KZ) Тажиев Елеусиз Болатович (KZ)

Е. Оспанов
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

ҚОСЫМША Д

Зерттеу тақырыбы бойынша жарияланымдар тізімі

1 Tleugabulov S. M., Tazhiev E.B. Energy-saving ferroalloy production // Steel in Translation (United Kingdom), 2017, Vol. 47, No. 10, pp. 682–687.

2 Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М., Рыжонков Д.И., Койшина Г.М. Восстановительная плавкаметаллсодержащих промышленных отходов без науглероживания металлического сплава // Комплексное использование минерального сырья. №4, 2018. - С. 71-76.

3 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. Марганец-ванадий құрамды қорытпа мен болат алудың сандық технологиясы // Вестник Казахстанского-Британского Технического Университета, №3 (46), 2018, - С. 47-53.

4 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б., Тлеугабулов Б.С. Системный подход к разработке технологии восстановительной выплавки стали // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. №9, 2018, - С. 40-47.

5 Tazhiev E.B., Tleugabulov S.M. Preparation of a mono-beam for obtaining ferroalloys from small waste from enrichment of chromite and manganese ores of Kazakhstan // International Conference «Scientific research of the SCO countries: synergy and integration» (June 14-15, 2018.) Part 1: Participants reports in English – Beijing, China: Minzu University of China, 2018. – P. 244-250.

6 Тлеугабулов С.М., Рыжонков Д.И., Тажиев Е.Б. Получение качественной стали восстановительной плавки из металлсодержащих промышленных отходов // НАУКА И ИННОВАЦИЯ В XXI ВЕКЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ, ОТКРЫТИЯ И ДОСТИЖЕНИЯ: V Международная научно-практическая конференция. В 2 ч. Ч. 1 – Пемза: МЦНС «Наука и Просвещение» - 5 августа 2017, С. 87-89.

7 Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М. Технология вооcтановительной плавки комплексного железо-марганец-хромсодержащей руды // Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10). 14–15 июня 2018 года, Караганда, С. 252-253.

8 Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. Теоретические основы восстановительной плавки стали // НАУКА – ОБРАЗОВАНИЕ – ПРОИЗВОДСТВО: Опыт и перспективы развития: мат-лы XIV Международной науч.-техн. конф. (8-9 февраля 2018 г.): в 2 т. Т. 1; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижне тагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2018. – С. 116-123.

9 Тажиев Е.Б., Тлеугабулов С.М., Койшина Г.М. Воздушно-гравитационное обогащение марганцевых отходов // Международная научно-практическая конференция «Рациональное использование минерального и

техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0» 14-15 марта. Алматы: КазНИТУ, 2019. – С. 374-377.

10 Патент РК на изобретение №33666 «Способ получения феррохрома и ферромарганца с возможностью регулирования их состава». Тлеугабулов С.М., Тажиев Е.Б. заявл. 01.08.2017 г. опубл. 04.06.2019 г.