

**ҚОЙШИНА ГҮЛЗАДА МЫНҒЫШҚЫЗЫНЫҢ**  
6D070900 - «Металлургия» мамандығы бойынша  
философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін ұсынылған  
**«КӨПКОМПОНЕНТТІ ОКСИДТІК ЖҮЙЕДЕ МЕТАЛДАРДЫҢ**  
**ТІКЕЛЕЙ РЕДУКЦИЯЛАНУ КИНЕТИКАСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ**  
**ЛЕГІРЛЕНГЕН БОЛАТ АЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАҚТАУ»**  
тақырыбындағы диссертациялық жұмысының

**АҢДАТПАСЫ**

**Диссертациялық жұмыста қарастырылатын ғылыми және ғылыми-технологиялық мәселелердің сипаттамасы.**

Кезкелген елдің индустриялық дамуы оның конструкциялық материалдар өндіру деңгейіне байланысты болады. Оның ішінде темір және болат өндірудің жаңа прогрессивті технологияларын жасау аса маңызды іргелі ғылымдар саласына жатады.

Болат өндірудің қазіргі кездегі дәстүрлі металлургиялық өңдеу әдістері көп сатылы, аса күрделі болып келеді. Негізінен ол ауқымды екі сатыдан тұрады: 1) алдын-ала дайындалған шихтаны домна пешінде редукциялап балқытып, шойын шығару; 2) оттекті конвертерлерде шойынды тотықтырып балқытып көміртекті болаттар алу (шойынның құрамына енген легірлеуші элементтер толық тотығады), немесе оған арнаулы ферроқорытпалар қосу арқылы легірленген болат алу технологияларына негізделген. Сонымен бірге, қазіргі кезде кеңінен қолданыла бастаған технология темір рудасын кешенді өңдеу, шикізаттан тек қана темір ғана емес, сондай-ақ легірлеуші металдарды бөліп алу қажеттілігіне және мүмкіндігіне байланысты үлкен практикалық маңызға ие.

**Тақырыптың өзектілігі.**

Қазақстан аумағында өңделетін ильменит және зерттелген, бірақ өңделмейтін титан-магнетит кендері кездеседі. Ресей аумағында (Орал ауданында) титан-магнетиттің ірі кен орны зерттелген және өңделеді. Құрамы 56,0-62,0% Fe; 4,0-5,0% TiO<sub>2</sub>, 0,50-0,6% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> және 0,12-0,15% Mn-тен тұратын титан-магнетит концентратын Качканар ТБК-ты және Евраз «НТМК» ірі металлургиялық комбинат өндіреді. Химиялық және минералогиялық құрамы күрделі, гематиттік, магнетиттік және кешенді темір кендік шикізаттарды өңдеу нәтижесінде олардан табиғи легірленген болаттарды тікелей алуды қамтамасыз ететін жаңа прогрессивті технологиялар жасақтау аса маңызды мәселе болып табылады. Ол үшін шикізаттардың құрамында кездесетін бағалы элементтерді керекті мөлшерде, олардан алынатын болаттардың құрамында қалдыруға мүмкіндік беретін технологиялардың ғылыми негіздерін жасау қажет.

Кешенді темір-кендік шикізаттар арасында құрамында V, Ti, Mn және Cr сияқты бағалы металдар кездесетін титан-магнетит, ильменит кендері аса маңызды болып табылады. Титан-магнетит шикізатын өңдеу технологиясы ванадий шойынын балқытып алу және ванадий шойынынан ванадийді бөліп алуға бағытталған. Бұл шикізаттарда кездесетін титан, титан оксиді (TiO<sub>2</sub>) түрінде кездеседі және темір тәрізді жер қыртысында кең таралған. Титан оксидінің химиялық беріктігі, темір оксидтеріне қарағанда бірнеше есе артық.

Сондықтан титан оксидін редукциялау үлкен қиындықтармен байланысты болады. Осыған байланысты, темір және легірлеуші металдарды тізбектей редукциялау процесін ғылыми зерттеу, титан-магнетит пен ильменит концентраттарын өңдеу технологиясын жасақтау *өзекті мәселе* болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты:** көпкомпоненті оксидті системадан металдардың тізбектеле редукциялану процесін тәжірибелік зерттеу; темір, ванадий, марганец, хром, титан сияқты металдардың тікелей редукциялану процесінің кинетикалық сипаттамаларын зерттеу; бағалы легірлеуші металдармен табиғи легірленген болат үлгілерін алу болып табылады.

**Негізгі зерттеу міндеттері:**

- ильменит және титан-магнетит концентраттары сияқты көпкомпоненті оксидтік материалдардан арнаулы зертханалық шихта үлгілерін дайындау жұмыстарын орындау;

- металл оксидтерінің химиялық байланыстарының термодинамикалық көрсеткіштері негізінде металл оксидтерінің беріктік сипаттамаларын бағалау және редукциялық реакциялардың нәтижесінде металл оксидтерінен бөлінетін оттегінің мөлшерін анықтау;

- металл тотықтарын редукциялау үшін жұмсалатын қатты көміртегінің стехиометриялық шығынын есептеу;

- металдарды тікелей редукциялау процесіне керекті кен-көмір қоспасының арнаулы үлгілерін дайындау және олардан металданған материалдар алу;

- көпкомпонентті металл оксидтерін зертханалық редукциялап-балқыту процесінің технологиясын жасақтау, лабораториялық балқыту қондырғыларын дайындау және сынау. Алынған зерттеу нәтижелерін талдау және ғылыми басылымдарда жариялау.

**Ғылыми зерттеулердің теориялық негіздері.**

Диссертациялық жұмыста ильменит және титан-магнетит сияқты қиын өңделетін концентраттардан металдарды редукциялау үшін қатты көміртегін қолдану ұсынылған және жаңа редукциялау механизмі қарастырылған. Осыған байланысты ғылыми зерттеулердің теориялық негіздері металдарды редукциялаудың әзірге белгілі және жаңа механизмдерін іргелі ғылыми ережелердің негізінде талдау арқылы анықталады.

Белгілі адсорбция-автокаталитикалық механизм (ААКМ) газ түріндегі редукциялаушы реагенттердің адсорбциясына негізделген және редукциялаушы реагент ретінде СО, Н<sub>2</sub> газдарынан тұратын ыстық редукциялаушы газды (ЫРГ) қоспаны пайдалануды ұсынады. Бұл процесті негізінен шахта пештерінде ЫРГ-бен шихтаның қарама-қарсы ағындық қозғалысын ұйымдастыру қажеттілігіне байланысты пайдаланады. Процесті іске асыру үшін темір кенін жентектеу және оларды ірілігіне байланысты сұрыптау процестеріне техникалық шарттар (ТШ) қойылады, нәтижесінде шихтаның ұнтақ бөлігі қалдық ретінде жинақталады.

Осы процесті жүзеге асыруда редукциялаушы реагент ретінде қатты көміртекті пайдалансақ, қатты көміртегі бөлшектерінің металл оксидтерімен арасындағы байланыс - диффузиялық өзара әрекеттесумен шектеліп нақты нәтиже бермес еді.

Қарастырылып отырған механизм бойынша кесектелген шикізаттар қабатында БРГ ағыны арқылы металдарды редуциялау процесін тәжірибелік зерттеу процесінің диффузиялық режимде, ірі кесектің сыртқы бетінен ішкі орталық бөлігіне қарай жүретінін көрсетті. Сондықтан іс жүзінде шахталық пештерде кендік шикізаттарды металдандыру және домна пешінде редуциялап-балқыту процестері шамамен 6-7 сағат жүреді.

Шихта материалдарын металдандырудың белгілі механизмдерін терең талдау нәтижесінде, іргелі ғылыми жаңалықтарына негізделген және әрекеттесуші реагенттердің молекулалық қозғалысына емес, электрондық ағын деңгейіне байланысты орын алатын, жаңа «диссоциациялық-адсорбциялық механизм» (ДАМ) ұсынылады. Жаңа механизмге сәйкес оксид және редуциялаушы реагенттердің әрекеттесуі, ең алдымен редуциялаушы реагент – донор ретінде, ал металл оксиді – акцептор ретінде қарастырылады. Бұл теория іргелі ғылым «донор-акцептор механизмі» принципіне негізделіп, редуциялану процесте электрон ағынының пайда болуымен басталады. Осыған байланысты БРГ-ң және қатты көміртегінің валенттілік дәрежесіне және бос электрондар санына байланысты редуциялаушы потенциалдарының шамасы анықталады. БРГ, СО және Н<sub>2</sub> компонентерінде екі валенттік электрон бар, ал қатты көміртегінің атомы төрт валентті электронға ие және де кристалдық торының атом аралық қашықтықтары аз, бос электрондар тығыздығы өте жоғары. Бұл жерде редуциялық реакцияларда молекула қозғалысы емес электрондар ағыны негізгі рөл атқарады. Сондықтан қатты көміртегінің жанасу-диффузиялық әрекеті шешуші орын алмайды.

Қазіргі уақытта жаңа (ДАМ) механизм негізінде металдарды тікелей редуциялау және жоғары сапалы болаттар мен қорытпаларды өндіру процестері дамып келеді.

### **Диссертациялық жұмыста жаңа тәжірибелік зерттеу әдістемелері ұсынылған:**

- металды редуциялау процестерінің механизмі мен кинетикасы туралы заманауи теориялық ережелерді талдау негізінде тәжірибелік зерттеулерді тізбектей ұйымдастырудың жаңа әдістемесі жасақталды;

- титан-магнетит, ильменит концентраттарынан және көміртекті редуциялаушы реагенттен құралған, арнаулы кен-көмір шихтасын дайындау әдістемесі жасақталды;

- электр-вибрациялық ұнтақтағышта фракциясы 1,0 мм-ден төмен дисперсті кен-көмір шихтасын алу әдістемесі;

- шихтаның оксид бөлігінің бір бірлігіне жұмсалатын көміртекті редуциялаушы реагенттің шығынын анықтау әдістемесі;

- металдың қатты фазада редуциялану процесінің температуралық-жылулық режимін реттеу, бос және еріген көміртегі арқылы металдарды тікелей редуциялау процестерін ұйымдастыру әдістемесі.

### **Зерттеудің ғылыми жаңалығы:**

- темір, ванадий, марганец, хром және титанның сәйкес металл оксидтерінің химиялық беріктігіне және температураға байланысты қатты көміртегінің көмегімен тізбектей редуциялану заңдылықтары анықталды;

- әрбір жоғары тотықтан металға дейін қатты көміртегімен тізбектей-фазалық өзгеріс арқылы алынған металдың редукциялану процесінің кинетикалық көрсеткіштері анықталды;

- редукциялану кезінде пайда болатын газдардың құрамы ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ), оксидтердің фазалық түрленуіне тәуелді түрде өзгертіндігі анықталды, олардың құрамы шихтаның және балқытылып алынған металдың фазалық құрамын реттеу үшін маңызды болып табылады;

- металдарды редукциялап-балқытып алу үшін фракциясы 1,0 мм-ден аз қатты кен-көмір шихтасын қолдануға болатыны көрсетілді;

- алынған ғылыми зерттеу нәтижелерінің негізінде қиын өңделетін комплексті титан-магнетиттік және ильменит концентраттарынан тікелей легіріленген болат алу технологиясы жасақталды.

#### **Қорғауға ұсынылатын жаңалықтар:**

- көпкомпонентті оксидті системалардан металдарды қатты көміртегімен тікелей редукциялаудың ғылыми негіздерін зерттеу нәтижелері;

- ильменит пен титан-магнетит концентраттарынан бос көміртегі арқылы металдарды тікелей редукциялау процесін тәжірибелік зерттеу нәтижелері;

- редукциялап балқыту процесін және оның көмегімен хром, марганец, титан, ванадиймен легіріленген болат алу процесін жасақтау нәтижелері;

- титан-магнетит концентратын өңдеу технологиясы және табиғи легіріленген болат алуға арналған редукциялап-балқыту процесін ұйымдастыру.

#### **Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелердің ғылыми маңыздылығы:**

Әлемдік практикада алғаш рет темір және құнды металдар мен титанның аз мөлшерінің тікелей редукциялануы анықталды. Титан-магнетит, ильменит концентраттары мен көміртекті редукциялаушы реагенттің стехиометриялық есептелген қоспасынан көмір-кенді дисперсті шихта дайындау ұйымдастырылды, нәтижесінде титан карбидтері түзілмейтіндігі анықталды.

Тікелей редукциялау процесінің кинетикасын зерттеу нәтижелері, титанның қосымша редукциялануын және оның металдағы концентрациясын 0,3-5,0% аралығында реттеу мүмкіндігін көрсетеді.

#### **Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы.**

Тәжірибелік зерттеулердің нәтижелерін талдау негізінде титан-магнетит пен ильменит концентраттарын тікелей үздіксіз редукциялап-балқыту процесі бойынша өңдеу және марганец, хром, титан, ванадиймен табиғи легіріленген, арзан, тікелей болат алу технологиясы жасақталды.

Әлемдік тәжірибеде алғаш рет құрамында ванадийдің концентрациясы  $[V] = 0,06-0,13\%$ -ға жететін болаттың үлгілері тікелей редукциялап-балқыту әдісімен алынды. Сараптау әдістері арқылы оттекті-конвертер әдісімен алынған болат құрамымен салыстырған кезде редукциялап-балқыту әдісімен алынған табиғи легіріленген болаттың құрамында тотық қосылыстары болмайтындығы анықталды, бұл көрсеткіш алынған болат өнімнің негізгі практикалық маңызы.

**Ғылыми даму деңгейі.** Ильменит және титан-магнетит концентраттарын пайдаланып, көпкомпонентті оксидті системадан металдардың тікелей редукциялану кинетикасын ғылыми зерттеу, осы салада жарияланған

халықаралық баспа сөздерде заманауи ғылыми даму дәрежесіне және артықшылықтары мен кемшіліктеріне негізделген соңғы нәтижелерге сәйкес келеді.

Күрделі оксидті системадан металдарды редуциялау процесінің кинетикалық заңдылықтарын анықтау және легіріленген болат үлгілерін алу үшін ұйымдастырылған теориялық және эксперименттік зерттеулер ғылыми-техникалық әдістеменің жоғары деңгейін көрсетеді және керекті мақсатқа жетуді қамтамасыз етеді.

#### **Диссертация тақырыбы бойынша еңбектер:**

Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 13 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде 3 ғылыми мақала Web of Science Core Collection (Scientific and Production Technical Journal Metallurgist (Russia) IF-0.243) және Scopus (Steel in Translation (United Kingdom) (IF-0.232) - International Journal of Chemical Sciences (IF-0.229).) базасына кіретін журналдарда, 4 мақала ҚР БЖҒМ мен Білім саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда («Основы и перспектива развития восстановительной плавки стали» мақаласы "Металлы" ж., 2018 ж., № 2 санына басылымға қабылданды. Баспадан анықтама алынған – Қосымша Г) жарияланды. Диссертациялық жұмыстың негізгі жаңалықтары мен нәтижелері Халықаралық ғылыми конференцияларда:

- XIV International scientific Congress Machines. Technologies. Materials: Year I, Issue 4(4), Vol. IV, Technologies. Varna, Bulgaria. 13-16.09.2017;

- XXI ғасырдағы ғылым және инновациялар: өзекті мәселелер, жаңалықтар мен жетістіктер: V Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы. 5-ші тамыз, 2017; Пенза қ., Мәскеу;

- Халықаралық ғылыми-практикалық конференциясында «Тау-кен металлургиялық кешенін инновациялық дамытуды ғылыми және кадрлық қолдау». 27-28 сәуір, 2017, Алматы, Қазақстан;

- VII Халықаралық ғылыми-практикалық конференция «Іргелі және қолданбалы ғылыми зерттеулер: өзекті мәселелер, жетістіктер мен инновациялар». 15-ші қараша, 2017, Пенза қ., Ресей жарияланды.

Металдандыру процесін жүргізуге арналған жаңа құбырлы пешіне инновациялық патент алынды (№ 31705; ұсынылды 13.03.2015 ; жарияланды 22.12.2016 г. Бюл. № 18. Түтік тәрізді (құбырлы) пеште темір кенді шикізатты металдандыру тәсілі және оны іске асыруға арналған құрылғы).

#### **Жұмыстың мемлекеттік бағдарламалармен және ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысы:**

Диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылыми қорының мемлекеттік гранттарының шеңберінде Білім беру және ғылым министрлігімен қаржыландырылған «Кешенді теміркенді шикізатты толықтыра өңдеу технологиясын жасақтау» жобасы бойынша (№2213/ГФ4, 2015 жылғы 12 ақпандағы № 74 келісім-шарт; 2015-2017 жж.) басымдылығы «Табиғи қорларды тиімді пайдалану, шикізат пен өнімдерді ұқсату» Қазақстан Республикасы «Ғылыми зерттеулерді гранттық қаржыландыру» кіші бағдарламасы шеңберінде орындалды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** 119 баспа беттен тұратын диссертация кіріспеден, бес тараудан, қорытындыдан тұрады және 21 кестені, 34 суреттен, 110 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімін қамтиды.