

КАБЫЛКАНОВ СУЛТАН КАЙЫРБЕКОВИЧТИҢ

8D07202 – «Металлургия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған
«КЕШЕНДІ КРЕМНИЙ АЛЮМИНИЙЛІ ТОТЫҚСЫЗДАНДЫРҒЫШ ҚОЛДАНЫП, ХРОМ-МАРГАНЕЦ ЛИГАТУРАСЫН БАЛҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ»
тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

АҢДАТПА

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі

Қазіргі кезеңде қара металлургия саласының алдында тұрған негізгі ғылыми-технологиялық міндеттердің бірі – болат өндірісінің энергия сыйымдылығын төмендету, легірлеуші элементтердің игерілу тиімділігін арттыру және өндірістің экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз ету болып табылады. Бұл мәселе, әсіресе, жоғары сапалы хром және марганец кендерінің сарқылуы, ферроқорытпа өндірісінің жоғары энергия шығыны және шикізатты өңдеудің күрделенуі жағдайында ерекше өзектілікке ие. Дәстүрлі феррохром (FeCr) және ферромарганец (FeMn) ферроқорытпаларын қолдану көпсатылы технологиялық операцияларды талап етеді, энергия мен ресурстардың артық жұмсалыуына алып келеді және металлургиялық үрдістің жалпы тиімділігін шектейді.

Осы жағдайда хром мен марганецті біртұтас кешенді лигатура түрінде алу металлургиялық жүйенің тиімділігін түбегейлі арттыруға мүмкіндік беретін жаңа ғылыми-технологиялық бағыт ретінде қарастырылады. Мұндай тәсіл легірлеуші элементтердің балқымада игерілу дәрежесін арттырып, технологиялық циклді қысқартады, энергия шығынын төмендетеді және төмен сортты отандық шикізатты тиімді пайдалануға жағдай жасайды. Сонымен қатар, құрамында кремний мен алюминий бар кешенді тотықсыздандырғыштарды қолдану ресурстық тиімділікті арттырып, металлургиялық өндірістің тұрақты дамуын қамтамасыз етеді және «жасыл металлургия» қағидаларына сәйкес жаңа буын энергия үнемдеуші технологияларды қалыптастыруға негіз болады.

Осыған байланысты төмен сортты шикізат негізінде хром-марганецті кешенді лигатурасын алу технологиясын әзірлеу металлургия саласының ғылыми, технологиялық және стратегиялық дамуы үшін аса өзекті міндет болып табылады.

Зерттеу нысаны

Кешенді кремний алюминийлі тотықсыздандырғыш пайдалана отырып, отандық кедей хром және марганец кендерінен хром-марганецті лигатура алу технологиясы.

Зерттеу пәні

Кешенді кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштарды қолдану жағдайында хром-марганецті лигатураны алу процесінде жүретін қож–металл

жүйесіндегі физика-химиялық және термодинамикалық үрдістер, сондай-ақ олардың лигатураның қалыптасуына әсер ету заңдылықтары.

Жұмыстың мақсаты

Отандық төмен сортты хром және темірлі-марганец кендерін қолдана отырып, хром-марганецті лигатура балқытудың технологиясын әзірлеу.

Зерттеу міндеттері

Зерттеу мақсатына жету үшін диссертациялық жұмыста келесі негізгі міндеттер қойылды:

- отандық төмен сапалы хром және темірлі-марганец кендері мен кешенді кремний алюминийлі тотықсыздандырғыш материалдардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеп, олардың металлургиялық жарамдылығын бағалау;

- металл–қож жүйесінің фазалық күйін, тотықсыздану мүмкіндігін және элементтердің игерілуін ескере отырып, термодинамикалық және математикалық модельдеу негізінде хром-марганецті лигатурасын алу үшін оңтайлы шикікұрамды анықтау;

- термодинамикалық есептеулерді тексеру үшін хром-марганецті лигатурасын балқыту бойынша зертханалық тәжірибелер жүргізу;

- хром-марганецті лигатураны алу технологиясын бағалау мақсатында қуаттылығы 100 кВ·А рафинирлеуші электр доғалы пешінде ірі зертханалық балқыту сынақтарын жүргізу;

- алынған металл және қож өнімдерінің химиялық, фазалық және микроструктуралық құрамын зерттеп, легірлеуші элементтердің металл фазасына өту дәрежесін анықтау;

- зерттеу нәтижелері негізінде төмен сапалы отандық шикізатты пайдаланып, болатты кешенді легірлеуге арналған хром-марганецті лигатурасын өндірудің технологиялық ұсынымдарын әзірлеу.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы

Бұл диссертациялық жұмыста алғаш рет:

1. HSC Chemistry 10 және FactSage 8.4 бағдарламалық кешендерін қолдану арқылы Fe–Cr–Mn–Si–Al–Ca–Mg–O көпкомпонентті жүйесінің термодинамикалық заңдылықтары кешенді түрде зерттеліп, стандартты емес шикікұрам материалдары (төмен сортты хром кені және темірлі-марганец кені, кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштар) негізінде хром-марганецті лигатура алудың ғылыми негізделген оңтайлы құрамы анықталды.

2. Стандартты емес тотықсыздандырғыштарды (АМС, ФСА және ФСХ шаңы) қолдану арқылы хром-марганецті лигатура алудың үш технологиялық нұсқасы алғаш рет ғылыми негізделіп, нәтижесінде келесі химиялық құрамдағы лигатуралар алынды:

- АМС негізінде: Cr – 54,18 %, Mn – 20,20 %, Si – 3,08 %;

- ФСА негізінде: Cr – 24,24 %, Mn – 29,12 %, Si – 2,93 %;

- ФСХ шаңы негізінде: Cr – 20,45 %, Mn – 40,14 %, Si – 4,39 %.

3. Алғаш рет үш түрлі технологиялық нұсқа бойынша хром мен марганец тотықтарын алюмотермиялық және силикотермиялық тотықсыздану үрдістерін сипаттайтын, үш факторлы эксперименттік-статистикалық

модельдеу негізінде математикалық модель әзірленді. Ұсынылған модель кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштардың құрамы мен мөлшеріне байланысты Cr және Mn элементтерінің металдық фазаға өту дәрежесін сандық түрде бағалауға мүмкіндік береді:

- 1-ші нұсқа бойынша: $Y_{Cr} = 1,915 \cdot x^3 - 23,9 \cdot x^2 + 93,475 \cdot x - 12,615$.
- 2-ші нұсқа бойынша: $Y_{Cr} = 2,2973 \cdot x^3 - 26,993 \cdot x^2 + 99,406 \cdot x - 12,791$; $Y_{Mn} = 3,4459 \cdot x^3 - 40,491 \cdot x^2 + 149,12 \cdot x - 69,217$.
- 3-ші нұсқа бойынша: $Y_{Mn} = 1,8584 \cdot x^3 - 25,987 \cdot x^2 + 116,98 \cdot x - 68,071$.

Алынған регрессиялық тәуелділіктер тотықсыздандырғыш шығыны мен оттегі балансының кешенді хром-марганецті қорытпасының түзілуіне әсерін сандық түрде бағалауға мүмкіндік берді және үрдістің оңтайлы аймақтарын анықтауға негіз болды.

4. Алғаш рет стандартты емес кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштарды қолдану арқылы зертханалық жағдайда үш түрлі технологиялық нұсқа бойынша хром-марганецті лигатура алынды:

- Cr – 53,95 %, Mn – 19,91 %, Si – 3,19 %;
- Cr – 23,93 %, Mn – 28,31 %, Si – 3,21 %;
- Cr – 20,34 %, Mn – 39,51 %, Si – 4,58 %;

Ұсынылған технологиялық нұсқалар хром мен марганец тотықтарының алюмотермиялық және силикотермиялық тотықсыздану заңдылықтарын ескере отырып жүзеге асырылды. Жүргізілген тәжірибелік партиялардың нәтижелері сынақ АКТ-мен және технологиялық регламентпен расталды.

Жұмыстың практикалық құндылығы

Жұмыстың практикалық маңыздылығы хром-марганецті лигатураны алу бойынша ғылыми негізделген алюмосиликотермиялық технологияның әзірленуімен анықталады. Ұсынылған технология жергілікті шикізатты (Кемпірсай хром және Кереге-Тас темірлі-марганец кендері), сондай-ақ кешенді кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштарды тиімді пайдалануға негізделген.

Зерттеу нәтижесінде трансформатор қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы пешінде хром-марганецті лигатураны балқытуға арналған технологиялық регламент әзірленді және оның негізгі технологиялық параметрлері анықталды. Жүргізілген тәжірибелік зерттеулер Cr және Mn элементтерінің металл фазасына жоғары дәрежеде өтетінін көрсетті.

Әзірленген регламент негізінде жүргізілген тәжірибелік-өндірістік сынақтар нәтижесінде хром-марганецті лигатураның тәжірибелік партиясы алынды. Алынған нәтижелер ұсынылған технологияның кешенді лигатура алуға және төмен сортты жергілікті шикізатты металлургиялық өндеуге жарамдылығын көрсетті.

Зерттеу әдістері

Диссертациялық жұмыста хром-марганецті лигатураны балқытудың физика-химиялық заңдылықтары мен технологиялық параметрлерін зерттеу үшін теориялық және эксперименттік әдістер кешені қолданылды. Теориялық талдау «HSC Chemistry 10» бағдарламасында термодинамикалық модельдеу

және «FactSage 8.4» бағдарламасында фазалық-диаграммалық талдау жүргізу арқылы жүзеге асырылды. Шикізат пен алынған өнімдердің (лигатура, қож) фазалық құрамын анықтау үшін рентгенофазалық талдау (РФТ), микроқұрылымы мен элементтік құрамын зерттеу үшін сканерлеуші электронды микроскопия және энергия-дисперсиялық спектроскопия (СЭМ/ЭДС), ал термиялық мінез-құлқын анықтау үшін дифференциалды-термиялық талдау (ДТА) қолданылды. Сонымен қатар, химиялық және спектрлік талдау әдістері пайдаланылды. Балқыту үрдісін эксперименттік модельдеу және технологиялық параметрлерді оңтайландыру зертханалық жағдайда жоғары температуралы Тамман пешінде және ірі зертханалық қуаттылығы 100 кВ·А электрдоғалы пешінде жүргізілді.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

- Бастапқы шикізаттардың (хром және темірлі-марганец кендері) және кешенді кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштардың (АМС, ФСА, ФСХ шаңы) физика-химиялық қасиеттерін талдау нәтижелері;
- Хром-марганецті лигатураны балқыту үрдісін термодинамикалық модельдеу нәтижелері;
- Көп факторлы математикалық модельдеу арқылы хром мен марганецті бөліп алу дәрежесін анықтайтын тәуелділіктердің нәтижелері;
- Хром-марганецті лигатураны балқыту үрдісінің зертханалық және ірі зертханалық сынақтарының нәтижелері;
- Хром-марганецті лигатураны балқыту бойынша техника-экономикалық көрсеткіштерді анықтау нәтижелері.

Ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындау орны

Диссертациялық жұмыс Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан техникалық университетінің Халықаралық инженерия мектебінде, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институтының тәжірибелік алаңында және «Ферроқорытпалар және тотықсыздандыру үрдісі» зертханасында, сонымен қатар Ыстамбұл техникалық университетінің (Ыстамбұл қ., Түркия) «Металлургия және материалтану» кафедрасының зертханасында орындалды.

Зерттеудің негізгі нәтижелерінің сипаттамасы

- Әдеби деректерді талдау нәтижесінде дәстүрлі төмен көміртекті FeCr және FeMn өндірісінің технологиялары жоғары энергия сыйымдылығымен, легірлеуші элементтердің металлға өту дәрежесінің салыстырмалы түрде төмендігімен және болатты легірлеу кезінде элементтердің жеке-жеке енгізілуімен сипатталатыны анықталды. Сонымен қатар аталған технологиялар көпсатылы технологиялық тізбектің болуымен ерекшеленеді. Сондай-ақ елімізде хром және темірлі-марганец кендерінің едәуір бөлігі төмен және орташа сортты болып табылатыны және олардың дәстүрлі технологиялармен тиімді өндеуге толық жарамды еместігі белгіленді. Осыған байланысты көрсетілген мәселелерді шешу мақсатында төмен сортты отандық шикізатты кешенді пайдалану негізінде хром-марганецті лигатура алу технологиясын әзірлеу қажеттілігі негізделді.

- Хром-марганецті лигатураны балқытуға арналған бастапқы шикікүрам материалдарының физика-химиялық қасиеттері кешенді зерттелді.

Кемпірсай хром кенінің химиялық құрамы анықталды: Cr_2O_3 – 39,86 %, MgO – 27,85 %, Fe_2O_3 – 11,84 %, SiO_2 – 10,93 %. Рентгенфазалық талдау нәтижесінде кеннің негізгі минералдық фазасы хромшпинелид $(\text{Fe,Mg})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$ екені анықталды. СЭМ зерттеулері кеннің гетерофазалы құрылымға ие екенін және шамамен 100 мкм өлшемдегі хромит түйіршіктерінен тұратынын көрсетті. ДТА талдауы қыздыру кезінде ~ 150 °С температурада ылғалдың бөлінуін, ~ 480 °С температурада темірдің тотығуына байланысты фазалық өзгерістерді және 600–800 °С аралығында магнийлі силикаттардың термиялық диссоциациясын анықтады. Кереге-Тас темірлі-марганец кенінің химиялық құрамы Mn_2O_3 – 38,29 %, Fe_2O_3 – 39,87 %, SiO_2 – 16,74 %, ал Mn/Fe қатынасы 1,75:1 екені анықталды. Рентгенфазалық талдау нәтижесінде негізгі фазалар гематит (Fe_2O_3) және пиролюзит (MnO_2) екені анықталды. СЭМ/ЭДС зерттеулері кеннің криптокристалды құрылымын көрсетіп, жекелеген микроаймақтарда марганец мөлшері 52,56 % дейін жететінін көрсетті. ДТА–ТГ талдауы қыздыру кезінде үлгінің жалпы масса шығыны 16–17 % болатынын және негізгі фазалық өзгерістер 350–750 °С және 750–1200 °С температура аймақтарында өтетінін анықтады. Зерттеуде қолданылған стандартты емес кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштардың химиялық құрамы анықталды: АМС – Al 8,55 %, Si 48,39 %, Mn 29,04 %; ФСА – Al 10,82 %, Si 48,62 %, Fe 40,52 %; ФСХ шаңы – Al 1,51 %, Si 32,22 %, Cr 24,10 %. Рентгенфазалық талдау нәтижесінде олардың негізгі фазалары $\text{Mn}_{11}\text{Si}_{19}$, FeSi , FeSi_2 және Cr_3Si силицидтік қосылыстары екені анықталды.

- Хром-марганецті лигатураны алу үрдісін негіздеу мақсатында балқыту үрдісі термодинамикалық және математикалық модельдеу әдістері арқылы зерттелді. HSC Chemistry 10.0 бағдарламасын қолдана отырып Fe–Cr–Mn–Si–Al–Ca–Mg–O көпкомпонентті жүйесінде температуралық режим мен тотықсыздандырғыш шығынының металл және қож фазаларының қалыптасуына әсері бағаланды. Термодинамикалық есептеулер нәтижесінде 1400 °С температурада Cr_2O_3 тотығының жоғары тұрақтылығы салдарынан хромның толық тотықсыздануы жүрмейтіні, ал 1800 °С температурада марганецтің булану арқылы жоғалуы артатыны анықталды. Осыған байланысты балқыту үрдісінің оңтайлы температурасы 1600 °С екені белгіленді. Сонымен қатар тотықсыздандырғыш шығыны АМС және ФСА үшін 30 кг, ал ФСХ шаңы үшін 50 кг болған жағдайда Cr және Mn элементтерінің металл фазасына өту дәрежесі 99–100 % жететіні анықталды. Қож құрамын реттеу мақсатында FactSage 8.4 бағдарламасын қолдана отырып CaO–MgO–Al₂O₃–SiO₂ жүйесінде фазалық модельдеу жүргізілді. Нәтижесінде CaO мөлшерін арттыру қож құрылымының деполимерленуіне және оның негізділік қасиеттерінің артуына әкелетіні анықталды. Қож құрамында мервинит–периклаз және кальцийлі силикаттар фазалары қалыптасатыны көрсетілді. Бұл аймақта қождың ликвидус температурасы 1600–1650 °С, ал тұтқырлығы 0,3–1,0 Па·с аралығында болып, металл мен қож фазаларының тиімді бөлінуіне қолайлы жағдай жасайды.

- Балқыту үрдісінің заңдылықтарын сандық тұрғыдан сипаттау үшін көпфакторлы математикалық модель құрылып, нәтижелік параметр ретінде

хром мен марганецтің металл фазасына өту дәрежесі қабылданды. Регрессиялық талдау нәтижесінде алынған модельдердің адекваттылығы детерминация коэффициенттері $R^2 = 0,9615-0,9671$ мәндерімен расталды. Модельдеу нәтижелері меншікті оттек балансының белгілі бір оңтайлы аймағында, $1600\text{ }^\circ\text{C}$ температурада және тотықсыздандырғыштың тиімді шығыны жағдайында хром мен марганецтің металл фазасына өту дәрежесі максималды мәндерге жететінін көрсетті.

- Теориялық, термодинамикалық және математикалық модельдеу нәтижелері негізінде хром-марганецті лигатура алу технологиясы зертханалық, ірі зертханалық және өндірістік деңгейде тексерілді. Тамман пешінде $1600\text{ }^\circ\text{C}$ температурада және 20 минут ұсталу режимінде жүргізілген зертханалық балқытулар нәтижесінде үш түрлі шикікұрам нұсқасы бойынша құрамында Cr – 20,34–53,95 %, Mn – 19,91–39,51 %, Fe – 22,92–44,64 %, Si – 3,20–4,59 % болатын кешенді хром-марганецті лигатура алынды. Индукциялық пеште жүргізілген тигельдік балқытулар металлотермиялық реакциялардың экзотермиялық сипатын көрсетіп, реакцияның негізгі кезеңі $1200-1300\text{ }^\circ\text{C}$ аралығында өтетіні және балқыма температурасының $1500-1600\text{ }^\circ\text{C}$ дейін көтерілетіні анықталды. Фазалық талдау нәтижесінде металл фазасының негізін $\alpha\text{-(Fe,Cr,Mn)}$ қатты ерітінділері құрайтыны, сондай-ақ FeSi, Fe₃Si, MnSi, Mn₃Si, CrSi, CrSi₂ және Cr₅Si₃ силицидтік фазалары түзілетіні анықталды. Қож фазасында Ca₂Si₂O₇, Ca₂MgSi₂O₇, MgO, Al₂O₃ және MgAl₂O₄ қосылыстары басым болып, (Fe,Mn)O мөлшері 1 % төмен екені анықталды. Ал, қождың реологиялық қасиеттерін зерттеу нәтижесінде балқыту үрдісі үшін қож негізділігінің оңтайлы аймағы $B = 1,5-1,8$ екені анықталды. Қож тұтқырлығының температураға тәуелділігі Аррениус заңдылығына бағынатыны көрсетіліп, $\ln\eta-1/T$ тәуелділігінің сызықтылығы $R^2 \approx 0,97-0,99$, ал Френкель–Андрате теңдеуі бойынша активтену энергиясы $161,7-189,8$ кДж/моль аралығында екені анықталды.

- Алынған нәтижелер негізінде қуаттылығы $100\text{ кВ}\cdot\text{А}$ рафинирлеуші электрдоғалы пеште ірі зертханалық балқытулар жүргізіліп, барлығы 21 тәжірибе орындалды. Нәтижесінде металл құрамының тұрақтылығы расталып, орташа құрамдары: 1-ші нұсқа – Fe 22,64 %, Cr 52,76 %, Mn 20,18 %, Si 4,31 %; 2-ші нұсқа – Fe 41,61 %, Cr 27,72 %, Mn 26,76 %, Si 3,80 %; 3-ші нұсқа – Fe 34,92 %, Cr 20,58 %, Mn 39,82 %, Si 4,56 % болды. Қож негізділігі $1,57-1,67$ аралығында сақталып, балқыту үрдісінің технологиялық тұрақтылығы дәлелденді. Ұсынылған технология «Марганец» ҒӨБ» ЖШС кәсіпорнында қуаттылығы $250\text{ кВ}\cdot\text{А}$ электрдоғалы пеште өндірістік жағдайда тексеріліп, 12 тәулік ішінде шамамен 500 кг хром-марганецті лигатура алынды. Техника-экономикалық есептеулер ұсынылған кешенді лигатураны қолдану дәстүрлі төмен көміртекті FeCr және FeMn қорытпаларымен салыстырғанда $9,86-35,43\%$ экономикалық тиімділік қамтамасыз ететінін дәлелдеді.

Докторанттың диссертация жазудағы жеке үлесі

Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми нәтижелері автордың тікелей қатысуымен және ғылыми жетекшінің бақылауымен алынды. Автор

заманауи зертханалық жабдықтар мен HSC Chemistry, FactSage бағдарламалық кешендерін қолдана отырып, эксперименттік және есептік зерттеулер жүргізді. Зерттеу нәтижелері Scopus және Web of Science деректер базаларында индекстелетін ғылыми басылымдарда жарияланған мақалалармен расталған. Ірі зертханалық және өндірістік сынақтар нәтижесінде хром-марганецті лигатураны алу технологиясы әзірленіп, оның негізінде технологиялық регламент пен сынақ актісі рәсімделді және Қазақстан Республикасының пайдалы модельге патенті алынды.

Жұмысты апробациялау

Ұсынылған хром-марганецті лигатураны балқыту технологиясы трансформатор қуаты 100 кВ·А электрдоғалы пешінде ірі зертханалық жағдайда сыналып, нәтижелері бойынша технологияның тәжірибелік жағдайда іске асырылу мүмкіндігі расталды және хром-марганецті лигатураны балқытуға арналған технологиялық регламент әзірленді.

Диссертациялық жұмыста алынған негізгі теориялық ережелер мен ғылыми нәтижелер «Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті» КеАҚ-ның оқу үрдісіне енгізілді. Зерттеу материалдары «Металлургия» білім беру бағдарламасы аясындағы «Ферроқорытпалар өндірісінің теориясы мен технологиясы» және «Ферроқорытпа өндірісіндегі рециклингтік технологиялар» пәндерін оқытуда қолданыс тапты, бұл жөнінде тиісті енгізу актісі алынған.

Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы мен өндірістік құндылығы зерттеу нәтижелерінің «МАРГАНЕЦ» ҒӨБ» ЖШС өндірістік базасына енгізілуімен толық расталады. Орындалған жұмыстардың қорытындысы бойынша тиісті енгізу актісі рәсімделді.

Диссертациялық жұмыс тақырыбы бойынша барлығы 15 ғылыми еңбек жарияланды, оның ішінде Web of Science және Scopus дерекқорларында индекстелетін басылымдарда – 4 мақала (Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI) баспасының «Processes», «Metals», «Molecules» журналдарында – 3 мақала, сондай-ақ «Acta Metallurgica Slovaca» журналында – 1 мақала), ҚР ҒЖБМ Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда – 3 мақала («Қазақстан ғылымы мен техникасы» ғылыми журналында – 1 мақала, «Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ хабаршысы» журналында – 1 мақала, «Central Asian Transactions on Materials Structure and Properties» ғылыми журналында – 1 мақала), басқа ғылыми басылымдарда («Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университетінің хабаршысы») – 3 мақала жарияланған.

Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми нәтижелері халықаралық және республикалық ғылыми-практикалық конференцияларда 4 тезис түрінде баяндалып, жарияланды:

- 1 тезис Қарағанды индустриялық университетінің 60 жылдық мерейтойына арналған «Инновациялық технологиялар және инжиниринг» атты XII Халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдарында (Теміртау, 2023);

- 1 тезис «Минералдық шикізатты кешенді өңдеу мен инновациялар –

экономикалық әртараптандырудың өзекті құрамдастары» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдарында (Алматы, 2023);

- 1 тезис XVII Сағынов оқулары «Білім, ғылым және өндіріс интеграциясы» атты халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдарында (Қарағанды, 2025);

- 1 тезис V Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдарында «Әбішев оқулары – 2026» «Қазақстан Республикасының тау-металлургия кешенінде заманауи ғылымды, цифрлық технологияларды, жасанды интеллектті және өнеркәсіптік өндірісті интеграциялау» (Алматы, 2026).

Сонымен қатар, зерттеу нәтижелері негізінде «Хроммарганецті ферроқорытпа алу үшін шикіқұрам» тақырыбы бойынша Қазақстан Республикасының пайдалы моделіне № 9126 патент Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ арқылы алынды (жарияланған күні – 17.05.2024 ж.).

Диссертацияның құрылымы мен көлемі

Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен тұратын негізгі бөлімнен, қорытындыдан және қосымшалардан тұрады. Жұмыстың жалпы көлемі – машинада басылған 138 бет. Зерттеу материалдары диссертация мазмұнын жан-жақты ашуға бағытталған және көрнекілік құралдармен толықтырылған: жұмыста 66 сурет, 21 кесте келтірілген. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 103 атаудан тұрады және онда отандық пен шетелдік ғалымдардың еңбектері, сондай-ақ заманауи ғылыми дереккөздер қамтылған.