

ХРОМ-НИКЕЛЬ ФЕРРОКОРЫТПАЛАРЫН АЛУ КЕЗІНДЕ ҚОЛДАНЫЛАТЫН ШИКІҚҰРАМ МАТЕРИАЛДАРЫН ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ

БИАХМЕТ А.Ж. , ЕСЕНГАЛИЕВ Д.А. 

*Биахмет Арсен Жанболатұлы - Магистрант, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: arsenbiahmet22@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7074-2092>

Есенгалиев Даурен Амангелдіұлы - PhD, «Металлургия және тау-кен ісі» кафедрасының доценті, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

E-mail: dyessengaliyev@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-0136-7422>

Аңдатпа. Бұл мақалада хром-никель ферроқорытпаларын өндіру кезінде қолданылатын никель кенінің және тотықсыздандырғыш ретінде ферросиликоалюминийдің рентгенфазалық және термиялық талдауы қарастырылған. Зерттеудің негізгі мақсаты - материалдардың минералогиялық және фазалық құрамын анықтау арқылы оның металлургиялық өңдеуге қабілеттілігін бағалау. Материалдардың негізгі фазалары, олардың интенсивті пиктері және минералдық қоспалары талданып, кеннің металлотермиялық тотықсыздандыру үрдісіне ықпалын анықтау үшін РФА әдісі қолданылды. РФА нәтижелері никель кенінің минералдық құрамында SiO_2 , темір- және хромқұрамды оксидтер мен гидроксидтер фазаларының басым екенін көрсетті, бұл олардың металлотермиялық тотықсыздану қабілетіне тікелей әсер ететіндігін анықтауға мүмкіндік берді. Ферросиликоалюминий үлгісінде Al-Fe-Si жүйесінің интерметаллидтік қосылыстары және кремнийлі фазалар анықталып, олардың термохимиялық белсенділігі мен тотықсыздандыру үрдісіне ықпалы талданды. Никель кенінің термограммалары дегидратация, дегидроксилдену, силикат фазаларының ыдырауы және жоғары температурада темір мен хром оксидтерінің тотықсыздануымен сипатталатын көпсатылы термиялық өзгерістерді көрсетті. Ферросиликоалюминий үшін 500 °C-қа дейінгі жоғары термостабильдік анықталды, ал 660-1150 °C аралығында алюминий, кремний және темір арасындағы өзара әрекеттесулерге сәйкес келетін интерметаллид фазалардың түзілуі мен тотықсыздану үрдістерінің қарқындылығы байқалды. Алынған нәтижелер шикізаттардың тотықсыздану механизмін, зерттелген материалдардың термофизикалық қасиеттерін бағалауға, фазалық түрленулерін және хром мен никельдің толық шығуын қамтамасыз ететін оңтайлы технологиялық параметрлерді негіздеуге мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері хром-никель ферроқорытпаларын өндірудің тиімділігін арттыруға бағытталған ғылыми-технологиялық шешімдер әзірлеуде маңызды рөл атқарады.

Түйін сөздер: никель, хром, ферроқорытпа, кен, фаза, рентгенфазалық талдау, термиялық талдау.

Кіріспе

Никель – ауыр түсті металдар тобына жататын маңызды металл. Ол алғаш рет 1751 жылы ашылып, 1804 жылы таза күйінде алынды. Қазіргі уақытта никель өндіру мен өңдеу түсті металлургияның негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Таза никель күміс түсті, жоғары беріктікке, пластикалықтыққа, коррозияға төзімділікке және электрлік кедергіге ие. Сонымен қатар, ол ыстық және суық күйде жақсы өңделеді [1]. Никель легіріленген болат, машина жасау, электроника, электротехника және медицина салаларында кеңінен қолданылады. Қорытпа құрамына никель енгізу олардың механикалық қасиеттерін, беріктігін және коррозияға төзімділігін арттырады [2; 3].

Қазақстан никель және кобальт қорына бай елдердің қатарына жатады. Республикадағы никель қоры шамамен 3–3,2 млн тонна, ал кобальт қоры 160–170 мың тонна деңгейінде бағаланады. Никель мен кобальттың негізгі бөлігі оксидті-силикатты (латеритті) кендер құрамында кездеседі. Қазақстандағы негізгі никель кен орындарына Бөгеткөл, Горностаев, Кемпірсай және Екібастұз–Шідерті кен орындары жатады. Бұл кен орындары негізінен елдің солтүстік аймақтарында орналасқан және ашық әдіспен игеруге қолайлы [4]. Қазақстанның батыс өңірінде Никельтау (1,21% Ni), Батамша (0,87% Ni), Рождественское (1,12% Ni), Көкпекті (1,2%

Ni) және басқа да ірі никель кен орындары орналасқан. Аталған кен орындарының жалпы қоры шамамен 423,5 млн т құрайды [5].

Кесте 1. Батамша кен орны кенінің химиялық құрамы, %

Ni _ж	Fe _ж	Co _ж	Cr _ж	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	CaO
0.90	16.39	0.073	2.55	45.74	3.70	2.32	2.49

Ферросиликоалюминий (Fe–Si–Al) – болат және темір қорытпаларын өндіруде кең қолданылатын маңызды ферроқорытпа. Оның құрамында әдетте 65–70% Si, 5–15% Al, ал қалған бөлігі Fe болады. Ферросиликоалюминий болаттың коррозияға төзімділігін арттыруға, механикалық қасиеттерін жақсартуға және қорытпа құрамын тұрақтандыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, ол металлургиялық процестерде тиімді тотықсыздандырғыш ретінде қолданылады [6; 7]. Құрамындағы кремний мен алюминийдің жоғары химиялық белсенділігі металл оксидтерін жылдам тотықсыздандыруды қамтамасыз етеді. Осыған байланысты ферросиликоалюминий темір, хром, марганец және никель қорытпаларын өндіруде кеңінен пайдаланылады. Ферросиликоалюминийді қолдану қож түзілуін төмендетіп, металдың шығымын арттырады және электр энергиясының шығынын азайтады. Сонымен қатар, балқымаға қосымша кремний мен алюминий енгізу арқылы қорытпалардың құрылымы мен механикалық қасиеттері жақсарады.

Никельге деген сұраныстың тұрақты өсуі және кондициялық емес латеритті кендердің үлесінің артуы олардың тиімді өңдеу жолдарын зерделеуді қажет етеді. Мұндай кендердің минералдық және химиялық құрамы айтарлықтай өзгермелі, фазалық құрылымы күрделі және металды алу үрдісіне тікелей әсер етеді. Сондықтан никельді шикізатты металлургиялық өңдеуге бейімдеу үшін оның бастапқы физика-химиялық сипаттамаларын жан-жақты зерттеу аса маңызды. Осыған байланысты жұмыста кеннің және тотықсыздандырғыштың фазалық құрылымы және тотықсыздану қабілеті сияқты негізгі физика-химиялық қасиеттері талданды. Алынған нәтижелер хром-никель қорытпасын алу үрдістерін оңтайландыруға және металлургиялық қайта өңдеу технологияларын жетілдіруге негіз болады.

Физика-химиялық зерттеу – материалдардың химиялық құрамын, фазалық күйін, құрылымын және физикалық қасиеттерін анықтауға арналған кешенді зерттеу әдісі. Бұл зерттеу арқылы материал құрамындағы элементтер, олардың химиялық қосылыстары, минералдық фазалары және құрылымдық ерекшеліктері анықталады. Физика-химиялық зерттеулер металлургиялық процестердің тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады. Материалдың химиялық және фазалық құрамын анықтау балқыту және тотықсыздандыру процестерінің заңдылықтарын болжауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алынған мәліметтер технологиялық параметрлерді оңтайландыруға, шикізатты тиімді пайдалануға және қалдық көлемін азайтуға жағдай жасайды. Физика-химиялық сипаттама өндірістік және зертханалық зерттеулердің ғылыми негізі болып табылады, себебі ол материал қасиеттерін жан-жақты бағалауға және технологиялық процестерді дәл басқаруға мүмкіндік береді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Рентгенфазалық талдау (РФА) – материалдардың фазалық және минералдық құрамын анықтауға арналған аналитикалық әдіс. Әдіс рентген сәулелерінің кристалл торында дифракциялануына негізделген және материал құрамындағы оксидтер, силикаттар, карбидтер мен интерметаллидтік фазаларды анықтауға мүмкіндік береді [8; 9]. РФА нәтижелері металлургиялық процестер кезінде түзілетін фазаларды болжауға, материалдардың технологиялық қасиеттерін бағалауға және балқыту процесінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл әдіс шикізат пен өндірістік қалдықтардың сапасын бақылауда кеңінен

қолданылады.

Зерттеу барысында Қазақстандағы Батамша кен орнының никель кені мен ферросиликоалюминий қорытпасының сынамаларына РФА жүргізілді. Нәтижесінде материалдардың негізгі фазалық құрамы, дифракциялық шыңдардың орналасуы мен интенсивтілігі арқылы анықталды.

Дифференциалды термиялық талдау (ДТА) – материалдарды қыздыру немесе салқындату кезінде жүретін жылулық эффектілерді зерттеуге арналған әдіс. Бұл әдіс арқылы фазалық ауысулар, тотығу-тотықсыздану, балқу және кристалдану процестері анықталады. ДТА қисықтарындағы эндотермиялық және экзотермиялық шыңдар материалдың термиялық тұрақтылығы мен реакциялық қабілетін сипаттайды. ДТА металлургиялық шикізаттар мен ферроқорытпалардың технологиялық қасиеттерін бағалауда маңызды рөл атқарады. Әдіс фазалық өзгеру температураларын анықтауға және металлургиялық процестердің оңтайлы режимдерін таңдауға мүмкіндік береді.

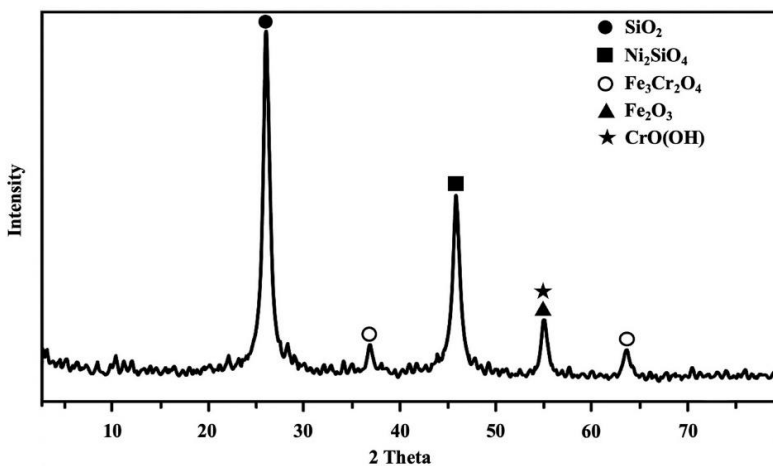
Нәтижелер және оларды талқылау

Батамша кен орнының никель кеніне жүргізілген химиялық талдау нәтижесі бойынша кеннің химиялық құрамы 2-кестеде берілген.

Кесте 2. Кеннің химиялық құрамы, %

Ni	Cr	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
1.05	0.30	19.62	0.46	42.83	4.39	7.07

1-суретте никель кенінің дифрактограммасы көрсетілген. Рентгенфазалық талдау нәтижелері бойынша кен құрамында бірнеше негізгі фазалар анықталды. Дифрактограммадағы негізгі шыңдар $2\theta = 26,6^\circ$ кезінде SiO₂, $35,2^\circ$ және $62,6^\circ$ кезінде Fe₃Cr₂O₄, $47,2^\circ$ кезінде Ni₂SiO₄, $53,3^\circ$ кезінде CrO(OH), ал $54,1^\circ$ кезінде Fe₂O₃ фазаларына сәйкес келеді. Анықталған фазалар кеннің минералдық және кристалдық құрамын сипаттайды. Fe₃Cr₂O₄ пен Ni₂SiO₄ фазалары металл компоненттерінің негізгі тасымалдаушылары болып табылады. SiO₂ және Fe₂O₃ қосалқы минералдық фазалар ретінде кездеседі. Сонымен қатар, CrO(OH) фазасының болуы кеннің тотығу және гидротермалдық өзгерістерге ұшырағанын көрсетеді.



Сурет 1. Никель кенінің дифрактограммасы

Никель кенінде анықталған фазалар металлотермиялық тотықсыздану процесіне әртүрлі әсер етеді. Fe₃Cr₂O₄ шпинелі мен Ni₂SiO₄ силикаттары негізгі металл тасымалдаушы фазалар

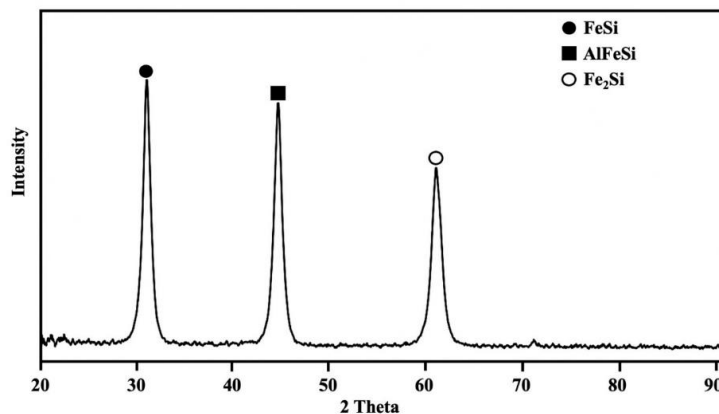
болып табылады. $\text{Fe}_3\text{Cr}_2\text{O}_4$ фазасы темір мен хромның, ал Ni_2SiO_4 фазасы никельдің тотықсыздануына қатысады. SiO_2 инертті силикаттық фаза ретінде тікелей тотықсыздануға қатыспайды, алайда қождың қасиеттеріне әсер етіп, металдардың бөлінуі мен диффузиясын өзгертеді. Fe_2O_3 фазасы тотықсыздандырғыштардың әсерінен белсенді түрде тотықсызданып, металл фазасының түзілуіне ықпал етеді. Сонымен қатар, $\text{CrO}(\text{OH})$ гидроксидтік фазасы қыздыру кезінде Cr_2O_3 -ке айналып, кейінгі тотықсыздану реакцияларына қатысады. Жалпы алғанда, шпинель және силикат фазалары металдарды ферроқорытпа құрамына өткізетін негізгі фазалар болып табылады, ал оксидтік және гидроксидтік қосылыстар қож түзуші компоненттер қызметін атқарады.

Ферросиликоалюминийдің химиялық талдау нәтижелері 3-кестеде келтірілген.

Кесте 3. Ферросиликоалюминийдің химиялық құрамы, %

Si	Al	Fe	P	S
60-70	5-15	20-30	0,05	0,02

2-суретте ферросиликоалюминийдің дифрактограммасы көрсетілген. Рентгенфазалық талдау нәтижелері бойынша қорытпа құрамында FeSi , AlFeSi және Fe_2Si фазалары анықталды. Металлотермиялық тотықсыздану кезінде негізгі рөл кремнийлі және алюмосилицидті фазаларға тиесілі. Анықталған фазалар қорытпаның құрылымын қалыптастыруға және тотықсыздану процесінің тиімді жүруіне ықпал етеді. FeSi және Fe_2Si фазалары кремнийдің белсенді тотықсыздандырғыш ретіндегі әсерін сипаттаса, AlFeSi фазасы алюминий мен кремнийдің бірлескен тотықсыздандыру қабілетін көрсетеді.

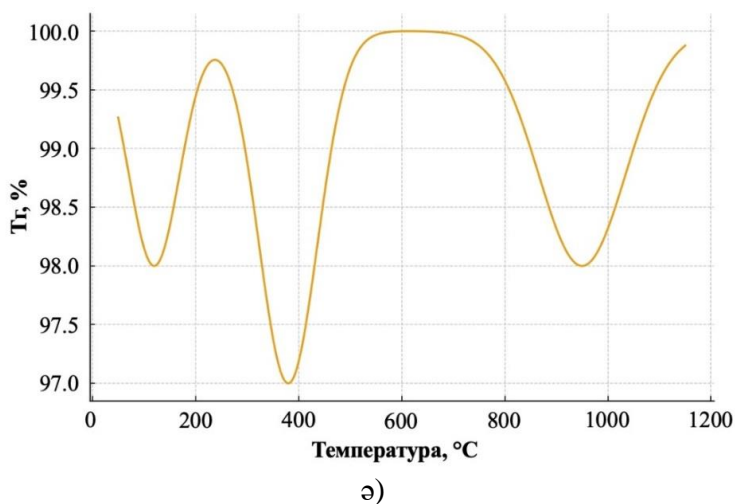
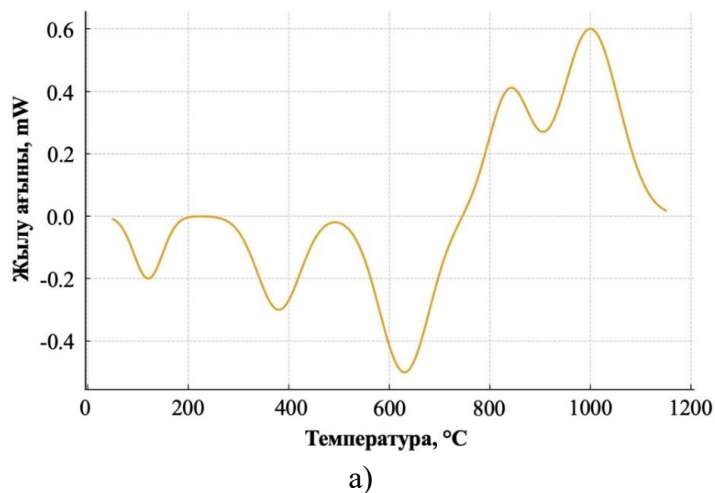


Сурет 2. Ферросиликоалюминийдің дифрактограммасы

FeSi фазасы ферросилиций жүйелеріне тән және жоғары температурада NiO , Fe_2O_3 және Cr_2O_3 оксидтерін тотықсыздандыруда белсенді рөл атқарады. Бұл фаза жүйедегі оттегі белсенділігін төмендетіп, никель мен хромның металдық фазаға өтуін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, FeSi қождың сұйықтық қасиеттерін жақсартып, металл мен қождың тиімді бөлінуіне ықпал етеді. AlFeSi фазасының түзілуі тотықсыздану процесінің терең жүруін және силицидтік пен алюмотермиялық реакциялардың өзара байланысын көрсетеді [10]. Алюминийдің тотықсыздандыру қабілеті кремнийге қарағанда жоғары болғандықтан, ол қиын тотықсызданатын қосылыстарды тиімді түрде металдық күйге ауыстырады.

AlFeSi фазасының түзілуі алюминий мен кремнийдің тиімді пайдаланылуын көрсетіп, никель мен хром оксидтерінің бірлескен тотықсыздануына ықпал етеді. Алюминий күшті тотықсыздандырғыш болғандықтан, әсіресе Cr_2O_3 сияқты қиын тотықсызданатын оксидтердің металдық күйге өтуін қамтамасыз етеді. Fe_2Si фазасының болуы тотықсыздану процесінің аяқталғанын және жүйеде фазалық тұрақтылықтың қалыптасқанын көрсетеді. Бұл фаза темір мен кремнийдің өзара әрекеттесу өнімдерінің бірі болып табылады және қорытпада кремнийді тұрақтандырады. Нәтижесінде қорытпаның беріктігі мен коррозияға төзімділігі артады. FeSi және AlFeSi фазаларының бірлескен түзілуі никель мен хромның алыну дәрежесін жоғарылатады. Сонымен қатар, Fe_2Si интерметаллидтік фазасы қорытпаның құрылымдық қасиеттерін жақсартып, жоғары температурадағы тұрақтылығын арттырады. Алюмотермиялық реакциялар нәтижесінде түзілетін Al_2O_3 қож құрамын тұрақтандырып, оның балқу температурасын реттейді. Бұл металл мен қождың тиімді бөлінуіне жағдай жасайды.

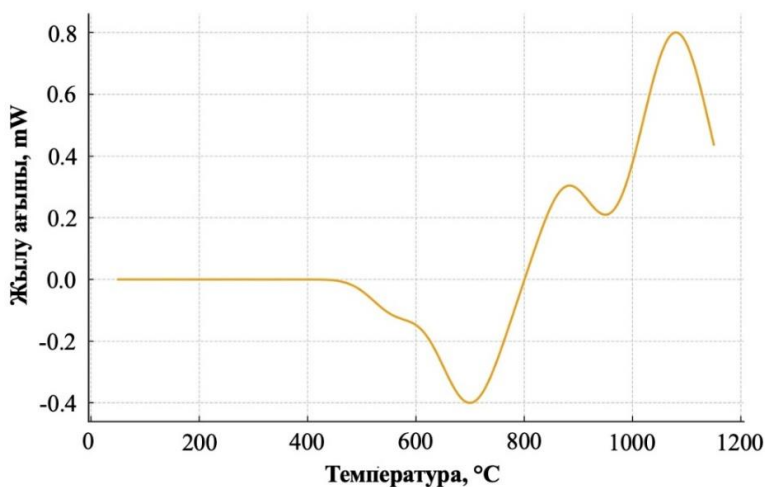
3-суретте никель кенінің дериватограммасы көрсетілген. Дифференциалды термиялық талдау нәтижелері дегидратация, минералдардың ыдырауы және тотықсыздану процестерімен байланысты бірнеше эндотермиялық және экзотермиялық эффектілердің бар екенін көрсетті.



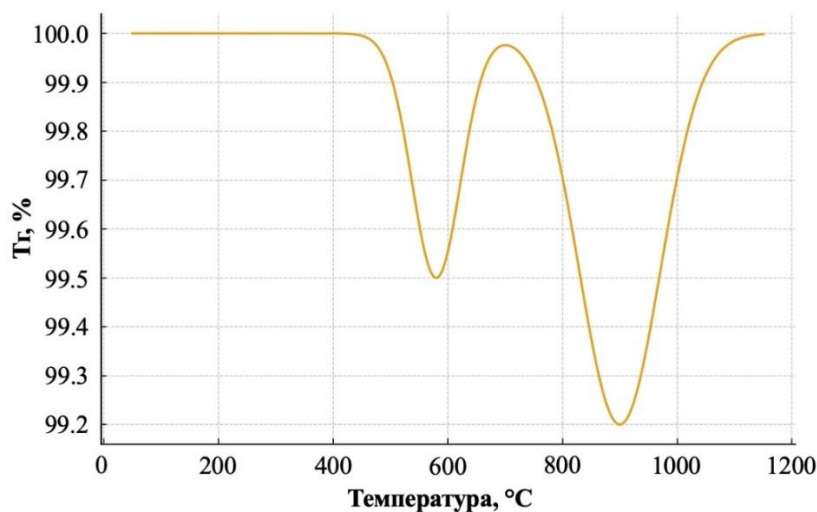
Сурет 3. Никель кенінің дериватограммасы (а-жылу ағыны, ә-салмақ жоғалымы)

ДТА қисығында бірнеше сипаттамалық аймақтар анықталды. 50–180 °С аралығында адсорбциялық ылғал мен кристалдану суының бөлінуіне байланысты эндотермиялық эффект байқалды, бұл кезде масса жоғалуы 1,5–3,0 % құрады. 300–450 °С температура аралығында серпентин және хлорит сияқты силикат фазаларының дегидроксиленуіне байланысты әлсіз эндотермиялық шың тіркелді. Бұл аймақта масса шамамен 2–4 % төмендеді. 550–720 °С аралығында серпентиннің жартылай ыдырауы және Mg–Si–O фазаларының аморфты күйге ауысуымен байланысты айқын эндотермиялық эффект байқалды. 780–900 °С температурада екіншілік силикаттардың кристалдануы және никельдің металл қосындыларының түзілуімен байланысты экзотермиялық эффект анықталды. 900–1100 °С аралығында темір мен хром оксидтерінің тотықсыздануына сәйкес келетін экзотермиялық шың байқалды, бұл кезде масса 1–2 % төмендеді.

4-суретте ферросиликоалюминийдің дериватограммасы көрсетілген. ДТА нәтижелері ферросиликоалюминийдің қыздыру кезінде белсенді тотықсыздандырғыш қасиет көрсететінін және жоғары температурада оксидтердің тотықсыздануы мен ферроқорытпа фазаларының түзілуіне қатысатынын дәлелдейді.



а)



ә)

Сурет 4. Ферросиликоалюминийдің дериватограммасы (а-жылу ағыны, ә-салмақ жоғалымы)

450–500 °С температураға дейін айқын жылулық эффектілер байқалмады, бұл FeSi, Fe₂Si және Al–Fe–Si типті интерметаллидтік фазалардың жоғары термиялық тұрақтылығын көрсетеді. 520–620 °С аралығында құрылымдық релаксациямен және алюминийдің тұрақты интерметаллидтік фазаларға ішінара ауысуымен байланысты әлсіз эндотермиялық эффект тіркелді. 660–750 °С температурада алюминийдің балқуы және оның кремнийқұрамды фазалармен әрекеттесуіне сәйкес келетін айқын эндотермиялық шың байқалды. 820–950 °С аралығында FeSi₂, Fe₃Si және FeAl₃ сияқты жаңа Al–Fe–Si интерметаллидтік қосылыстарының түзілуімен байланысты экзотермиялық эффект анықталды. Бұл кезде масса өзгерісі шамалы болды (<1 %). 1000–1150 °С температурада алюминий мен кремнийдің Fe, Ni және Cr оксидтерімен әрекеттесуіне байланысты қарқынды тотықсыздану процестерін сипаттайтын ірі экзотермиялық шың байқалды.

Қорытынды

Рентгенфазалық талдау нәтижелері зерттелген никель кенінде негізгі металл тасымалдаушы фазалар - Fe₃Cr₂O₄ шпинелі және Ni₂SiO₄ силикаттары, сондай-ақ қосалқы оксидтік және гидроксидтік фазалар (SiO₂, Fe₂O₃, CrO(OH)) бар екенін көрсетті. Металлотермиялық тотықсыздану кезінде шпинель және силикат фазалары ферроқорытпаларға металдарды жеткізетін басты тасымалдаушылар ретінде әрекет етсе, оксидтік және гидроксидтік компоненттер қождық ортаға әсер етіп, металдардың диффузиясы мен реакция кинетикасын реттейді.

FeSi және AlFeSi фазалары кремний және алюмотермиялық тотықсыздандырудың белсенді өтіп жатқанын көрсетеді. Fe₂Si фазасы тотықсыздандырудан кейін жүйенің тұрақтана бастағанын және қорытпаның кремниймен легіріленгенін білдіруі мүмкін. Мұндай фазалар хром-никель қорытпаларына тән және олар коррозияға төзімді болаттар мен жылу төзімді қорытпаларды өндіруде қолданылады. Сондықтан анықталған фазалық құрам тотықсыздандыру үрдістерінің толық өтуін қамтамасыз ету мүмкіншілігін көрсетеді және ферросиликоалюминийді күрделі хром-никель қорытпаларын алу үшін тиімді тотықсыздандырғыш ретінде қолдануға мүмкіндік береді. Фазалардың оңтайлы қатынасы никель мен хромның жоғалуын азайтып, балқыманың сұйықтық қасиеттерін жақсартады және олардың тиімді шығуын арттырады.

Дифференциалды термиялық талдау нәтижелері никель кенінің және ферросиликоалюминийдің термиялық қасиеттерін және олардың шикіқұрамдағы белсенділігін нақты көрсетті. Никель кенінде бірнеше сатылы эндо- және экзотермиялық эффектілер байқалды, олар дегидратация, дегидроксилдену, силикат фазаларының ыдырауы және темір мен хром оксидтерінің тотықсыздануымен байланысты. Ферросиликоалюминий үшін 500 °С-қа дейінгі жоғары термостабильдік анықталды, ал жоғары температураларда алюминий, кремний және темір арасындағы интерметаллид фазалардың түзілуі және тотықсыздану үрдістерінің қарқындануы байқалды. Алынған деректер хром-никель ферроқорытпаларын өндіру кезінде шикізат сапасын бағалау және металлургиялық үрдістерді оңтайландыруға маңызды ғылыми негіз болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Тарасов А. В. Производство цветных металлов и сплавов Т. 2 : Производство тяжелых цветных металлов. М., 2001.
2. Цейдлер А.А. Металлургия меди и никеля. М: Metallurgizdat, 1958. 391с.
3. Абдулабеков Е.Э., Каскин К.К. Ферроқорытпалар өндірісінің теориясы мен технологиясы: Дәрістер курсы. Ақтөбе: Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университетінің РББ, 2010. 120 бет.
4. ТОО «DAMU RESEARCH» Производство никель-кобальтовой продукции в

Республике Казахстан, г. Астана, 2015 г. 113 с.

5. Келаманов Б.С., Толымбеков М.Ж., Каскин К.К., Байсанов А.С., Алмагамбетов М.С. Исследования возможности вовлечения в металлургический передел Казахстанских никелевых руд. Республ. науч. журнал «Технология производства металлов и вторичных материалов». Тамиртай: КарМетИ. 2007. № 2 (12). С. 88-91.

6. Кольба, А. В., Третьяков, С. В., Загородний, Д. А. Ферросиликоалюминий-выгодный ферросплав. Сталь, 2008. (8), 71-71.

7. Жучков, В. И., Маршук, Л. А., Леонтьев, Л. И., Шуняев, К. Ю., Лисин, В. Л., Шешуков, О. Ю., Мальцев, Ю. Б. Шихта для выплавки ферросиликоалюминия. 2004.

8. Бурова, Е. М., Лихущина, Е. В. Рентгенофазовый анализ на портативных дифрактометрах. Альманах мировой науки, 2017. (2-1), 7-10.

9. Кузнецова, Г. А. Качественный рентгенофазовый анализ. Курс лекций. Иркутск, 2005. 28.

10. Lan, X., Li, K., Wang, J., Yang, M., Lu, Q., Du, Y. Developing Al-Fe-Si alloys with high thermal stability through tuning Fe, Si contents and cooling rates. Intermetallics, 2022. 144, 107505.

References

1. Tarasov A. V. Proizvodstvo cvetnyh metallov i splavov T. 2 : Proizvodstvo tyazhelyh cvetnyh metallov. M., 2001.

2. Cejdlar A.A. Metallurgiya medi i nikelya. M: Metallurgizdat, 1958. 391s.

3. Abdulabekov E.E., Kaskin K.K. Ferroqorytpalar öndirisiniñ teoriasy men tehnologiasy: Därister kursy. Aqtöbe: Q.Jübanov atyndaғы Aqtöbe memlekettik universitetiniñ RBB, 2010. 120 bet.

4. TOO «DAMU RESEARCH» Proizvodstvo nikel'-kobal'tovovoj produkci v Respublike Kazahstan, g. Astana, 2015 g. 113 s.

5. Kelamanov B.S., Tolymbekov M.ZH., Kaskin K.K., Bajsanov A.S., Almagambetov M.S. Issledovaniya vozmozhnosti vovlecheniya v metallurgicheskij peredel Kazahstanskikh nikel'evykh rud. Rеспubl. науч. zhurnal «Tekhnologiya proizvodstva metallov i vtorichnyh materialov». Temirtau: KarMetI. 2007. № 2 (12). S. 88-91.

6. Kol'ba, A. V., Tre't'yakov, S. V., Zagorodnij, D. A. Ferrosilikoalyuminiy-vygodnyj ferrosplav. Stal', 2008. (8), 71-71.

7. Zhuchkov, V. I., Marshuk, L. A., Leont'ev, L. I., Shunyaev, K. YU., Lisin, V. L., Sheshukov, O. YU., Mal'cev, YU. B. Shihta dlya vyplavki ferrosilikoalyuminiya. 2004.

8. Burova, E. M., Lihushina, E. V. Rentgenofazovyy analiz na portativnyh difraktometrah. Al'manah mirovoj nauki, 2017. (2-1), 7-10.

9. Kuznecova, G. A. Kachestvennyj rentgenofazovyy analiz. Kurs lekcij. Irkutsk, 2005. 28.

10. Lan, X., Li, K., Wang, J., Yang, M., Lu, Q., Du, Y. Developing Al-Fe-Si alloys with high thermal stability through tuning Fe, Si contents and cooling rates. Intermetallics, 2022. 144, 107505.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ

БИАХМЕТ А.Ж. , ЕСЕНГАЛИЕВ Д.А. 

*Биэхмет Арсен Жанболатұлы - Магистрант, Ақтөбінский региональный университет имени К. Жұбанова, г. Ақтөбе, Казахстан

E-mail: arsenbiahmet22@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7074-2092>

Есенғалиев Даурен Аманғелдіұлы - PhD, доцент кафедры «Металлургия и горное дело», Ақтөбінский региональный университет имени К. Жұбанова, г. Ақтөбе, Казахстан

E-mail: dyessengaliyev@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-0136-7422>

Аннотация. В данной статье рассмотрены результаты рентгенофазового анализа никелевой руды, используемой при производстве хромоникелевых ферросплавов, а также ферросиликоалюминия, применяемого в качестве восстановителя. Основной целью исследования является оценка перерабатываемости материалов путем определения их минералогического и фазового состава. С использованием метода РФА были проанализированы основные фазы, интенсивные пики и минеральные примеси материалов, что позволило установить их влияние на процесс металлотермического восстановления. Результаты РФА показали, что минералогический состав никелевой руды характеризуется преобладанием фаз SiO_2 , железо- и хромсодержащих оксидов и гидроксидов, что оказывает существенное влияние на ее восстановительную способность при металлотермической переработке. В образце ферросиликоалюминия идентифицированы интерметаллидные соединения системы Al-Fe-Si, а также кремнийсодержащие фазы, термохимическая активность которых определяет их вклад в процесс восстановления. Термограммы никелевой руды показали многоступенчатые термические изменения, характеризующиеся дегидратацией, дегидроксилованием, разложением силикатных фаз и восстановлением оксидов железа и хрома при высоких температурах. Для ферросиликоалюминия была установлена высокая термостабильность до 500 °С, тогда как в диапазоне 660-1150 °С наблюдалось образование интерметаллидных фаз и активизация процессов восстановления, соответствующих взаимодействиям алюминия, кремния и железа. Полученные результаты позволяют оценить механизм восстановления сырьевых материалов, термофизические свойства исследуемых материалов, фазовые превращения и обосновать оптимальные технологические параметры, обеспечивающие полное извлечение хрома и никеля. Результаты исследования имеют важное значение для разработки научно-технологических решений, направленных на повышение эффективности производства хромоникелевых ферросплавов.

Ключевые слова: никель, хром, ферросплав, руда, фаза, рентгенофазовый анализ, термический анализ.

PHYSICO-CHEMICAL ANALYSIS OF CHARGE MATERIALS USED IN THE PRODUCTION OF CHROME-NICKEL FERROALLOYS

BIAKHMET A.ZH*^{ID}, YESSENGALIYEV D.A^{ID}

*Biakhmet Arsen Zhanbolatuly - Master's student, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: arsenbiahmet22@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7074-2092>

Yessengaliyev Dauren Amangeldiuly - PhD, associate professor of the Department «Metallurgy and mining», K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: dyessengaliyev@zhubanov.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0009-0136-7422>

Abstract. This article presents the results of X-ray diffraction (XRD) analysis of nickel ore used in the production of chrome–nickel ferroalloys, as well as ferrosilicoaluminum employed as a reducing agent. The main objective of the study is to assess the processability of the materials by determining their mineralogical and phase composition. Using the XRD method, the major phases, their intensive peaks, and mineral impurities were analyzed to evaluate their influence on the metallothermic reduction process. The XRD results showed that the mineralogical composition of the nickel ore is dominated by SiO_2 , iron- and chromium-containing oxides and hydroxides, which significantly affect its reduction behavior during metallothermic processing. In the ferrosilicoaluminum sample, intermetallic compounds of the Al-Fe-Si system and silicon-bearing phases were identified, and their thermochemical activity and contribution to the reduction process were examined. The thermograms of the nickel ore revealed multi-stage thermal changes characterized by dehydration, dehydroxylation, decomposition of silicate phases, and the reduction of iron and chromium oxides at high temperatures. For ferrosilicoaluminum, high thermal stability was observed up to 500 °C, whereas in the 660-1150 °C range, the formation of intermetallic phases and the intensification of reduction processes corresponding to the interactions between aluminum, silicon, and iron were noted. The obtained results allow for the assessment of the reduction mechanism of the raw materials, the thermophysical properties of the studied materials, phase transformations, and the justification of optimal technological parameters to ensure complete extraction of chromium and nickel. The findings of this study play an important role in developing scientific and technological solutions aimed at improving the efficiency of chrome-nickel ferroalloy production.

Key words: nickel, chromium, ferroalloy, ore, phase, X-ray phase analysis, thermal analysis.