

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i2.03>

Research of electrophysical properties of charge materials for smelting a complex alloy of aluminosilicomanganese

Ye.N. Makhambetov¹, A.M. Abdirashit^{2*}, Ye.K. Kuatbay², O. Yucel³, Ye.B. Tazhiyev⁴

¹Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan

²Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

³Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

⁴Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: asik_942017@mail.ru

Abstract. This article presents the effectiveness of the use of a new complex of aluminosilicomanganese ferroalloys as an oxygen-containing agent necessary in the production of steel and special alloys. The aluminum silicomanganese alloy is smelted using manganese ore and high-ash coal. In addition to the low cost of the melt, it provides deep purification of both aluminum, silicon and manganese, as well as low-carbon steels from non-metallic impurities. Aluminum silicomanganese is intended for investigation of electrical resistivity of charge materials for melting. Questions of research of specific electrical resistance of charge materials for the smelting of aluminosilicomanganese, in particular, high-ash coals, are considered. The measurements were carried out in the Tamman laboratory unit on a special combined experimental setup connected via converters. Studies on changes in the electrical conductivity of coal were carried out in the temperature range 25-1500°C at a heating rate of 15 deg/min. The main regularities of the formation of the electrical resistivity of charge materials depending on the temperature are determined. The proposed method of measurement makes it possible to obtain in-depth information about the physicochemical properties of charge materials. High-ash coal "Saryadyr", having a constant specific electrical resistance at high temperatures, can be achieved optimal melting mode.

Keywords: reducing agent, high-ash coal, electrical resistivity, aluminum silicomanganese, ferroalloy.

1. Кіріспе

Қазіргі заманғы болат және арнайы қорытпалар металлургиясы ферроқорытпаларды өндіру алдында төмен балку температурасын, балласты темірдің ең аз мөлшерін, жақсы ерігіштігін, жоғары қышқылдану қабілетін және т. б. үйлестіретін сұйық балқымаларды пештен тыс (шөмішті) өңдеу жағдайларына бейімделген кешенді оттегісіздендіргіштер мен жаңа буын лигатураларын балқыту міндетін қояды.

Бұл талаптар Al - Si - Fe марганецпен (алюмосилико-марганец) жүйесінің кешенді қорытпаларымен жақсы қанағаттандырылады [1], бірақ қара металлургия тәжірибесінде болат пен арнайы қорытпаларды өндіруде, негізінен кешенді оттегісіздендіргіш ретінде ферросилиций мен алюминий механикалық қоспа түрінде қолданылады.

Олардың әрқайсысын өндіру үшін жоғары сұрыпты және аса тапшы материалдар қажет: кварцит (SiO₂ - 96-98%), металл жоңқасы және боксит (Al₂O₃ - 60-70%). Сонымен қатар, мұндай оттегісіздендіргіш алу технологиялары энергияны көп қажет етеді, шикізатты балқытуға дайындау кезінде үлкен шығындарды қажет етеді. Мысалы, ферросилиций ФС75 пен алюминийді балқыту үшін электр энергиясының шығындары тиісінше 1 тонна өнімге 8-10 мың және 15-20 мың кВт·сағ құрайды.

Болатты оттегісіздендіру ферросилиций мен алюминийдің механикалық қоспасымен жүзеге асырылатындықтан, кремний мен алюминийдің едәуір бөлігі сұйық болаттың бетінде ауа оттегімен тотығады және тиімсіз қолданылады. Бұл мәселе болатты құрамы жағынан оттегісіздендіру кезінде жиі қолданылатын ферроқорытпалар мен алюминийдің механикалық қоспасына сәйкес келетін силицийдің, марганецтің және темірдің алюминиймен жаңа қорытпаларын алудың тиімді және салыстырмалы түрде арзан әдістерін іздеуді талап етеді. Мұндай қорытпаның арзандығымен қатар алюминий, кремний және марганецтің төмен көміртегі тотығын да, болатты металл емес қоспалардан терең тазартуды қамтамасыз етеді.

Болат балқытушылардың талаптарына сәйкес АМС қорытпасы құрамымен (салмағы бойынша %-бен) сипатталуы тиіс: 13-30 кремний, 7-15 алюминий, 30-60 марганец, қалғаны-темір және басқа да қоспа элементтері. Соңғы уақытқа дейін әлемдік металлургия өнеркәсібіндегі мұндай құрамның қорытпалары тікелей карботермиялық әдіспен еріген жоқ. Мұның себебі осы металды кендітермиялық электр пештерінде балқытудың барлық сыналған әдістерінің өте төмен технологиялығы болды [3,4].

Карботермиялық үрдіспен алюмосилико-марганец (АМС) кешенді қорытпасын алу бойынша алғашқы жартылай өнеркәсіптік эксперименттерді Қазақстанда

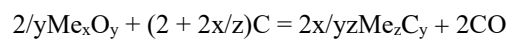
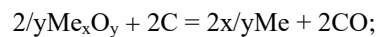
Г.В. Медведев жүргізгенін атап өту қажет. Шикізат ретінде Жезді марганец кендері мен Екібастұз көмірі пайдаланылды. Бұл технология Ақтөбе феррокорытпа зауытының қуаты 1.2 МВ·А үш фазалы электр пешінде сыналды. Содан кейін үрдісті үздіксіз жүргізу мүмкін болмады. Техникалық - экономикалық көрсеткіштер төмен болды, ал науқан қысқа мерзімді болды [4]. Іс жүзінде қазақ мамандарымен бір мезгілде Грузияда қуаты 1 МВ·А бір фазалы, Зестафон феррокорытпа зауытында жұмыс жүргізілді [5]. Тәжірибе науқаны сәтті өтті. Техникалық-экономикалық көрсеткіштері жоғары үздіксіз үдіріспен АМС қорытпасын алу мүмкіндігі дәлелденді. Чиатур кедей кендерінен марганец алу (Mn 20%, SiO₂ 43%) 80-90% құрады. Алайда, пешті пайдалану шарттары мен қуаты 1-1.2 МВ·А болатын №1 цехтың үш фазалы электр пештерінде АМС қорытпасын өндіруді ұйымдастырудағы қиындықтар күмән тудырды және осы бағыттағы жұмыстар тоқтатылды.

Бүгінгі таңда Қазақстанда алюминийден жасалған кремний қорытпасы - ферросиликоалюминий өндірісі игерілді, ал Екібастұз феррокорытпа зауыты осы қорытпаның мамандандырылған өндірісі болып табылады [6]. Әдебиет деректері бойынша [7-9], Қазақстанда соңғы жылдары кешенді оттегісіздендіргіш АМС балқыту технологиясын жетілдіру бойынша ғылыми-практикалық жұмыстар қайта жандануда. Бұл жұмыстарда Батыс Қамыс кен орнының марганец кендері құрамында марганец бар негізгі шикізат ретінде пайдаланылады, Екібастұз бен Борлы көмір бассейндерінің кварцит және жоғары күлді көмірлері шақпақ тас, алюминий және құрамында көміртегі бар материалдар ретінде алынады. Бұл технология кремнезем мен алюминий оксиді көп болатын нашар, тазартылмаған марганец кендерін пайдалануға мүмкіндік береді. Бұл оксидтердің толық тотықсыздануымен (қожсыз әдіс) алюминосиликомарганец қорытпасы да алынады. Жоғары температуралы қожсыз үрдіс тағы бір мәселені шешеді - ол газ фазасымен неғұрлым толық шығарылуына байланысты металдағы фосфордың мөлшерін азайтады және алынған қорытпаның 1 тоннасына кенді аз жұмсайды. Бұл тәсілмен марганец кендерін бағалау, кендегі кремнезем мен алюминий оксиді мөлшерінің жоғарылауы және марганец мөлшерінің аз болуы оның сапасының төмендігін және байытқусыз металлургиялық өңдеуге жарамсыздығын анықтамайды.

Кремний мен алюминийдің жоғары құрамына байланысты көмір күлінің жоғарылауы оларды қолдануға кедергі болмайды, өйткені олар ішінара оксидтері (негізінен кремний мен алюминий) және қатты көміртегі бар моношихталар болып табылады. Бұл жұмыстарда марганец кендері де, кәдімгі марганец феррокорытпалары, байыту фабрикаларындағы үйінділерде жиналған шламдар және т.б. өндірісінде қолданылмайтын төмен сортты концентраттар да алюминосиликомарганец өндіруге жарамды екендігі дәлелденді. Осылайша, алюмосиликомарганецті кедей марганец кендерінен және күлі жоғары көмірден балқыту технологиясын шихта материалдарын байыту және одан әрі дайындау сатыларының қажеттілігін болдырмай, бір қайта өңдеу – байытылмаған марганец кендерін балқыту үшін түпкілікті өнім өндіруді қамтамасыз ететін ресурс үнемдейтін технологияларға

жатқызуға болады. Тиісінше, алюминосиликомарганец өндірісінің рентабельділік деңгейі стандартты феррокорытпаларды өндірумен салыстырғанда жоғары болуы керек. Тиісінше, алюминосиликомарганец өндірісінің рентабельділік деңгейі стандартты феррокорытпа өндірісімен салыстырғанда жоғары болуы керек. Сонымен қатар, алюминосиликомарганец сияқты жаңа буынның салыстырмалы түрде арзан, бірақ тиімділігі жоғары жан-жақты дезоксидтейтін феррокорытпасын қолдану дәстүрлі қымбат марганец пен кремний феррокорытпаларын (FeMn, SiMn, FeSi) және салыстырмалы түрде тапшы және одан да қымбат ферроалюминий (FeAl) мен алюминийді (AV86-97F МЕМСТ 295-98) біртіндеп ауыстыруға мүмкіндік береді. Алюминосиликомарганец қорытпасын пештен тыс өңдеуде және болатты үздіксіз құюда қолдану ферросилицийді 100%-ға, силикомарганецті 70-75%-ға және алюминийді 65-70%-ға ауыстыруға мүмкіндік береді.

Феррокорытпа өндірісінде көміртегі тотықсыздандырғыш ретінде кеңінен қолданылады. Феррокорытпаларды балқытудың көміртегітермиялық әдісі ең үнемді болып саналады және осы әдіспен феррокорытпалардың ең көп мөлшері өндіріледі. Көміртегінің оттегіге туыстығы температураның жоғарылауымен артады, сондықтан жоғары температурада барлық элементтерді олардың тотықтарынан көміртегімен тотықсыздандыруға болатыны белгілі. Тотықтардың көміртегімен тотықсыздануының жалпы реакциялары келесі теңдеулермен ұсынылуы мүмкін:



Электр пештерінде феррокорытпаларды балқыту кезінде табиғи көміртекті материалдармен қатар жасанды түрде дайындалған көміртекті материалдар да қолданылады. Сондай-ақ тотықсыздандырғыштардың бірнеше түрінің қоспасын да қолдануға болады. Көміртекті материалдардың қолдану мақсаты да әртүрлі, көп жағдайда олар металдарды олардың тотықтырынан тотықсыздандыруға, сонымен қатар ваннаның электр кедергісін арттыруға, мойындықты қопсытуға және оның газ өткізгіштігін арттыруға ықпал ететін қосымша материал ретінде қолданылады.

Көміртекті тотықсыздандырғыштар оларды өндіру әдісімен, қолданылатын көмірлердің түрлерімен, оларды өңдеудің ақырғы температурасымен және т.б. ажыратылады. Феррокорытпалар электртермиясында ең көп таралған тотықсыздандырғыштар: әртүрлі зауыттардың кокс жаңғағы, жартылай кокс, тас және қоңыр көмір, антрацит. Тотықсыздандырғыш құрамында зиянды қоспалардың ең төмен мөлшері қажет болған жағдайда мұнай коксы мен ағаш көмірі қолданылады. Пішінделген коксты, шымтезек коксын, сондай-ақ минералды қоспалар қосылған коксты өндіруде және қолдануда тәжірибелер бар. Мойындықты қопсыту үшін ағаш жаңқалары, темір жоңқасы, ағаш үгінділері және т.б. көміртегі құрамды материалдар қолданылады.

Көміртекті тотықсыздандырғыштардың сапалық қасиеттерінің айырмашылығы көбінесе үрдістің тиімділігі мен күрделілігін анықтайды. Көміртекті материалдардың

сапасын жақсарту феррокорытпаларды балқыту процесінің техникалық - экономикалық көрсеткіштерін арттырудың негізгі резервтерінің бірі болып табылады. Көміртекті материалдардың сапасын жақсарту феррокорытпаларды балқыту үрдісінің техника-экономикалық көрсеткіштерін арттырудың негізгі талаптардың бірі болып табылады. Жоғары физика-химиялық қасиеттерге ие арзан тотықсыздандырғыштарды қолдану электр пешінің қуаты мен өнімділігінің артуына, негізгі элементті бөліп алу дәрежесінің жоғарылауына, шикіқұрам материалдары мен электр энергиясының меншікті шығындарының төмендеуіне ықпал етеді және үрдістің күрделілігін жеңілдетеді. Сондықтан феррокорытпалардың электртермиясында қолданылатын көміртекті материалдардың сапалық қасиеттерін жақсарту жолдарын зерттеу және табу мәселесі өзекті болып табылады.

Феррокорытпалар электртермиясында қолданылатын көміртекті тотықсыздандырғыштардың техникалық талдауы мен күлінің химиялық құрамы бойынша феррокорытпалар өндірісінің әрбір үрдісіне сәйкес келуі тиіс. Сонымен қатар, меншікті электр кедергісі мен реакциялық қабілетінің жоғары көрсеткіштеріне, жеткілікті беріктілігі мен ыстыққа төзімділігіне ие болуы, белгілі бір ірілік класында болуы және жақсы газ өткізгіштікті қамтамасыз етуі тиіс.

Қазіргі уақытта тасымалдау келісім-шарттардың техникалық жағдайларында ескертілген көміртекті тотықсыздандырғыштардың сапасына қойылатын талаптар, әдетте, қатты көміртегінің мөлшеріне, минералды қоспалардың мөлшеріне, зиянды қоспаларға (фосфор мен күкірт), ұшқыш заттардың қалдық құрамына, сондай-ақ фракциялық құрамына қатысты. Көміртекті материалдың металлургиялық қасиеттері оны қолданудың практикалық тәжірибесі негізінде бағаланады.

Феррокорытпалардың жаңа түрлерін өндірудің негізгі мүмкіндігі, оның ішінде аллюмосиликомарганецті алу тотықсыздандыру үрдісінің жоғары техника-экономикалық көрсеткіштеріне, ең алдымен, шикіқұрам материалдарының түрі мен құрамына байланысты. Металлургиялық қайта өңдеу шикізаттың кондициялық емес түрлерін, мысалы жоғары күлді көмірді енгізуге ерекше мән беріледі. Алайда, мұндай шикіқұрам материалдарды құрамына енгізген кезде бірқатар электрфизикалық көрсеткіштерді, яғни электр пештерінде тотықсыздандыру балқыту үрдісінде олардың қалай әрекет ететінін ескерген жөн.

Өз кезегінде, марганец құрамды шикізаттың пайдалы компоненттерінің тотықсыздану жылдамдығы мен дәрежесіне бірқатар технологиялық факторлар әсер етеді:

- пеш ваннасындағы қуаттың таралуы және максималды температура;
- шикіқұрам материалдарының жұмсару температурасы;
- шлақтың басталу температурасы, шикіқұрам материалдарының жұмсаруының температуралық аралығы.

Шлактың пайда болуы және жұмсару температурасының кең аралығы балқыту үрдісінің бұзылуын тудырады, ал кейбір жағдайларда пеш ваннасында қажетті жылу режиміне қол жеткізуге мүмкіндік бермейді. Пеш қуатын бөлу және максималды

температурасы шикіқұрам материалдарының электр өткізгіштігімен анықталады, өйткені феррокорытпа пештерінде электр тогының бір бөлігі шикіқұрам арқылы өтеді.

Феррокорытпаларды балқытуға арналған көміртекті тотықсыздандырғыштардың маңызды технологиялық қасиеттерінің қатарына электр кедергісі де жатады. Тотықсыздандырғыштардың меншікті электр кедергісінің мәні температураға байланысты екені белгілі. Төменгі температурада жоғары меншікті электр кедергісіне ие тотықсыздандырғыштар температураның жоғарылауымен электр кедергісін күрт төмендетіп, жоғары электр өткізгіш және графиттелетін болады, осылайша өндіріс көрсеткіштерін нашарлатады.

Осыған байланысты кешенді қорытпаларды балқыту үшін қолданылатын материалдардың электр кедергісін анықтау бойынша зерттеулер жүргізу қажеттілігі туындайды. Шикіқұрам материалдарының электр кедергісі оның кедергісімен және оның компоненттерінің қатынасымен анықталады. Аллюмосиликомарганецті балқыту кезінде көміртекті тотықсыздандырғыш - жоғары күлді көмірдің үлесі жалпы массаның 70% құрайды. Сондықтан көміртекті тотықсыздандырғыштың электр өткізгіштігінің сипаты негізінен шлаксыз үрдістер үшін барлық шикіқұрамның электр өткізгіштік сипатын анықтайды, яғни нашар өткізгіш шикіқұрам материалдарының (металлургиялық шлак) электр өткізгіштігінің жақсы өткізгіш шикіқұрам материалдарына (көміртекті тотықсыздандырғыш) қатынасы төмен мәнге ие. Көмірдің меншікті электр кедергісін біле отырып, электрлік балқыту режимін саналы түрде реттеуге болады.

2. Әдіс-тәсілдер

Көміртекті тотықсыздандырғыштар ретінде қолданылатын жоғары күлді көмірдің электр кедергісін өлшеуге көптеген жұмыстар арналды. Сонымен қатар, эксперименттік тәжірибеде В.И. Жучков ұсынған әдіс кеңінен қолданылды, бұл материалдардың жұмсару (шөгу) дәрежесін бір уақытта белгілей отырып, жоғары температурада электр кедергісін анықтауға мүмкіндік береді [10].

Феррокорытпа шикіқұрамында көмірді қолдану ваннаның электр кедергісін арттыруға және электродтарды терең отырғызуға мүмкіндік береді. В.М. Гетманчук зерттеуінде кокстың бір бөлігін жартылай антрацит типті тас көмірмен алмастыру мүмкіндігі туралы зерттеу жүргізілді. Көміртекті феррокорытпаларды балқыту кезінде көмір мынадай сипаттамаларға ие болды, %: $W^P - 0.7$; $A^c - 13.63$; $V^r - 6.2$; $C^r - 78.5$; $H^r - 2.65$. Авторлар қуаттылығы $16.5 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ пешінің электр режимін зерттеді және пеште дәстүрлі шикіқұрам материалдарын қолдана отырып, трансформатор кернеуінің 7-ден 5-ші сатысына өту кезінде электр доғасы пайда болады деген болжам айтылды. Жоғарылаған доға элементтердің булану арқылы қосымша жоғалуын тудырады. Бұл кемшіліктерден тас көмірді тотықсыздандырғыш ретінде пайдалану арқылы құтылу ұсынылады. Тас көмір төмен жылу тұрақтылыққа ие. Пеш ваннасында жоғары температура әсерінен көмір ыдырайды, бұл тотықсыздандырғыштың кенмен жанасу бетін

арттырады. Бұл тотықсыздандыру үрдістерінің аймағының кеңеюіне әкеледі. Ваннаның жоғарғы бөлігінде көмір кесектерінің мөлшері коксқа қарағанда үлкен болғандықтан шикіқұрамның газ өткізгіштігін жақсартады.

16.5 МВ·А қуаттылықты пеште трансформатор кернеуінің 5-ші сатысында кокс-жаңғақ бөлігін көмірмен ауыстыруға өнеркәсіптік сынақ жүргізілді. Кокстың 20-дан 45%-ға дейін үлесі 0-40 мм класты көмірмен алмастырылды. Осы кезде пештің өнімділігі 1.5 және 2.8%-ға өсті, электр энергиясының меншікті шығыны төмендеді. Технологиялық үрдіс шикіқұрамның біркелкі түсуімен, электродтардың тұрақты отыруымен және біркелкі ток жүктемесімен сипатталды. Зерттеу нәтижелері жоғары көміртекті ферроқорытпаларды өндіруге арналған көміртекті тотықсыздандырғыш ретіндегі тас көмірдің жоғары металлургиялық қасиеттерін көрсетеді. Кокстың 20-45%-ын ұсақ тас көмірмен алмастыру мүмкіндігі анықталды.

Жұмыста [11] көміртекті ферроқорытпалар балқыту кезінде Кузбасс ұсақ тас көмірлері мен ленинск-кузнецк жартылай коксын қолдану сыналды. Қуатылығы 14 МВ·А жабық пештерде ұсақ көмірлер мен ленинск-кузнецк жартылай коксын қолдана отырып, көміртекті ферроқорытпаларды балқытудың тәжірибелік нақандары жүргізілді. Көмірлердің негізгі кемшілігі ұсақ фракциялары (< 5 мм) мөлшерінің (40% дейін) жоғары болуы болды, бұл технологиялық үрдіске кері әсер етті және көмірді қосымша себүді қажет етті.

Жаңа кремний - алюминийлі кешенді қорытпаларды балқыту үрдісінде мен ішкі кәсіпшіліктің жылыстауын кәдеге жарату кезінде перспективалы және қажетті шешімдер деп санаймын.

Кремний-алюминий қорытпаларын алу технологиясы кентермиялық типті пештерде жоғары күлді көмірдің күлінің тотықтарды өзінің көміртегімен тотықсыздандыруға негізделген. Қосымша көміртекті, сондай-ақ хром, марганец, кальций және т.б. көзі ретінде әртүрлі кендерді немесе шлактарды бейтараптандыру үшін шикіқұрамның құрамына кварцит енгізіледі. Сонымен қатар, құрамында кремний, алюминий, хром және темір бар жаңа кешенді қорытпаны балқыту үшін пайдалану мүмкіндігі жоғары күлді көмірлердің сипаттамалары зерттелді. Кешенді ферроқорытпаларды балқыту үшін перспективалы күлді көмірлерді іздеу барысында Қазақстан аумағында орналасқан кен орындарының көмір қоры туралы техникалық және нарықтық ақпарат пайдаланылды [3].

Осы жұмыс шеңберінде физико-химиялық қасиеттерінің оңтайлы көрсеткіштері бар неғұрлым тиімді тотықсыздандырғыштарды (жоғары күлді көмір) таңдау міндеті қойылды. Жоғары күлді көмірдің зерттелетін үлгілерінің химиялық және техникалық құрамдары 1 және 2-кестелерде келтірілген.

Тәжірибе үшін бастапқы сынамалар ретінде Шарғұн кен орнының көміртекті жынысы алынды. «Шаргунская» руднигі - Өзбекстанның Сурхандария облысы Шаргун қаласындағы көмір өндіру кәсіпорны. Өзбекстан. «Гефест» ЖШС Қарағанды көмір бассейнінің көміртекті жынысы. «Он Олжа» ЖШС-не қарасты «Сарыадыр» көмір кеніші жыл санап ашық әдіспен көмір өндіру көлемін арттырып келеді.

Кесте 1. Жоғары күлді көмірдің техникалық құрамы

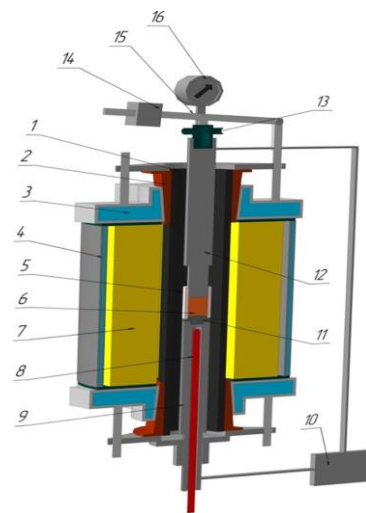
Материалдар	A ^c	V	W ^p	C _к
Шарғұн көмірі	25.17	25.42	0.38	қалғ.
Көмірлі жыныс	58.87	24.49	1.69	қалғ.
Сарыадыр көмірі	45.14	13.87	0.89	қалғ.

Кесте 2. Көмір күлінің химиялық құрамы

Материалдар	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe _{ж.}	P	S
Шарғұн көмірі	12.06	8.99	72.23	5.79	0.08	0.85
Көмірлі жыныс	41.97	12.35	27.05	17.85	0.02	0.6
Сарыадыр көмірі	64.92	25.28	1.63	2.15	0.025	0.031

Қыздыру кезінде меншікті электр кедергісін өлшеу үшін бастапқы материалдың ірілігі (жоғары күлді көмір) 3-5 мм болды. Өлшеу Тамманның жоғары температуралы зертханалық пешінде жүргізілді. Көмірдің электр өткізгіштігінің өзгеруі бойынша зерттеулер 25-1500°C температура аралығында жүргізілді, қыздыру жылдамдығы 15 градус/мин. Агроскин және Шумиловск әдісімен қарсылықты өлшеу әр 50°C сайын жасалады. Алынған мәліметтердің ақпараттық мазмұнын арттыру үшін әр 30 секунд сайын компьютердің жадына электр кедергісін автоматты түрде жазу ұсынылады.

Ол үшін түрлендіргіштерді Тамман зертханалық пешіне қосу үшін арнайы сұлбасы құрастырылды (1-сурет). Тәжірибе қондырғысы материал қыздырылатын Тамман пешінен тұрады. Биіктігі 4 см бастапқы материал Тамман пешінде орнатылған алунд шынысының (5) (күты диаметрі 3 см) қуысына салынады.



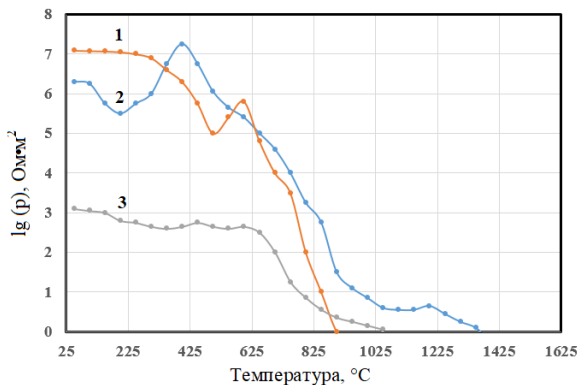
Сурет 1. Меншікті электр кедергісін және шөгуді анықтауға арналған қондырғы (қимасы): 1 - көміртекті - графитті түтік; 2 - мыс қысқыш сақина; 3 - сумен салқындатылатын қақпақ; 4 - сумен салқындатылатын корпус; 5 - алунд шыны; 6 - зерттелетін шикіқұрам; 7 - қорғаныс шегені; 8 - термопара; 9 - төменгі электрод; 10 - сандық омметр; 11 - алунд құтыға арналған графит түбі; 12 - жоғарғы электрод; 13 - суды салқындату; 14 - жүк; 15 - рычаг; 16 - шөгуді өлшеуге арналған электронды құрылғы

Мәліметтерді жазу термопардан (8), электродтардан (9, 12) және шөгуді өлшеуге арналған құрылғыдан келетін сигналдарды түрлендіргіштер арқылы жүзеге асырылды. Материалдың екі жағында кернеу беру үшін термопара (8)

тесігі бар графит электродтары (9, 12) орнатылды. Төменгі электрод қозғалыссыз бекітіледі, ал үстіңгі электрод жүктеме әсерінен материал қысқарған кезде төмендеу мүмкіндігіне ие. Салмақ (14) үстіңгі электродты материалға үнемі басып отырады, осылайша тығыз байланыс жасайды. Алунд түтігінің астыңғы электрод арқылы оны электр тогынан оқшаулау үшін термопара орналастырылған.

3. Зерттеу нәтижелері және оны талқылау

Шөгү үрдісін модельдеу үшін біз кен-термиялық пештегі шикіқұрам колоннасының қысымын модельдейтін жүктемемен қысымды қолдандық. Шикіқұрам бағанындағы қысым 0.02-0.04 МПа, материал қабатының биіктігі 0.06-0.08 м. Өлшеу нәтижелері температураға байланысты меншікті электр кедергісінің өзгеру графиктері түрінде 2-суретте көрсетілген. Олардан көмірлі жынысы мен Шаргун көмірінің $6.5-7 \cdot 10^{-3}$ Ом·м² аралығында өзгертін жоғары бастапқы кедергісі бар екенін көруге болады. Дәл осы көрсеткіш Сарыадыр көмірінде екі есе төмен: $3-3.5 \cdot 10^{-3}$ Ом·м².



Сурет 2. Шикіқұрам материалдарының меншікті электр кедергісі температураға байланысы: 1 - Шаргун кен орнының көмірі, 2 - Көмірлі жыныс, 3 - жоғары күлді Сарыадыр көмір

Мұны Шаргун көмір үлгісіндегі ұшқыш заттардың жоғары мөлшерімен түсіндіруге болады: жоғары күлді Сарыадыр көміріндегі 25%-дан ~15%-ға дейін.

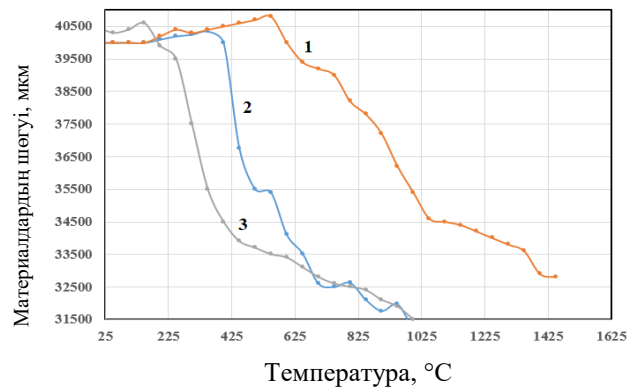
Температураның жоғарылауымен барлық үш үлгіде қарсылық бірдей төмендеді, тек бастапқы аймақты қоспағанда. Бастапқы кезеңде температураның жоғарылауымен, ең алдымен, 100-200°C температураға дейін қарқынды кептіру жүреді, бұл әсіресе көмір жынысында байқалады. Көмір жынысындағы қарсылықтың 250°C-тан 360°C-қа дейін жоғарылауы меншікті электр кедергісі жоғарылаған ұшқыш заттардың шығарылуымен түсіндіріледі.

Графикте күлділігі жоғары Сарыадыр көмірінің электрлік кедергісі 600°C температураға дейін тұрақты болатынын, одан кейін электр кедергісінің күрт төмендеуін байқауға болатынын көрсетеді. Көміртекті жыныстың электр кедергісі 360°C-тан бастап 1440°C температураға дейін сызықты түрде төмендейді.

300°C температураға дейін Шаргун көмірінде ұшқыш заттар бөлінеді, бұл жоғары кедергіге ықпал етеді, содан кейін температураның жоғарылауымен кедергінің сызықтық төмендеуі басталады. Көмірлердің бұрын жүргізілген дифференциалды термиялық талдауының

мәліметтері бойынша, бұл сипаттамалық әсер температураның жоғарылауымен көмір заты құрылымның ретке келтірілуіне қарай қайта құрылымдалуымен түсіндіріледі, бұл оның төмендеуіне көмір мен көміртекті жыныстың меншікті электр кедергісі ықпал етеді.

Жоғары температура әсерінен кедергіні өлшеу үрдісінде сыналатын материалдың көлемі өзгереді, оны да бекіту керек, ол үшін шөгуді өлшеу тізбегі құрастырылды. Бұл схема өзгерісті 0.1 мм дәлдікпен түзетуге мүмкіндік береді. Өлшеу нәтижелері графиктер түрінде 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Шикіқұрам материалдарының шөгудің температураға байланысы: 1 - Шаргун кен орнының көмірі, 2 - Көмірлі жыныс, 3 - жоғары күлді Сарыадыр көмір

Жоғары күлді Сарыадыр көмірінің көлемінің 300°C температураға дейін ұлғаюы ұшқыш заттардың бөлінуімен түсіндіріледі. Бұл құбылыс Шаргун көмірінде де осындай әсер 250-620°C температура аралығында байқалады.

Жұмсару (шөгү) себебі туралы мәселе бойынша ең көп таралған көзқарас көмірде балкитын компоненттер (микрокомпоненттер) және еритін заттар болатын теориямен қамтамасыз етілген. Қыздыру әсерінен көмірдің органикалық массасының бір бөлігі балкиды, ал екінші бөлігі онда ериді.

Көміртекті тотықсыздандырғыштың мерзімінен бұрын балқуы (жұмсаруы) шлакқа және үрдістің бұзылуына әкелуі мүмкін. Жоғары күлділі Сарыадыр және Шаргун көмірлері 1100°C температурада іс жүзінде бірдей шөгү мәніне ие. Көмірлі жыныс 1400°C температурада сұйық болады. Мүмкін, бұл көміртекті тау жынысындағы темір оксидінің жоғары болуына байланысты ~12%.

Көміртекті тотықсыздандырғыштардың меншікті электрлік кедергісін өлшеу нәтижелері жоғары күлді Сарыадыр көмірінен алюмосиликомарганецті балқытуға ең қолайлы екенін көрсетеді. Жоғары күлді Сарыадыр көмірі жоғары температурада салыстырмалы түрде тұрақты электрлік кедергіге ие, бұл тұрақты электрлік балку режимін қамтамасыз етеді. Сарыадырдың жоғары күлді көмірлерінің минералды құрамдас бөлігі оның аргиллит тәрізді затының көпшілігінде, каолинит басым болатын Екібастұз көмірлерінен айырмашылығы бар екені анықталды. Күлді көмірлердің минералогиялық талдауы көмірдегі көміртекті массалардың кремний мен алюминий тотықтарын білдіретін саз бөлшектерімен қиылысатын ірі агрегаттар немесе аралық қабаттар түрінде тұратынын көрсетті. Сарыадыр жоғары күлді

көмірлерін балқыту кезінде олардың салыстырмалы түрде жоғары электр өткізгіштігі қиындық тудырады, бұл трансформатордың төменгі жағында жоғары кернеу мәндерін пайдалануды шектейді. Күлдегі жоғары күлді көмірдің тез балқытын қосындылары және темір құрамының 5%-ға дейін артуы колошникте шикіқұрамның жабысуына әкеледі және технологиялық газдарды шығаруды, колошникті өңдеуді қиындатады, жергілікті газ жарылыстары арқылы кремний мен алюминийдің жоғалуын арттырады, пештің өнімділігін төмендетеді. Жоғары кремнийлі қорытпалардың электротермия тәжірибесінен қатты және сәл жұмсарған шикіқұрам материалдар аймағында пайдалы электр қуатының 30-10%-дан аспайтыны анықталды. Алайда, пештің жоғарғы горизонттарындағы шикіқұрамның кедергісі шешуге және пештің ваннасындағы электродтардың тереңдеуіне әсер етеді.

Әдебиеттер / References

- [1] Umezawa Osamu, Nakamoto Munefumi, Osawa Yoshiaki, Suzuki Kenta & Kumai Shinji. (2005). Microstructural Refinement of Hyper-Eutectic Al-Si-Fe-Mn Cast Alloys to Produce a Recyclable Wrought Material. *Materials Transactions*, 46 (12), 2609-2615
- [2] Tolimbekov, M.Zh. (2011). Prospects for expanding the production of ferrosilicoaluminum in Kazakhstan. *Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii UkrFA «Klyuchevyye voprosy razvitiya elektrometallurgicheskoy otrasly»*, Kiyev, 42-48
- [3] Mukhambetgaliev, E. K., Roshchin, V. E. & Baisanov, S. O. (2018). Analytical expressions for Fe-Si-Al-Mn metal system and phase composition of alumosilicomanganese. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*, 61 (7) 564-571
- [4] Zhuchkov, V.I., Leont'Ev, L.I. & Zayakin, O.V. (2020) Application of russian ore raw materials to ferroalloys production. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*, 63 (3-4), 211-217.
- [5] Mukhambetgaliev, Y., Zhuniskaliyev, T. & Baisanov, S. (2021). Research of electrical resistance and beginning softening temperature of high-ash coals for melting of complex. *Metalurgija*, 60 (3-4), 332-334
- [6] Isagulov, A.Z., Baysanov, A.S., Ospanov, N.I., Isagulova, D.A., Makhambetov, Ye.N. & Misho, Zh. (2018). Study of the physicochemical properties of charge materials for the smelting of silicon-aluminum reducing agent. *Trudy universiteta*, 71 (2), 38-40
- [7] Kelamanov, B., Samuratov, Y., Akuov, A., Abdirashit, A., Burumbayev, A., & Orynbassar, R. (2021). Research possibility of involvement Kazakhstani nickel ore in the metallurgical treatment. *Metalurgija*, 60(3-4), 313-316
- [8] Kuvatbay, Y., Nurungaliyev, A., Shabanov, Y., Zayakin, O., Gabdullin, S., & Zhuniskaliyev, T. (2022). Melting of high-carbon ferrochrome using coal of the saryadyr deposit. *Metalurgija*, 61(2), 367-370
- [9] Tolimbekov, M.J., Baycanov, C., Chekimbaev, A.F., Jumashov, M.C. & Korcwkova, İ.Ya. (2017). The use of alternative oxidizers to optimize the electrical regime in the smelting of ferrosilicoaluminum. *Vestnik Karagandinskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*, 18 (5-6), 18-22
- [10] Zhuchkov, V.I., Mikulinskiy, A.S. (2010). Method for determining the electrical resistance of lumpy materials and charges. *Eksperimental'naya tekhnika i metody vysokotemperaturnykh izmereniy. M.: Nauka*
- [11] Mukhambetgaliev, E.K., Esenzhulov, A.B. & Roshchin, V.E. (2018). Production of complex alloy from high-silicon manganese ore and high-ash coals of Kazakhstan. *Izvestiya Ferrous Metallurgy*, (61) 9, 695-701

Алюмосиликомарганец кешенді қорытпасын балқытуға арналған шикіқұрам материалдарының электрофизикалық қасиеттерін зерттеу

Е.Н. Махамбетов¹, А.М. Әбдірашит^{2*}, Е.Қ. Қуатбай², О. Yucel³, Е.Б. Тажиев⁴

¹Ж. Әбішев атындағы химия-металлургиялық институты, Қарағанды, Қазақстан

²Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

³Ыстамбұл техникалық университеті, Ыстамбұл, Түркия

⁴Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: asik_942017@mail.ru

Андатпа. Бұл мақалада болат және арнайы қорытпалар өндірісінде қажетті жаңа кешенді ферроқорытпа алюмосиликомарганец оттексіздендіргіш ретінде қолдану тиімділігі келтірілді. Алюмосиликомарганец қорытпасын марганец кені мен жоғары күлді көмір арқылы балқытылады. Балқыманың өзіндік құнының арзандығымен қатар алюминий, кремний және марганецтің төмен көміртегі тотығын да, болатты металл емес қоспалардан терең тазартуды қамтамасыз етеді. Алюмосиликомарганец балқытуға арналған шикіқұрам материалдардың меншікті электр кедергісін зерттеуге арналған. Алюмосиликомарганецті балқытуға арналған шикіқұрам материалдардың меншікті электр кедергісін зерттеу мәселелері қаралды, атап айтқанда, жоғары күлді көмірлер. Өлшеулер тамман зертханалық агрегатында түрлендіргіштер арқылы қосылған арнайы жинақталған тәжірибелік қондырғыда жүргізілді. Көмірдің электр өткізгіштігінің өзгеруі бойынша зерттеулер қызу жылдамдығы 15 град/минутта 25-1500°C температура аралығында жүргізілді. Температураға байланысты шикіқұрам материалдардың меншікті электр кедергісі пайда болуының негізгі заңдылықтары анықталды. Ұсынылған өлшеу әдісі бойынша шикіқұрам материалдарының физика-химиялық қасиеттері туралы терең ақпарат алуға мүмкіндік береді. Жоғары күлді «Сарыадыр» көмірі жоғары температурада тұрақты меншікті электр кедергісіне ие бола отырып, балку кезінде оңтайлы режимге қол жеткізуге болады

Негізгі сөздер: тотықсыздандырғыш, жоғары күлді көмір, меншікті электр кедергісі, алюмосиликомарганец, ферроқорытпа.

Исследование электрофизических свойств шихтовых материалов для выплавки комплексного сплава алюмосиликомарганец

Е.Н. Махамбетов¹, А.М. Әбдірашит^{2*}, Е.Қ. Қуатбай², О. Yucel³, Е.Б. Тажиев⁴

¹Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан

²Карагандинский индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

³Стамбульский технический университет, Стамбул, Турция

⁴Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: asik_942017@mail.ru

Аннотация. В данной статье приведена эффективность применения нового комплекса ферросплавов алюмосиликомарганца в качестве кислородосодержащего средства, необходимого при производстве стали и специальных сплавов. Сплав алюмосиликомарганца плавится с помощью марганцевой руды и высокозольного угля. Помимо низкой себестоимости расплава, он обеспечивает глубокую очистку как алюминия, кремния и марганца, так и низкоуглеродистых сталей от неметаллических примесей. Алюмосиликомарганец предназначен для исследования удельного электрического сопротивления шихтовых материалов для плавки. Рассмотрены вопросы исследования удельного электрического сопротивления шихтовых материалов для выплавки алюмосиликомарганца, в частности, углей высокой золы. Измерения проводились в лабораторном агрегате тамман на специальной комбинированной опытной установке, подключенной через преобразователи. Исследования по изменению электропроводности угля проводились в интервале температур 25-1500°C при скорости нагрева 15 град/мин. Определены основные закономерности формирования удельного электрического сопротивления шихтовых материалов в зависимости от температуры. Предложенный метод измерения позволяет получить глубокую информацию о физико-химических свойствах шихтовых материалов. Высокозольный уголь «Сарыадыр», обладая постоянным удельным электрическим сопротивлением при высоких температурах, может быть достигнут оптимальный режим плавления.

Ключевые слова: восстановитель, высокозольный уголь, удельная электросопротивление, алюмосиликомарганец, ферросплав.