

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті



С. М. Тлеугабулов, Г. М. Қойшина, Е. Б. Тажиев

ШОЙЫН МЕН БОЛАТ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Университеттің Оқу-әдістемелік кеңесі оқу құралы ретінде
ұсынған

Алматы 2021

ӘОЖ 672 (075.8)
ББК 34.32 я73
Т48

Пікір жазғандар:

Смагулов Д. У., МНЖИФ каф. проф., техн. ғыл. док.; Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ;

Исагулов А. З., атқарушы директор, техн. ғыл. док., проф.; Қарағанды техникалық университеті;

Ахметова Г. Е., Металлургия және материалтану каф. аға оқытушысы, PhD д-ры, Қарағанды индустриялық университеті

Сәтбаев университеті Оқу-әдістемелік кеңесінің 2021 ж. басылым жоспары бойынша басылды

Т48 Глеугабулов С. М., Қойшина Г. М., Тажиев Е. Б. Шойын мен болат өндіру технологиясы: Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТЗУ, 2021. – 171 б.
Сурет 55. Библиограф. – 13 атау.
ISBN 978-601-323-284-3

Оқу құралы курс бағдарламасына сәйкес жазылған.

Шойын мен болат өндірісінің негіздері шикізатты өндіру мен дайындаудан бастап қысқаша түрде көрсетілген. Кітапта темір рудасының шикізатын дайындау, шойын және металдандырылған бұйымдарды өндіру, оларды болат балқыту қондырғыларында өңдеу процестері дәйекті түрде қарастырылады. Дайындалған шикізаттың, шойынның, болаттың және металлургиялық қондырғылардың қысқаша сипаттамасы берілген.

Оқу құралында ұсынылған материалдар металлургия мамандығының студенттеріне (бакалаврларға) арналған және магистранттар мен университеттің ғылыми қызметкерлеріне пайдалы болуы мүмкін.

Бұл оқу құралы металл өндіру технологиясын жетілдіру үшін көптеген жаңа техникалық шешімдердің авторы, ұстазымыз Глеугабулов Сүлейман Мустафьевичке арналған.

ӘОЖ 672 (075.8)
ББК 34.32 я73

ISBN 978-601-323-284-3

© Глеугабулов С. М.,
Қойшина Г. М.,
Тажиев Е. Б., 2021
© ҚазҰТЗУ, 2021

КІРІСПЕ

Металлургия – кендер мен металқұрамды материалдардан металл алу процестеріне, сонымен қатар мақсатына сай олардың химиялық құрамы мен құрылымын, қасиеттерін өзгерту арқылы, металл қорытпаларына белгілі бір қасиеттерді қалыптастыруға арналған ғылым, техника мен өндіріс саласы. Осылайша, металлургияға металдарды бөліп алуға дайындау үшін, жер қоймасынан алынған кенді өндеуден; кендер мен металқұрамды өзге материалдардан металдарды тікелей бөліп алу процестерінен; металл тазалаудан; металл қорытпаларының өндірісінен; металдар мен қорытпаларды термоөндеу мен қысыммен өндеуден; құю өндірісінен, металдық өнім алынғанға дейін металл мен қорытпаларды пісіруден және дәнекерлеуден тұратын процестердің кең шеңбері жатады. Сонымен қатар металлургия металл жөнінде ғылымды – металтануды қамтиды. Жалпы металлургия химиялық, физикалық, физика-химиялық құбылыстардың зерттелуіне, термодинамика заңдарына негізделеді, және геология, минералогия, петрография мен тау-кен ісімен айтарлықтай тығыз байланысты.

Металдардың ерекше қасиеттері, адамның оларды танып-білуіне қарай, біртіндеп және кезекпен адамзаттың өмір сүруінің негізіне енді және олардың шаруашылық жүргізуінің басым бағытына айналды. Өндіріс пен техниканың заманауи деңгейі металл өндірісінсіз және пайдаланылуынсыз мәнсіз.

Металлургия дамуының сан ғасырлы тарихы майда моноөндірістен бастап көпсалалы күшті индустрияға дейін созылған. Металл өндірісінің заманауи технологиялары техникалық дамыған мемлекеттер экономикасының көптеген салаларын байланыстырады. Бір жағынан металлургиялық процестер бастапқы шикізат сапасына, оны дайындау технологиясына қатысты маңызды және қатаң талаптарды,

екінші жағынан – шығарылатын металдар мен металл конструкцияларының сапасына қойылатын техникалық талаптарды орнатты. Көрініп тұрғандай, бастапқы жағында металлургия тау-кен-геология саласымен, ал шығару жағынан – машина жасау саласымен тығыз байланысты. Тау-кен ісі, металлургия және машина жасау – бұл кез келген заманауи мемлекеттің экономикасы мен техникалық деңгейінің басты негізі.

Мұны ескере отырып, айта кету керек, металлургия мамандығы – бұл отандық таңдау, ол маманға, бір жағынан, табиғаттың күрделі табиғи қосылыстарынан металды қалай бөліп алу және сапалы металл алу сияқты күрделі құбылыстарды зерттеу және танып білу, екінші жағынан – машина бөлшектерінің әртүрлі конструкцияларын дайындау үшін талап етілетін қажетті қасиеттерді алынған металға қалай беру сияқты аса күрделі құбылыстарды зерттеу мен танып-білу міндетін жүктейді. Мұндай білімге ие болу үшін, біріншіден, жалпы білімдік дайындықтың қажетті деңгейі, екіншіден – металлург біліктілігінің ізденушісіне еңбек сүйгіштік пен қажырлы еңбек қажет.

Көріп отырғанымыздай, аталған салалар бойынша кадрлар даярлау, оның ішінде металлургия орталық орынға маңызды мемлекеттік мәнге ие. Металлургия бойынша дайындалған мамандар барлық өнеркәсіптік дамыған өңірлерде сұранысқа ие. Сонымен бірге, металлургия бойынша мамандықты таңдау тек беделді ғана емес, сонымен бірге болашақта жоғары оқу орны мен жоғары оқу орнынан кейінгі білім беруде табиғи қосылыстардан металдарды алумен және алынатын металл өнімдерінің сапасын реттеумен байланысты табиғаттың күрделі құбылыстарының заңдары мен заңдылықтарын ойдағыдай меңгеру үшін білім алушы студенттерден бастапқы жалпы білім беретін даярлықты талап етеді.

Берілген сападағы өндірілген металдар техниканың әртүрлі салаларында және машина бөлшектерін өндіруде тұтынуды табатындықтан, маман тұтынушылардың техникалық жағдайларын және оларға қол жеткізудің технологиялық процестерінің мүмкін жолдарын білуі керек. Осылайша,

металлургияның өзі, құрамында металл бар шикізатты дайындаудан бастап, белгілі бір құрам мен сападағы металдарды балқытуға дейін көптеген бөлімшелерден тұрады. Әрбір бөлімше күрделі өндірістік-технологиялық кешенді білдіреді: 1) агломерат және жентектер өндірісінің технологиясы; 2) шойын өндірісінің Домна процесі кешені; 3) болатты оттекті-конвертерлік балқыту кешені; 4) болатты пештен тыс өңдеу және тазарту кешені; 5) болатты мартендік өндіру кешені; 6) электрлік болат балқыту өндірісінің кешені; 7) феррокорытпа өндірісінің кешені.

Жоғары білімі бар металлург маман аталған барлық өндірістік бөлімдердің технологиясын игеруі керек, бұл білім беру кезеңінде студенттердің жоғары жауапкершілігі мен еңбекқорлығын, содан кейін алған кәсібі – металлургтың нәтижесінде лайықты мақтаныш сезімін тудырады.

1-БӨЛІМ

1.1. МЕТАЛЛУРГИЯНЫҢ ҚАҒИДАЛЫ НЕГІЗДЕРІ

1.1.1. Металдар классификациясы

Барлық металдарды қара және түсті деп бөледі. Темір мен оның негізіндегі қорытпаларды қара металдар, барлық қалған металдар түсті деп атайды. Түсті металдар физика-химиялық қасиеттері бойынша шартты түрде бес топқа бөлінеді:

1 – ауыр (мыс, никель, қорғасын, мырыш, қалайы); 2 – жеңіл (алюминий, сілтілі, сілтілі-жер); 3 – асыл (алтын, күміс, платина және оның серіктестері); 4 – аз (висмут, мышьяк, сурьма, кадмий, сынап, кобальт); 5 – сирек (әртүрлі белгілеріне тәуелді 50–60 элементті жатқызады). Сирек металдарды өз қатарына топшаларға бөледі: 5.1 – жеңіл сирек (литий, бериллий, рубидий, цезий) аз тығыздыққа ие -2 т/м^3 дейін; 5.2 – қиын балқитын сирек (титан, цирконий, ванадий, вольфрам және т.б.), балқу температуралары 1600°C аса; 5.3 – шашыранды сирек (галлий, индий, таллий, германий, гафний, рений, селен, теллур); 5.4 – сирек-жер (лантаноидтар, скандий және иттрий); 5.5 – радиоактивті сирек (актиноидтар, радий, сонымен қатар жасанды уран).

1.1.2. Металлургияның басты формуласы

Металлургияның негізгі (кілтті) сатысы металды шала тотықтан химиялық бөліп алу болып табылады және келесі реакцияның ойдағыдай өтуінен тұрады:



Айтарлықтай барлық металдардың (Fe, Cu, Al, Ni, Zn, Co және т.б., ферроқорытпалар) алыну сұлбасы осы реакцияға байланысты. Себебі, кен (жер қойнауы) құрамындағы металл өзге элементтермен – бейметалдармен, алайда, басым бөлігі – оттегімен (жер қыртысында мөлшері бойынша оттегі бірінші орында тұр) химиялық қосылыс түрінде кездеседі. Дегенмен,

металл өңделетін минералда, мысалы, S, P, As, C және т.б. байланысатын болса, өңдеу процесі берілген сатыдан өтіп кетпейді (ерекшелік ретінде, табиғатта саф күйінде кездесетін кейбір металдар ғана – Au, Pt, сирек Ag, Cu болуы мүмкін). Сондықтан келтірілген реакцияны, жеткілікті негіздемемен, металлургияның кілтті формуласы деп атауға болады. Металлургиялық циклдің алдыңғы сатылары редукцияны тиімді жүзеге асыру үшін дайындық болып табылады, ал кейінгі сатыларының мәні металды тазалау, оның қасиеттерін түзету және одан бұйым алу болып табылады.

Редукциялағыш ретінде, қайсыбір металды алу процесіне байланысты, оттегімен әрекеттесуге қабілетті әртүрлі заттарды, элементтерді пайдалануға болады. Тәжірибе жүзінде, негізінен C, CO, H₂, Al, Si қолданылады. Әрекеттесу реакциясының толық өтуі, оттегімен әрекеттесу энергиясының шамасына, яғни элементтің оттегіге жақындығына тәуелді болады. Мұндай әрекеттесу өлшемі Гиббс энергиясының стандартты өзгерісінің шамасы – ΔG^0_T болып табылады.

1.1.3. Металл алудың принципиялды сұлбасы

Металл алудың принципиялды сұлбасы келесі операциялардың ретпен жүзеге асырылуынан тұрады: **кен алу** → **орташаландыру** → **ірілігін оңтайландыру** → **байыту** → **кен шикізатын сусыздандыру** → **кен концентратын өндіру** → **концентратты кесектеу** → **металл редукциясы, металданған өнім өндірісі** → **металл тазалау** → **металл қасиетін түзету** → **металдық бұйым алу**.

Ескеру қажет, сұлба металдардың айтарлықтай барлық түрлерін өндіру үшін принципиялдық болғанымен, сатылар реті бірқатар жағдайларда өзгеруі мүмкін. Мысалы, орташаландыру өңделімнің барлық сатыларында, тіпті дайын бұйым алынғанға дейін қолданылуы қажет (әсіресе, сапа менеджменті жүйесінің дамуына байланысты). Кен алу сатысына дейін, яғни геофизикалық барлаудан кейін басталуы мүмкін, немесе қажет. Байыту кен алудан бұрын болуы мүмкін, мәселен, жер асты шаймалау, бишофит алу кезінде. Металды тазарту сатысы

редукциялық балқытудан бұрын болуы мүмкін (Ti). Кейбір сұлбаларда жеке сатылар болмауы мүмкін.

Қара металлургияның принципіалды өндіріс сұлбасы: **кен алу → орташаландыру → ірілігін оңтайландыру → байыту → сусыздандыру → кесектеу → шойын алу → болат өндірісі → болат қасиетін нештен тыс өңдеумен түзету → дайындама алу → құю, қысыммен өңдеу арқылы бұйым алу → термоөңдеу, калибрлеу арқылы бұйым сапасын арттыру.**

Ұсынылған схемаға өндірілетін кендердің жай-күйі мен құрамына байланысты да өзгертулер енгізілуі мүмкін. Өндірілген кен ұсақ болуы мүмкін. Құмды. Сонда ұсақтау және сұрыптау арқылы мөлшерді оңтайландыру процестері жойылады. Егер кен құрғақ, магнетит болса, онда дегидратация процесі болмайды. Алынған өнімнің санатына байланысты құю арқылы өнімді алу шойын құйғаннан кейін де жүзеге асырылуы мүмкін.

1.2. Өндірістің тиімділігі және ұйымдастыру негізі

Қайсыбір металдың, сонымен қатар одан алынған бұйымның тиімді өндірісін ұйымдастыру үшін, белгілі бір ресурстар болуы қажет немесе тарту керек, нақтырақ айтсақ: шикізат (кен орындары), энергетикалық, редукциялау (көмір, мұнай, табиғи газ және т.б.), су, адами (еңбек) ресурстар. Екінші жағынан, аймақтың қолдағы ресурстарын сауатты басқару икемділігі процесс рентабельділігін қамтамасыз етеді және металлургия шеберлігін құрайды. Қайсыбір ресурстардың тапшылығы немесе артық мөлшері нақты кәсіпорынның құрылымын және онда өндірісті ұйымдастыру ерекшелігін анықтайды.

Заманауи металлургиялық кәсіпорын технологиялық байланысқан бөлімдерден – өндірістен, цехтар, учаскелерден және т.б. тұрады. Әр бөлімнің негізін өндірістік процесс құрайды. Өндіріс мақсаты бойынша (және өтпелі өңделім сұлбасына қатысты) негізгі, көмекші, қосалқы, жанама және қызмет көрсету цехтары болып бөлінеді. Барлық өндірістердің құрамы мен қуаты кәсіпорынның техникалық жобасымен нарық конъюнктурасына байланысты анықталады, және мұнда да ресурстардың кездесуі,

ары қарай, процесті жалпы үздіксіз жақсарту мақсатында, тұрақты сараптамаға ұшырайды. Негізгі цехтарға, өндіріс пен металл өңдеудің тікелей циклінде, кен алудан бастап соңғы өнім шығаруға дейін жұмыс істейтін бөлімдер жатады. Көмекшілерге энергетикалық, жөндеу, көлік және т.б. цехтары жатады. Қосалқыларға – отқатөзімді, қадалы материалдар және т.с.с. цехтар. Қызмет көрсету цехтарының тобы қойма шаруашылығы, әлеуметтік сала және т.б. бөлімдерді қамтиды. Жанама цехтар, әдетте екіншілей шикізаттан қосалқы өнім өндірісінде жұмылдырылған.

Өндірісті ұйымдастыру және басқарудың заманауи әдістері *жүйелі* және *процестік* тәсілдеме қағидаларын пайдаланады. Процестік тәсілдемеге сәйкес, әрбір процестің негізгі құрамдастары *кіріс* (ресурстар), *түрлендіру* (процестің өзі) және *шығыс* (өнім – процесс нәтижесі) болып табылады. Процестің нәтижелілігі – қажетті нәтижеге қол жеткізу қабілеттілігі. Процесс тиімділігі пайдаланылған ресурстарға қатысты қол жеткізілген нәтижелермен анықталады. Жүйелік тәсілдеме нақты нысанды жүйе ретінде қарастыруды ұсынады, ол өз қатарына жүйе бөліктерінен тұрады және аса жоғары деңгейлі жүйенің бөлігі болып табылады. Бұл кезде, жүйе бөлігінің өзгерісі (бұзылуы немесе жақсаруы) жүйенің жалпы жұмыс көрсеткіштеріне әсер ететінін түсіну керек.

Өндіріс тиімділігін, соңында, шығарылатын өнім шығынымен бағалайды және оны өткізуден түскен табыстармен салыстырады. Экономикалық тиімділіктің негізгі өлшемі өнімнің өзіндік құны, пайда және өндіріс тиімділігі (рентабельділігі) болып табылады.

Металдың өзіндік құны бірлік (1 т немесе 1 кг) өнім өндірісіне қажетті шығындар қосындысымен (ресурстың меншікті шығыны мен оның құнының көбейтіндісі) анықталады және келесі баптардан тұрады:

$$C_m = p_r C_p + p_v C_v + p_d C_d + C_{эн} + П, \quad (1.2)$$

мұндағы p және C , сәйкесінше, кен шикізатының, редукциялағыш пен қоспа материалдардың меншікті шығыны

мен құны; $C_{\text{эн}}$ – меншікті энергетикалық шығын; Π – өнделім бойынша шығындар.

Пайда – сату табысы мен өзіндік құнының (шығым) айырмасы: $\Pi p = D - C_m$.

Рентабельділігі – пайданың өзіндік құнына қатынасы (%):
 $P = 100 \cdot \Pi p / C_m$.

Мұнда шикізаттың, редукиялаушының (тотықсыздандырғыштың) және қосымша материалдардың нақты шығындары олардың сапасына, ең алдымен алынған металдардың бастапқы шикізаттағы концентрациясына және оларды белгіленген температура жағдайында редукиялау дәрежесіне байланысты екендігін айта кету керек. Редукционер реагентті тұтыну оның редукиялау потенциалына, яғни оны пайдалану дәрежесіне байланысты.

Металлургиялық өндірісті ұйымдастырудың тиімділігі тек экономикамен ғана бағаланбайды. Экологиялық қауіпсіздік бойынша да бағаланады. Өндірістік процестер металл өнімдерін өндірумен қатар газ, шаң және шлак қалдықтарын шығарады. Сондықтан металлургиялық өндірісті ұйымдастырудың бастапқы шарттарын таңдағанда, бастапқы компоненттердің химиялық құрамына мұқият назар аудару керек және ең алдымен, канцерогенді заттардың атмосфераға шығарылуына және газдар мен қатты қалдықтардың шамадан тыс көбеюіне жол бермеу керек.

1.3. Кен алу және кен сипаттамалары

Кен деп тау жынысы аталады, оның құрамында берілген техникалық даму деңгейінде бөлінуі экономикалық тиімді болатын мөлшерде металл кездеседі. Кеннің табиғи жинақталуы кенорнын түзеді.

Кенорны – құрамында берілген металдың жоғарғы концентрациялы тау жынысы кездесетін, жер қыртысының бір бөлігі. Қолданыстағы шарттарда өндіру мақсаттылығына тәуелді *өнеркәсіптік және өнеркәсіптік емес* кенорындары деп бөлінеді. Кен алу және байыту технологияларының жетілдірілуіне, сонымен қатар конъюктуралық өзгеріске қарай, өнеркәсіптік емес кенорындары өнеркәсіптік санатына өтуі мүмкін.

Кенорнында кездесетін кенмен қатар, *қоршау жынысын* құрайтын, айтарлықтай үнемі кендік емес минералдар ілеседі. Өзгеше мұндай жынысты бос жыныс деп атайды. *Бос жыныс* – кен минералдарына (араласқан) ілесетін, құрамында ізделінді металл кездеспейтін және өнеркәсіптік тұтынуға экономикалық жарамсыз минералдар болып келеді. Қазіргі уақытта бос жыныс түсінігі жеткілікті шартты түрде қолданылады. Кен алу мен байыту қалдықтары өнеркәсіптің өзге салаларының шикізаты болып келеді. Жиі алынатын кен құрамында, бөліп алуға тиімді бір емес, екі және одан да көп металдар кездеседі. Мұндай кендер *кешенді* деп аталады (мысалы, титан-магнетиттер, мыс-никель және т.б.).

Кен сапасы негізгі металл мөлшерімен, зиян және пайдалы қоспалар көлемімен, сонымен қатар бос жыныс құрамымен анықталады. *Зиянды қоспалар* деп, металдан алынатын бұйымдар қасиеттерін нашарлататын немесе өтпелі өңдеу тиімділігіне кері әсерін тигізетін, кенде кездесетін элементтер аталады. *Пайдалы қоспалар* деп, кен құрамында аз мөлшерде кездесетін бағалы элементтер аталады, олар металл бұйымдардың қасиеттерін жақсарттады, немесе өндеудің жалпы рентабельділігін арттыра отырып, қосымша бөлініп алынуы мүмкін. Мәселен, *табиғи легіріленген* кендер – бұл алынатын металл сапасын жақсартатын және лигатура шығынын талап етпейтін (немесе ауқымды төмендететін), құрамында пайдалы қоспалары бар кендер. Бос жыныс құрамы кейінгі пирометаллургиялық өндеудің температуралық деңгейіне әсер етеді, сонымен қатар қайсыбір флюс қоспаларының пайдаланылу қажеттілігін анықтайды. *Қышқыл* бос жынысты кен құрамында негізінен силикаттар мен алюмосиликаттар кездеседі. *Негіздік* бос жынысты кен құрамында кальций мен магний шала тотықтары кездеседі. *Өздігінен балқытын* кендер – бос жыныста қышқыл және негіздік шала тотықтар қатынасы оңтайлы болатын және флюс шығынын қажет етпейтін кендер. Бос жыныс құрамының процестің температуралық деңгейіне әсер етуінің сипаты мысалы, штейнге балқыту кезінде никель-магnezий кенін пайдалану қиындығы және шектеулілігі болып табылады.

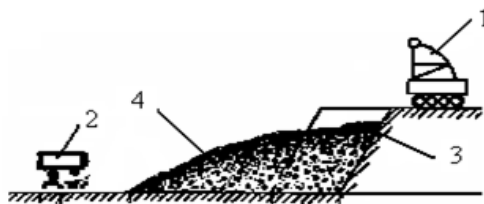
Кен алу *ашық, жер асты* немесе *арнайы* тәсілдермен жүзеге асырылады. Арнайы кен алу тәсілдері келешекті болғанымен, өнеркәсіптік масштабта аз қолданылады. Оларға жатады: суасты алу, жер асты шаймалау, суспензия түрінде гидравликалық кен алу, жер астын газдандыру (айдау) және т.б. кен алудың бастапқы екі тәсілі негізгі болып табылады. Ашық және жер асты өңдеу тәсілдерінің бірін таңдау кезінде, қайсыбір тәсілдің қолданылуы белгілі болатын жағдайлардан басқа (яғни терең кен шоғырлануы кезінде жерасты, беттік кезінде – ашық тәсілін қолданады), экономикалық талдау жүргізу қажет. Берілген сұрақты шешімі әртүрлі тәсілмен 1 т кен алудың өзіндік құнын есептеу арқылы анықталады. Бұл кезде экономикалық бағалаудың негізгі көрсеткіші *аршу коэффициенті* – 1 т немесе 1 м³ алынатын кенге шығарылатын бос жыныс көлемі болып табылады ($K = V_{п.п.}/V_p$). *Шекті*, немесе экономикалық орынды, аршу коэффициенті ашық жұмыс тәсілінде аршылымның аса мүмкін болатын меншікті көлемін анықтайды. Шекті аршу коэффициенті, жерасты және ашық тәсілмен 1 т кен алу өзіндік құнының айырмасының 1 м³ бос жынысты шығару бойынша толық шығынына (C_B) қатынасымен анықталуы мүмкін: $K_r = (C_p - C_0)/C_B$.

Ашық өңдеудің жерасты өңдеумен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар: жоғары өнімділігі мен еңбек қауіпсіздігі, жұмыс ұйымдастыру қарапайымдылығы, жер қойнауынан аса толық кен бөлінуі, төмен өзіндік құны. ТМД-да бұл тәсілмен қара және түсті металл кенінің шамамен $\frac{3}{4}$ бөлігін алады. Ашық өңдеу екі жұмыс түріне бөлінеді: кеннің жабынды, қоршаушы бос жыныстарының жойылуын қамтамасыз ететін *аршу*, және кеннің алынуы мен карьерден тыс тасымалдануын қамтамасыз ететін *алу* жұмыстары. Аршу жұмыстары үнемі алу жұмыстарынан бұрын жүреді және бос жынысты қазу, тиеу, тасымалдау мен үйіндіге орналастыру операцияларын қамтиды. Ашық тау-кен қазбалар кешені, сонымен қатар кенорынның ашық тәсілмен өңделуін жүзеге асыратын тау-кен кәсіпорнын, *карьер* деп атайды (көмір өнеркәсібінде – разрез). Карьерде (1.1-сурет) кен қазуды бөлек көлденең немесе көлбеу қабатпен жүзеге асырады, бұл кезде жоғарғы бөліктің өңделуі төменгі бөліктің өңделуінен бұрын жүреді.



1.1-сурет. Карьер сұлбасы

Қазылған кеңістіктің бүйір жақтары карьердің *ернеуі* (борт), ал әрбір жеке, өздігінен өңделетін қабат – *кемер* деп аталады. Кемерде кен алу жұмыстары (1.2-сурет) кен жыныстарын массивтен бөлу (әдетте, бұрғылап-жару жұмыстарымен), тиеу және оларды байыту фабрикаларына аралық орташаландыру қоймалары арқылы немесе тікелей тасымалдау операцияларын қамтиды.

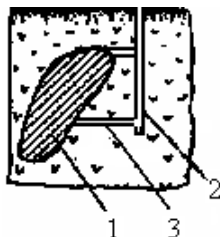


1.2-сурет. Кемер сұлбасы

1 – бұрғылау қондырғысы; 2 – вагон; 3 – еңіс;
4 – тау жынысының бұзылуы

Жер асты өңдеу шахталарды орналастыру жолымен жүргізіледі (1.3-сурет) және жұмыс жүргізудің үш сатысын қамтиды: аршу, дайындау және тазарту құдығы. *Аршу* тау-кен қазу жұмыстарын жүргізуден тұрады, ол бетінен кен денесіне жол ашады. Ол тік немесе көлбеу окпанын, квершлагтар, ұңғымалар орнатудан тұрады (квершлаг – бетіне шығу жолы жоқ (ұңғымаға қарағанда) және жүк тасу, адам қозғалысы және т.б. үшін бос жыныстар бойынша жүргізілетін, көлденең жер асты тау-кен қазбасы). Ұңғымамен аршу жердің таулы аймақтарында ғана мүмкін. *Дайындау* – бұл тау-кен қазбаларын (куақаз (штрек),

орттар мен т.б.) жүргізу, онымен кенорынның аршылған бөлігі дараланған қазып алу аймақтарына (қабаттар, блоктар және т.с.с) бөлінеді. Дайындау көмекші штректер, түсе берістерді орнату арқылы тазалау жұмыстарын ары қарай дамыту үшін *тілмелеу* жұмыстарын қамтуы мүмкін. *Тазарту құдығы* – бұл кенді алу аймағынан бөліп алу және осы кезде түзілетін тазалау кеңістігін ұстап тұрудың технологиялық процесі. Тазарту құдығы, жалпы жағдайда, кенді массивтен бөлу (жару арқылы, тойтарыс механизмімен және т.б.), кенді тасымалдау горизонтына жылжыту (вагонеткамен, конвейермен), кенді (кейде алдын ала ұсақтаудан кейін) бетке шығару операцияларын қамтиды.

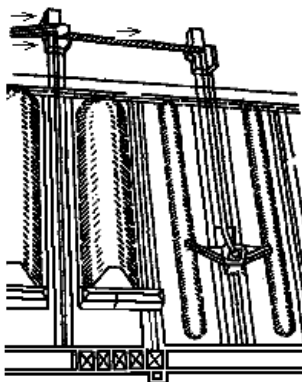


1.3-сурет. Шахта сұлбасы
1 – кен денесі; 2 – оқпан; 3 – квершлаг

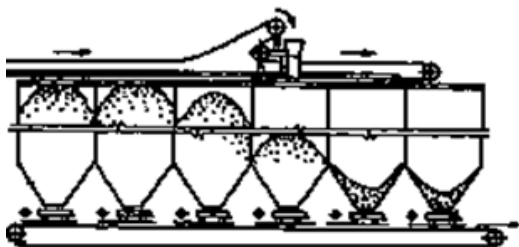
1.3.1. Кенді біркелкілеу процесі

Біркелкілеу деп өңделетін материал құрамының біркелкілігін арттыруға бағытталған, технологиялық операциялар мен ұйымдастыру шараларының кешенін қамтитын процесс аталады. Біркелкілеумен кез келген өндеудің тұрақтылығы мен тиімділігі қамтамасыз етіледі, сондықтан берілген операцияны металлургиялық өңделімнің әрбір сатысының алдында жүргізген дұрыс. Біркелкілеу кеніштің кенжарында (тіпті кен алу жоспарынан) басталады, карьер мен шахта қоймаларында, ұсақтау-сұрыптау, байыту, агломерация (немесе оған ұқсас) фабрикаларында жалғасады және соңғы өнім шығаратын металлургия зауытының балқыту мен тазалау цехтарында аяқталады. Біркелкілеу процесі қайсыбір материалдың шоғырлануымен байланысты болғандықтан,

белгілі бір циклдің үздіксіз жұмысы да қамтамасыз етіледі, жоспардан тыс тұрып қалуға байланысты шығындар азаяды. Кесекті және шашыранды материалдардың (кен, концентраттар, отын, редуционерлер, флюстердің) біркелкіленуін қоймаларда немесе араластыру арқылы бункерлерде жүзеге асырады. Қоймаларда (1.4-сурет) оған, қарапайым мобильді (ұтқыр) (экскаваторлар, тиегіштер) немесе арнайы стационарлы (қаттауыштар, кен жинау машиналары) техника көмегімен қатарды қабаттап ұзындығы бойымен тұрғызу және көлденеңінен сұрыптау арқылы қол жеткізеді. Бункерлерде біркелкілеу, одан материалды бірауқытта және реттелмелі беру есебінен қамтамасыз етіледі (1.5-сурет).



1.4-сурет. Біркелкілеу қоймасы



1.5-сурет. Бункерлерде біркелкілеу

Біркелкілеу сапасын бағалау үшін, математикалық статистика әдістеріне негізделген, әртүрлі көрсеткіштер мен өлшемдерді қолданады. Бағалаудың негізгі өлшемі орташа мәннен көрсеткіштің (мысалы, негізгі металл мөлшерінің) орташа шаршы ауытқуы болып саналады: $\sigma = \sqrt{\sum (x_i - x_{cp})^2 / n}$, мұндағы x_i – жеке сынаманың көрсеткіш мәні, x_{cp} – массивте көрсеткіштің орташа мәні, n – сынама саны. Біркелкілеу коэффициентін (К) біркелкілеуге дейінгі және кейінгі орташаквадраттық ауытқулардың қатынасы бойынша анықтайды: $K = \sigma_n / \sigma_d$. Тәжірибеде біркелкілеу сапасы, жиі, сынамалардың жалпы қатынасы бойынша ауытқулар шегінде (± 1 %, ± 2 % және т.с.с.) орналасатын және пайызбен өрнектелетін, сынамалар мөлшері бойынша бағаланады.

1.3.2. Ірілігін оңтайландыру

Ірілігін оңтайландыру *ұсақтау, ұнтақтау, елеу және жіктеу* операцияларын жүргізуден тұрады. Берілген операцияларды жүргізу қажеттілігі, алынатын кеннің ауқымды 0–1500 мм дейін ірілік аралығына ие болуымен шартталады. Аса ірі кесектер мен шаң тәрізді материалдардың, тіпті кен байыту талап етілмесе де, кейінгі өңделімдерде тікелей пайдаланылуы қиын (проблемалы). Тиімді байытуды қамтамасыз ету үшін, кен минералдары мен бос жыныс минералдарын механикалық бөлу қажет, оған шикізатты белгілі бір мәнге дейін ұсақтау арқылы қол жеткіземіз. Осылайша, ұсақтай және ұнтақтау процестері материалды қажетті ірілігіне, талап етілетін гранулометриялық құрамына немесе минерал ашылуының берілген дәрежесіне дейін келтіру үшін қолданылады.

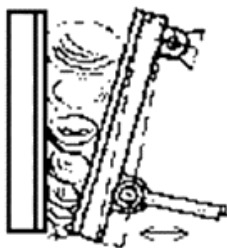
Материалдардың қирау тәсілдері мен қағидалары ұсақтау және ұнтақтау операциялары үшін ортақ болып табылады. Ұсақтау және ұнтақтау операцияларын түйіршіктің шекті өлшемі 5 мм (яғни 5мм ірі өнім алған кезде – ұсақтау, 5 мм кіші – ұнтақтау) бойынша, сонымен қатар пайдаланылатын жабдық бойынша, сәйкесінше *ұсақтағыштар* және *диірмендерге* бөлу ұсынылады. Ұсақтау өз қатарына шартты түрде ірі (250 мм

дейін), орташа (50 мм дейін) және ұсақ (5 мм дейін) деп жіктеледі. Материалдарды қирату үшін қайтымсыз деформацияның келесі түрлері қолданылады: мыжғылау, сындыру, сынық, кесу, қажау. Пайдаланылатын энергия түріне байланысты қиратудың келесі тәсілдері қолданылады: механикалық, пневматикалық (жарылғыш), электрогидравликалық, электрұшқынды импульстік, термиялық, аэродинамикалық, ультрадыбыстық.

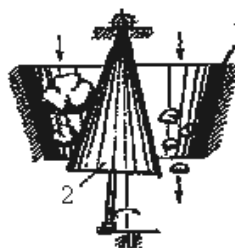
Тау-кен байыту кәсіпорындарында айтарлықтай тек механикалық ұсақтағыштар мен диірмендер қолданылады, олардың арасында аса үлкен таралымға жақтаулы, конустық, білікті, балғалы, роторлы ұсақтағыштар; сырықты, шарлы және өздігінен ұнтақтау диірмендері ие болды.

Жақтаулы ұсақтағыштардың жұмыс істеу принципі (1.6-сурет) ұсақтау жазықтықтарының (жақтар) циклдік жанасуы мен алшақтауы болып келеді, жазықтықтардың бірі қозғалыссыз, ал екіншісі қозғалмалы болады. Бүйір жағынан ұсақтау камерасы қабырғалармен шектелген.

Конусты ұсақтағыштарда (7-сурет), қозғалмалы ұсақтау конусы (2) мен қозғалыссыз конустық ыдыс (1) арасындағы сақиналы кеңістік ұсақтау камерасы болып табылады. Қирату процесі, конустық маятник қозғалысына ұқсас, ыдыс ішінде ішкі конустың айналмалы экцентрикалық қозғалысының нәтижесінде үздіксіз жүреді.



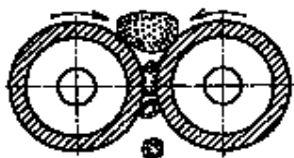
1.6-сурет.
Жақтаулы ұсақтағыш



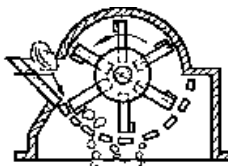
1.7-сурет.
Конусты ұсақтағыш

Білікті ұсақтағыштарда (1.8-сурет) материалдың қирауы, бір-біріне қарсы айналатын, екі білік арасында жүреді.

Балғалы (1.9-сурет) және роторлы ұсақтағыштардың жұмыс істеу принципі соққымен қиратуға ұқсас және соған негізделген. Ұсақталатын материал, жылдам айналатын роторға бекітілген, соққы немесе балға әсеріне ұшырайды. Қирату соққы мен материалдың тікелей жанасуы есебінен, сонымен қатар материалдың шағылыстырғыш тақталарға соғылуы есебінен жүреді. Роторлы ұсақтағыштарда соққы роторға қатты бекітілген, балғалы ұсақтағыштарда соққы-балғалар роторға ілінеді немесе топсамен бекітіледі.

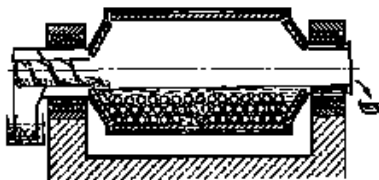


1.8-сурет.
Білікті ұсақтағыш



1.9-сурет.
Балғалы ұсақтағыш

Шарлы (1.10-сурет), сырықты және өздігінен ұнтақтау диірмендерінің жұмыс істеу принципі бірдей және материалдарға ұнтақтау денелерінің, сәйкесінше – металл шарлардың, сырықтар немесе ірі кен кесектерінің әсер етуіне негізделген. Диірмен қуыс шетмойындары бар айналмалы цилиндр (барабан) болып келеді, олар арқылы кен материалы бір жағынан үздіксіз түседі, ал екінші жағынан үздіксіз алынады. Ұнтақтау өнімінің шығарылуы тиеу және түсіру деңгейлерінің айырмасы есебінен, сонымен қатар өнімдердің су немесе ауа ағынымен шығарылуы есебінен жүзеге асырылуы мүмкін.

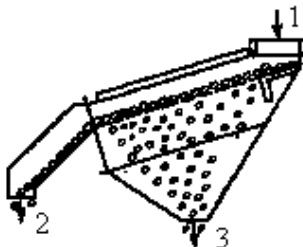


1.10-сурет. Шарлы диірмен

Ұсақтау және ұнтақтау процестерін сипаттайтын негізгі көрсеткіштер, ұсақтау (ұнтақтау) дәрежесі және агрегаттардың (ұсақтағыштар мен диірмендердің) жұмыс істеу тиімділігі болып табылады. Ұсақтау дәрежесі (i) – бастапқы материал (максималды немесе орташа өлшемді) кесегінің диаметрінің ұсақтау өнім кесегінің диаметріне қатынасы: $i = D/d$. Агрегаттардың жұмыс істеу тиімділігі – ұсақталған (ұнтақталған) өнім массасының шығындалған энергияға қатынасы: $\mathcal{E} = Q/E$, (т/кВт·сағ). Тиімділікке қарсы шама, ұсақтауға қажетті энергияның меншікті шығынын анықтайды: $E_{уд} = E/Q$.

Ірілігін оңтайландыру елеу және жіктеу процестерін де қамтиды.

Елеу – калибрлі тесіктері бар елегіш бетінің көмегімен, материалды әртүрлі ірілік (класс) өнімдеріне бөлу процесі. Елеу (1.11-сурет) кезінде жоғарғы (тор үсті) және төменгі (тор асты) өнімдер алынады. N електе елеу (көпсатылы елеу) барысында $n + 1$ өнім алынады. Елеуді технологиялық бағыты бойынша 4 түрге бөлуге болады: *көмекші, даярлау, өзіндік, сусыздандыру*.



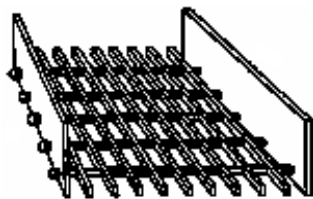
1.11-сурет. Елеу сұлбасы

1 – қоректендіргіш; 2 – тор үсті; 3 – тор асты өнімдері

Көмекші елеу ұсақтау операциясымен бірге қолданылады: ұсақтау алдында – бастапқы материалдан дайын іріліктегі өнім бөліп алу үшін (осылайша қирату шығынын азайту үшін), ұсақтаудан кейін – ұсақталған өнім ірілігін бақылау үшін. Елеу ірілік кластары бойынша материалды бөлек (байыту кезінде) өңдеу үшін *даярлау* операциясы ретінде қолданылуы және тауарлы өнім болып келетін кластарды алу үшін *өзіндік* операция болуы мүмкін.

Елеу процесі *елеу тиімділігі* көрсеткішімен сипатталады, ол бөлу толықтығын немесе процестің жетілдірілу дәрежесін көрсетеді және тор асты өнімінде ұсақ класс массасының (q_-) осы кластың бастапқы материалдағы массасына қатынасы болып келеді: $\varepsilon = 100q_-/q_{исх}, \%$.

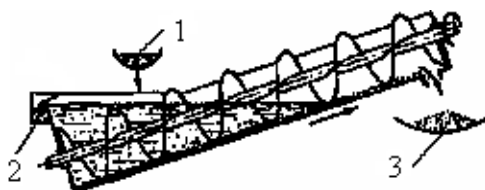
Елеу процесін жүзеге асыру үшін елек деп аталатын құрылғылар қолданылады. Ықшамды түрде електерді қозғалыссыз торлы және қозғалмалы електерге бөлуге болады. Қозғалыссыз торлы електер (1.12-сурет) жеке тордан (шыбықтар, ұяшықтардан) тұратын және белгілі бір көлбеу бұрышымен орнатылған стационарлы торлар болып келеді. Қозғалмалы електер арасында қазіргі уақытта *дірілді* електер кеңінен қолданысқа ие, оларды инерциялық, өзі теңгерімді, резонансты және т.б. деп бөледі.



1.12-сурет. Стационарлы елек

Жіктеу – материалды ірілігі бойынша, сұйық (сулы) немесе газтәрізді (ауалы) ортада өлшемдері әртүрлі түйіршіктердің құлау жылдамдықтарының айырмашылығы есебінен бөлу процесі. Жіктеуді, негізінен, ұсақтүйіршікті материалды аса тар кластарға бөлу үшін қолданады, себебі мұндай жағдайда електердің қолданылуы қиын болады. Бөлу күш өрісінің әсерінен жүреді, ол гравитациялық (ауырлық күш) және ортадан тепкіш инерциялық күш өрісі болуы мүмкін. Сондықтан жіктеуді гравитациялық және ортадан тепкіш деп бөледі. Жіктеу үшін гидравликалық жіктегіш (сұйық ортада) және әуе сепараторлары атауына ие болған, машиналар мен аппараттар пайдаланылады. Әуе сепараторларының қолданысы шектелген. Гидравликалық жіктегіштердің жұмыс істеу принципі оған пульпаны үздіксіз

беру болып келеді, кен материалының ірі кесектері шөгеді, ал аса ұсақтары аспалы күйде болады. Өлшенді судың артық мөлшерімен *ағызба* түзейді және жіктегіштен өздігінен ағып кетеді. Шөккен ірі бөлшектер *құм* деп аталады және арнайы құрылғылар көмегімен механикалық түрде түсіріледі немесе өздігінен ағып кетеді. Байыту тәжірибесінде барлық жерде шиыршықты жіктегіштер қолданылады. Шиыршықты жіктегіштер (1.13-сурет) құю табалдырығы бар көлбеу астаудан тұрады, мұнда құмды түсіруге арналған шиыршықтар қондырылған бір немесе екі айналмалы білік орнатылған.



1.13-сурет. Шиыршықты жіктегіш
1 – *пульпа*; 2 – *ағызба*; 3 – *құмдар*

Жіктеу, негізінен, ұнтақтаумен қатар жүретін көмекші операция ретінде және сирек өздігінен жүретін операция ретінде қолданылады.

Ұсақтау мен ұнтақтауды *ашық* немесе *тұйық* циклде, яғни сәйкесінше елеумен және жіктеумен қатар жүзеге асыруға болады. Ұсақтау (ұнтақтау) ашық циклде материалдың қайтымсыз өтуін қамтамасыз етеді, мысалы: *кен* → *елеу* → *тор үсті өнім* → *ұсақтау* → *дайын өнім* + *елеудің тор асты өнімі*. Ұсақтау (ұнтақтау) тұйық циклде, бақылау елеу (жіктеу) мен қайтадан ұнтақтауға циркуляциялық жүктеме түрінде, тор үсті өнімнің (құмның) тұрақты қайтарылуынан тұрады.

1.3.3. Кен байыту

Кен байыту деп барлық пайдалы минералдарды (концентратты) бос жыныстан бөліп алу үшін, минерал шикізатын біріншілей (механикалық) өңдеу процестерінің

жиынтығын айтады. Байытуға пайдалы минералдардың өзара бөліну процестерін де жатқызады. Кен байыту мақсаты ондағы пайдалы элемент концентрациясын арттыру болып табылады.

Байыту өнімдері:

- концентрат – бағалы минералдың негізгі бөлігі шоғырланған материал;

- қалдықтар – бос жыныстан және пайдалы минералдың сөзсіз жоғалымдарынан тұратын материал;

- өндірістік өнім – бастапқы кен мен концентрат арасында пайдалы элемент мөлшері бойынша аралық орынды алатын, материал (ары қарай байытуға ұшырайды) болып табылады.

Байыту көрсеткіштері:

- байыту өнімдерінде пайдалы элемент мөлшері. Байытудың тиімділігі жөнінде элементтің өнімдегі мөлшері бойынша айтуға болады – концентратта оның мөлшері жоғары және қалдықтарда төмен болған сайын, процесс тиімдірек болады. Кенде пайдалы элемент мөлшері – α , ал концентратта – β , қалдықтарда – ν ;

- концентрат шығуы (γ) – бастапқы кеннің бірлік массасынан алынатын концентрат үлесі: $\gamma = (\alpha - \nu)/(\beta - \nu)$;

- қысқарту дәрежесі – концентрат шығуына кері шама, ол концентраттың бірлік массасын алу үшін, өңдеуге енгізілетін кеннің қажетті көлемін көрсетеді – $1/\gamma$;

- байыту дәрежесі – концентрат пен кенде пайдалы элемент мөлшерінің қатынасы: $\kappa = \beta/\alpha$;

- бөліну дәрежесі – концентратта пайдалы элемент массасының кенде осы элементтің массасына қатынасы және элементтің концентратқа өткен бөлігін көрсетеді: $\varepsilon = \gamma(\beta/\alpha) = \gamma \cdot \kappa$.

Байыту фабрикаларында кен ұшырайтын барлық өңдеу операцияларының реті, *технологиялық байыту сұлбасымен* сипатталады. Байытудың әрбір сұлбасы екі негізгі сатыны қамтиды: минералдардың ашылуы (ажырауы) мен бөлінуі. Минералдардың ашылуына қажетті ұнтақтау дәрежесімен (ірілігін оңтайландырумен) қол жеткізеді. Минералдарды бөлу үшін физикалық қасиеттерінің айырмашылығын пайдаланады: тығыздығы, қаттылығы, түсі, жылтырлығы, магниттік қабылдағыштығы, электр өткізгіштігі, дымқылданғыштығы және т.б.

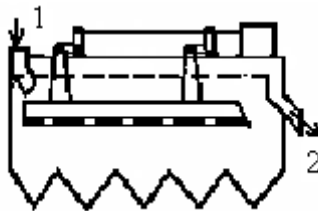
Байыту тәсілдері мен әдістері сан түрлі, алайда олардың барлығын 6 негізгі топқа бөлуге болады: *гравитациялық, магниттік, электрлік, флотациялық, арнайы және комбинирленген*. Металлургияда аса кеңінен таралғаны: гравитациялық, магниттік, электростатикалық, флотация, сонымен қатар комбинирленген болып табылады (яғни байытудың негізгі тәсілдерінің үйлесіміне негізделгендер).

Гравитациялық байыту тәсілі

Гравитациялық байыту процестері пайдалы минерал мен бос жыныстың тығыздықтарының айырмашылығына негізделген. Принципі бойынша статикалық және динамикалық әдістерге бөлінеді. Әдістері: ауыр суспензияларда, концентрациялық үстелдерде, бұрандалы сепараторларда, шлюздер мен науаларда шаю, тұндыру, байыту.

Шаюды бос жыныста сазбалшық пен құм мөлшері жоғары болатын кендерді байыту үшін қолданады. Шаю сапасына алдын ала ылғалдау, су шығыны, оның температурасы мен тұзды құрамы әсер етеді. Шаю үшін пайдаланылатын машиналар мен механизмдер, өңделетін материалға судың қарқынды әсер етуі үшін қажетті аспаптар мен құрылғылардың болуымен сипатталады: бутаралар (кен жуғыш); соққылау шаю машиналары; гидровашгерд (торлы (саңылаулары 10–20 мм) көлбеу (20–40° дейін) науа, оған материал берілуі мен соңғысының дезинтеграциясы гидромонитормен жүргізіледі); *астаулы жуғыштар* (айналмалы қалақты біліктері мен тұтас иірмегі бар); су форсункалардан берілетін, дірілді електер; дірілді жуғыш (эксцентрикті және инерциялық діріл қоздырғыштары бар құбырлар болып келеді).

Тұндыру – тік бағытта елек астында лүпілді су ағынының, сонымен қатар елек тербелістерінің әсерінен, минералды түйіршіктер қоспасын тығыздығы бойынша бөлу процесі. Материал, кезектесіп жұмсарып және тығыздала отырып, қабаттанады: төменгі қабатта ауыр түйіршіктер, оның үстіне ұсақ, ауыр өсінділері бар, ірі және жеңіл түйіршіктер қабаты, жоғарғы қабатта – жеңіл ұсақ түйіршіктер шоғырланады. Алынған қабаттар жеке жеке түсіріледі. Тұндыру машиналары (1.14-сурет) лүпілді құру тәсілдерімен ерекшеленеді: елек, поршень, диафрагма қозғалысымен, сығылған ауаны пульсациялық берумен.



1.14-сурет. Тұндыру машинасы
1 – қоректендіргіш; 2 – ағызба

Ауыр суспензияларда байыту – суспензияда минералдарды тығыздығы бойынша бөлу (гравитациялық немесе ортадан тепкіш өрісте), суспензия тығыздығы – бөлінетін түйіршіктер тығыздықтарының арасындағы аралық. Мысалы, егер бос жыныс тығыздығы кен минералының тығыздығынан төмен болса, онда өндіріс процесінде суспензияның оңтайлы тығыздығын ($\rho_n < \Delta < \rho_p$) таңдайды, және мұндай жағдайда, бос жыныс сұйықтық бетіне қалқып шығады, ал пайдалы минерал түйіршіктері түбіне түседі. Суспензия ауыр минералдар немесе магниттік қорытпалардың (ауырлататындардың – ферросилиций, пирит, пирротин, глет, магнетит және гематит концентраттары) суда өлшенген жұқа бөлшектерінен тұрады. Қолданылатын машиналар: ауыр өнімді элеватормен түсіретін барабанды сепаратор (СБЭ), ішкі аэролифті бар конусты сепаратор, дөңгелекті сепаратор, гидроциклонды сепаратор.

Үстелдерде концентрациялау – жұқа су қабатында тығыздығы бойынша минерал бөлшектерін бөлу. Пульпа мен шаятын су көлбеу жалпақ декаға түседі, ол жетек көмегімен су қозғалысының бағытына перпендикуляр көлденең жазықтықта қайтымды ілгерілеме қозғалыс жасайды.

Винттік және спиральды сепаратор – спиральды сепаратор спиральды жіктегішке ұқсас, айырмашылығы, жіктеу барысында тығыздықтары бірдей, ал өлшемдері әртүрлі түйіршіктерді бөледі, сепарация барысында – керісінше. Винттік сепаратор қозғалыссыз винт тәрізді тік осьті науа болып келеді; пульпа жоғарғы бөлігіне беріледі және жұқа қабатпен төменге ағады, ауыр бөлшектер тік оське жақын жиналады және арнайы

концентрат қабылдағыш арқылы түсіріледі, жеңіл минералдар науаның сыртқы бүйірінде, шет жақ бойымен орналасады және төменде, қалдықтар қабылдағышына түсіріледі.

Науада байыту – тарылатын ағындарда байытуды, 15–20° бұрышпен көлбей түскен, төменге қарай тарылатын науа немесе конустан тұратын аппараттарда жүргізеді. Қатты мөлшері 50–60 % болатын пульпаны аппараттың жоғарғы кең бөлігіне тиейді, науаның тарылуына қарай ағын биіктігі 5–6 есе (2-ден 12 мм дейін) ұлғаяды. Ағынның төменгі қабатында, шығу кезінде тығыздығы жоғары бөлшектер жиналады, ал жоғарыда – тығыздығы аз. Қабаттанған өнімді жеке қабылдағыштарға бағыттайды.

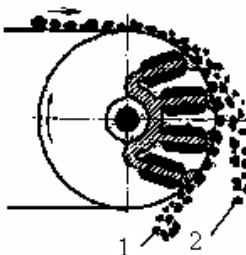
Шлюз – түбіне ауыр бөлшектерді ұстау үшін қажетті трафареттер орналасқан, көлбеу науа болып келеді. Стационарлы және қозғалмалы деп бөлінеді. Шлюз бойымен пульпа ағысында тығызды төмен бөлшектер аспалы күйде өтеді және ағынмен бірге түсіріледі; тығыздығы жоғары бөлшектер трафареттермен ұсталады. Трафареттер ұяшықтары толғаннан кейін, пульпаның берілуін тоқтатады және концентратты жеке қабылдағышқа жіберу үшін шаю жүргізеді. Таспалы шлюз – концентраттың үздіксіз түсірілуімен, су ағынына қарама-қарсы қозғалатын конвейер.

Магниттік байыту

Магниттік байыту кен минералдары мен бос жыныстың әртүрлі магниттік қабылдағыштығына негізделген. Магниттік өріске түсе отырып, магниттік қасиеті бар заттар, күш желісі бойымен магниттік полюске тартылады, және осылайша, магниттік қасиеті әлсіз болатын заттардан оқшауланады.

Магниттік байытудың келесідей әдістері бар: әлсіз магнит өрісінде сепарация, күшті магнит өрісінде сепарация, жоғары градиенттік сепарация, магниттік флокуляция. Әртүрлі электрмагниттік сепараторлар (1.15-сурет) бірдей қағида бойынша жұмыс істейді. Кенді магнит өрісіне енгізеді, магниттік қасиеттері бар түйіршіктер бір жаққа, ал магнитсіздер не ауырлық күшімен не су ағынымен екінші жаққа бағытталады. Магниттік сепарацияны жүргізгеннен кейін, магнитті концентратты, келесі операцияларды – жіктеу мен сүзуді ойдағыдай жүргізу үшін, дефлокуляция мақсатымен арнайы аппараттарда (жиі) магнитсізденуге ұшырату қажет.

Магнитсіздендіру айнымалы магнит өрісінде пульпаның бірнеше рет қайта магниттелуі кезінде жүреді.



1.15-сурет. Магниттік сепаратор

1 – магнитті концентратор; 2 – бос жыныс

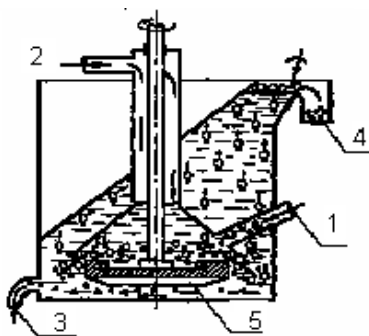
Электрлі байыту

Электрлі байытуды (сепарацияны) жүзеге асыру үшін кернеулігі жоғары өріс пен сусыма материал қоспасының зарядталған (электрленбеген) бөлшектері қажет. Бөлшектердің бөлінуі олардың әртүрлі электрофизикалық қасиеттерімен шартталған, оған байланысты электр өрісі әсерінен бөлшектердің қозғалыс траекториясы өзгереді. Электростатикалық өрісте, тәжді разряд өрісінде, комбинирленген тәжді-электростатикалық өрісте жүретін сепарация түрлері бар, оған қоса сепарацияның трибоадгезиялық әдісі жасалды. Барлық минералдар электрөткізгіштігі бойынша өткізгіштерге, жартылай өткізгіштерге және диэлектрикке бөлінеді. Сепарацияға түсетін материал бөлшектері электродпен жанасқан кезде аттас заряд алады. Электрөткізгіштік айырмашылығы жоғары болған сайын, алынған заряд айырмашылығы соншалықты жоғары болады. Ауқымды заряд алған аса электрөткізгіш бөлшектер, зарядталған электродтан тебіледі, ал диэлектриктер қозғалыс траекториясын өзгертпейді. Зарядталудың аса жетілдірілген тәсілі тәжді разряд өрісінде ауа молекулаларын ионизациялау болып табылады. Иондар ағынына енгізілген минералдар бөлшектері, жақын орналасқан электродпен әр аттас заряд алады. Оған қоса, ауа иондары қарама-қарсы зарядталған бөлшектер ұшына адсорбцияланады, бұл тәжденген электрод зарядымен олардың

аттас зарядталуына әкеледі. Электрөткізгіш бөлшектері мен диэлектриктер зарядтары өзгешеленетіндіктен, олардың қозғалыс траекториялары әртүрлі болады. Трибоадгезиялық сепарация адгезия (жабысу) күшіне негізделген, ол молекулалық тартылыспен шартталады. Қайсыбір бет бойымен материал бөлшектері қозғалған кезде, бөлшектерде трибоэлектрлі заряд түзіледі, ол адгезия күшінің әсерін күшейтетін немесе әлсіз ететін, электр күшінің туындау көзі болып келеді.

Флотация

Флотация (1.16-сурет) – минералды бөлшектердің гидрофобтылығы мен гидрофильділігін тәжірибеде пайдалануға, яғни минералдардың әртүрлі дымқылданғыштығына негізделген, байыту процесі. Гидрофобтылық, минералдардың (мысалы, сульфидтердің) сумен дымқылдану емес, сумен бөлім бетінде ауа көпіршіктеріне жабысу қабілеттілігімен көрсетіледі. Өзге минералдарға тән, гидрофильділік, олардың сумен дымқылдануына әкеледі. Флотация, әмбебап болғандықтан, ол кеңінен қолданылатын байыту тәсілі. Флотациямен айтарлықтай кез келген минералдарды бөлуге болады. Флотация тәсілі бойынша, көбікті, қабыршақты және майлы болып бөлінеді. Пульпа арқылы өтетін ауа көпіршіктеріне жабысатын гидрофобты бөлшектер, минералды көбік қабатын түзе отырып, бетіне шығарылатын, және үздіксіз алынып отыратын флотация түрі кеңінен таралымға ие болды. Пульпа ішінде қалған гидрофильді бөлшектер бөлек түсіріледі.



1.16-сурет. Флотациялық машина

1 – пульпа (қоректендіргіш); 2 – ауа; 3 – гидрофильді материал;
4 – гидрофобты материал; 5 – импеллер

Арнайы байыту тәсілдері

Мұндай байыту тәсілдері минералдардың спецификалық қасиеттерінің өзгешелігіне негізделген. Байыту тәсілдерінің бұл тобында келесілер белгілі бір көлемде дамыды: үйкеліспен және түйіршіктер пішіні бойынша байыту, минералдардың селективті ашылуы, радиометрлік сепарация. Қолмен сұрыптау, бактериалық байыту және т.б. сирек қолданылады.

Үйкеліспен және пішіні бойынша байыту – ауырлық күші әсерінен бөлінетін бөлшектердің жазықтық бойымен қозғалыс жылдамдығының айырмашылығын пайдалануға негізделген. Негізгі көрсеткіш үйкеліс коэффициенті болып табылады. Бөлшектердің физикалық қасиеттеріне тәуелді болатын үйкеліс коэффициенттері бөлшектер пішінімен де шартталған. Мысалы, пластина пішіндес слюда кристалдары көлбеу бет бойымен сырғиды, ал жыныстың дөңгелек пішіндес ілеспелі кесектері ось бойынша домалайды. Слюда сырғуының үйкеліс коэффициенті мен жыныс кесектерінің домалау үйкелісі ерекшеленетіндіктен, олар әртүрлі траекториямен қозғалады және бөлек қабылдағыштарға түседі. Немесе асбест талшықтары мен жыныс қоспасы – жайма болат бойымен үйкеліс коэффициенттері әртүрлі болатындықтан (0,7–0,8 және 0,3–0,5), асбест талшықтары сырғиды, ал жыныс кесектері бөлек траектория бойынша жылдам домалайды. Қолданылатын машиналар: жазықтық сепараторлар, құрғақ байытудың винттік сепараторлары, таспалы сепаратор.

Минералдардың селективті ашылуы – таңдамалы ұсақтау, ұнтақтау, уату, декрипитация, криогендік ұнтақтау, яғни, минералдардың қаттылығы мен беріктілігінің айырмашылығына негізделген процестер.

Радиометрлік сепарация кезінде минералдардың бөлінуі, олардың табиғи немесе бағытталған радиоактивтілігіне тәуелді жүреді.

1.3.4. Сусыздандыру

Көптеген байыту тәсілдері процесті сулы ортада өткізумен байланысты. Соңғы концентраттарда ылғал мөлшері ары қарай өңдеу технологиясымен шектеледі. Сондықтан байыту өнімдерін белгілі бір дәрежеде сусыздандыру, яғни артық су мөлшерін жою қажет. Сусыздандыру табиғи ресурстарды тиімді пайдалану – суды қайтарымды циклге қайтару тұрғысынан да қажет. Байыту өнімдерін, құрамындағы су мөлшеріне тәуелді, шартты түрде суландырылған (сұйық), дымқыл (ылғалдылығы – 15–40 %), ылғал (5–15 %), ауа-құрғақ (ылғалдылығы 5 % дейін) және құрғақ деп бөлуге болады. Судың негізгі массасын гравитациялық ылғал құрайды, ол қатты бөлшектер арасына ауырлық күшінің әсерінен еркін орын қозғалады. Оған қоса, ылғал, бөлшек бетінде немесе оның көлемінде туындайтын әртүрлі әрекеттесу күштерімен (қабықшалы, капиллярлы, гигроскопиялық, гидратты) ұсталуы мүмкін және оны жою үшін ауқымды энергия шығыны қажет.

Сусыздандыру өнімдерін сипаттайтын көрсеткіштер:

– ылғалдылығы – материал құрамындағы су массасының шикі материал массасына қатынасы – $W = 100m_{\text{су}}/m_{\text{шикі}}$ немесе $W = 100(m_{\text{шикі}} - m_{\text{құрғақ}})/m_{\text{шикі}}$;

– пульпа тығыздығы – пульпа массасының алатын көлеміне қатынасы – $\rho = m_p/v_p$;

– пульпада қатты зат мөлшері – құрғақ өнім массасының ылғал өнім массасына қатынасы.

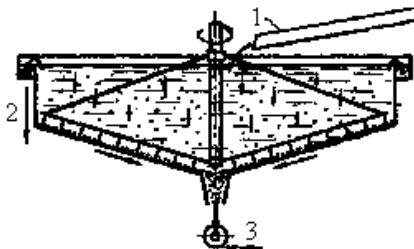
Сусыздандыруды бір немесе бірнеше келесі операциялармен жүзеге асырады: дренаждау, қоюландыру, сүзу, центрифугалау, кептіру.

Дренаждау

Дренаждау – материал түйіршіктері арасындағы аралықтар арқылы судың сорғалау процесі. Сусыздандыру қатты заттың қозғалыссыз қабатында (статикада) және материал қозғалған кезде жүруі мүмкін. Статикада – штабельдерде, бункерлерде, конвейерлерде жүргізеді. Динамикада – елеуіштерде, транспортерде, элеваторда.

Қоюландыру

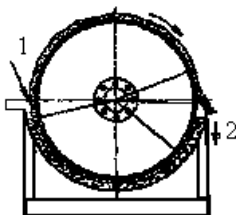
Қоюландыру – ауырлық күші әсерінен сұйық ортада қатты бөлшектердің шөгу процесі. Қоюландыру кезінде екі өнім алады: қоюланған, бастапқы затқа қарағанда, құрамында қатты фаза ауқымды мөлшерде болады, және ағызба – тұнған су. Пульпаны қоюландыру үшін жиі радиалды қоюландырғыштарды – тұндырғыштарды қолданады (1.17-сурет), олар конусты түбі бар цилиндрлік сыйымдылық (биіктігі ~ 2 м, диаметрі 30 м дейін) болып келеді. Пульпа қоюландырғышқа орталық воронка арқылы түседі, одан кейін ағын айналмалы төгу науасына, ал тұнатын материал – конустық түбінің орталық босату саңылауына қырғыштар көмегімен радиалды қозғалады.



1.17-сурет. Радиалды қоюландырғыш
1 – пульпа; 2 – тазартылған су; 3 – шлам сүзуге;

Сүзу

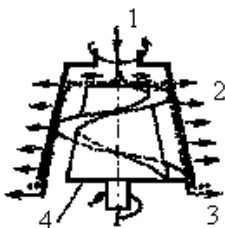
Сүзу – кеуекті бөгеттер көмегімен сусыздандыру процесі, мұнда қатты бөлшектер бөгет бетінде ұсталады, ал сұйықтық бөгет арқылы өтеді. Процесті бөгеттің екі жағы бойынша қысымдар айырмашылығының әсерінен жүзеге асырады. Қысым айырмашылығы қысымның ыдырауынан (вакуум-сүзгілерде) немесе оның артық мөлшерімен (пресс-сүзгілерде) туындайды. Сүзу нәтижесінде пульпаның ылғал тұнбаға (кек) және сұйықтыққа (фильтрат) бөлінуі жүреді. Сүзу бөгеттері ретінде мақта, сонымен қатар капрон, лавсан және т.б. әртүрлі синтетикалық талшық маталарын қолданады. Тәжірибеде сүзу үшін негізінен үздіксіз әрекеттегі вакуум-сүзгілерді қолданады: барабанды (сыртқы (18-сурет) және ішкі), дискілі және таспалы.



1.18-сурет. Барабанды ваккум-сүзгі
1 – қоректендіргіш; 2 – тұнба;

Центрифугалау

Центрифугалау – сұйық немесе дымқыл өнімдерді ортадан тепкіш күшінің әсерінен сұйық және қатты фазаға бөлу процесі. Центрифугалауды, ауырлық күші әсерінен жеткіліксіз қарқындылықпен өтіп жатқан, сусыздандыру процесін үдету үшін қолданады. Берілген тәсіл бойынша сусыздандыру процесін арнайы машиналарда – центрифугаларда жүзеге асырады. Центрифугалардың негізгі жұмысшы мүшесі – ротор, оның ішкі көлеміне суспензия немесе ылғал материал түседі және ол айналған кезде, бөліну жүреді. *Ортадан тепкіш сүзу және тұндырып центрифугалау* деп бөлінеді. Ортадан тепкіш сүзу кезінде фугат (сұйық фаза) ротордың тесікті қабырғасы арқылы жойылады. Тұндырып центрифугалау (1.19-сурет) кезінде ротор тұтас болып келеді, фугат бүйір ағызу терезелері арқылы жойылады, ал тұнба ротордың ішкі қабырғасына жабысады және шнекпен түсіру келтеқұбырларына тасымалданады. Центрифугалау процесінің ортақ заңдылықтары гравитациялық күш әсерінен сүзу және тұндыру заңдылықтарына ұқсас.

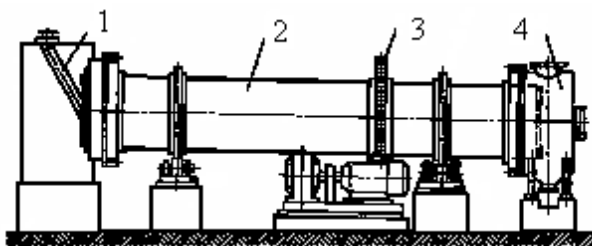


1.19-сурет. Центрифуга
1 – қоректендіргіш; 2 – фугат; 3 – тұнба; 4 – ротор

Кептіру

Ылғалдың булануына негізделген жылумен кептіру, шикізат ылғалдылығын, оны ары қарай өңдеу технологиясымен талап етілетін кондицияға дейін келтіру операциясы болып табылады. Мысалы, көптабанды пеште күйдіру немесе шарпыма пеште балқыту алдында кен концентраттарының ылғалдылығы 6–8 %, электрлі балқыту алдында 2–4 %, тасымалдау алдында 3–4 % құру қажет.

Байыту өнімдерін кептіру үшін барабан газымен кептіргіштер, құбыр газымен кептіргіштер, қайнау қабаты кептіргіштерін, бұмен кептіруді және т.б. қолданады. Газбен кептіргіштер тікелей жылуалмасумен, яғни кептірілетін материалдың ыстық газбен тікелей жанасуы кезінде (газ бен материалдар қозғалысының тура ағымды немесе қарама-қарсы ағымды сұлбасы бойынша) кептіру және жанама жылуалмасумен газдан кептіруге бөлінеді, мұнда жылу материалға қабырға арқылы беріледі. Концентраттар мен минералды шикізаттарды кептіру үшін, әдетте тікелей жылу алмасуымен, тура ағымды барабанды кептіргіштерді (1.20-сурет), ал жанама жылуалмасу кептіргіштері – кептірілетін материалдың ластануын немесе түсінің өзгеруін алдын алу үшін қолданады. Жылутасымалдағыш және кептіру реагенті ретінде отын жану өнімінен шығатын түтінді пайдаланады. Газдың кептіргішке кіру кезіндегі орташа температурасы 700–850 °С, шығу кезінде 120–150 °С құрайды.



1.20-сурет. Барабанды кептіргіш
1 – жүктеу; 2 – корпус; 3 – жетек; 4 – түсіру

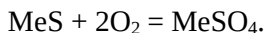
1.3.5. Кенді күйдіру

Кен материалдарын күйдіру, кейбір жағдайларда, металлургиялық өңделімнің кейінгі операцияларының алдында даярлау операциясы ретінде қолданылады және кен түйіршіктерін қалыпты температурада (700–1000 °C) газбен химиялық өңдеуден тұрады. Жалпы алғанда, күйдіру мақсаты не зиян қоспаларды жою, не концентрациясын арттыру, не кен минералы мен бос жыныстың қасиеттеріне айырмашылық беру (ұлғайту) болып табылады. Күйдіруді, көп жағдайда, шахталы және айналмалы құбырлы пештерде, сирек қайнау қабаты пеші мен аспалы күйде күйдіру пештерінде жүзеге асырады. Күйдіру түрлері: процесс негізі бойынша – *тотықтыру, редукциялау, хлорлап, сульфаттандырып* және т.с.с.; мақсаты бойынша – *магниттік, көміртексіздендіру, дегидратациялық*.

Тотықтырып күйдіру сульфидті және арсенидті кендер мен концентраттарды өңдеуде қолданылады. Күйдіру мақсаты күкірт пен мышьяқтың зиянды қоспаларын жою, сонымен қатар еритін (гидрометаллургия үшін) тотықтар мен сульфаттар алу болып табылады.



Сульфаттандырып күйдіру күкірт пен бөлінетін минералдарды суда еритін күкіртқышқылды қосылыстар түріне өткізу үшін қолданылады және тотықтырып күйдірудің бір түрі болып табылады.

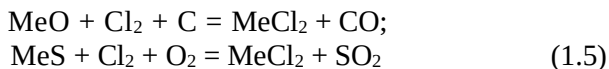


Редукциялап күйдіру бөлінуге қиын берілетін тотықты қосылыстар жағдайында, мысалы, аммиакпен шаймалау алдында никель кендері, тотыққан марганец пен темір кендері үшін және т.б. қолданылады.



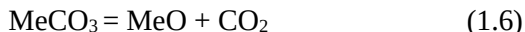
Кейбір жағдайларда мұндай күйдіру кезінде металдың толық редукциясына қол жеткізеді. Мұндай процестер, мысалы, вельцтеу және крица алу болып табылады. Крица (қож темір) алу процесінің мәні кенді көмір қоспасымен (мәселен, тотыққан темір-никель кенін өңдеу) күйдіру нәтижесінде шлактанған металл (крица) алу болып келеді. Вельцтеу – кейбір металл тотықтарын қатты фазада көміртермиялық редукциялау процесі, олар процесс температурасында айдалады – газ фазасына (Hg, Cd, Zn) өтеді.

Хлорлап күйдіру ерімейтін сульфидтер мен қиын редукцияланатын тотықтарды еритін хлоридтерге өткізу үшін қолданылады.



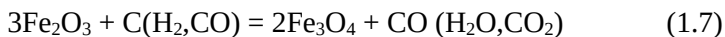
Хлорлап күйдіруді Mg, Ti, Zr, Hf, Sn алу технологияларында пайдаланады. Металл хлоридтерінің ерекшелігі олардың кең қайнау аралығы (60 (Si) бастап 2000 °C (Ca) дейін) болып табылады, бұл ректификация әдісімен селективті бөлуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Кейбір металдардың (уран, бериллий) өндіріс технологиясында ұқсас фтормен күйдіруді пайдаланады.

Көміртексіздендіру үшін күйдіру кен минералынан көмірқышқылдарды жою үшін қолданылады:



Күйдіру нәтижесінде пайдалы металл концентрациясы, кейінгі өңделімдердің тиімділігі жоғарылайды. Гидраттық (химиялық байланысқан) ылғалды жою мақсатымен ұқсас күйдіру жүргізіледі, алайда аса төмен температурада (~ 300 °C)

Магниттік күйдіру мақсаты – темірдің магниттік емес қосылыстарын кейінгі сепарация үшін магниттік қосылысқа өткізу. Қызыл, қоңыр теміртастар, гематит, лимонит, гидрогетитті (яғни құрамында 3 валенттік темір болатын) редукциялап магниттік күйдіруге ұшыратады:



Тотықтырып магниттік күйдіру карбонатты темірді магнетитке өткізу үшін қолданылады:



1.4. Кен мен концентраттарды гидрометаллургиялық өңдеу

Гидрометаллургиялық әдістер, ерітіндіден бөлінетін компонентті бөліп ала отырып, химиялық реагенттердің сулы ерітіндісінде минералдардың таңдамалы еруіне негізделген. Оны, механикалық байытуға нашар берілетін шикізаттан металды бөліп алу және зиянды қоспаларды жою үшін қолданады. Гидрометаллургиялық өңдеудің байытумен ұқсастығы материалдан компоненттердің аз бөлігін бөліп алу және шикізатты алдын-ала дайындау (ұсақтау, ұнтақтау және т.с.с.) қажеттілігі болып келеді. Сонымен қатар, бірқатар гидрометаллургиялық сұлбаларда соңғы өнім, редуционермен тұндыру кезінде ерітіндіден аморфты күйде бөлінетін, редуцияланған металл болып табылады (мысалы, Cu, Ni, Pb ерітінді арқылы сүтегі өткізген кезде).

Гидрометаллургиялық процестердің жалпы сұлбасы келесі операцияларды қамтиды: ***ірілігін оңтайландыру → химиялық құрамының модификациясы → сілтілеу → таза ерітінді алу → пайдалы компонентті (ерітіндіден) бөліп алу (тұндыру) → алынған концентратты өңдеу.***

Ірілігін оңтайландыру, яғни ұнтақтау, ұсақтауды елеумен бірге жүргізудің мақсаты еріткішпен жанасуын қамтамасыз ету үшін минерал түйіршіктерін ашу болып келеді. Ұнтақтауды минералдардың бір бөлігінің ашылуына дейін жүргізу жеткілікті, себебі өсінділер еруіне кедергі келтірмейді, алайда активті бетінің ұлғаюынан еру үдеуін ескеру қажет. Оңтайлы ірілігі тәжірибе жүзінде орнатылады.

Химиялық құрамының модификациясы – бөлінетін компоненттерді еритін түрге өткізу үшін кеннің химиялық құрамын өзгерту. Тікелей сілтілеуге саф металдар, қарапайым

тотықтар, кейбір тұздар мен т.б. жақсы беріледі. Бірқатар қосылыстар, жеңіл еритін қосылыстардың алынуы үшін сілтілеуге дайындауды қажет етеді. Осы мақсатта күйдіру мен пісірудің әртүрлі тәсілдерін қолданады.

Сілтілеу – гидрометаллургиялық процестің негізгі операциясы, ол бөлінетін компоненттерді ерітіндіге өткізуден тұрады. Сілтілеуді процесс механизмі бойынша (химиялық, микробиологиялық), жүзеге асыру тәсілі бойынша (үймелі, автоклавта), орта түрі бойынша (сулы, сілтілі, қышқыл) жіктейді. Негізінен, сулыдан басқа сілтілеу механизмі, еріткішпен химиялық әрекеттесу нәтижесінде, бөлінетін металдың суда еритін қосылыстарын алу мүмкіндігіне негізделген. Сілтілеу еріткішін нақты материалға қатысты оның әрекеттік селективтілігімен таңдайды; бұл кезде маңызды факторлары аппаратураға коррозиялық әсері, құны мен оны регенерациялау мүмкіндігі болып табылады. Еріткіштер ретінде су, тұздың сулы ерітінділері, қышқылдар мен сілтілер пайдаланылады. Мәселен, су сульфаттандырып және хлорлап күйдіру күйінділерін сілтілеу үшін; тұздардың сулы ерітінділері – темір сульфаты – сульфидті минералдар үшін, сода – уран кені үшін, натрий цианиді – алтын мен күміс үшін қолданылады. Қышқылдық еріткіш ретінде, мысалы, тотыққан кендер мен кедей марганец кендері үшін жеткілікті тиімді және салыстырмалы арзан реагент ретінде күкірт қышқылы жиі пайдаланылады. Сілтімен шаймалаудың келесі артықшылықтары бар: аппаратураның аз ғана коррозиялануы, процестің жоғары селективтілігі, карбонаттар мөлшері жоғары болғанда пайдалану мүмкіндігі. Сілтімен шаймалауды алюминий мен вольфрамды (натрий гидрототығымен); мыс пен никельді (аммиакпен) бөліп алу үшін қолданады.

Таза ерітінді алу – бұл ерітіндіден аспалы бөлшектер мен қоспаларды бөлу және оны тазалау. Таза ерітінді алу үшін бос жыныстың аспалы бөлшектерін қоюландырғыштар мен сүзгіштерде, сусыздандыру процестеріне ұқсас бөледі

Тазартылған ерітіндіден металдар немесе оның қосылыстарын *бөліп алу – кристалдандыру, тұндыру, сорбция, экстракция, электролиз, гидролиз* процестерін

қолданады. *Кристалдандыру* – буландыру, суыту кезінде еріген қосылыстарды кристалдар түрінде бөліп алу. *Тұндыру* – металды ерімейтін түрге тұнбаның бөлінуімен өткізу. Тұндырудың дара жағдайы *цементация* болып табылады – ерітіндіден бір металды екіншісімен ығыстырып шығару, мысалы, мысты темір жоңқасымен. *Сорбция* – ерітіндіден металды сорбентпен (қатты денемен немесе сұйықтықпен) жұту. *Экстракция* мәні ерітіндіні, сумен араласпайтын органикалық еріткішпен араластыру, металдың органикалық фазамен қанығуы және ары қарай одан металды бөліп алу (реэкстракция) болып келеді. *Электролиз* – ерітінді арқылы электр тогын өткізу және металды электродта тұндыру. *Гидролиз* – берілген жағдайда, ерімейтін гидрототықтар түзе отырып, су молекулаларының металл қосылысына әсер етуі.

Алынған концентратты өңдеу мәні, көп жағдайда, тұнбаны сусыздандыру, сонымен қатар оны ары қарай қажетсіз қоспалардан тазарту болып келеді.

1.5. Концентраттарды кесектеу

Кен байытудан кейін алынатын ұсақ концентраттарды ары қарай пирометаллургиялық өңдеуде пайдалану қиындатылады. Ұсақ бөлшектердің ірі кесектерге (20–40 мм дейін) түрленуі кесектеу процесінің негізгі мақсаты болып келеді. Кесектеу процестері XIX ғасырдың соңында, негізінен кенді брикеттеу технологиясы бойынша дами бастады. Кейіннен кенді брикеттеу процесі аса өнімді және тиімді ретінде агломерация процесіне өз орнын берді. XX ғасыр ортасынан бастап, әсіресе майда ұнтақталған темір кені концентраттарын кесектеу үшін күйдірілген жентектер өндірісі кеңінен дами бастады. Қазіргі уақытта кесектеуді келесі тәсілдермен жүзеге асырады: *брикеттеу, агломерация, күйдірілген жентектер өндірісі, күйдірілмеген жентектер алу және HPS процесі.*

Брикеттеу

Брикеттеу процесі кеннің химиялық құрамы мен құрылымының өзгеруінсіз жүзеге асырылады. Брикеттеу мәні, дымқылданған және біріктіру қоспаларының аз мөлшерімен (5–10 %) немесе онсыз жақсылап араластырылған, ұсақ сеппелі

материалды брикет-пресстерге (1.21-сурет) беру болып келеді, мұнда 50–100 МПа қысыммен өлшемдері 20–300 мм болатын, пішіндері әртүрлі брикеттер түзіледі. Брикеттердің қажетті беріктігіне оларды кептіру немесе 150–500 °С температурада жылумен өңдеу нәтижесінде қол жеткізеді. Біріктіруші ретінде ССБ (сульфит спиртті барда), сұйық шыны, әктас, цемент және т.б. қолданады. Брикеттеуді, түсті металлургияда, аз тонналы өндірісте кесектеу үшін, сонымен қатар екіншілей ресурстар үшін қолданады. Техника-экономикалық көрсеткіштері бойынша агломерация мен жентектер өндірісінен кейін орналасады.



1.21-сурет. Білікті брикет пресстің сұлбасы

Айналмалы барабанда материал қозғалысының механизмі жөнінде

Тек металлургияда ғана емес, оған қоса көптеген өнеркәсіп салаларында қайсыбір өңдеу үшін, барабан деп аталатын, өзінің бойлық осімен үздіксіз айналатын цилиндрлі агрегаттарды кеңінен қолданады. Айналмалы барабандардың қолданылу саласы әртүрлі. Бұл кептіргіштер, күйдіру пештері, араластырғыштар, кесектегіштер және т.б. агрегаттар.

Мұндай барабандарда сеппелі материал қозғалысының жалпы сұлбасы келесідей. Материал біршама биіктікке көтеріле отырып, ауырлық күшінің әсерінен төмен қарай себіледі. Көптеген жағдайда, барабандар горизонтқа қарай біршама бұрышпен орнатылатындықтан, төмен түсетін материал біруақытта оның осі бойымен аз ғана қашықтықпен түсіру

жағына қарай қозғалады. Материалдың әрбір элементар көлемі осыған ұқсас көптеген циклдерді орындайды және тиеу сәтінен белгілі бір уақыт өткен кезде, белгілі бір өңдеуден өте отырып, барабаннан шығады.

Айналу осі бойымен материал қозғалысы агрегаттың өнімділігін анықтайды, ал барабанның көлденең қимасымен қозғалысы өңдеу режиміне әсер етеді. Барабанның көлденең қимасымен материалдың қозғалыс сипаты төрт негізгі түрде көрсетіледі (1.22-сурет): **шөлмек** (1), **домалау** (2), **сарқырамалы** (3), **циклдік** (4). Шөлмек режимі аз айналу жылдамдығында және материал мен барабанның ішкі бетінің аз үйкеліс күшінде туындайды. Домалау режимі жеткілікті үйкеліс күшімен және аз айналу жылдамдығымен қамтамасыз етіледі. Бұл кезде материал бірнеше биіктікке көтеріле отырып, ішкі бетінен үзілмей төмен жатқан қабаттар бойымен домаланады және цикл қайталанады. Сарқырамалы режимнің туындауы үшін домалау режимімен салыстырғанда аса жоғары жылдамдық пен белгілі бір үйкеліс күшінің есебінен, материал барабанның екінші квадрантына өтуі қажет. Материалдың элементар көлемі, жоғарғы нүктеге қол жеткізіп, ішкі бетінен үзіледі, ауада параболалы траектория бойынша қозғалады және қалған материал қабатына енеді. Аса жоғары айналу жылдамдығында және барабан аз дәрежеде толтырылған жағдайда, материал ішкі бетінен үзілгеннен кейін, қозғалыстың шартты бастапқы нүктесіне қайтарылады, бұл циклдік режиммен сипатталады.



1.22-сурет. Айналмалы барабанның көлденең қимасымен сусымалы материалдың қозғалысы

Агломерация

1887 ж. ағылшындықтар Ф. Геберлейн және Т. Хантингтонмен жасалған агломерация процесі, бастапқыда түсті металлургияда,

құрамындағы күкірт пісіру процесінің отыны ретінде қолданылатын сульфидті кенді күйдіру және кесектеу үшін пайдаланылды.

Агломерация – бұл пісірілетін материал қабатында отынды жағу нәтижесінде кесектеу процесі. Агломерацияны кесектеуден кеңірек қарастырған жөн, себебі бұл кезде зиянды қоспалар жойылады, карбонаттар ыдырайды, шлактүзуші минералдар қалыптасады.

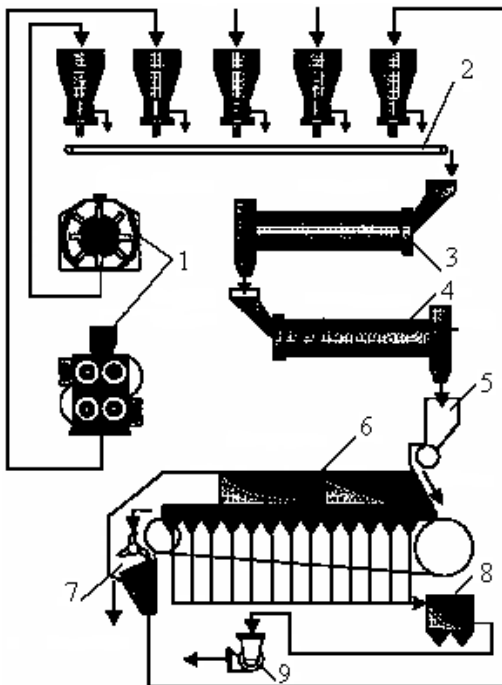
Процесс мәні, аглошихта құрамында кездесетін отын өздігінен жанғаннан кейін, қабатта материалдың біршама көлемінің балқуы үшін жеткілікті температурасының дамуы болып келеді. Жанып тұрған отынның бір бөлігінің маңында түзілген балқыма, онымен бірге байланысқан минералдарды ерітеді. Өзіндік блок қалыптасады (1.23-сурет). Кокстың ұсақ бөлшегінің өлшемі блок өлшемін айқындайды. Отын жанып бітуіне қарай зонада температура төмендейді және балқыманың кристалдануы жүреді. Үздіксіз түсетін ауамен суыту күшейеді. Дайын агломерат, бастапқы шихтамен анықталатын құрамы күрделі өзіндік минералдан тұратын, кен концентраты мен өзге шихта қоспалары бар кеуекті материал болып келеді. Агломерация процесінде химиялық түрленулер деңгейіндегі процестер өтеді, сондықтан бұл процесті пирометаллургиялыққа жатқызуға болады.



1.23-сурет. Агломератты қалыптастыру

Агломерат өндірісінің жалпы сұлбасы (24-сурет) келесі сатылар мен операцияларды қамтиды: шихта компоненттерін

дайындау (флюсті, отынды орташаландыру, ұнтақтау) → *компоненттері мөлшерлеу* → *араластыру* → *ылғалдандыру* → *кесектеу* → *шихтаны қыздыру (кемінде 53 °C температураға дейін)* → *шихта тиеу* → *жағу (1100–1200 °C)* → *пісіру* → *пісіріндіні ұсақтау* → *елеу* → *агломератты суыту*.



1.24-сурет. Агломерат өндіру сұлбасы

1 – компоненттерді дайындау; 2 – дозалау; 3 – араластырғыш;
4 – кесектегіш; 5 – жүктеу; 6 – аглолента; 7 – агломератты ұсақтау
және елеу; 8 – газды тазалау; 9 – эксгаустер

Шихта компоненттерін дайындау, олардың әрқайсысын аглоөндіріс қоймаларында орташаландырудан және ірілігін қажетті оңтайлы деңгейге дейін жеткізуден тұрады. Қатты отын үшін оңтайлы ірілігі 0,5–3 мм, флюс – 3 мм дейін, кен – 8 мм дейін құрайды. Шихта компоненттерін мөлшерлеу дайын

агломераттың берілген химиялық құрамын қамтамасыз етеді және жинақтаушы транспортерге әрбір компоненттің берілген шығынын беру арқылы жүзеге асырылады. Араластыруды арнайы агрегатта – әдетте барабанды типті араластырғышта жүзеге асырады, мұнда материал қозғалысының сарқырамалы режимі қамтамасыз етіледі. Жақсы араласуы үшін, яғни шихтаның біртектілігін арттыру үшін, соңғысының ылғалдылығы 4–5 % дейін болу керек. Шихтаны ылғалдандыру келесі операцияны – кесектеуді тиімді жүзеге асыру үшін жүргізіледі. Шихтада ылғал мөлшері оңтайлы болу қажет, себебі оның жетіспеушілігінде, материал бөлшектерінің тұтасуын қамтамасыз ететін капилляр күштің үлесі аз, ал оның артық шығынында шихта жартылай сұйық (қамыр тәрізді) массаға түрленеді, оның газөткізгіштігі төмен. Ылғалдандыруды араластыру және кесектеу (сирек шихтаны тасымалдау кезінде) процестерімен қатар жүргізеді және сол агрегаттарда жүзеге асырылады. Шихтаның қыздырылуы пісіру процесінің тиімділігін арттыру үшін, нақтырақ айтқанда шихтаның артық ылғалдану зонасын жою мақсатында жүргізіледі. Шық нүктесі немесе шығатын газдардан ылғал бөлінуі мүмкін болатын температура, агломерация кезінде ~ 53 °C сәйкес келеді. Шихтаның қыздырылуы шихтаға ыстық қайтымды-агломерацияның айналмалы өнімін енгізу немесе шихтаны сырттан-бумен, отын жағу өнімдерімен қыздыру арқылы жүзеге асырылады. Кесектеуді арнайы агрегаттарда – кесектегіштерде жүргізеді. Араластырғыштарға ұқсас барабанды типті кесектегіштер аса кеңінен таралған болып табылады. Кесектегіште материалдың домалану режимінде қозғалысы қамтамасыз етілуі тиіс, бұл кезде ұсақ бөлшектер аса ірілерге – туындыларға жиналады. Аглофабрикалардың кейбір сұлбаларында араластыру және кесектеу процестерін бір агрегатта қатар жүргізеді. Дайындалған шихтаны, колосник торында жүзеге асырылатын пісіруге жібереді. Агломашинаның ені бойынша шихтаны біркелкі орналастыру үшін, сонымен қатар қабаттың берілген биіктігін ұстап тұру үшін, бункері бар барабанды қоректендіргішті пайдаланады, ал колосниктердің бітелуін алдын алу және қабаттың газөткізгіштігін (демек,

өнімділігін) арттыру үшін, шихтаны табан – қайтарымнан бөлінген ірі класс қабатына орналастырады. Процесті бастау үшін, арнайы жағу құрылғысымен-горнмен-шихтаның жоғарғы қабатын ~ 1200 °С дейін қыздырады және отын тұтанады. Ары қарай жануды, ауаның қабатқа мәжбүрлі түсуі есебінен ұстап тұрады. Жану зонасы біртіндеп қабат биіктігі бойынша қозғалады. Пісіру процесінде шихтаның әрбір элементар қабаты келесі зоналар арқылы өтеді: *артық ылғалдану – кептіру – қыздыру – отын тұтануы – отын жануы және шихта балқуы – балқыманың кристалдануы мен агломераттың сууы*. Дайын агломератты ұсақтауға және одан елеу арқылы талап етілетін ірілік класын бөліп алуға ұшыратады. Ұсақтау үшін беттік, тісті білікті, роторлы ұсақтағыштарды; елеу үшін – стационарлы немесе дірілді електерді қолданады. Електің тор асты өнімі (қайтарым) аглошихтаға қайтарылады, ал жарамды агломерат болып келетін тор үсті өнім суытуға ұшырайды. Суыту не агломашинаның соңғы бөлігінде орналасқан арнайы бөлінген аймақта, не жеке агрегатта – суытқышта жүргізіледі. Қолданылатын суытқыштар конструкциялары әртүрлі: сызықты, сақиналы және т.б. суытқыштардың барлық түрінде суыту агенті ауа болып табылады.

Қазіргі уақытта агломерация процесі соратын желдеткіш – эксгаустер көмегімен колосник торының астында вакуумды құру кезінде ленталы агломерациялық машинада түгел жүзеге асырылады. Ленталы агломашина қозғалыстағы арбалардың – паллеталардың тұйық тізбегі болып келеді. Агломашинаның жұмыс тармағының астында, бөлінетін газдар коллекторымен біріктірілген вакуум-камералар орналасады. Коллектор газ тазалау жүйесі арқылы эксгаустер сорғышына жалғанған, мұнымен аглопроцестен бөлінетін газдардың жойылуы мен жүйеде сирету құрылуы қамтамасыз етіледі.

Күйдірілген жентектер алу

Майда ұнтақталған концентраттарды кесектеудің аса орынды тәсілі жентектер – диаметрі 15–20 мм сфералық түйіршіктер алу болып табылады, олардың басып-жаншуға беріктілігі жеткілікті жоғары 2–3 кН/жентек. Өндіріс технологиясы екі сатыдан тұрады: шикі жентектер жасау және

беріктендіріп күйдіру. Жентектен алу шихтасы бірнеше компоненттерден тұруы мүмкін: концентрат, біріктіру қоспасы, флюс, арнайы қоспалар (сульфидизаторлар, хлораторлар). Бұл кезде шихта құрамдастарын ұнтақтау сапасына жоғары талаптар қойылады.

Шикі жентектерді, оңтайлы дәрежеге дейін ылғалданған, ұсақдисперсті материалды жентектеу кезінде алады. Түйіршіктерді қалыптастыру процесі әртүрлі құбылыстар – дымқылдау, капиллярлы қанығу, осмос, ісіну, беттік ыдырау және т.б. жиынтығы болып келеді. Дисперсті (гидрофильді) жүйелерде энергияны азайту ұмтылысы, фазаларды бөлу шекарасында (сумен әрекеттескенде) беттік керіліс шамасын төмендету және бөлшектерді үлкейту (олардың тұтасуы нәтижесінде) арқылы жүзеге асырылады. Шикі жентектерді жасау процесі жөнінде нақты және айқын көріністі В. И. Коротичпен негізделген теория ашады. Түйіршіктерді жасаудың бастапқы сатысында, ұсақ бөлшектер сұйық фазаның қатысында, капилляр күштің көрінуі есебінен флокулалар немесе агрегаттар түзеді. Ары қарай динамикалық жүктеме әсерінен бөлшектер өзара су қабықшасының қалыңдығына шамалас қашықтыққа дейін жақындайды, ал ылғалдың артық мөлшері микрожүйеден сығымдалады. Бұл кезде капилляр күші жоғалады, алайда молекулааралық әрекеттесу күші туындайды. Сондықтан, ылғал күйде бөлшектердің тұтасу беріктігін анықтайтын жетекші фактор материалдың меншікті беті болып табылады, ол жоғары болған сайын, аса майда фракциялар мөлшері артады. Жентектеуге әсер ететін тағы бір фактор, ол шихтада ылғал мөлшері болып табылады. Бөлшектердің тұтасу күші концентраттың энергетикалық күйін сипаттайтын максималды молекулалық ылғал сыйымдылығына тура пропорционал.

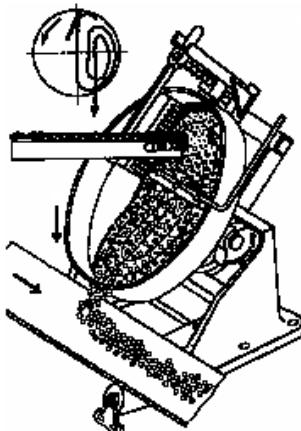
Шикі жентектер, оларды күйдіру немесе өзге агрегатына жеткізу кезінде деформациялануы мен бұзылуын алдын алу үшін жеткілікті беріктікке, сонымен қатар жақсы жылу төзімділігіне, яғни қыздыру кезінде бұзылмау қабілеттілігіне ие болуы керек. Осы қасиеттерді күшейту үшін жентектер шихтасына байланыстырушы қоспалар (бентонит, оның сумен қоспасы, әктас, хлорлы кальций, темір купорос, гуминді заттар және т.б.)

енгізеді. Кеңінен таралымға бентонит ие, оны 0,5–2 % көлемінде шихтаға жентектеу алдында енгізеді. Бентонит – бұл, ұсақ дисперстілігімен, ионалмасу қабілеттілігімен, дымқылдау кезінде жоғары ісіну дәрежесімен, орамдылығымен, қыздыру барысында біртіндеп су бөлу қабілеттілігімен ерекшеленетін балшық. Негізінен бентонит монтмориллониттен – $(Al, Mg)_2-3(OH)_2 \cdot (Si_4O_{10}) \cdot nH_2O$ және оған құрамы бойынша жақын минералдардан тұрады. Кристалл торы катиондарының бір бөлігі Ca^{2+} және Na^{+} иондарымен алмасу қабілеттілігіне ие. Ылғалдандыру кезінде бентонит суды қарқынды жұтады, көлемі 15–20 есе ұлғаяды және меншікті беті аса дамыған (600–900 м²/г) гельдер түзеді, ол өзге сұрыпты балшық бөлшектерінің бетінен шамамен 7 есе жоғары. Бентонит шикі жентектер кеуектілігін ұлғайтады, бұл беріктігін төмендетпей жентектерді кептіру барысында ылғал жою жылдамдығына жағымды әсер етеді. Шикі жентектер беріктігі кемінде 45–55 Н болуы керек.

Шикі жентектерді барабан, табақшалы және чашалы типті кесектегіштерде алады. Барабанды кесектегіш – горизонтқа 5–6° дейін бұрышпен орнатылған, ұзындығы 11 мм дейін, диаметрі 3 м дейін, ішкі беті тегіс, іші қуыс цилиндр. Барабан айналу жылдамдығы 4–8 айн/мин. Жентектер түйіршіктері барабан қозғалғанда ауырлық күші мен ортадан тепкіш күшінің әсерінен барабан бетіне жабысады. Бұл кезде, оған концентраттың ұсақ фракциялы қабаты жиналады. Табақшалы түйіршіктегіш (1.25-сурет) – кесектегіштің кеңінен тараған түрі, диаметрі 4–7 м, көлбеу бұрышы 40–60° және айналу жылдамдығы 4–9 айн/мин болатын, көлбеу орнатылған бүйір жағы (0,6–0,8 м) бар диск болып келеді.

Айналмалы чашаға тиелетін бастапқы шихта, бүйірі мен түбі ортасында орналасады және біршама биіктікке көтеріледі. Көлбеу түбі бойынша түсіп, шар тәрізді пішіндес бөлшектерге айнала отырып, түйіршіктер өзіне майда концентрат қабатын илейді. Өлшемдері мен массасы үлкен бөлшектер бүйірі бойынша жоғары биіктікке көтеріле алатындықтан, бүйір биіктігі шикі жентектердің соңғы өлшемін реттейді. Шетелде аз ғана таралымға ие болған, чашалы түйіршіктегіштер конустық чаша

болып келеді және барабанды, табақшалы кесектегіштердің өзіндік синтезі болып табылады.



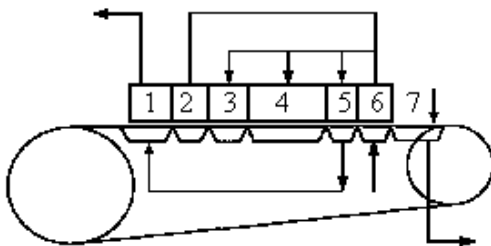
1.25-сурет. Табақшалы түйіршектегіш

Жентектерді күйдіру үшін агрегаттардың 3 түрі пайдаланылады: *шахталы пеш, конвейер машиналары мен комбинирленген қондырғылар*. Жентектерді беріктендірудің негізгі механизмі жоғары температуралар әсерінен шихта бөлшектерінің қатты фазада (немесе минималды балқыма түзілуімен) пісірілуі болып табылады. Жылумен өңдеу отын жағудың газтәрізді өнімдерімен жүзеге асырылады, көптеген жағдайда табиғи газ, сирек – кокс, домна газы, мұнай өнімдері, көмір.

Шахталы пеште қарсыағын принципі бойынша жұмыс істейді: ыстық газдар төменге түсетін жентектер бағаны арқылы көтеріледі. Жоғарғы бөлігінде жентектерді кептіру, қыздыру және күйдіру жүреді; төменгі бөлікте – жентектерді суық ауамен 100–150 °С дейін суыту.

Конвейер машинасы (1.26-сурет) қозғалмалы қақтау арбашаларының (паллета) тұйық тізбегі болып келеді. Күйдіру процесінің технологиясына сәйкес машина технологиялық зоналарға бөлінген: кептіру (1–2 секция), қыздыру, күйдіру (1–3

секция), рекуперация және суыту. Әр секцияда жылулық режим өзге секциялар режимдеріне тәуелсіз орнатылады. Әрбір секцияның газдары жеке түтінартқылармен сорылады. 1 зонада кептіруді рекуперация зонасының газ жылуымен жүзеге асырады, ал суыту зонасынан қыздырылған ауа күйдіру, қыздыру және кептіру 2 жанарғыларында пайдаланылады. (Суретте: 1,2 – кептіру, 3 – қыздыру, 4 – күйдіру, 5 – рекуперация, 6,7 – суыту зоналары)



1.26-сурет. Күйдіру конвейер машинасының сұлбасы

1,2 – кептіру зонасы; 3 – қыздыру зонасы;
4 – күйдіру зонасы; 5 – рекуперация зонасы; 6,7 – суыту зонасы

Комбинирленген қондырғы жентектерді кептіру мен қыздыру үшін жеңілдетілген конвецер машинасы және жоғары температурада күйдіру үшін құбырлы айналмалы пеш болып келеді. Құбырлы пештен шығатын газдар, конвейер машинасында шикі жентектерді қыздыру мен кептіру үшін жылутасымалдағыш ретінде пайдаланылады.

Жалпы, күйдіру жентектерін алу сұлбасы келесі сатылар мен процестерді қамтиды: **шихта компоненттерін дайындау (флюстерді, байланыстырушыны орташалау, ұнтақтау) → компоненттерді мөлшерлеу → араластыру → ылғалдандыру (8–9 % дейін) → түйіршіктеу → кептіру (100–200 °C) → қыздыру (200–800 °C) → күйдіру (1200–1300 °C) → суыту.**

Күйдірілмеген жентектер алу

Жентектер өндірісіне шығындалатын негізгі эксплуатациялық және күрделі қаржы салымдары күйдіру сатысына байланысты. Сондықтан жоғары температурада

өндеуді пайдаланбай жентектерді беріктендіру әдістерін іздеу жүргізілуде. Күйдірілмеген жентектер алу келешегі осы уақытқа дейін, оларды өндіру және ары қарай пайдаланудың сенімді өнеркәсіптік техника-экономикалық деректері болмағандықтан, анық емес. Күйдірілмеген жентектер алудың келесі тәсілдері қайсыбір дәрежеде сынақтан өткізілді:

– *химия-каталитикалық әдіс* – құрғақ (не более 2 – 2,5 % дейін) майда ұнтақталған концентрат, ұнтақталған құрғақ отын және катализатордың сулы ерітіндісімен араластырып, ылғалданғаннан кейін сөнген әк түйіршіктеуге, жылы (105– 30 °С) ауамен кептіруге ұшырайды, одан кейін 40–60 °С дейін қыздырылған ылғалды түтін газымен (20–25 % CO_2) карбонизациялау камерасында өңделеді. Беріктендіру – ұсақ кристалды кальций карбонатының түзілу реакциясының қарқынды өтуі есебінен.

– *автоклавы әдіс* – беріктендіру кальций, магний, кремний тотықтарынан тұратын гель болып келетін, цементация типті тізбектің түзілуі нәтижесінде жүреді. Тізбек, концентратқа қосылатын әктастың кремнеземмен әрекеттесуі кезінде түзіледі. Тізбектің басым минералдары кальций гидросиликаттары болып табылады. Әктастың кремнеземмен әрекеттесуі, автоклава 180–200 °С температурада және 1–1,5 МПа бу қысымында 2–5 сағ ұстап тұру нәтижесінде жүреді.

– *цементтік тізбекте* жентектер өндірісі – тізбек ретінде портландцементтік клинкер пайдаланылады. Жентектердің беріктенуі негізгі клинкер минералдарының: алит (Ca_3SiO_5), бескальцийлі үшалюминат ($\text{Ca}_5\text{Al}_6\text{O}_{14}$), төрткальцийлі алюмоферрит ($\text{Ca}_4\text{Fe}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$) және т.б. гидратация реакцияларының нәтижесінде жүреді, нәтижесінде жентектерде, автоклавы өндеу кезінде алынатынға ұқсас, құрамы күрделі тізбек түзіледі. Беріктендіру процесінің ұзақтығы 20–30 тәулік құрайды. Өнімді қоймада ұстаған кезде, жентектердің жабысуына қарсы шаралар қолдану қажет.

HPS процесі

Hybrid pellet sinter – жентектер дайындау мен агломерат өндірісі операцияларының қосындысына негізделген процесс. 1 т кесектелген өнімге майда ұнтақталған концентраттың жоғары

шығынында (кемінде 700 кг) процесті жүзеге асыру орынды және шынайы. Пісіруге шихта дайындау сатысында, материалдар шикі жентектер алу кезіндегі сатылардан (мөлшерлеу, араластыру, ылғалдандыру, түйіршіктеу) өтеді. Эктасты ұнтақтауға жоғары талаптар қойылады. Даярлау сатысында отын қосуға болады, бірақ шекті, себебі шикі жентектер беріктігінің төмендеуіне әкеледі және түйіршіктеу процесін нашарлатады. Аглотаспаға жентектерді орналастыру кезінде қатты отын қосылады және ары қарай процесс агломерациялық тәрізді өтеді. Нәтижесінде жентектер блоктары (конгломераттар) алынады.

Гибридті агломерат беріктігі, редуциялануы және газөткізгіштігі бойынша қарапайым агломераттан ауқымды ерекшеленеді. Жентектермен салыстырғанда, артықшылықтары: аса жоғары өнімділігі, редуциялануы, төмен өзіндік құны, төмен температурада редуциялау кезінде жентектердің ісіну эффектісінің болмауы немесе аз болуы.

Фукуямада № 5 «*Nippon Kokan*» агломашинасын *HPS* процесіне ауыстыруы, өнімділіктің 1,45-тен 1,65 т/м²сағ дейін ұлғаюына, беріктілігінің, *RI* көрсеткіші бойынша редуциялануының 55–60-дан 70–75 % дейін жоғарылауына әкелді. Домна пешінде мұндай агломератты пайдаланған кезде, отын шығыны 517,5-нан 505 кг дейін төмендеді, өнімділігі 2,08-ден 2,21 т/м³ тәул. дейін жоғарылады.

1.6. Редуциялаушылар (тотықсыздандырғыштар)

Редуциялаушы (тотықсыздандырғыш) деп осы термодинамикалық жағдайларда редуцияланатын металға қарағанда оттегіге (кейбір жағдайларда басқа редуциялаушыға – S, Cl) көбірек жақындығы бар элемент немесе химиялық қосылыс деп түсіну керек. Металдарды алудың бірқатар процестерінде редуциялаушы ретінде мыналар қолданылады: Al (алюмотермия) тотықтардан баяу балқитын металдарды алу үшін – Cr, Mn (бұл процестерде қысқа уақыт ішінде жылу мөлшері шығады, сондықтан реакция сыртқы қыздырусыз жүреді және барлық өнімдер сұйық күйде алынады); Si (силикотермия) V, Cr, Mn үшін; Mg Ti алу үшін; U үшін Ca және т.б. көптеген

металлургиялық процестерде көміртегі немесе көмірсутегі бар заттар редуциялаушы ретінде қолданылады. Бұл олардың табиғатта таралуы мен қол жетімділігіне, сондай-ақ балку өнімдерін еріту үшін жеткілікті тотығу кезінде жылу шығару қабілетіне байланысты, бұл өз кезегінде қожды бөлу үшін көптеген процестерде қажет.

Жоғарыда айтылғандарға сүйене отырып, редуциялаушыны таңдау кезінде негізгі талаптарды тұжырымдауға болады: 1 – оттегіге жоғары жақындық; 2 – редуциялаушы жылу көзі болуы керек; 3 – редуциялаушы құны алынған металдың құнынан едәуір төмен болуы керек; 4 – редуциялаушылар процестердің тиімді жүруін қамтамасыз етуі керек, өйткені бірқатар процестерде, әсіресе шахта қондырғыларында, олар газ өткізгіштігін қамтамасыз ететін қопсытқыш және сүзгі саптамасы ретінде қызмет етеді.

Редуциялаушыларды 3 топқа бөлу арқылы жіктеуге болады: 1. *металлдық редуциялаушылар* (Al, Si және т.б.); 2. *құрамында көміртегі бар қатты редуциялаушылар* (кокс, көмір, ағаш коксы, көмір брикеттері); 3. *газ тәрізді редуциялаушылар* (CO, H₂).

Көбінесе металлургиялық процестерді зерттеу курстарында отын мен редуциялаушы ұғымдары араласады. Бұл жерде үлкен қателік жоқ, өйткені: біріншіден, отын-редуциялаушы; екіншіден, металдардың барлық редуция реакцияларын оксидтердің диссоциациясы ретінде ұсынуға болады, ал тепе-теңдіктің дұрыс бағытқа ауысуы қажетті жылу режимін құру және реакция аймағынан тотықтырғышты алып тастау арқылы қамтамасыз етіледі.

1.6.1. Редуциялаушыларды алу

Редуциялаушылар металлургияда пайдалану үшін кен тәрізді алдын-ала даярлықты қажет етеді. Табиғатта кездесетін заттардың ішінде, тек көмір редуциялаушы ретінде жаратылған күйінде пайдаланылуы мүмкін. Алайда тіпті көмір, металлургиялық өндірістің тиімділігін жоғарылату үшін, даярлау операцияларының белгілі бір цикліне ұшырайды: байыту, ірілігін

онтайландыру, кесектеу, кокстеу. Алынатын көмірдің көп бөлігі қоршалған жыныстан минералды қоспаларды жою үшін байытуға ұшырайды. Көмір байыту фабрикаларында пайдаланылатын негізгі байыту әдістері гравитациялық және флотациялық болып табылады (магниттік суспензияны регенерациялау үшін). Салыстырмалы таза және бай қыртыстар мен тілімдерден алынатын көмір, негізгі редукциялаушының бір бөлігін алмастыру үшін сирек байытусыз пайдаланылады. Ол үшін ұсақтау және елеу арқылы одан қажетті ірілік класы шығарылады.

Жіктеуде аталған қалған барлық редукциялаушылар жасанды алынған материалдар болып табылады. Бұл кезде металл редукциялаушылар, яғни металдар өндірісі жалпы металлургияның құрамдасы болып табылады, және әрине олар берілген тарауда жеке қарастырылмайды. Төменде 2-ші және 3-ші жіктеу топтарының негізгі редукциялаушыларын алу сипатталған.

Ағаш көмір өндірісі

XVIII ғасыр ортасына дейін ағаш көмір көміртегіқұрамды редукциялаушылардың жалғыз түрі болды. Ағаш көмірмен алғаш рет металл балқытуды кім және қай елде жүргізгенін орнату мүмкін емес. Алайда, біз білеміз, Египет, Қытай, Үндістанның көне өркениеттері металлургияда осы отын түрін пайдаланған.

Ағаш көмір, ауа қатысынсыз оны 300–700 °C дейін қыздыру кезінде, ағаштың термиялық толық ыдырамаған өнімі болып келеді. Мұндай қыздыру кезінде ағаш қатты көмірленген қалдық пен сұйық және газтәрізді өнімдер қоспасының түзілуімен ыдырайды. Ағаш көмір өндірісінің аса жабайы тәсілі оны саз және жер қабатымен жабылған, отын үйіндісінде жағу болып табылады. Оны заманауи өндіру тәсілі, отын толтырылған жабық камераларды тоннельді пеші арқылы өткізуден тұрады, мұндағы температура берілген бағдарлама бойынша өзгеріп отырады.

Ағаш көмір құрамында, оны алу температурасына тәуелді 70–95 % дейін ұшқыш емес көміртегі, 10–30 % ұшқыш заттар, 1–2 % күл, күкірт іздері мен 0,01–0,04 % фосфор кездеседі. Күкірт пен фосфор бойынша ағаш көмір тазалығы жоғары сапалы металл алуға мүмкіндік береді. Ағаш көмір кесектерінің

кеуектілігі 70–90 % құрайды, бұл оның редукциялаушы ретінде активтілігін және жану қарқындылығын қамтамасыз етеді. Оған қоса көмірдің механикалық беріктігі жеткілікті жоғары емес, бұл оның заманауи металлургиялық процестерде пайдаланылуын қиындатады. Және бұл оның жалғыз кемшілігі емес. Ағаш көмір өндірісіне жұмсалатын жоғары еңбек шығыны, және әсіресе, қара металлургияның қарқынды дамуында орман массивтерінің жылдам жойылуы үнемі жаңа отын түрін іздеуге мәжбүрледі. Дегенмен, Бразилияда ағашкөмірлі металлургиялық процестер біршама үлесті алып отыр. Эвкалиптті кесу айналымы 7 жыл құрайды (Уралда қылқан жапырақты орман үшін 60–70 жыл орнына).

Тас көмірлік кокс өндірісі

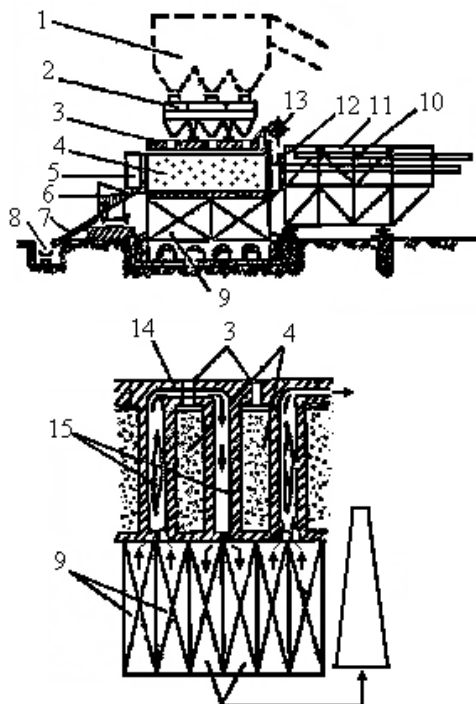
Кокс – бұл кокстелетін тас көмірдің 1000–1100 °С температурасына дейін ауа қатысынсыз қыздыру (кокстеу) кезінде түзілетін қатты, пісірілген, берік кесекті өнім. Қазіргі уақытта тас көмірлік кокстың бүкіл әлемдік өндірісі шамамен 300 млн т құрайды. Сондықтан ол металлургиялық процестерде редукциялаушылардың негізгі түрі болып табылады.

Кокс алу мен оның металлургияда пайдаланудың ресми мерзімі 1735 ж. – ағылшын Авраам Дербидің патент алуы болып саналады. Алайда, тас көмірді кокстеудің алғашқы жабық және одан кейінгі жоғалған патенттері 1590–1620 жж. мерзіміне жатады. Сонымен қатар, Қытайда коксты 2000 жыл бұрын ала білген деген байланыссыз мағлұматтар бар.

Барлық тас көмірлер қыздыру кезінде берік кесекті кокс түзуге қабілетті емес. Көмірдің аса маңызды қасиеті оның пісірілуі, яғни қыздыру кезінде берік пісірінді-кокс түзу қабілеттілігі болып табылады. Құрамында 20–25 % ұшқыштар кездесетін, қыртыс қабатының қалыңдығы 10–20 мм болатын коксты және майлы көмірлер мен олардың қоспалары аса жақсы пісіріледі. Алайда мұндай көмір қоры аз (тас көмірдің жалпы көлемінің 25–30 %). Газды және жасық көмір біршама көп, және олар тереңде шоғырланбайды. Сондықтан қазіргі уақытта металлургия үшін жоғары сапалы коксты, майлы және коксты көмірден ғана емес, оған қоса газды және жасық көмірден тұратын көмір қоспаларынан алады.

Кокстеуге түсетін көмір міндетті түрде 3 мм кем бөлшектер ірілігіне дейін ұнтақталуы тиіс. Кокс химиялық зауытына, әдетте көмірдің сан түрлі сұрыптары түседі, қоймаландыру және штабельдерде орташаландыру процесінде олардан аталмыш шихта топтарын құрайды. Одан кейін орташаланған компоненттерді бункерлерге тиейді, мұнда кокстеу үшін шихта дайындау барысында дәл мөлшерлейді, содан кейін араластырады.

Кокстеу процесі, 70–80 данадан кокстеу батареясына біріктірілген кокстеу пештерінде жүзеге асырылады. Батареяның жұмыс істеу принципі келесідей (1.27-сурет). Кокс шихтасы, батарея үстінде орналасқан көмір мұнарасына (1) түседі және тиеу вагоны (2) көмегімен күмбез саңылаулары (3) арқылы кокстеу пештерін толтырады. Кокстеу пеші (4) биіктігі 4,5–7,0 м және ұзындығы 14–17 м болатын тар камера болып келеді. Қыздыруды үдету және пісірілетін шихта қабатының қимасы бойынша температуралы әркелкілікті азайту үшін пеш енін 400–500 мм тең деп, дайын кокс беру жағына қарай сәл кеңейте отырып қабылдайды. Заманауи кокстеу пешінің көлемі 40–42 м³ жетеді. Пешке бір ретте 22 т және одан артық шихта тиейді және шамамен 20 т кокс алады. Машина жағынан кокстеу батареясы, рельстік жолмен қозғалатын кокс итергішпен жұмыс істейді. Камераға шихтаны түсіргеннен кейін, кокс итергіш (11) арнайы рейкамен – планирмен (10) оның бетін тегістейді. Осыдан кейін пеш герметизацияланады және оны қыздыру қосылады. Әрбір кокстеу пеші екі герметикалық бүйір жақ есіктерімен (5, 12) жабдықталған. Пеш қабырғалары отқа беріктігі жоғары динас кірпішпен қаланған. Батареяда пештер параллель орнатылған және іші қуыс жылыту аралық қабырғаларымен (15) бөлінеді, мұнда газ тәрізді отын жағылады (мысалы, кокс және домна газдарының қоспасы). Кокстеу процесінің тиімділігін жоғарылату үшін, отын жануына баратын ауа, және жиі газ әрбір аралық қабырға астында орналасқан регенераторларда (9) алдын ала 900–1000 °С дейін қыздырылады. Кокстеу батареясының әрбір пеші екі жылыту аралық қабырғаларының ортасында орналасқан және жағу өнімдерінің жылуы қабырғалардың екі жағымен жылуөткізгішпен көмір шихтасына беріледі.



1.27-сурет. Кокс батареясының құрылғысы

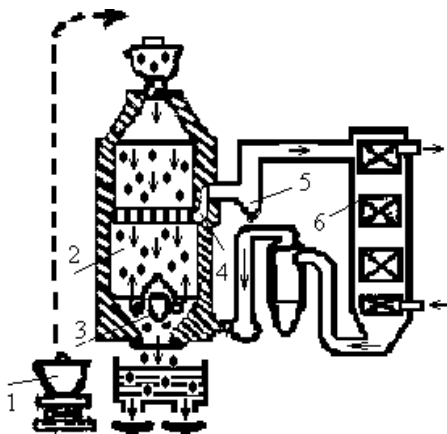
Температурасы 1400°C дейін жағу өнімдері жоғары көтеріледі, өтпелі канал (14) бойымен өтеді және екі өзге камера қабырғаларын қыздыра отырып, келесі аралық қабырға бойымен төмен түседі. Ары қарай жағу өнімдері көршілес қос регенераторлар арқылы өтеді, оларды қыздырады, және $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ температурасымен түтін мұржасы арқылы кетеді. Мерзімді түрде (әрбір 20–30 мин сайын) газ қозғалысының бағытын ауыстыру жүреді: қыздырылған регенераторлар арқылы ауа мен газ, ал суытылғандар арқылы – жағу өнімдерін береді. Көмір пиролизі нәтижесінде бөлінетін химиялық өнімдер (лас кокс газдары) газ жинағышқа (13) сорылады және газ бұру арқылы химиялық цехтарға жіберіледі. Кокстеу мерзімінің ұзақтығы шамамен 15–17 сағ құрайды. Осы уақытта шихта мен түзілетін

кокстың 1000–1100 °С температурасына дейін қыздырылуы жүреді. Заманауи кокстеу батареясының өнімділігі шамамен тәулігіне 1500 т кокс құрайды. Кокстеу мерзімі аяқталғаннан кейін кокс шығару жағында арнайы есік алу машинасы есікті (5) ашады. Бұл уақытта екінші жағынан кокс итергіш екінші есікті (12) ашады және камераға штанга кіргізеді, ол коксты металдан жасалған кокс сөндіру вагонына (6) итеріп шығарады. Кокстың камерадан шығарылуы оны кокстеу кезінде шөктірумен жеңілдетіледі, оған қоса камера ені түсіру жағына қарай ұлғаяды. Кокс сөндіру вагоны қыздырылған коксты сөндіру мұнарасына апарады, мұнда ол дәстүрлі технология бойынша сумен құйылады (4–5 м³/т коксқа). Одан кейін коксты арнайы көлбеу алаңға – рампаға (7) шығарады, мұнда ол 30–40 минут бойы ылғалдың булануы есебінен суиды. Содан кейін кокс транспортермен (8) сұрыптауға беріледі.

Көрсетілген сөндіру тәсілінде кокстың бірден суытылуы онда ауқымды ішкі кернеу тудырады, оны ұнтақтайды, кеуектілігін ұлғайтады, беріктігін төмендетеді. Кокс жылуы бұл кезде жоғалады. Оған қоса, су шығынан байланысты кокс ылғалдылығы кең аралықта (2–10 % дейін) өзгереді, бұл оның ары қарай пайдаланылуын қиындатады.

Коксты салқын азотпен құрғақ сөндірудің аса прогрессивті технологиясы бар (1.28-сурет). Коксты сөндіру қондырғысына алмалы кузовы (1) бар арнайы сөндіру вагондарымен жеткізеді, оларды арбадан көтергішпен алады және тиеу құрылғысына орнатады, онымен коксты конус тәрізді жоғарғы бөлігі (форкамера) – қыздырылған кокс жинақтағышы бар, цилиндрлік шахта болып келетін сөндіру камерасына (2) тиейді. Төменгі бөлігінде үрлеу құрылғысы (3) орнатылған. Құрғақ сөндіру кезінде ыстық кокс жылуы газ тәрізді жылутасымалдағышқа (азотқа) беріледі, ол бүйір каналдары (4) арқылы шығып, шаң тазалаудан (5) өтіп, жою қазандығына (6) түседі, мұнда қыздырылған (450 °С дейін) су буын алады. Осылайша, кокс жылуын айтарлықтай толық кәдеге асыруға, коксты аса жұмсақ режим бойынша суытуға, оның сапасын жақсартуға. Оның ішінде ылғалдылығын 0,2–0,5 % дейін төмендетуге болады. 200–250 °С дейін суытылған кокс түсіру құрылғысымен рампаға беріледі.

Ары қарай, конвейермен ол кокс сұрыптау бөліміне жіберіледі. Суыту контуры бойынша циркуляцияланатын азот шығыны 75–80 мың м³/сағ немесе 1,5 мың м³/т коксқа құрайды. Қайта-қайта орнатылатын кокстеу батареялары коксты құрғақ сөндіру қондырғыларымен жабдықталған. Бұл кокс-химиялық өндірістің экологиялық ахуалын жақсартады және суытылатын жылуды кәдеге асыру есебінен ауқымды отын көлемін үнемдеуге мүмкіндік береді.



1.28-сурет. Коксты құрғақ сөндіру қондырғысы

Кокс сұрыптауда ірілігіне дейін ұсақтауға және елеуге ұшырайды. 25 мм жоғары фракция шахталы пештерде, 10–25 мм немесе 10–40 мм ферроқорытпа немесе энергетикалық өндірісте, 0–10 мм агломерация үшін пайдаланылады.

Кокстеу кезінде жүретін процестер мәнін келесі түрде көрсетуге болады. Пісірілетін қабаттың көлденең қимасында пеш қабырғаларынан көмір шихтасын қыздыру кезінде температуралық өріс градиенті орын алады. Кокстеу барысында қабырғадан әртүрлі қашықтықта пісірілетін материалда, шихта әртүрлі температураға дейін қыздырылған зоналар түзіледі, демек, коксқа түрленудің әртүрлі сатыларында болады. Шихтаны 100–120 °С дейін қыздыру кезінде кептіру зонасында ылғал булануы жүреді; ары қарай зонада 300–350 °С дейін қыздырылуы

көмірмен адсорбцияланған газдар мен органикалық масса ыдырауынан алынатын жеңіл ұшқыш өнімдердің жоғалымымен жүреді. 350–380 °C температурадан бастап, зонада жеңіл балқитын көмір құрамдастарының балқуы нәтижесінде түзілетін сұйық фаза пайда болады; уақыт өте температураны ары қарай жоғарылатқанда бұл балқыма өзінде көмірдің қалған массасын ерітеді. Осы мерзімде шихтаның жұмсарған массасынан ұшқыштар қарқынды бөлінеді, пісірілетін зат құрамы өзгереді, ол қоюлана бастайды. Бұл кезде, көмір ыдырау процесінде газтәрізді өнімдердің қарқынды бөлінуі кезінде түзілген материалдың кеуекті құрылымы байқалады. 450–500 °C температурада пеште жұмсарған иілгіш массада қайтадан қатты өнім – *жартылай кокс* түзіледі. Ары қарай қыздыру кокс түзілуіне әкеледі. Осы мерзімде ұшқыштар бөлінуі мен көп мөлшерде сызаттардың түзілуіне әкелетін кокс шөгуі аяқталады. 1000–1100 °C дейін температура жоғарылаған сайын кокс көміртегісінің кристалл торының тұрақталуы жүреді, бұл оның сапасына жағымды әсер етеді, мәселен оның реакцияға түсу қабілеттілігі төмендейді.

Камера қабырғаларында орналасқан кокс, ол максималды температуралар әсеріне ұзақ уақыт бойы ұшырағандықтан аса жоғары қасиеттерге ие болады. Кокстың, оның беріктілігінен басқа, жалпы қабылданған сипаттамасы техникалық талдауы, яғни құрамындағы күл – A , ұшқыш заттар – L , күкірт – S , ылғал – W және ұшқыш емес көміртегі – $C_n = 100 - (A + L + S)$ мөлшері болып табылады.

Көмірден кокс өндірісі кезінде біруақытта өзге өнімдердің көп мөлшері алынады. Кокстеудің ұшқыш химиялық өнімдері кокстеу газы, бензол, фенолдар, нафталин, тас көмірлік шайыр, аммоний сульфаты, тас көмірлік пісірінді болып табылады. Бұл өнімдер органикалық синтездеудің химиялық өнеркәсібі үшін бағалы шикізат болып келеді. 1 т құрғақ көмір шихтасынан 750–800 кг кокс, 320–330 м³ кокстеу газы, шамамен 33 кг тас көмірлік шайыр, 11 кг бензол және 3–3,5 кг аммоний алады. Тазартылған кокстеу газының құрамы, %: 55–60 H₂, 23–28 CH₄, 6–8 CO, 2–4 CO₂, 2–4 C_mH_n, 2–7 N₂. Кокстеу газының жылу шығару қабілеті 17000–18000 кДж/м³ құрайды. Кокстеу газы металлургия пештерінде отын және редуциялаушы ретінде пайдаланылады.

Тас көмірден кокс алудың жалпы сұлбасы келесі сатылар мен процестерді қамтиды: **көмір дайындау (байыту, орташаландыру, ұнтақтау) → сұрыптарын мөлшерлеу → араластыру → пешке тиеу → кокстеу** (саты бөлімдері: *кептіру (~100 °C) → қыздыру және ұшқыштарды жою (~300 °C) → балқыту (400 °C) → жартылай кокс алу (500 °C) → кокс алу (1000 °C) → шығару → суыту → сұрыптау*).

Көмір брикеттерін өндіру

Көмірді брикеттеу, брикет – пішіні геометриялық дұрыс және өлшемдері бірдей кесектер алу мақсатымен, қысыммен престеу арқылы майда көмірді кесектеу процесі. Брикеттеуге торф, қоңыр көмір, тас көмір мен антрациттердің ұсақ кластары, жартылай кокс және кокс ұсақтары мен т.б. ұшырайды. Көмір майдаларымен салыстырғанда брикеттер аса жоғары жылутехникалық көрсеткіштерге ие болады: калориялылығы, толық жануы, жақсы сақталуы, тасымалдауға жарамдылығы.

Көмірді брикеттеу жоғары қысыммен (80 МПа жоғары) байланыстырушы зат қоспай престеу және төмен қысыммен (15–25 МПа) байланыстырушы зат қосу арқылы престеу болып бөлінеді. Байланыстырушы затсыз торф пен жас (жұмсақ) қоңыр көмірді, ал байланыстырушымен – тас көмір мен ескі (қатты) қоңыр көмір ұсақтарын, антрацит үгінділерін, жартылай кокс пен кокс ұсақтарын брикеттейді.

Қоңыр көмір брикеттерін алудың технологиялық сұлбасының мәні келесідей (байланыстырушысыз). Ылғалдылығы 55–56 % бастапқы көмір елеу мен 6 мм дейін ұсақтаудан кейін барабанды бұмен кептіргішке түседі, мұнда 18–20 % ылғалдылығына дейін кептіріледі. Қоңыр көмірді кептіру үшін барабанды бұмен және газбен кептіргіш құбырларын қолданады, біріншісінде жылутасымалдағыш ретінде өте ысытылған бу, екіншісінде – от жағу газдары пайдаланылады. Көмір ұсақтарын престеу алдында 313–323 К дейін суытады және 98–118 МПа қысыммен арнайы престерде брикеттейді. Қоңыр көмірді брикеттеу үшін өнеркәсіпте, ашық матрицалық каналы бар мерзімді әрекеттегі машиналар болып табылатын штемпельді престер кеңінен таралымға ие болды. Штемпельді престің матрицалық каналында брикет түзілу процесі ретпен өтетін

бірнеше сатылардан тұрады: қалыптау каналын кептірілген көмірмен толтыру, оны брикетке қысу, брикет таспасын итеру және штемпельді бастапқы редуциялау. Матрицалық каналдан итеріп шығарылатын брикеттер температурасы 343–353 К. Өздігінен жануын алдын алу үшін, брикеттерді суыту науаларында және торлы конвейерде суытады, одан кейін тұтынушыларға немесе қоймаға жөнелту үшін жібереді.

Байланыстырушымен көмірді брикеттеу тас көмір мен антрациттер үшін қолданылады. Байланыстырушылар ретінде мұнай битумдары (мұнай өндеудің қалдық өнімдері) кеңінен қолданылады. Мұнай битумдары әртүрлі көмірсутектерден, сонымен қатар оттекті, күкіртті және азот қосылыстарының аз мөлшерінен тұратын, күрделі коллоидты жүйелер болып келеді. Олар 300–350 К температурада жұмсарады және аққыш болады. Байланыстырушы ретінде мұнай битумын қолдана отырып, антрациттің ұсақ кластарын (0–6 мм) брикеттеу технологиясы бірқатар операцияларды қамтиды. Ұсақ класты 3–4 % ылғалдылығына дейін кептіруді және оны қыздыруды барабанды газбен кептіргіштерде жүзеге асырады. Алдын-ала кептірілген өнім мен сұйық түрдегі байланыстырушыны бұрамалы, одан кейін бумен араластырғыштарда араластырады. Мұнда жылу есебінен байланыстырушы одан сайын аққыш болады және қыздырылған көмір бөлшектерінің бетін жабады. Бумен араластырғыштан шығару кезінде шихта температурасы 368–371 К. Брикетте байланыстырушының катаю уақытын қысқарту және оның бастапқы беріктігін арттыру үшін шихтаны суытады. Ол тұтқырлы, иілгіш болады және қысыммен жеңіл пішінделеді. Брикеттеуді 20 МПа қысыммен білдекті престерде жүзеге асырады. Суытылған брикеттерді престелмеген ұсақтар мен сынықтарды бөлу үшін елеуге ұшыратады.

Мұнайлы кокс өндірісі

Мұнайлы коксты мұнай өндеудің қалдық өнімдерін баяулатылған кокстеу қондырғысында кокстеу кезінде алады. Кокстеу шикізаты ретінде, біріншіден, атмосфералық-вакуумда айдау қондырғыларында алынған біріншілей мұнай өндеудің вакуумдық қалдықтары мен мұнай өндеудің екіншілей

процестерінің ауыр қалдықтарын термиялық крекингтеу қалдықтары пайдаланылады

Шикізатты алдымен ректификациялық колоннаға береді, оған кокстеу камераларынан бу түседі. Осы колоннаның шаршы қалдығы қарама-қарсы ағынды пештерге беріледі, мұнда 500 °С дейін қыздырылады. Пеш өнімдері, 490 °С дейін температурада және 0,4 МПа қысыммен кокстеу сатысында тұрған кокстеу камераларына жіберіледі. Бұл уақытта басқа камераларды буландырады, суытады, кокстан босатады және кокстеуге дайындау үшін қыздырады.

Кокстеу циклінің ұзақтығы, қондырғының орнатылған өнімділігіне байланысты 24–40 сағ дейін құрайды.

Кокстың сусыздануы арнайы алаңда 48 сағ бойы жүреді, одан кейін оны таспалы конвейер көмегімен жіктеуге (елеуге) жібереді. Жіктеуден өткен мұнайлы кокс жеке силостарда сақталады, одан оның тұтынушыға жөнелтілуі жүреді.

Мұнайлы кокс құрамында, тас көмірлі кокспен салыстырғанда, ұшқыштар (8–20 %), күкірт (~ 2 %) мөлшері жоғары, беріктілігі төмен болады, алайда аса жоғары жану жылуына және төмен күлділігіне (2 % дейін) ие.

Ресейде мұнайлы кокс 6 зауытта алынады, жалпы өндіріс көлемі 0,85 млн т.

Қалыптық кокс өндірісі

Кокстелмейтін көмірден (айтарлықтай кез келген көмірден) қалыптық кокс өндіру технологиясын алғаш рет 1956 ж. проф. Сапожников Л. М. ұсынды. Бұл технологияның негізгі идеясы қайнау қабаты қондырғыларында көмір шихтасын (3–0 мм) жылдам қыздыру болып келеді. Мұндай аппараттарда қыздыру жылдамдығы өте жоғары болғандықтан, 350 °С дейінгі температурада көмір шихтасы ұшқыш заттарды газ фазасына өткізіп үлгермейді және бір бөлігі балқиды. Ұстап тұрғаннан (1–2 мин) кейін көмір затының балқу облысында шихта қысыммен (0,2–0,5 МПа) брикеттерге қалыпталады, оларды ары қарай 2 сағ бойы 350–800 °С дейін қыздыра отырып, шахталы пеште шынықтырады. Берілген технология бойынша алынған қалыптық кокс беріктігі, қарапайым кокспен салыстырғанда аса жоғары болады. Алғаш рет қалыптық кокс өнеркәсіптік деңгейде КСРО-

да 1972 ж. домна өндірісінде пайдаланылды. Ары қарай, қалыптық кокспен домна пеші (Жапония 1987 ж., пеш көлемі 4250 м³) жұмысының көптеген өнеркәсіптік сынақтары көрсеткендей, оның сапасы толығымен заманауи талаптарға жауап береді. Оның өндірісі экологиялық таза болып табылады, бұл экономикалық артықшылықтармен бірге осы процестің аса кеңінен қолданылу келешегін ашады.

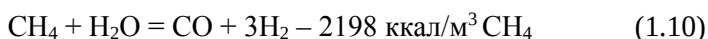
Табиғи газ конверсиясы. Редукциялау газын алу

Негізінен метаннан тұратын табиғи газ, редукциялаушы ретінде тікелей қолданыла алмайды, себебі 400–500 °С және одан жоғары температураға дейін қыздыру кезінде ол сутегі мен күйелі көміртегіге диссоциацияланады:



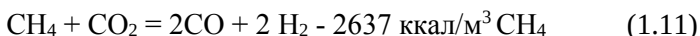
Бөлінетін күйелі көміртегі мен графит аз уақыт ішінде реактордың жұмысшы кеңістігін толтырады, редукцияланатын қабаттың кесекаралық аралықтары мен кесектер кеуектерін бітейді, газағыны қабырғаларына шөгеді. Бұл кезде жылудың көп мөлшері жұтылатынын, ал редукциялау газы көптеген металл алу сұлбалары бойынша жылу тасымалдағыш болу керектігін ескеру қажет. Осыған байланысты табиғи газ конверсиясы кеңінен жүзеге асырылады, нәтижесінде ең бастысы СО және Н₂ тұратын редукциялау газдары алынады.

Бу конверсиясы



830 °С төмен температурада берілген реакция қайтымды және газ қоспасынан графит пен күйелі көміртегінің бөліну қауіптілігі бар. Әдетте бұл реакцияны шамамен 900 °С температурада никель катализаторымен жүзеге асырады. Реакция зонасына конверсия мен қыздыру (1200 ккал/м³) үшін қажетті жылу келтіреді. Бұмен табиғи газ қоспасын сырттан табиғи газ жағу өнімдерімен қыздырылатын, катализаторға толтырылған құбырлар пакеті арқылы өткізеді

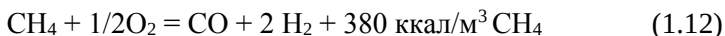
Көмірқышқылдық конверсия



1000 °С жақын температурада никель катализаторының қатысында жүргізіледі, себебі аса төмен температураларда газ қоспасынан графит пен күйелі көміртегі бөлінеді. Бұл реакция, бу конверсиясымен салыстырғанда, салыстырмалы көп жылуды талап етеді және сутегі концентрациясы төмен редуциялау газын береді.

Оттекті конверсия

Оттегіде метанның толық жанбауы есебінен жүзеге асырылады:



Шын мәнісінде, метанның бір бөлігі алдымен H_2O және CO_2 жанады, олар ары қарай редуциялау газының соңғы құрамының түзілуімен, CH_4 бірге реакцияға түседі. Реакция әлсіз экзотермиялық болғанына қарамастан, реакция зонасына газ қоспасын 900–1000 °С дейін қыздыру үшін жылу келтіру қажет. Әдетте, конверсиялық қондырғыға берілетін ауаны дейін 1100–1200 °С қыздырады.

Мұнайдан редуциялау газын алу. Реакция кеңістігінің төмен қарқынмен қыздырылуын талап етеді. Процесс күрт экзотермиялық және мұнайдың толық жанбауымен қол жеткізіледі:

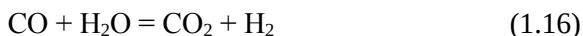


Кесекті көмірді газдандыру. Құрамында аз мөлшерде су буы болатын, оттегі немесе ауада оның толық жанбау реакциясымен газ генераторларында жүзеге асырылады:



Процесс сұйықта күл жою арқылы шахталы газ генераторларында жүргізіледі, себебі жану зонасында жоғары температуралар (1400-1500 °С) көмір күлінің балку температурасынан жоғары болады. Шаң тәрізді көмірдің газдануы қайнау қабатының реакторында жүргізілуі мүмкін. Қайнау қабаты және кесекті көмірдің қозғалыссыз қабаты бар заманауи газ генераторларының конструкциясы Винклер, Копперс-Тотцек, Лурги (Германия, АҚШ) фирмаларымен жасалды.

Сутегі алу. Келешекте, тиімді редуционер ретінде техникалық таза сутегі үлкен мәнге ие болады, ол металдар көміртектенуін алдын алуға мүмкіндік береді. СО қарағанда, сутегі улы емес, ал редуциялаудың газ тәрізді өнімдері су буы болып табылады. Сутегіні метанның термиялық ыдырауы ($\text{CH}_4 = \text{C} + \text{H}_2$) кезінде немесе келесі реакция бойынша алуға болады:



ары қарай CO_2 газ қоспасынан этаноламинмен ($\text{HO} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{NH}_2$) шайылады. Сонымен қатар, берілген газда мөлшері 60 % (об) болатын таза сутегі бөлінуімен, кокстеу газын терең суыту және бір бөлігін сұйылту әдісі қолданылады. Оған қоса, су электролизін пайдалануға болады, оның экономикалық тиімділігі аймақта электрэнергиясының құнына тәуелді болады.

Көміртегі құрамды редуциялаушылардың өзге түрлерін қолдану

Көміртозаңды отын (КТО) – арнайы диірмендерде майда ұнтақталған (20–30 микронға дейін) тас көмір болып келеді. Оның артықшылығы – төмен бағасы, жоғары жылу бөлу және реакцияға түсу қабілеттілігі. Реакция кеңістігіне пневмокөлікпен беру үшін арналған. Кемшілігі – күкірттілігі, күлділігі, салыстырмалы абразивтілігі.

Мазут – ауыр көмірсутектерден тұратын тікелей мұнай айдау мен крегингтеудің ауыр қалдығы (құрамында 83–85 % С және 10–11 % Н болады). Жеткілікті қымбат тұратын отын түрі, алайда жоғары жылу бөлу қабілеттілігіне ие болғандықтан, шарпыма пештерде, әсіресе мартен пештерінде кеңінен

қолданылады. Мазуттың жану жылуы 6,1–6,4 МДж/кг құрайды, бұл кокс пен КТО салыстырғанда бірнеше есе аз, және табиғи газбен салыстырғанда ауқымды жоғары. Мазуттың негізделген кемшіліктеріне күкірттің жоғары мөлшері мен салыстырмалы жоғары тұтқырлығы жатады (тұтқырлығын төмендету үшін қыздыру қажет).

Көмір-мазут суспензиясы – көміртозанды отын мен мазут қоспасы. Металлургиялық агрегатқа беру кезінде жабдықтың эксплуатациясын жеңілдетеді. Қалғанында – мазут пен КТО оң қасиеттері мен кемшіліктерін қамтиды.

«Қалалық» отын – тұрмыстық қалдық брикеттері. Мұндай брикеттер өндірісінің мақсаты қалдықтарды тиімді кәдеге асыру. Мәселен, жапондық аглофабрикалардың бірінде «қалалық» отынның (ірілігі 5 мм) пайдаланылуы, тапшы және қымбат тұратын кокс ұнтақтарын алмастыруға мүмкіндік берді.

1.7. Металлургиялық агрегаттар (пештер)

Редукциялаумен және жалпы металл өндірісімен байланысты көптеген процестер (күйдіру, пісіру, балқыту, термоөңдеу және т.б.), тек қажетті термодинамикалық шарттарды құрған кезде – бірқалыпты (500–900 °С) немесе жоғары (1500–2000 °С) температурада, белгілі бір қысымда немесе сиретілуде, реакция зонасынан өнімдерді жойғанда ойдағыдай өтеді. Пирометаллургиялық процестердің жүзеге асырылуын арнайы агрегаттарды – реакторда немесе пеште жүргізеді.

Пеш құрылысының жалпы қағидалары келесідей. Пештің жұмысшы кеңістігі қоршаған ортадан отқатөзімді материалдардан жасалған қоршаумен алшақтатылған. Сыртқы металды қаптама мен отқатөзімді (кірпіш) қалау арасында жылуоқшаулау материалының қабатын орналастырады, ол қоршаған кеңістікке ауқымды жылу жоғалымының алдын алады. Пештер өңделетін материалды (кен, металл) тиеу және түсіру құрылғыларымен, жұмысшы кеңістікте қажетті жылу мөлшерін бөлу үшін отын жағу немесе өзге құрылғыларымен жабдықталған. Істен мезгілсіз шығып кетуін болдырмау үшін

пештің кейбір металды конструкциялары немесе отқатөзімді футеровкасы сумен суытылады.

Пеш құрылғысымен және көптеген сан түрлі пештердің жұмысымен студенттер «Металлургиялық пештер» курсынан және тікелей өздерінің мамандандырылған курстарынан егжей-тегжейлі таныса алады. Мұнда олардың жіктеулін ғана келтіруге болады.

Пештер мен реакторлардың келесі топтарға бөлінеді:

А. жұмысшы кеңістігінің түрі бойынша:

- шахталы – жұмысшы кеңістігі тігінен жоғары созылған;
- табандық, шарпыма – жұмысшы кеңістігі көлденең жазықтықпен созылған;

- айналмалы құбырлы – процестер ұзын цилиндрлік кеңістікте өтеді;

- камералық.

Б. пайдаланылатын энергия түрі бойынша:

- отындық – материал өңдеу үшін қажетті жылу, қатты, сұйық немесе газтәрізді отынды жағу есебінен бөлінеді;

- электрлі – жылу, электр энергиясының түрленуі нәтижесінде түзіледі;

- атомдық – атомдық реакторды суытудың физикалық жылуы пайдаланылады;

- күнмен – жылу, сәулелі күн энергиясының концентрациясы есебінен түзіледі.

В. Жылу беруді ұйымдастыру қағидасы бойынша:

- жылу шығару пештері, мұнда жылу өңделетін материал көлемінде бөлінеді – шығарылады (конвертерлер, индукциялық пештер);

- жылу алмастыру пештері, мұнда жылу, қыздырылатын материалға сырттан беріледі (қыздыру, күйдіру пештері);

- аралас типті пештер (домна).

Г. Міндеті бойынша:

- қыздыру (кептіру, күйдіру, қатты металды қыздыру үшін термиялық және т.б.);

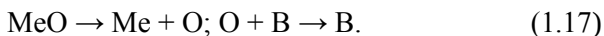
- балқыту – қатты шихта материалдарын сұйық өнімге – балқымаға түрлендіру үшін;

– жылуалмастырғыштар – пештен газбен әкетілетін жылуды жинақтау және оны ары қарай пайдалану үшін (рекуператорлар, регенераторлар, кәдеге асыру қазандықтары).

Д. Шихтаның динамикалық күйі бойынша: қозғалыссыз қабат реакторлары; қайнау қабаты реакторлары; аудармалы қабат пештері және т.с.с.

1.8. Редукциялау (тотықсыздану) процестері

Академик А. А. Байковтың теориясына сәйкес дамыған, қыздыру мен редукциялаушының әсерінен бір уақытта жүзеге асырылатын редукция процесі – бір уақытта жасалатын екі түрлендірудің жиынтығы: тотықтың диссоциациясы және оттегінің редукциялаушымен қосылуы, бұл жағдайда диссоциацияға бейімділігі төмен жаңа оксид түзеді:



1.8.1. Редукциялау процестерінің классификациясы

Редукциялаушылардың жіктелуіне сәйкес редукциялау процестері қолданылатын редукциялаушыларға сәйкес сипатталады: 1. **Металлотермиялық** – алюмотермия, силикотермия және т.б.; 2. **Көміртектермиялық** – қатты отынның көміртегін пайдалана отырып; 3. **газ тәрізді редукциялаушыларды пайдалану** процестері; 4. **Автогендік** – шикізат құрамындағы қосылыстар (компоненттер) редукциялаушы ретінде қолданылады.

Сонымен қатар, редукциялау процестері редукцияланатын материалдың агрегаттық күйіне, дәлірек айтқанда, алынған металл өнім бойынша жіктеледі:

қатты фазалық редукциялау, **қайнау қабатында** редукциялау, **сұйық фазалық** редукциялау, **газ фазасындағы** редукциялау, **плазмалық** редукциялау.

Редукциялау процестері қолданылатын реактордың (қондырғының, пештің) дизайны бойынша да жіктеледі. Мысалы, қайнаған қабат пештері, шахта түріндегі агрегаттарда редукциялау және т. б.

1.8.2. Редукциялау процестерінің қысқаша сипаттамасы

Қатты фазалық редукциялау жоғарыда қарастырылған күйдіру процестері кезінде жүзеге асырылады. Редукциялаушы (тотықсыздандырғыш) ретінде қатты отынды да, реакцияның қажетті температурасына дейін қыздырылған газдарды да қолдануға болады. Қатты фазалық редукциялау шихталық материалдар мен балқыту өнімдерін еріту шығындарын болдырмауға бағытталған. Қатты фазалық редукциялау үшін құбырлы, табанды (көптабанды), шахта, муфельдік, туннельді, сақиналы пештер, күйдіру конвейерлік машиналар және т. б. қолданылады.

Газ фазасындағы редукциялау редукцияланатын металдың және/немесе оның тотықтарының қайнау температурасы реактордың жұмыс кеңістігінің немесе редукциялану атмосферасының температурасынан төмен болған жағдайларда дамиды. Мысалы, селен тотығының сублимация температурасы 350 °С-тан төмен, редукцияланған селеннің қайнау температурасы 685 °С. Мырыш, кадмий, сынапты редукциялаудың кейбір процестерін, және де вельцпроцесті газ фазасында редукциялау процестеріне жатқызуға болады. Вельцпроцесс еңісі түсіру жағына 3–5° болатын айналмалы құбырлы пештерде ыстық газдардың қарама-қарсы ағындық қозғалысы нәтижесінде жүзеге асырылады. Вельцпроцесс өнімдері құрамында 70 % Zn, Pb, Cd болатын возгондардан (ұшырылған металдар) және құрамы негізінен ілеспе металдан, шлак түзушіден, отын қалдықтарынан және ұшырылған металдардан тұратын клинкер болып табылады.

Плазма – заттардың төртінші агрегаттық күйі – ионданған газ жүйесі, оның жалпы заряды нөлге тең. Плазмалық иондалу дәрежесі оң иондар санының бөлшектердің жалпы санына қатынасына тең: $\alpha = n / N$. Жоғары температуралы плазма (50 000 К-тан жоғары) толықтай дерлік иондалған, төмен температурада (5000–30000 К) иондану дәрежесі 1-ден 60 %-ға дейін. Плазма плазматрондарда алынады, олар камера болып табылады, онда жоғары ток тығыздығы бар доғалық разряд күйіп кетеді және ол арқылы газ жоғары жылдамдықпен өтеді. *Плазмалық*

редукциялану металл оксидтерінің ұнтақтарын плазмаға енгізгенде жүреді, онда олар ериді, буланып, редукцияланады. Атап айтқанда, металл магний MgO карботермиялық редукциялану арқылы алынады. Бұл жағдайда редукциялаушы – электродтардың құрамына кіретін көміртек. Плазмалық ағындағы металл оксидтерін редукциялау үшін редукциялаушы газдардың, атап айтқанда сутегі немесе көміртегі тотығының плазмасын қолдану тиімдірек, ал редукциялаушы жұмыс істейтін газ (яғни плазмалық газ) немесе инертті заттың плазмасы болуы мүмкін. Тотықтарды плазмалық редукциялаудың артықшылығы молибден, вольфрам, рений, никель және т.б сияқты металдардың өте жұқа және нәзік ұнтақтарын алу мүмкіндігі болып табылады. Плазма – металлургиялық процестер негізінен отқа төзімді металдарды алу үшін қолданылады; ал қалған металдар үшін плазманы пайдалану энергияны жоғары тұтыну және белгілі плазматрондардың конструкциясының жетілмегендігімен шектеледі.

Жасанды сұйық күйде редукциялау қайнау қабаты жүзеге асырылады және шын мәнінде қатты фазаны қалпына келтіру – редукциялық күйдіру болып табылады. Әдетте, редукционер реагент ретінде газ тәрізді редукционерлер қолданылады. Жасанды сұйық күйде кен бөлшектері қабаттан шықпай, төменнен берілетін газ ағынында еркін, ретсіз қозғалады. Қозғалмайтын қабаттан сұйық қабатқа өту газ ағынының жылдамдығының жоғарылауымен, оның көтеру күші сусымалы материалдың массасына теңестірілген кезде болады. Қайнаған қабаттың артықшылығы газ бен кен бөлшектерінің тығыз байланыста болуында және үлкен жылу алмасу бетінде және газ ағынында ілінген бөлшектердің реакциясында. Бұл жылу беруді және редукциялау процесін күрт күшейтуге мүмкіндік береді. Әдістің кемшіліктеріне шаңды терең тазарту және газдардың редукциялау қабілетін пайдаланудың төмен дәрежесі (олардың жоғары жылдамдығына байланысты) жатады. Әдісте кен материалын алдын ала кесектеуді қажет етпейді. Дегенмен, кесектеу процестеріне шығындарды үнемдеу газдарды шаңсыздандыруға және газдың шығуын азайтуға кететін шығындардың өсуіне әкеледі. Қайнау қабатты пештері бір немесе

бірнеше жұмыс камераларынан тұруы мүмкін. Реакциялық газ төменнен ауа қорабы мен газ тарату ошағы арқылы беріледі, ал газ түріндегі өнімдер күмбез астынан шығарылады. Металдарды оксидтерінен алу кезінде қатты материал бөлшектерінің тығыздығы артады, олар қабаттың түбіне шөгеді және сол жерден шығарылады.

Сұйық фазалық редукциялау процестері, яғни шихта материалдарының және алынған металдың балкуымен жүретін процестер металлургияда ең үлкен дамуға ие болды және бөлек қарастыруға лайық. Бұл процестердің ортақ мәні-сұйық фазаларға қажетті қасиеттер беру үшін бастапқы материалдарды балқыту және балқыманың қызып кетпеуі үшін редукционерлер мен жылуды (энергияны) тұтыну қажеттілігі (ең алдымен тұтқырлықты төмендету), сондай-ақ тығыздығы бойынша ерекшеленетін және бір-бірімен араласпайтын екі немесе одан да көп сұйық фазаларды алу. Сұйық фазалық редукциялау кезінде реагенттер арасында толық байланыс қамтамасыз етіледі, демек, процестің жоғары тиімділігі; бос жынысты қалпына келтірілген металдан шлаққа бөлу, ал алынған металл балқымасы кейіннен тазарту және өнімді алу үшін ыңғайлы (мысалы, құю арқылы). Құрамында металл бар жылу шихтасына (оны еріту үшін) және редукционерге әсер ету комбинациясы бойынша сұйық фазалық редукциялау 3 тәсілмен қол жеткізіледі. Бірінші жағдайда редукционер жылу көзі ретінде де қызмет етеді (яғни, редукционердің бір бөлігі отын ретінде пайдаланылады). Екіншісінде – сыртқы жылу беру және редукционерді енгізу (яғни балқыту және редукциялау) бір реакциялық кеңістікте жүзеге асырылады. Үшіншісінде – редукционер алдын ала дайындалған балқымаға енгізіледі.

1.8.3. Сұйық фазаны қалпына келтірудің негізгі процестері

Шахталық балқыту

Кесек шикізаттан металдарды алу үшін шахталық балқыту қолданылады. Білік пештері қарсы ағын принципі бойынша жұмыс істейді: заряд пен қатты отын, ол да редукциялаушы болып табылады, жоғарыдан жүктеледі және төмендейді, ауа

сокқысы төменнен беріледі, отынмен әрекеттесіп, газ тәрізді жану өнімдерін түзеді, олар жоғары көтеріледі, зарядқа еніп, оны қыздырады. Жоғары өнімділікті қамтамасыз ету үшін заряд бағанының жақсы газ өткізгіштігі болуы керек. Шахталық балқытудың ерекшелігі сүзгі саптамасының рөлін атқаратын коксты немесе басқа кесек отынды таптырмас пайдалану болып табылады. Шихтаны қыздыру және балқыту кезінде физика-химиялық процестер жүреді, пеш газының құрамы және көрсетілген балқыту өнімдерінің түсуін қамтамасыз ететін белгілі бір қозғалыс жылдамдығы болуы керек. Газдан материалға жылу беру конвекция арқылы жүзеге асырылады. Білік пешіндегі жылуды пайдалану коэффициенті $\sim 80\%$ құрайды. Біліктерді балқытудың артықшылықтары: жоғары меншікті өнімділік, процестің үздіксіздігі, жылуды пайдаланудың жоғары дәрежесі, отқа төзімді материалдардың аз шығыны, жоғары рентабельділік.

Шарпыма балқыту

Процестің мәні шихтаны қыздыру және балқыту пеш ваннасының үстіндегі газ кеңістігінде отынның жануынан болатын жылу есебінен жүзеге асырылатынында жатыр. Дефлекторлық пештің көлденең орналасқан жұмыс аймағы бар, ал түтін газдары балқыманың бетінен еркін өтеді. Жылу беру негізінен қойманың сәулеленуіне байланысты. Пеш үздіксіз де, партиялық режимде де жұмыс істей алады. Балқытудың тотықсыздандырғыш сипаты шихтаға немесе балқымаға тотықсыздандырғыштарды енгізу арқылы қамтамасыз етіледі. Шағылыстырғыш балқытудың басты артықшылығы оның әмбебаптығы болып табылады, яғни бұл типтегі пештер металдарды алу үшін де, тазарту үшін де, сондай-ақ басқа да бірқатар көмекші процестер үшін (қайта балқыту процестері, жиырылғыш балқыту және т.б.) пайдаланылуы мүмкін. Шағылыстырғыш балқытудың басқа артықшылықтарына кесексіз шикізатты (ұсақ дисперсті) және сұйық балқымаларды пайдалану, берілген сапада металды алу (процестің ұзақтығы мен жартылай ашықтығына байланысты құрамды реттеу) мүмкіндігі жатады. Кемшіліктері: жоғары жылу шығыны (пайдалану

дәрежесі 25–30 %), өнімділіктің төмендеуі және процестің ұзақтығының артуы, отқа төзімді заттардың көп шығыны.

Электрлік балқыту

Электрлік балқыту басқа пирометаллургиялық процестерден физикалық және химиялық өзгерістерді жүзеге асыру үшін энергия көзімен ерекшеленеді. Процесске қажетті температура электр энергиясын жылуға айналдыру арқылы алынған жылу есебінен сақталады. Жылуды алу әртүрлі жолдармен мүмкін: доғалық разрядта, ток кедергі арқылы өткенде, индукциялық қыздыру кезінде. Электр пештерінде жылуды пайдалану коэффициенті шамамен 70 % құрайды. Қалпына келтіру шихтаға қатты тотықсыздандырғыштарды енгізу, тотықсыздандырғыш газдарды үрлеу немесе тұтынылатын көміртекті электродты қолдану арқылы жүзеге асырылады. Электр пештерінің жұмысының оң ерекшелігі балқыманың қозғалысы болып табылады. Артықшылықтары: әмбебаптығы, ток күшін өзгерту арқылы процесті операциялық реттеудің үлкен мүмкіндігі, отқа төзімді қоспаларды өңдеу мүмкіндігі. Кемшіліктері: электр энергиясына тәуелділік (баға және жеткізу), ылғалдылық пен фракциялық құрамға шектеулер, отқа төзімді материалдардың көп шығыны (шахталық балқытуға карағанда).

Сұйық ваннада балқыту

Соңғы жылдары белсенді түрде дамып келе жатқан процесті алғашында акад. Ванюков құрамында мыс бар шикізатты өндеуге арналған. Балқытудың мәні қатты тотықсыздандырғышпен (отынмен) және қажетті қоспалармен өңделген шикізат ауамен немесе оттегімен қарқынды түрде көпіршікті қож балқымасының бетіне үздіксіз беріліп отырады (яғни, жарылыс сұйық қож қабатына беріледі). Тотықсыздану отынның толық жанбауынан түзілетін оксид балқымасының қатты тотықсыздандырғышпен (негізінен көмір) және газ тәріздес қалпына келтіргішпен (CO) әрекеттесу нәтижесінде болады. Процестің температуралық деңгейі отындық көміртегі мен сульфидті күкіртінің жануымен сақталады. Балқытудың сұйық өнімдері (шлак, металл немесе штейн) пештен тығыздық айырмашылығына байланысты бөлінумен үздіксіз немесе үзіліспен шығарылады. Ваннаның

көпіршігі тұтастай алғанда процестің жоғары жылдамдығын қамтамасыз етеді. Атап айтқанда, қарқынды араластыру нәтижесінде көрінетін тұтқырлықтың төмендеуіне, шихта компоненттерінің тез еруіне, тотықсыздандырғыштың металл оксидтерімен максималды жанасуына және балқыту өнімдерін барынша толық бөлуге қол жеткізіледі. Процесс шихта материалдарын дайындау сапасына қатаң талаптар қоймайды. Процестің бірегейлігі оның ерекше әмбебаптығында. Қазіргі уақытта бір немесе басқа патенттелген әдіске сәйкес (COREX, ROMELT және т. қайталама шикізаттар мен қалдықтар (тұрмыстық және улы заттарға дейін).

Металл-термиялық балқыту

Процесс металды тотықсыздандырғыштың бұрын дайындалған оксидтер немесе тұздар балқымасымен әрекеттесуінен тұрады. Металлотермия металдардың басқа металдармен қосылыстарының тотықсыздануына негізделген, соңғысының оттегіге немесе тотықсызданатын металмен байланысты басқа бейметалға химиялық жақындығына байланысты. Процесс балқыту камераларында немесе соғу цехтарында, сондай-ақ электр пештерінде жүргізіледі. Материалдарды балқыту процесіне қажетті жылудың негізгі мөлшері әдетте Al, Si, Mg, Ca, Na, қорытпалар және осы металдардың негізгі қорытпалары, ферроқорытпалар ретінде қолданылатын тотықсыздандырғыштардың экзотермиялық тотығу реакциялары кезінде бөлінеді. Егер процесс камераларда немесе пештерде жүргізілсе, ал бастапқы зарядталған материалдар қатты күйде болса, реакцияны бастау үшін термиттік тұтандырғыш қоспалар қолданылады (мысалы, селитрадан және магний, алюминий немесе темір жоңқаларынан тұратын). Кейбір жағдайларда экзотермиялық тотықсыздану реакциясы кезінде бөлінетін жылу мөлшері соншалықты маңызды, бұл процесс жарылғыш болады. Бұл құбылыстың алдын алу үшін шихтаға жылуды сіңіретін компоненттер (шлактар, флюстер және т.б.) енгізіледі. Алынған материалдарды балқыту үшін бөлінген жылу жетіспеушілігімен процесс электр пештерінде жүзеге асырылады, яғни сыртқы жылумен жабдықтау қолданылады. Металлотермиялық балқыту, егер

термодинамикалық себептер бойынша классификацияның 2-ші және 3-ші топтарындағы неғұрлым кең таралған және арзан тотықсыздандырғыштарды пайдалану мүмкін болмаса немесе С және Н бойынша таза металды алу қажет болған жағдайда орынды.

Конверсия – қоспаларды тотықтыру және соңғысын қожға немесе газға беру үшін оларды ауамен немесе оттегімен үрлеуден тұратын балқымаларды (аралық өнімдерді) өңдеу процесі. Конверсия металды тазарту процестерінде кеңінен қолданылады (мысалы, шойынды болатқа айналдырудың негізгі әдісі). Сұйық фазалық тотықсыздану процестерінде конверсияның маңызы шектеулі және ол тек аутогендік процестерде, мысалы, келесі реакциялар арқылы штейннен көпіршік мыс алу кезінде қолданылады.: $\text{Cu}_2\text{S} + 1,5\text{O}_2 = \text{Cu}_2\text{O} + \text{SO}_2$; $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{Cu}_2\text{O} = 6\text{Cu} + \text{SO}_2$.

Фьюмингтеу – ұшқыш металдарды (қорғасын, мырыш, калайы) алу үшін қож балқымаларын тотықсыздандырғыш газбен үрлеу немесе ұшпайтын металдарды тұндыру. Тазарту үшін ауамен ұнтақталған көмір отыны (көміртек-ауа қоспасы), конверсиядан кейінгі табиғи газ, ауаның табиғи газбен қоспасы немесе сұйық көмірсутектер (мазут) қолданылады.

Пироселекция – ұшқыш компоненттерді іріктеп сублимациялау мақсатында полиметалл шикізатының балқымасын өңдеу әдісі. Пироселекция негізінен қайталама шикізатты өңдеу үшін қолданылады. Процестің жалпы схемасы қатты материалдарды (сынықтар, флюс, кокс, қайта өңделген шаң) пешке тиеу, оларды аралық өніммен (штейн, блистер мыс) толтыру, балқыманы ауамен үрлеуден (көмір немесе табиғи газ болуы мүмкін) тұрады, шлақты шығару және қайта үрлеу. Процесс өнімдері сұйық металл, газ, түтін болып табылады.

1.9. Металлургиялық қорытпалар

Пирометаллургиялық балқыту процестері (сұйық фазалық редукциялау және сұйық фазалық тазарту) сұйық фазалардың пайда болуымен жүреді. Балқымалар катиондардың бос электрондармен және бейметалдық – иондық байланыстармен әрекеттесуімен сипатталатын металдық (шын мәнінде метал

балқымалары) болып бөлінеді. Металл балқымаларының тығыздығы (т/м^3) металдың түріне байланысты 0,534 – литийден 22,5 – осмийге дейін. Темір негізіндегі қорытпалардың тығыздығы шамамен 7, веркблей (қорғасынның басқа металдармен қорытпасы) шамамен 11, алюминий шамамен 2,7.

1.9.1. Металл емес балқымалар

– *шлактар* – шихтаның таужыныс түзуші компоненттерінен алынған оксидтердің балқымасы. Шлактардың негізгі қызметі бос жыныстарды ассимиляциялау болып табылады. Шлактардың тығыздығы – 2,8–3,2 т/м^3 ;

– *штейндер* – балқыту кезінде металдар шоғырланатын, құрамы өзгермелі сульфидті балқыма. Штейндердің тығыздығы шлактардың тығыздығынан кем дегенде бір бірлік жоғары – 4,5–5 т/м^3 ;

– *шпейза* – металдардың арсенидтерінен және/немесе антимонидтерінен тұратын балқыту өнімі (балқыма). Шпейзаның тығыздығы 5,6–6,5 т/м^3 құрайды.

1.9.2. Металдарды тазарту

Тазалау – металдарды оның құрамындағы қажетсіз қоспалардан тазарту процесі. Металдарды тазарту *пирометаллургиялық* және *электрохимиялық* әдістермен жүзеге асырылады. Металдағы қоспалар механикалық байланысқан, еріген немесе химиялық байланысқан күйде болуы мүмкін. Осыған байланысты химиялық және физикалық тазалау әдістері қолданылады. Соңғы өнімнің қажетті тазалығына байланысты бірқатар металдарды алу технологиясы әртүрлі әдістерді қолдану арқылы тазартудың бірнеше кезеңдерін қамтуы мүмкін.

1.9.3. Электрохимиялық тазарту

Электрохимиялық тазарту балқымалардың немесе сулы ерітінділердің электролизін қамтиды. Электрохимиялық тазарту жоғары тазалықтағы негізгі металды алу және кейбір

жағдайларда концентрлі өнім (шлам) түріндегі бағалы металдарды алу мақсатын көздейді. Мектеп курсынан электролиз гальваникалық элементте өтетін, ерітінділер немесе балқымалар арқылы электр тогын өткізуден тұратын кері процесс екені белгілі. Бұл жағдайда оң зарядталған иондар катодта редукцияланады, ал теріс зарядталған иондар анодта тотығады, сол арқылы бағытталған қозғалыс – ток пайда болады. Электродтардағы иондардың разрядының реті немесе басымдығы стандартты электродтық (басқа жағдайда сутегі) потенциалының мәнімен анықталатын заттың табиғатына байланысты. Атап айтқанда, элементтер үшін – металдың кернеулер қатарында алатын орын.

Электрохимиялық тазартудың жалпы принциптері төмендегідей. Қаралы, яғни тазартылатын металл анод түрінде қолданылады және осы металдың тазартылған жұқа парақтары катод ретінде қызмет етеді. Электролит ретінде тазартылған металдың тұзының қышқылдандырылған (яғни, қышқыл қосылған) ерітіндісі қолданылады. Электролиз процесінде анод ериді, еритін тұз түзеді, ал катод металдың оған бөлінуіне байланысты оның массасын біртіндеп арттырады. Электролит ион тасымалдаушы болып табылады және салыстырмалы түрде баяу өзгереді. Шикізаттың құрамындағы қоспаларды негізгі металдың сутегі потенциалына қатысты үш негізгі топқа бөлуге болады: электропозитивті металдар; жақын бөлініп шығу потенциалы бар металдар; электртерістігі жоғары металдар. Көбірек электропозитивті металдар анод шламы түрінде шөгеді, өйткені олардың тотығуы және ерітіндіге өтуі үшін анодтық потенциалдың мәні жеткіліксіз. Негізгі металл иондары болған кезде электртеріс мәні көбірек металдар катодта тұнбаға түсе алмайды, сондықтан олар ерітіндіде қалады және анодтың еруіне ықпал етеді. Бөлу потенциалы жақын металдар, егер олар электролиттің қышқыл қалдығымен ерімейтін тұз түзсе, электролит ваннасынан мезгіл-мезгіл шығарылатын шламға өтеді. Егер еритін тұз түзілсе, онда бұл металдар негізгі металмен бірге катодта тұнбаға түсуі мүмкін. Бұған жол бермеу үшін, не мұндай қоспалар пирометаллургиялық тазарту кезінде жойылады, не электролит катодтан анодқа өтуін шектейді

(мысалы, катод пен анод кеңістіктерін фильтрлі диафрагмамен бөліп, катод ұяшығында гидростатикалық басын құру арқылы). Соңғы жағдайда қоспалармен байытылған электролит анодтық ваннадан үздіксіз шығарылады, тазартылады және қайтадан катодты ваннаға беріледі.

Тиімді тазарту кернеу мен токтың оңтайлы мәндерін таңдауды талап етеді. Жасалған кернеулердің шамасы анодтың еруін және катодқа тек негізгі металдың тұнбасын қамтамасыз етуі керек. Ток күшінің (немесе токтың тығыздығының) жоғарылауы өнімділікті арттырса да, оған электропозитивті элементтердің көбірек түсуі арқылы катодты металдың ластануына әкеледі.

1.9.4. Пирометаллургиялық тазарту

Пирометаллургиялық тазарту балкымаларды жоғары температурада кез келген өңдеу арқылы негізгі металдан қоспаларды жоюдан және оларды кейіннен бөлу арқылы араласпайтын фазаларды алудан тұрады. Қоспаларды осы фазалардың біріне ауыстырудың және концентрациясының химиялық әдістері қоспалардың реагенттермен әрекеттесуіне негізделген, нәтижесінде оңай бөлінетін қосылыстар түзіледі.

Пирометаллургиялық тазартудың физикалық әдістері кристалдану процестерінің ерекшеліктеріне, сондай-ақ белгілі бір термодинамикалық жағдайларда металдардың газ күйіне өтуінің әртүрлі тенденциясына (басқаша айтқанда қайнау температураларының айырмашылығына) негізделген. Пирометаллургиялық тазартудың негізгі химиялық әдістері: *тотығу, хлорлау, илақты-сілтілі өңдеу, йодидпен өңдеу, карбонилдеу*. Пирометаллургиялық тазартудың негізгі физикалық әдістері: *ликвация, бағытты кристалдану, зоналық (аймақтық) балқыту, айдау, ректификация, вакуумдау, инертті газдармен тазарту*.

Тотықтырып тазарту – құрамында оттегі бар реагентпен қоспаларды таңдап тотықтыру. Негізгі металмен салыстырғанда қоспалардың оттегіге көбірек жақындығына негізделген; алынған қоспаның оксиді негізгі металда шектеулі ериді. Тотығу

балқыманы ауамен, оттегімен үрлеу (атап айтқанда, конверсия арқылы) немесе сұйық металды қатты оксидтермен (окалина, бай кен немесе концентрат) өңдеу арқылы жүзеге асырылады. Тазарту механизмі негізгі металдың оксиді мен қоспаның арасында орын басу реакциясының пайда болуынан тұрады (себебі газ тәрізді редуциерлер пайдаланған кезде де негізгі металл алдымен тотығады – масса заңы бойынша – содан кейін ғана қоспалар): $\text{MeO} + \text{Қоспа} = \text{Me} + \text{ҚоспаО}$. Қоспаның табиғатына байланысты оны түзетін оксид газ немесе сұйық шлак фазасына өтеді. Соңғы жағдайда алынған оксидтерді флюостермен шлактау металдан жақсы бөлінген төмен балқитын, сұйық-жылжымалы фазаны алу үшін қажет, оны қоспалардың кері металға өтуін болдырмау үшін үнемі алып тастау (жүктеу) қажет. Қоспалардың максималды тотығуы үшін редуциерлердің шығыны артық (стехиометриялықпен салыстырғанда) белгіленеді. Қалған атомдық оттегі металда ериді, оның сапасын төмендетеді, сонымен қатар оны жою қажеттілік туындатады. Артық оттегі *қышқылсыздандыру (оттексіздендіру)* – негізгі металл оксидінің тотықсыздануы арқылы жойылады. Сонымен, тотықтырып тазарту келесі операцияларды қамтиды: ***балқыту, тотықтыру, шлактау, шлакты шығару, тотықсыздандыру (қышқылсыздандыру), құю***. Тотықтырып тазарту әртүрлі металдарды (Fe, Cu, Pb, Ni және т.б.) алу технологияларында кең таралған пирометаллургиялық процесс екенін атап өткен жөн.

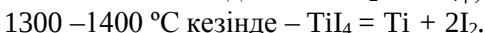
Шлакты-сілтілі өңдеу – шлак фазасына қоспаларды бөліп алуға және негізгі металдар мен қоспалардың химиялық элементтерге әртүрлі жақындығына негізделген. Ол бірқатар әдістерді қамтиды: синтетикалық шлактармен өңдеу, шлак түзетін ұнтақтарды үрлеу, сілтілерді қолдану, электрошлакты қайта балқыту, металлотермиялық тазарту. Шлакты-сілтілі өңдеу, негізінен жүретін химиялық реакциялардың сипатына байланысты тотықтырып тазарту немесе тотықсыздандырумен (қышқылсыздандыру) бірге қолданылады. P, As, Sb, Sn сияқты қоспаларды қышқыл оксидке айналдырып, оларды тұрақты қосылысқа негіздік оксидпен байланыстыру қажет. Мысалы: $3(\text{CaO}) + 5(\text{MeO}) + 2[\text{P}] = (\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) + 5[\text{Me}]$. Немесе сілтілі

тазарту үшін: $2[\text{As}] + 4\text{NaOH} + 2\text{NaNO}_3 = 2\text{Na}_3\text{AsO}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Күкірт алмастыру реакциясымен жойылады, мысалы: $\text{MeS} + \text{CaO} = \text{CaS} + \text{MeO}$; одан кейін оттексіздендіру (мысалы, $\text{Si} + \text{MeO} = \text{SiO}_2 + \text{Me}$). Металлотермиялық тазарту кезінде күкіртті металдық магниймен жояды: $[\text{S}] + \text{Mg} = (\text{MgS})$.

Хлорлау – металл балқымасын газ түріндегі хлормен үрлеуден тұрады. Алынған қоспалардың хлоридтері газдандырылады немесе оларды кейіннен жою арқылы сұйық ваннаның бетіне қалқып шығады. Хлорлаудың физика-химиялық механизмі металдарды тотықтырып тазартуға ұқсас, бірақ флюстерді қолдануды қажет етпейді, өйткені хлоридтердің балқу температурасы төмен. Бұл әдіс алюминийді тазартудағы негізгі әдіс болып табылады. Жалпы алғанда, тазарту процесі ретінде хлорлау, металлургиялық өндеудің алдын ала кезеңдерінде күрделі шикізатты бөліп алу үшін ректификациямен бірге пайдаланған кезде жеткілікті маңыздылыққа ие болғанымен, тазарту процесі ретінде шектеулі көлемде қолданылады.

Карбонилдену – белгілі бір металдардың CO – карбонилдермен қосылыс түзу қабілетіне негізделген процесс. Карбонилдердің бірегей қасиеттері олардың қайнау температурасының төмендігінде және жоғары температурада пайда болған буларды ыдыратуға бейімділігінде жатыр. Карбонил процесі периодтық жүйенің 6–8 тобының бірнеше металдары үшін ғана қолданылады (мысалы, Ni , Mo , W). Никель металлургиясында карбонил процесі ең үлкен өнеркәсіптік маңызға ие. Процестің мәні құрамында никель бар материалды $\sim 100^\circ\text{C}$ температурада қысыммен көміртегі тотығымен өндеуден тұрады, содан кейін түзілген $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ыдырайды, температураны 200°C дейін арттырады, никельді тұндырады және көміртегі оксидін шығарады да өндіріске қайтарылады: $\text{Ni} + \text{Ni} + 4\text{CO} \rightarrow \text{Ni}(\text{CO})_4 \uparrow \rightarrow \text{Ni} \downarrow + 4\text{CO}$.

Йодидті тазарту – металды йод буымен өндеуден тұрады, ол карбонилдік процеске ұқсас жоғары температурада ыдырайтын ұшқыш тұзды алады. Йодидті тазарту титанды тазарту үшін келесі реакциялар бойынша қолданылады:



Ликвидация балқыманың құрамдас бөліктерінің салқындатылған кезде ерігіштігін шектеуге негізделген, т.б. яғни, бастапқыда біртекті құрам бір-бірімен араласпайтын және тығыздығы әртүрлі екі фазаның түзілуімен гетерогенденеді. Қоспа фазалардың бірінде шоғырланған, оның бөлініп шығу дәрежесі фазалардың құрамымен ғана емес, сонымен бірге олардың толық бөлінуімен де анықталады.

Бағытты кристалдану біртекті балқымасы бар ыдысты пештің қыздырылған кеңістігінен біртіндеп және баяу шығаруды білдіреді. Бұл жағдайда кристалдану, ең алдымен, таза металда жүреді, ал қоспалар сұйық фазада қалады. Бұл монокристалдарды алу әдісінің негізі – балқымадан металды тарту.

Аймақтық балқу – арнайы жылжымалы индуктор арқылы жасалған тар балку аймағы салыстырмалы түрде ұзын құйма бойымен баяу қозғалатындықтан тұрады. Қоспалар сұйық фазамен тасымалданады және құйма соңында жинақталады.

Дистилляция – негізгі металдардың булары мен қоспаларының әртүрлі ұшқыштығына негізделген бір сатылы жоғары температуралы айдау. Дистилляциямен, мысалы, сәйкесінше 907 °C және 767 °C қайнау температурасы бар мырыш пен кадмий қоспаларынан тазартады.

Ректификация сонымен қатар металдардың қайнау температураларының айырмашылығына негізделген және булану мен конденсацияның бірнеше рет қайталануынан тұрады, бұл жақын қайнау температурасы бар компоненттерді бөлуге мүмкіндік береді.

Вакуумдау – бұл металл балқымасын өңдеу, оның бетінде вакуум жасаудан тұрады. Вакуумды өңдеу ректификацияның тиімділігін арттыру және металдан еріген газдарды бөліп шығару үшін қолданылады. Бұл әдістің әсер ету механизмі фазалық түрлену тепе-теңдігін булардың пайда болуына қарай ауыстырудан тұрады.

Инертті газдармен тазарту – вакуумдау сияқты металдан еріген газдарды жояды. Бұл жағдайда бұл әдістің әсер ету механизмі бірдей, яғни газсыздандыру еріген компоненттің сұйықтық үстіндегі парциалды қысымының төмендеуі нәтижесінде жүреді. Инертті газдармен үрлеу кезінде металл

көлемінен ерімейтін суспензияларды жою бір мезгілде коагуляция, флотация құбылыстары және көрінетін тұтқырлықтың төмендеуі есебінен қол жеткізіледі. Тазарту үшін көбінесе азот пен аргон қолданылады.

1.10. Негізгі металдарды өндіру сұлбасы

Алюминий өндірісінің схемасы.

Алюминий жер қыртысындағы көптігі бойынша элементтер арасында үшінші орында (құрамы – 8,8 %). Әртүрлі Al минералдарының көп санынан (250-ге жуық), корунд – Al_2O_3 , бемит – $AlOOH$, нефелин – $(Na, K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, гиббсит – $Al(OH)_3$, каолинит – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Өндірістік маңызға ие. Алюминий өндірісінің негізгі кен шикізаты боксит болып табылады. Бокситтегі алюминий оксидінің мөлшері $30 \div 70$ %, кремний диоксиді $0,5 \div 20$ %, темір оксиді $2 \div 50$ %. Боксит сапасының сипаттамасы кремний модулі деп аталатын Al_2O_3/SiO_2 қатынасы болып табылады. Өндеуді үнемді ету үшін ол кемінде 2,6 болуы керек.

Бокситтер нашар байытылады, сондықтан оларды бастапқы кезеңде өндеу процесі гидрометаллургиялық болып табылады және алюминий қосылыстарын кейіннен глиноземді алу үшін еритін күйге айналдырудан тұрады. Кейіннен глинозем криолит балқымасында электролиз процесімен өңделіп, алюминий металы алынады.

Алюминий тотығын Байер әдісімен (бай боксит үшін) немесе пісіру әдіспен (SiO_2 мөлшері 5 %-дан жоғары боксит үшін) алады. Алюминийдің ерігіш күйге ауысуы концентрлі натрий гидроксидінің алюминий тотығына әсер етуінен тұрады: $Al_2O_3 + 2NaOH = 2NaAlO_2 + H_2O$; темір оксидтері, кремний диоксидінің едәуір бөлігі және басқа бос жыныстар қатты қалдықта (шламда) қалады. Шаймалау (Байер бойынша) автоклавтарда 250° және 3 МПа дейін қысымда жүргізіледі. Шикізаттағы кремнеземнің мөлшері жоғары болса алдын ала каустикалық сода мен әктаспен пісіріледі. Бұл жағдайда ең соңында натрий алюминаты мен дикальций силикаты түзіледі: $Al_2O_3 + Na_2CO_3 = 2NaAlO_2 + CO_2$; $2CaCO_3 + SiO_2 = 2CaO \cdot SiO_2 + 2CO_2$.

Еріту атмосфералық қысымда және 70–80° С температурада (түзілу реакциялары пісіру кезінде орын алғандықтан), әдетте (дымқыл) ұнтақтаумен біріктіріледі. Алюминат ерітіндісін тұнбадан бөлу қоюландыру және сүзу арқылы жүзеге асырылады.

Декомпозиция – процесс кристаллизации глинозема. Для этого раствор разбавляют водой и охлаждают до 50–55 °С, в результате гидролиза ($\text{NaAlO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{NaOH}$) гидроксид алюминия выпадает в осадок. Обжиг – *кальцинацию* – проводят для удаления гидратной влаги при температуре 1200 °С в трубчатых печах: $2\text{Al}(\text{OH})_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \uparrow$. На 1 т глинозем расходуется, в зависимости от качества, от 2 до 3 т бокситов при степени извлечения от 82 до 88 %.

Бдырау – алюминий тотығының кристалдану процесі. Ол үшін ерітінді сумен сұйылтылады және 50–55° С дейін салқындатылады; гидролиз нәтижесінде ($\text{NaAlO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + \text{NaOH}$) алюминий гидроксиді тұнбаға түседі. Күйдіру - *кальцинация* – гидратталған ылғалды жою үшін 1200 °С температурада құбырлы пештерде жүргізіледі: $2\text{Al}(\text{OH})_3 = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \uparrow$. 1 тонна алюминий тотығы үшін сапасына қарай бөлініп алу дәрежесі 82-ден 88 % болғанда 2–3 т боксит жұмсалады.

Алюминийдің оттегіге жақындығы жоғары. Сондықтан криолиттегі балқытылған глиноземнің электролизі қолданылады – $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$. Криолит, өз кезегінде, флюоршпаттан алынады: $\text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + 2\text{HF} \uparrow$; $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HF} = \text{AlF}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HF} = 2\text{NaF} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. Алюминий тотығы криолит балқымасында ерігенде AlOF_2^- и Na^+ иондары түзіледі. Электролизді электр пештерінде – алюминий ванналарында, электролизерлерде жүргізеді. Катод – көміртекті материалдан жасалған ваннаның түбі; анод та көмір массасынан жасалған және процесте ол өздігінен жанады. Катодтық процесс: $3\text{AlOF}_2^- + 6e = 2\text{Al} \downarrow + \text{AlO}_3^{3-} + 6\text{F}^-$ немесе $\text{Al}^{3+} + 3e = 3\text{Al} \downarrow$. Анодтық процесс $3\text{AlOF}_2^- - 6e = 3\text{Al}^{3+} + 6\text{F}^- + 1,5\text{O}_2$ немесе $\text{O}^{2-} - 2e = 0,5\text{O}_2$. Анодта түзілген газ тәрізді оттегі анод тұратын көміртегімен бірден әрекеттеседі: $\text{C} + \text{O}_2 = n\text{CO}_2 + m\text{CO}$. Сонымен электролиз глиноземнің көміртегімен редукциялануымен жүреді: $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{C} = 2\text{Al} + \text{CO}_2 + \text{CO}$. Бұл мәлімдеме сонымен қатар негізгі шығын

материалдары анодтық электродтан тұратын глинозем мен көміртек болып табылады деген мағынада да дұрыс. Электролиз процесі үздіксіз жүреді. Процесс барысында балқымаға мезгіл-мезгіл алюминий тотығы қосылады және сұйық алюминий (тәулігіне бір рет) шығарылып отырады. 1 т алюминий үшін 2 т дейін алюминий тотығы, 0,6 т анод массасы, 50 кг криолит және басқа қоспалар және шамамен 15 МВт сағ электр энергиясы жұмсалады. Алюминийдің өзіндік құнында шикізат пен негізгі материалдар шамамен 50 %, ал электр энергиясы 30 % құрайды.

Алюминийді қоспалардан тазарту – сұйық металдың қабатын хлормен үрлеу арқылы жүзеге асырылады. Алынған қосылыстар бетіне қалқып шығады және бөлініп алынады.

Алюминий өндірісінің жалпы схемасы: **өлішемді оңтайландыру** - (нашар кендер үшін пісіру) - **сілтілеу** - **қоюландыру** - **сүзу** - **ыдырау** - **күйдіру** - **электролиз** - **тазарту**.

Мыс өндіру схемасы.

Мыс кені құрамында кемінде 0,5 % мыс бар кен ретінде анықталады. Мыс кендері көбінесе күрделі және құрамында никель, мырыш, қорғасын, алтын, күміс және т.б. металдар кездеседі. Өңделетін мыс кендерінің құрамында 0,5-тен 7 %-ға дейін мыс болады. Табиғи минералдарда мыс негізінен сульфидтер түрінде, аз мөлшерде оксидтер түрінде, сирек табиғи (бос) түрінде кездеседі. Бос жыныс құрамыны кальций, магний, алюминий, темір оксидтері, сонымен қатар кварц, пирит, кальций және магний карбонаттары бар әртүрлі силикаттардан тұрады.

Сульфидті минералдар нашар суланатын материалдар болып табылады, ал бос жыныс оксидтері өте жақсы ылғалданады. Сондықтан байыту әдісі ретінде флотация қолданылады. Алынған концентраттың құрамында 10–40 % мыс, 15–40 % күкірт, 5–30 % кремний диоксиді, 10–38 % жалпы темір, 2–10 % алюминий тотығы, 0,5–3 % ($\text{CaO} + \text{MgO}$) болады.

Өнеркәсіптік өндірісте мыс өндірудің екі әдісі қолданылады: пирометаллургиялық (әлемдік өндірістің 80 %-дан астамы) және гидрометаллургиялық (әлемдік өндірістің 18 %-ға дейіні). Мыс гидрометаллургиясы мыс минералдарын күкірт қышқылының, темір тұздарының ерітінділерінде ерітуге, одан кейін электролизге негізделген.

Мыстың пирометаллургиясы өзіндік ерекшеленеді – мыс автогендік редуциялау арқылы алынады: $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{S} = 6\text{Cu} + \text{SO}_2$. Осы реакцияның алдындағы барлық операциялар ең таза мыс сульфиді – штейн алу мақсатын көздейді. Штейнге балқыту алдында кедей және құрамында артық күкірт бар концентраттарды алдын ала күйдіріледі. Күйдіру алдында ұнтақ концентраттардан түйіршіктер алу үшін кесектеуге ұшырайды.

Штейнге балқытудың мәні әртүрлі тығыздықтағы екі балқыма – штейн ($\sim 4,5 \text{ т/м}^3$) және шлак (3 т/м^3) алу. Химиялық түрлену бос жыныстардың негізгі мөлшерінен құрамында мыс бар қосылыстарды бөлу болып табылады / м^3). Химиялық түрлендірулер күкірттің тотығу реакцияларының жүруінен тұрады: $\text{CuS} + 1,5\text{O}_2 = \text{CuO} + \text{SO}_2$; $2\text{CuS} + \text{O}_2 = \text{Cu}_2\text{S} + \text{SO}_2$; $2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CuS} = \text{Cu}_2\text{S} + 4\text{FeO} + \text{SO}_2$; $6\text{CuO} + 4\text{FeS} = 3\text{Cu}_2\text{S} + 4\text{FeO} + \text{SO}_2$; мыс оксидінің (шихтадағы немесе реакция барысында түзілген) мыс шалатотығына дейін ($4\text{CuO} = 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2$) ішінара диссоциациялануы; мыс оксиді мен темір сульфиді арасындағы орынбасу реакциясының кең тараған дамуы (темірге қарағанда мыста күкірттің жоғары жақындығына байланысты) – $\text{Cu}_2\text{O} + \text{FeS} = \text{Cu}_2\text{S} + \text{FeO}$. Алынған темір оксиді бос жыныстағы немесе қосылған кварциттегі кремнеземмен шлактанады. Шлақтың балку температурасын және тұтқырлығын төмендету үшін шихтаға аз мөлшерде әк (әктас) енгізіледі. Штейнге балқыту негізінен шахтада (концентратты балқыту алдында кесектеу керек) немесе шарпыма пештерде жүргізіледі; электр пештерінде, Ванюков пештерінде және аспалы балқыту пештерінде сирек балқытылады. Бұл бастапқы балқыту өнімі роштейн – мыс пен темір сульфидтерінің қорытпасы болып табылады.

Алынған роштейн конвертрлеу (бессемерлеу) процесімен өңделеді. Бұл жағдайда бірінші кезекте темір сульфидтері тотығады (бірінші период) және штейнде FeS жойылғанша, мыс оксиді түзілмейді. Алынған темір оксиді кремний қышқылымен шлак түзеді және ол жинақталған кезде конвертрден шығарылады. Бессемерлеу процесін таза жартылай күкіртті мыс – фاینштейн немесе ақ штейн алғанға дейін жүргізеді. Әрі қарай үрлеуден кейін құрамында 97–99 % Cu , 0,01–0,04 % Fe , 0,02–0,1 % S бар қаралы мыс алынады. Барлық асыл металдар, сонымен қатар никель, қалайы, сурьма және т.б. қаралы мыстың құрамына өтеді.

Қажетті тазалықтағы мысты алу үшін оны асыл металдарды алу кезінде оттық және электролиттік тазартуға ұшыратады. Оттық тазарту (шарпыма пештерде) зиянды қоспалардың тотығуына, олардың шлактарға және газдарға өтуіне негізделген. Алынған қызыл мыс құрамында негізінен асыл металдардан тұратын 0,2–0,8 % қоспалар бар. Қызыл мыс пластиналарға құйылады және электролизде анод ретінде пайдаланылады. Электролизді электролитте – күкірт қышқылы қосылған мыс сульфатының ерітіндісінде жүргізеді. Бағалы металдар шлам ретінде тұнбаға түседі. Бетіне мыс тұнған катодтар алынады, жуылады, қайта балқытылады және құймаларға құйылады. Анодтардың қалдықтары оттық тазартып балқыту процесіне қайтарылады.

Пирометаллургиялық мыс өндірісінің схемасы: ***өлішемді оңтайландыру – байыту (флотация) – (кесектеу, күйдіру) – штейнге балқыту – конвертрлеу (қаралы мыс өндірісі) – тазарту (оттық және электролиз).***

Никельді өндіру схемасы.

Никель өндіру үшін шикізат ретінде сульфидті және тотыққан кендер пайдаланылады. Кендегі никельдің «кесілген» мөлшері 0,7 % құрайды. Сульфидті кендерде мыс бар, сондықтан оларды мыс-никель кендер деп атайды.

Мыс-никельді штейн алу үшін сульфидті кендерді өңдеу схемасы мыс өндірісіне ұқсас. Белгілі бір қиындық мыс пен никель қосылыстарын бөлуде жатыр. Бұл үшін штейн баяу салқындатылады, әсіресе 1135-тен 575 ° С-қа дейінгі температура диапазонында, бұл мыс пен никель сульфидтерінің және металл фазасының кристалдануына мүмкіндік береді. Салқындағаннан кейін файнштейн (70 % мыс және 3,5–6 % никель) және никель концентраты (65–68 % никель және 2–4 % мыс) алу үшін ұсақталады және жоғары сілтілі ортада флотация процесімен өңделеді. Мыс концентраты белгілі әдістермен өңделеді, ал никель концентратын тотықтырып күйдіруге, электрлік редукциялап балқытуға ұшыратады, анодтарға қайта балқытады және электролиз немесе карбонил (Монда) әдісімен тазартады.

Тотыққан никель кенін өңдеу схемасы келесі операцияларды қамтиды: ***орташалалау - өлішемді оңтайландыру - кесектеу - штейнге сульфидтен балқыту - конвертрлеу (файнштейн алу) -***

ұнтақтау - тотықтырып күйдіру - редукция - түйіршіктеу - тазарту.

Тотыққан никель кендері құрамының өзгергіштігімен, ылғалдылығы жоғарымен, саздылығымен ерекшеленеді. Тотыққан никель рудаларын орташалау шахталық штейнге балқыту процесінде дұрыс шлак режимін қамтамасыз етеді. Кесектеу брикеттеу немесе агломерация арқылы жүзеге асырылады. Брикеттеу кезінде негізгі жыныстың сазы байланыстырғыш ретінде қызмет етеді. Штейнге балқыту шахталы пештерде жүргізіледі. Сульфидтеуші ретінде пирит (FeS_2) немесе гипс (CaSO_4) қолданылады. Алынған штейнде $\sim 20\% \text{ Ni}$, $\sim 20\% \text{ S}$, $\sim 60\% \text{ Fe}$ бар. Штейнге никельді бөліп алу дәрежесі шамамен 80% құрайды. Конвертрлеу арқылы темір бөлініп, шлаққа өтеді және құрамында $\sim 75\% \text{ Ni}$ және $\sim 20\% \text{ S}$ бар фاینштейн алынады. Ұнтақтаудан кейін фاینштейнді 2% шамасында қоспалары бар никель тотығын алу үшін қайнау қабаты және құбырлы пештерде күйдіреді. Алынған күйіндіде мыс қоспалары болған жағдайда хлорлап күйдіру және мыс хлоридін шаймалау арқылы тазарту жүзеге асырылады. Никельді доғалы пештерде кокспен редукциялайды, карбидті тотықтыру үшін балқыту соңында NiO қосады, алынған балқыма түйіршіктеледі немесе қалыптарға құйылады. Қаралы металл құрамында шамамен $99\% \text{ Ni}$ бар. Таза никель алу үшін оны электролиз немесе карбонил әдісімен тазартады.

Магний өндірісінің диаграммасы.

Магний алудың шикізаты карбонатты – магнезит, доломит және хлоридті – карналлит, бишофит – минералдар.

Ең кең тараған әдіс хлоридті электролиз. Ол үшін доломит пен магнезит $500\text{--}700\text{ }^\circ\text{C}$ температурада хлорланады: $2\text{MgO} + \text{C} + 2\text{Cl}_2 = 2\text{MgCl}_2 + \text{CO}_2 + 56,74 \text{ кДж}$; ал карналлит пен бишофит сусыздандырылады, содан кейін электр пешінде балқытылады. Электролит балқымасы электролизерге түседі. Магний редукцияланады және болат катодында қалқып шығады, ал графиттелген анодта хлор иондалады. Өзара әрекеттесуді болдырмау үшін анод катодтардан керамикалық қалқа арқылы бөлінеді, ал ваннаның өзі оқшауланады. Электродтардағы кернеу $4,5\text{--}6 \text{ В}$, қуат тұтыну $14\text{--}15 \text{ МВт*сағ/т}$ магний. Вакуумдық насоспен алынған магнийге флюстер қосып құймаларға қайта балқытылады. Алынған хлор өте улы газ ретінде жойылуы керек. Сондықтан ол карбонаттар

шикізаты ретінде пайдаланылған кезде хлорлауға қайтарылады. Табиғи магний хлоридтерін өңдеу кезінде артық хлорды арнайы әкелінген карбонаттарды хлорлау үшін немесе бір кәсіпорында магний, титан, алюминий өндірісін біріктіру арқылы пайдаланады. Жалпы схема: **күйдіру және хлорлау - электрлік балқыту (750–800 °С) - электролиз - сілтілі тазарту.**

Магний сонымен қатар келесі реакцияға сәйкес ферросилицийді қолданып, кремнийтермиялық әдіспен алынады: $2\text{MgO} + \text{FeSi} + \text{CaO} = 2\text{Mg}_\text{r} + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{Fe}$. Магнийдің редукциялануы жоғары вакуум жағдайында магнийдің қайнау температурасынан (1107°) – 1160–1170 °С асатын температурада термодинамикалық мүмкін болады. Буланған магний реакция аймағынан конденсаторға үздіксіз шығарылады, ал кремний диоксиді кальциймен байланысады. Бұл әдістің артықшылығы – арзан доломитті пайдалану болып табылады.

Титан өндірісінің диаграммасы.

Титан өндірісінің шикізаты ильменит ($\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$) және рутил (TiO_2) концентраттары болып табылады. Ильменит концентратын 70–80 % титан оксиді бар шойын мен шлак алу үшін электр пештерінде редукциялап балқытады. Шлакты ұсақтайды, бөледі, көмірмен және шайырмен араластырады, 800 °С-қа дейін ауа қатысынсыз қыздырып брикеттейді. Алынған брикеттерді хлораторларға – шахтаға, тұзға, қайнау қабатына тиейді. Хлорлау 900–1000 °С температурада хлорды фурмаларға беру арқылы жүзеге асырылады, ол жоғары көтеріліп, биіктігі 0,8–1,0 м реакция аймағында толығымен жұмсалады: $\text{TiO}_2 + 2\text{C} + 2\text{Cl}_2 = \text{TiCl}_4 + 2\text{CO}$. Титан төртхлориді бу түрінде алынады. Газға титаннан басқа да хлоридтер өтеді, олар ректификация арқылы бөлінеді. Титан 800–900 °С реакторларда хлоридтен магниймен редукцияланады: $\text{TiCl}_4 + 2\text{Mg}_\text{c} = \text{Ti}_\text{к} + 2\text{MgCl}_{2\text{c}}$. Қатты титан бөлшектері кеуек болады, магний хлориді кран тесігі арқылы шығарылады. Қалдық хлоридтер вакуумда дистилляция арқылы бөлініп шығарылады. Кеуек шығындалатын электроды бар вакуумды электр доғалы пеште қайта балқытылады.

Принциптік схема: **концентрат алу - брикеттеу - хлорлау - ректификация - магнийтермия - вакуумды дистилляция - қайта балқыту.**

2-БӨЛІМ

2.1. Темір кені және оны өндеуге дайындау

2.1.1. Қара металлургияның шикізат базасы

Жер қыртысында таралуы бойынша темір төртінші орында тұр (оттегі, кремний, алюминийден кейін). Темір кенорындарының ерекшелігі кендерді темірдің жеткілікті жоғары концентрациясы болып табылады – 40–65 % дейін.

Кен жеңіл байытылатындықтан, кеннің темір ретінде жіктелуі үшін темір мөлшері бойынша нақты төменгі шекара жоқ. Барлығы, өңдеу тиімділігін шарттайтын нақты шарттарға байланысты. Көптеген жағдайда темірге темір мөлшері («шекте» мөлшері) – кемінде 25 % болатын кенді жатқызады (Қашқанар кенорнында кен құрамында ~ 15 % темір).

Темір кені минералогиялық түрі бойынша төрт негізгі топқа бөлінеді: 1) гематит кені – кен минералы – гематит – Fe_2O_3 ; 2) магнетит кені – магнетит – Fe_3O_4 ; 3) қоңыр теміртас – гидратация дәрежесі әртүрлі темір гидрототықтары – $m\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$; 4) сидериттер – FeCO_3 . Кеннің өзге түрлері (мартит, жартылаймартит, титаномагнетит және т.б.) аталған түрлер арасында аралық орынға ие, немесе кен минералының кристалл торында өзге элементтер (металдар) қосындыларын қамтиды.

Темір кенінің бос жыныстары негізінен кремний, алюминий, кальций мен магний шала тотықтарынан тұрады. Қара металдар өндірісінде зиянды қоспалар, ең бірінші күкірт пен фосфор, сонымен қатар мышьяк болып табылады, олар металлбұйымдар сапасын нашарлатады – ыстық (S) және суық (P, As) күйінде беріктігін төмендетеді. Мырыш, қорғасын мен сілтілер темірде ерімейді, алайда пеш қалауына кері әсерін тигізеді, және өндірістің экономикалық тиімділігін төмендетеді. Сонымен қатар, процестің жүргізілуін қиындататын қажетсіз қоспаларға көп жағдайда, хром, титан, мыс жатады. Темір кенінің пайдалы қоспаларына, әсіресе оларды кешенді және тиімді өңдеу шарттарында марганец, ванадий, никель, кобальтті жатқызуға болады.

Темір кенорындары дүние жүзінің айтарлықтай барлық бұрышында кездеседі. Ауқымды барланған және расталған темір кені қорына Ресей, Бразилия, Австралия, Украина, Қытай, Канада, АҚШ, Үндістан, Гвинея, ОАР ие. Ресейде Солтүстік Еуропа бөлігінде (Ковдорск, Оленегорск, Костомукше), орталықта – Курск магнит аномалиясы (Лебединское, Михайловск, Яковлев), Уралда (Солт.-Ивдел, Тагило-Кушвин, Қашқанар, Бакал, Орск-Халилов), Сібірде (Таулы Шория, Хакасия, Коршуновское, Нижне-Ангарское), Якутияда – Таежныйда орналасқан әлемдік қордың дерліктей 17 % жинақталған. Ірі кен өндірушілері, млн т/жыл: Бразилия, Қытай, Ресей, Австралия – 85–100 %-нан; Украина, АҚШ – 50–75; Үндістан, Канада – шамамен 40; ОАР, Швеция, Қазақстан, Либерия – 15–25; Венесуэла, Мавритания – 10 деңгейінде. Ірі тұтынушылары: Қытай, Ресей, АҚШ, Жапония, Украина, Германия, Ұлыбритания, Қазақстан, Италия, Франция.

2.1.2. Темір кенін балқытуға дайындау

Қазіргі уақытта айтарлықтай барлық алынатын кен, даярлау операцияларының (ұсақтау, елеу, ұнтақтау, жіктеу) кешенінен кейін байытуға ұшырайды. Қолданылатын байыту әдістері: флотация, шаю, күйдіру, гравитациялық, электромагниттік. Флотация, әдістің әмбебаптылығына қарамастан, темір кенін байыту үшін сирек қолданылады. Бұл, көп жағдайда бос жыныспен темірқұрамды минералдардың дымқылданғыштығына айырмашылық беру үшін кенді алдын ала дайындау қажеттілігімен байланысты. Шаю кеннен балшықты бос жынысты бөлу үшін және тікелей металлургиялық пештерде пайдалану мақсатында «шайылған» кесекті кен алу үшін қолданылады. Күйдіру, көмірқышқыл (сидерит) мен гидратты ылғалдылықты (бурые железняки) жою есебінен, кенде темір концентрациясын арттыру үшін, сонымен қатар темір қосылыстарының магниттік қабылдағыштығын ұлғайту үшін (магнетиттік күйдіру – магниттік сепарацияның алдын ала сатысы) пайдаланылады. Гравитациялық әдістер жиі магнетиттік

әдіспен бірге пайдаланылады, мысалы, қалдықтардан темірді толық бөліп алу үшін.

Темір кенін байытудың кеңінен таралған әдісі, әрине электромагниттік, себебі ол темір мен оның бірқатар қосындыларының бірегей магниттік қасиеттеріне негізделген. Тәжірибеде магниттік сепарацияны екі нұсқа бойынша ұйымдастырады: құрғақ (ҚМС) және дымқыл (ДМС). ҚМС кезінде материал тек ұсақтауға, елеуге және тікелей сепарацияға ұшырайды, ұнтақтау және жіктеу сатылары болмайды. Ірілігі шамамен 0–12 мм ҚМС концентратында темір 50 % деңгейінде кездеседі, және ылғалдылығы 3 % деңгейінде болады. Не агломерациялық шихта компоненті ретінде (сонымен қатар, болат балқыту процестерінде қатты тотықтырғыш ретінде, домнадан тыс темір алудың кейбір процестеріне шикізат ретінде пайдаланылады), не дымқыл магниттік сепарация үшін өндірістік өнім ретінде пайдаланылады. ДМС концентраты даярлау операцияларының барлық циклінен өтеді, құрамында әдетте 60 % аса темір, 10 % деңгейінде ылғал болады, ірілігі 0,1 мм дейін. ДМС концентраты ұнтақтау дәрежесі мен ылғалдылығы жоғары болғандықтан, қара металл алудың дәстүрлі технологиясында тікелей пайдалануға жарамсыз және кесектелген өнім – негізінен, агломерат және жентек алудың негізі болып табылады.

Қара металлургияда кесектеудің негізгі процестері агломерат пен күйдірілген жентектер өндірісі болып табылады. Заманауи металлургиялық агрегаттар (ең бастысы домна пештерінде) шихтасында шикі кесекті кен пайдаланылуы, орта есеппен, 2 % артық болмайды, агломерат үлесі шамамен 70 %, жентектер үлесі шамамен 27 % құрайды. Темір кенін кесектеуде брикеттеу процесі, күйдірілмеген жентектер алу мен келешекті *HPS* процесі шекті таралған.

2.2. Домна өндірісі

Кеннен металл алудың аса кеңінен таралған тәсілі домна процесі болып табылады. Редукциялау процестерінің жіктелуі бойынша домна процесі сұйық фазада редукциялау процестеріне, оның ішінде шахтада балқытуға жатады. Процестің мақсаты

шойын – темір мен мөлшері шамамен 4 % болатын көміртегі қорытпасын алу болып табылады. Шойында процесс барысында ілеспелі редукцияланатын және металда еритін өзге элементтер қоспалары кездеседі: Si, Mn, S, P және т.б. Домна процесінің мәні темірді шала тотықтардан металды күйге дейін редукциялау мен балқыту арқылы және шойын мен шлак тығыздықтарының айырмасы (2,5 есе) есебінен металды бос жыныстан бөлу болып келеді. Процесс конструкциясы басқаларға ұқсамайтын, үздіксіз жұмыс істейтін агрегатта – домна пешінде жүзеге асырылады, оның жұмыс істеу принципі жоғарыдан шихта материалдарын тиеуге және астынан үрлеу беруге негізделген, нәтижесінде карама-қарсы қозғалыс жүреді.

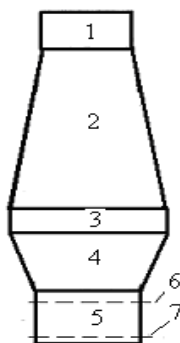
Заманауи домна процесінің кірістері (процесс тәсілдемесінің қағидаларына сәйкес) теміркенінің кесекті материалынан (агломерат, жентектер, кен), кокстан, кейбір қоспалардан және комбинирленген қатты қыздырылған үрлеуден тұратын шихта болып табылады. Сандық қатынаста алынатын бір тонна өңделмелі шойынға қажетті материалдар шығыны шамамен: шихтаның темір кенді бөлігі – 1,6 – 1,8 т; кокс – 0,5 т, үрлеу – 1,5 – 2 т құрайды. Процесс шығыстары шойын, шлак, домна газы және колошник шаңы болып табылады. Шлактың меншікті (1 тонна шойынға) жуықталған шығуы 0,5 т дейін, газ – 2,5 – 3 т, шаң (шламдармен бірге) шамамен 0,07 т.

Түрленулер мәні редукциялаудың реттік-параллель процестері, отын, жануы, жылуалмасуы, балқуы мен балқыту өнімдерінің бөлінуі болып келеді.

2.2.1. Домна пешінің конструкциясы

Домна пеші қимасы айналмалы (домалақ) шахталы типті агрегат болып келеді. Отқатөзімді футеровкамен шектелген, жұмысшы кеңістіктің ішкі бейнесі домна пешінің кескіні деп аталады. Кескін (2.1-сурет) бес құрамдас бөліктен тұрады (ретімен жоғарыдан төмен қарай): *пеш мойны* (1), *шахта* (2), *буландырғыш* (3), *сағалар* (4) және *көрігі* (5). Пеш мойны – пештің жоғарғы цилиндрлік бөлігі, оған шихта материалдары түседі. Пеш мойны шамот кірпішпен футерленеді және қосымша

ішкі жағынан, болат тақтатастармен (сегменттер) соққы және ұнтақтау әрекетінен қорғалады. Шахта – пеш мойны мен буландырғыш арасында орналасқан, қиық конус түрінде көлемі бойынша пештің ауқымды бөлігі. Буландырғыш – биіктігі төмен цилиндр пішінді пештің аса кең бөлігі. Сағалар аударылған қиық конус болып келеді. көрік – жоғарғы бөлігінде айналасы бойымен бір деңгейде біркелкі орналасқан (6) ауа фурмаларымен (пеш көлеміне тәуелді 10–40 дана), ал төменгі бөлігінде – шойын мен шлақты шығару (7 – тесіктер деңгейі) үшін аталмыш металлқабылдағыштармен, тесіктермен (1–4 дейін) жабдықталған пештің төменгі цилиндрлік бөлігі. Домна пешінің кескіні төменде *түппен* – көрік табанымен шектелген. Домна пеші іргетасқа тіреледі. Іргетасы жерүсті бөлігінен – *түбірінен* және жерасты – *табанынан* тұрады. Сыртынан домна пеші қалыңдығы 30–50 мм болат қаптамамен оралған. Қалауы мен қаптамасы арасында тоңазытқыштар орналасады, сонымен қатар отқа төзімді ұнтақтармен толтырылатын өтемді (температуралық кеңеюден) саңылау қалдырады.

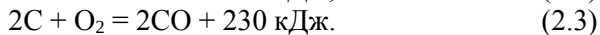
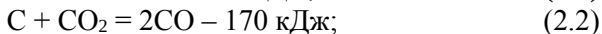


2.1-сурет. Домна пешінің кескіні

2.2.2. Домна процесінің негізгі қағидалары

Отын жануы және редукциялау газдарының түзілуі көрікте жүзеге асырылады, мұнда екі ағын кездеседі: фурма арқылы сырттан түсетін ауамен (оттегімен байытылған және

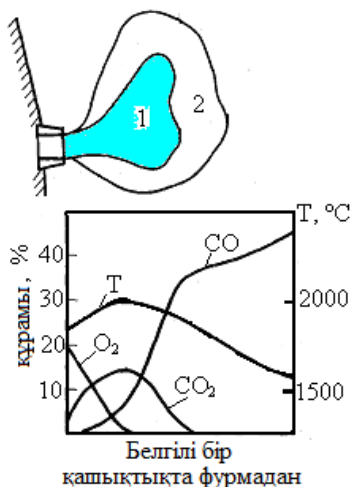
қыздырылған) үрлеу және пештің жоғарғы горизонттарынан түсетін түрі өзгерген шихта материалдары, себебі олар редуциялау-жылумен өндеуге ұшырады. Кокс домна процесінде бірнеше функцияларды орындайды және жылу көзі (отын), редуционер, шихта бағанының қопсытқышы болып табылады, сүзу саптамаларының кездесуін және редуциялау газдарының алынуын қамтамасыз етеді. Көріктен пеш мойнына қозғалуына қарай кокс, тек ылғал мен ұшқыштардан босап, және қыздырылып, аз өзгеріске ұшырайды. Шихтада кездесетін кокс көрікте орналасады және кокс саптамасын түзе отырып, көрік көлемінің бір бөлігін алады. Кокс саптамасы үрлеу оттегісімен әрекеттесе отырып, үнемі шығындалады және жоғарыдан қыздырылған кокстың жаңа мөлшерлемесімен, оның газдануынан босаған орынға қайта толтырылады. Кокс, фурма аймағына түсе отырып, үрлеу ағынының кинетикалық энергиясының әсерінен циркуляция зонасын түзеді, яғни бірнеше қашықтыққа лақтырылады да, түзілген бос орынға қайтарылады. Домна пешінің фурмасында кокс құрамындағы көміртегі жануы келесі негізгі реакциялар бойынша өтеді¹:



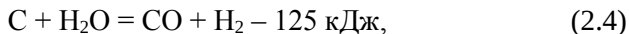
Кокс жануы – процесс гетерогенді және қатты фаза мен газ фазасын бөлу шекарасында өтеді. Оттегі, қатты отын бетінде адсорбциялана отырып, көміртегімен бірге құрамы айнымалы кешендер – C_mO_n түзеді, ары қарай CO және CO_2 ыдырайды да, газ фазасына өте отырып, десорбцияланады. Көміртегі монототығы бос оттегі кездескенде бірден қос тотыққа дейін тотығады, оған қоса CO_2 молекулалары кокспен кездесе отырып, CO молекулаларына түрленеді. Домна пешінде әрбір фурмада жану процесінің өту ретін

¹Бұдан әрі реакциялардың жылу эффектілері (кДж/моль) шамамен бүтін мәндерде берілген.

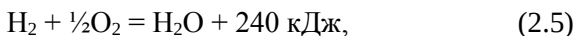
сипаттайтын зоналар түзіледі (2.2-сурет). Газ құрамы бастапқы үрлеу көрсеткіштерімен фурманың аузында анықталады. Фурмадан жойылуына қарай оттегі мөлшері үздіксіз азаяды, ал көміртегі қос тотығы ұлғаяды. CO_2 максимум концентрациясына газ фазасынан бос оттегі толық жойылғаннан кейін жеткізіледі. CO_2 максималды мөлшеріне жану ошағының максималды температурасы сәйкес келеді. Ары қарай CO_2 мөлшері үздіксіз төмендейді және белгілі бір қашықтықта (фурмадан) нөлге жетеді. Газ фазасынан CO_2 толық жойылуы тотықтырғыш фурма зонасының өлшемдерін анықтайды, осылайша ол екі бөліктен – оттекті (1) және көмірқышқыл (2) зоналарынан тұрады. Көміртегі монототығы газ фазасында фурмадан біршама алшақтағаннан кейін туындайды және оның концентрациясы пеш осіне қарай бағытта жоғарылайды. Тотықтыру зонасынан тыс газ фазасында көміртегі тек CO түрінде кездеседі, демек, домна пешінің фурмасында кокс жанудың соңғы өнімі тек көміртегі монототығы болып табылады. Бұл кезде оның мөлшері, темір шала тотығының редуциялану реакциясының өтуі есебінен, теориялық мөлшерден жоғары. Қалыптасқан көрік газы үш компоненттен тұрады: көміртегі монототығы (35–45 %), азот (55–60 %) пен сутегі (1–10 %). Домна пешінде сутегі келесі реакция бойынша түзіледі:



2.2-сурет. Фурмалық зона



ауаның табиғи ылғалдылығы есебінен, сонымен қатар *комбинирленген* үрлеу қолдану нәтижесінде. Комбинирленген үрлеу – пешке берілетін тұрақты шамаға дейін ылғалдандырылған және отын қоспалары (табиғи газ, мазут, көмір шаңы) бар оттегімен байытылған ауа. Отын қоспаларын үрлеу кезінде олардың тотығу процесі фурма каналында басталады, сондықтан аузындағы оттегі мөлшері бастапқы үрлеумен салыстырғанда төмен. Қоспаларда кездесетін сутегі су буының түзілуімен жанады:



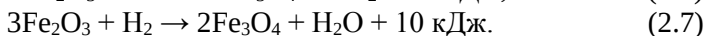
ол тотықтыру зонасында кокс көміртегісімен алдыңғы реакция бойынша әрекеттеседі де, қайтадан сутегі, сонымен қатар көміртегі шалатотығын түзеді.

Айта кету керек, сандық қатынаста түзілетін көрік газдарының көлемі үрлеу көлемінен, кемінде үрлеудегі оттегі мөлшерінің көлеміне артық.

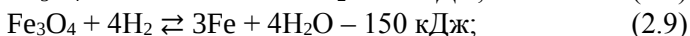
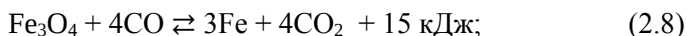
Процесс барысында газдардың түрленуі. Газ көріктен пеш мойнына қозғалған сайын, оның құрамы мен температурасы үздіксіз өзгереді. Жылуды шихтаға беру есебінен температура пеш мойнында шамамен 2000 °С бастап пештен шығуы кезінде 200–300 °С дейін төмендейді. Сәйкесінше олардың көлемі азаяды. Газ құрамы оның редуциялану қабілеттілігін жүзеге асыру нәтижесінде, яғни темір мен кейбір өзге металл тотықтарының газ құрамында кездесетін көміртегі монототтығымен және сутегімен редуциялану реакциясының өтуі есебінен өзгереді. Газ құрамында келесі жаңа компоненттер туындайды (CO, H₂, N₂ басқа): H₂O, CO₂. Домна пешінен шығатын (мойындық) газдарының құрамы шамамен келесі сандық қатынаста көрсетіледі, %: N₂ – 40; CO – 26; CO₂ – 20; H₂ – 6; H₂O – 8.

Редуциялау процестері және процесс барысында шихта түрленуі. Шихта домна пешінің мойындығына түскеннен кейін, ол редуциялау қабілетіне ие ыстық домна газының әсеріне

ұшырайды. Колошникте (пеш мойны) шихта компоненттерінде кездесетін гигроскопиялық (100 °C) және гидраттық (~ 200 °C) ылғалдың қарқынды жойылуы жүреді. Шахтаның жоғарғы бөлігінде, 300–600 °C температура аралығында темірдің газ құрамдастарымен ретпен (жоғары тотығу дәрежесінен нөлге дейін) редукциялану процестері келесі реакциялар бойынша дамиды:



Берілген реакциялар қайтымсыз, ал түзілетін магнетиттің (Fe_3O_4) бір бөлігі берілген облыста (яғни 400–570 °C температура аралығында) металды темірге дейін редукциялануы мүмкін:



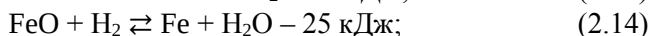
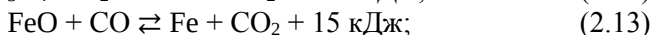
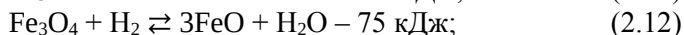
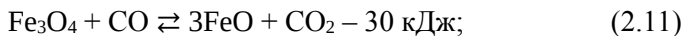
себебі 570 °C төмен температурада темір шала тотығы тұрақсыз. Бұл реакциялар қайтымды және металды күйге дейін толық редукциялануы газ фазасының құрамымен шектеледі.

Шахтаның жоғарғы бөлігінде темір, марганец, магний карбонаттарының ыдырауы жүруі мүмкін (CaCO_3 басқа, оның химиялық қайнау температурасы 900 °C жоғары, сондықтан ол ауқымды жылу тұтынуымен төменгі горизонттарда ыдырайды)

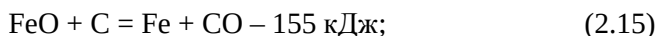


алайда домнада балқыту жүргізудің заманауи шарттарында декарбонизация процесі, дегидратация және буландыру процестері тәрізді өзектілігін жоғалтты, бұл дайындалған кесектелген шикізат пен коксты құрғақтай сөндіру жұмыстарына байланысты.

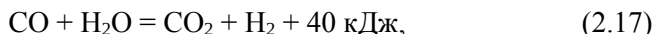
Шихта материалдарын түсіру және 600 °C жоғары қыздырған сайын, құрамында Fe_2O_3 болмайды және темірдің ары қарай газбен редукциясы келесі реакциялар бойынша өтеді:



олардың өту мүмкіндігі балқу температурасымен шектеледі. Осылайша, домна пешінің шахтасында темір редукиясы екі сұлбамен жүзеге асырылуы мүмкін: 570 °С төмен температурада – $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$; 570 °С жоғары температурада (және ~ 1000 °С дейін) – $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$. Орташа температурада (400–600 °С) шахтада жаңа редукияланған темір қатысында $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$ реакциясы жүреді. Бөлінген күйелі көміртегі аса жоғары температураларда (500–700 °С) редукиялау мен карбид түзу процестеріне қатысады:



810 °С төмен температурада сулы газ реакциясы термодинамикалық тұрғыдан мүмкін



ал түзілетін сутегі темір тотықтарымен әрекеттесе отырып, су буын түзеді, олар қайтадан көміртегі монототығымен өзара әрекеттеседі.

Шахтада немесе «кұрғақ» зонада темір 70–80 %-ға редукияланады, ал оның толық редукиялануы 1000 °С жоғары температурада, пештің төменгі бөліктерінде – сағалар мен көрікте балқыманың кокс көміртегімен әрекеттесуі нәтижесінде аяқталады. Темір тотығының тек көміртегімен редукиялану реакцияларын, газ тәрізді редукионерлермен (CO , H_2) *жанама* редукиясына қарағанда *тікелей* редукиялану деп атайды. Олар ауқымды жылу тұтынумен жүреді, және сондықтан олардың өтуін минимизациялауға ұмтылу қажет.

Домна пешіне шихтамен бірге сөзсіз түсетін элементтердің тәртібі, жалпы айтқанда оттегіге жақындығымен немесе

металдардың кернеу қатарында темірге қатысты алатын орнымен сипатталады. Келесі нұсқалар болуы мүмкін:

- элементтер (P, Ni, Cu, Co, As) толығымен редуцияланады және ерітінді, карбид немесе темірмен қосылыстар түзе отырып, шойын құрамына кіреді;

- элементтер толық редуцияланады, алайда аса жоғары тығыздығына (Pb, Bi, Ag, Au) немесе төмен қайнау температурасына (Zn, Cd) байланысты шойын құрамына кірмейді;

- элементтер толық редуцияланбайды (Mn, Si, V, Cr, Ti) және қайсыбір дәрежеде шойын мен шлак арасында таралады;

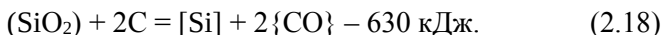
- элементтер (Ca, Mg, өзге сілтілі-жер металдар, Al, B) редуцияланбайды және тотықтар түрінде толығымен шлакқа өтеді;

- сілтілі металл тотықтары редуцияланбайды, алайда бу түзілу температурасы төмен болғандықтан, жұмысшы кеңістікте циркуляциялайды, біртіндеп жиналады және футеровкаға шөгеді.

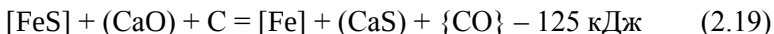
Күкірт редуциялау атмосферасында металдармен, оның ішінде темірмен сульфидтер түзеді, олар шойын мен шлак арасында таралады, ал күкірттің бір бөлігі H_2S түрінде газбен әкетіледі. Нақты шарттарда шойынға 5 % кем күкірт (түсуіне байланысты) өтеді, шлакқа ~ 90 %, газға ~ 5 %.

Шихта материалдарының балқуы белгілі бір температура аралығында жүзеге асырылады. Буландырғышта 1000 °C жоғары температурада, материал иілгіш-тұтқырлы күйде болады және мұнда шихтаның бос жынысынан сұйық шлақтың түзілуі басталады. Шлактың балқу температурасының төмендеуіне әлі редуцияланбаған темір мен марганец тотықтары әсер етеді. Төмен ағып бара жатқан шлакта жоғарылайтын температура (1100–1500 °C дейін) әсерінен біртіндеп барлық бос жыныс, ал кокс жанғаннан кейін оның күлі де балқиды. Жоғарыда көрсетілгендей, жаңа редуцияланған темір қатты күйінде айқын көміртектенеді. Көміртектенуіне қарай, оның балқу температурасы төмендейді. Құрамында шамамен 4 % көміртегі және ~ 1–4 % қоспалар (Si, Mn, S, P және т.б.) болатын көміртектенген темір 1130–1150 °C температурада балқиды және шойын тамшылары түрінде көрікке ағады. Шойын мен шлақтың қорытынды құрамы, сағалар мен көрікте, сонымен қатар шойын

тамшыларын шлак қабаты арқылы сүзу кезінде көріктің төменгі бөлігі – металлқабылдағышта балқытудың сұйық өнімдерінің жалынды кокспен әрекеттесуінен кейін қалыптасады. Сағалар мен көрікте кокс пен шойын көміртегісімен шойын құрамына кіретін, қиын редукцияланатын элементтердің (Si, Mn, V) негізгі үлесі шлакта еріген өз тотықтарынан редукцияланады, мысалы:



Берілген аймақта шойынның десульфурациясы келесі реакция бойынша өтеді



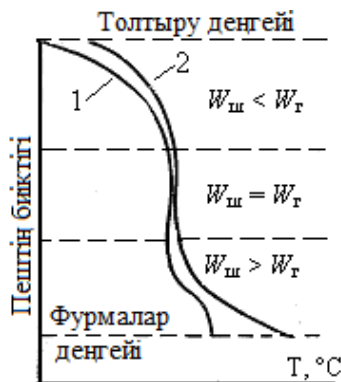
Көрікте шойын мен шлак, тығыздықтары әртүрлі болғандықтан араласпайтын қабаттарға бөлінеді. Шойын түбінде, ал шлак тікелей оның үстінде орналасады, бұл үрлеумен мүмкін болатын шойынның тотығуынан қорғайды.

Домна пешінде жылуалмасу. Домна пешінде жылуалмасу газ бен шихтаның қарсы ағынында жүреді. Кокс пен отын қоспаларын жағудан пеш горнында түзілетін газ, шамамен 2000 °С температурасымен жоғары көтеріледі және қарама-қарсы шихта материалдарымен әрекеттесуге түседі. Бұл кезде пештің төменгі бөлігінде газ жылуы материалдарды қыздырудан бөлек, эндотермиялық реакциялардың (мәселен, тікелей редукциялау) жылулық қажеттіліктерін өтеу үшін және фазалық түрленуге (балқыту) шығындалады.

Жылуалмасу қарқындылығын бағалау үшін *сулық балама* түсінігін пайдаланады. *Сулық балама* немесе ағынның *сулық саны* – бұл ағын шығынының (G) ағынның заттық жылусыйымдылығына (C) көбейтіндісіне тең ағынның жылусыйымдылығы (W):

$$W = G \cdot C. \quad (2.20)$$

Домна пешінде екі ағын (шихта мен газ) өзінің сулы сандарымен сипатталады: $W_{\text{ш}}$ және $W_{\text{г}}$. Ағын жылусыйымдылығының қатынасының үш нұсқасы бар және барлығының домна пешінде өз орны бар (2.3-сурет).



2.3-сурет. Домнаның жылуалмасу сұлбасы
1 – шихта температурасы; 2 – газ температурасы;

1. $W_{\text{ш}} < W_{\text{г}}$ немесе $m < 1$, егер $m = W_{\text{ш}} / W_{\text{г}}$ – қарқынды жылуалмасудың жоғарғы сатысы, мұнда газ ағынының жылу мөлшері үнемі артық болады және сондықтан түсетін шихта температурасына дейін суымайды; бұл нұсқа домна пешінің жоғарғы бөлігінің (колошник және шахтаның жоғарғы бөлігі) жылулық жұмысын ерекшелейді;

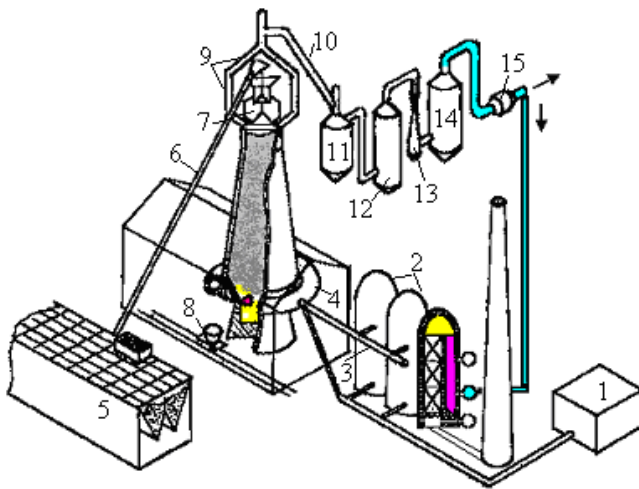
2. $W_{\text{ш}} \approx W_{\text{г}}$ немесе $m \approx 1$ – баялатылған жылуалмасудың «бос» (резервтік) аймағы, мұнда жылуберу пассивті жүзеге асырылады, бір ағынның жылу мөлшерінің өзгеруі, екінші ағынның жылу мөлшерін сондай шамаға өзгертеді (яғни газ ағынының $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа суытылуы шихта ағынының $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа қыздырылуына әкеледі); берілген нұсқа домна пешінің ортаңғы бөлігіне тән (шахтаның төменгі бөлігі және булау);

3. $W_{\text{ш}} > W_{\text{г}}$ немесе $m > 1$ – қарқынды жылуалмасудың төменгі сатысы, мұнда газдар түсетін шихта температурасына дейін суиды, ал газ ағынының жылуы бастапқы газ температурасына дейін шихтаны қыздыру үшін жеткіліксіз; бұл нұсқамен домна пешінің төменгі бөлігінің (сағалар, көріктің жоғарғы бөлігі) жылулық жұмысы сипатталады.

Жалпы, қарқынды жылуалмасудың екі зонасы болғандықтан, домна пеші отын жылуын пайдаланудың жоғары дәрежесімен ерекшеленеді. Жылудың пайдалы әсер коэффициенті 80% жоғары болады.

2.2.3. Пеш жұмысы және негізгі жабдықтар

Қолданыстағы пеш (2.4-сурет) материалдармен және газбен толтырылған, герметизацияланған және қысыммен тура. Ұрлеу ауа ұрлеу машиналарымен (1) өндіріледі, оттегімен байытылады, дымқылданады және ауа жылытқышқа (2) түседі, мұнда 1000 °С жоғары температураға дейін қыздырылады. Ауа жылытқыш регенерациялы типті жылуалмастырғыш болып келеді, яғни ішкі саптаманың қыздыру және суыту режимдерімен кезектесіп жұмыс істейді. Әрбір пеш 3–4 ауа жылытқыш кешенінен тұрады, олардың бірі ұрлеумен тұрады (саптамамен жиналған жылуды ауаға береді), ал қалғаны саптаманы қыздырады. Ауа жылытқыш саптамаларын қыздыру үшін қолданылатын отын, домна пешінен шығатын, кейде табиғи немесе кокс газының қоспасымен, колошник газы болып келеді.



2.4-сурет. Домна пешінің кешені

Пеш айналасындағы тікелей (3) және сакиналы (4) ауа құбыры бойымен қыздырылған ұрлеу фурмаларға түседі, оған қосымша отын қоспалары (табиғи газ, мазут, көмір шаңы) берілуі мүмкін.

Домна шихтаның компоненттерін тікелей пеш маңайында қабылдау, әдетте бункер эстакадасында (5) жүзеге асырылады. Бункерлік эстакада жедел қор құру, орташаландыру, тиеу-түсіру жұмыстарын механизациялау үшін арналған және бункерлер кешені болып келеді. Шихтаның әрбір компоненті бункерлерде басқалардан бөлек орналасады және қатаң пропорциямен мөлшерленеді. Бункер эстакадасынан пеш колошникіне материалдардың жеткізілуі мөлшерлеу құрылғылары, еңіс көтергіш (6) және төсемелі колошник құрылғысы (7) арқылы жүзеге асырылады. Шихтаның мөлшерленуін әртүрлі тәсілдермен ұйымдастыруға болады. Әдетте ол, материал бөлігін вагон-таразылармен бункерден жинау арқылы жүреді, олар бункер асты кеңістігінен еңіс көтергішіне дейін, немесе еңіс көтергіштің төменгі бөлігінің үстінде орналасқан таразылық воронкамен тасымалдаушы арқылы жылжиды. Еңіс көтергіш рельстер төселген көпірден және екі *скиптен* – өзі түсіретін вагонеткалардан тұрады. Кейбір домна пештерінде материалдардың колошникке көтерілуі көлбеу тасымалдаушымен жүзеге асырылады. Төсемелі колошник құрылғысы шихтаны колошникке ретпен төсеу үшін, сонымен қатар домна газының атмосфераға шығуын алдын алу үшін арналған. Домна пештерінде төсемелі құрылғылардың әртүрлі конструкциялары пайдаланылады, олардың ішінде аса кеңінен таралған екі түрді – екі конусты төсеме аппаратын және науалық шихта таратқышын бөліп көрсетуге болады. Екі конусты аппарат еңіс көтергішінен түсетін материалды қабылдау воронкасынан, колошниктің берілген секторына материалдың берілуін қамтамасыз ететін айналмалы шихта таратқышынан, кіші және үлкен конустан тұрады. Соңғы уақытта екі конусты төсемелі аппараты конуссыз төсеме құрылғыларымен (КТҚ) тұтастай алмастырылады. Науалы типті КТҚ қабылдау воронкасынан, жоғарғы және төменгі газ нығыздаушы клапандары бар екі бункерден және пеш кеңістігінде төсеме деңгейінен жоғары орналасқан айналмалы науадан тұрады.

Теміркені шихтасы, кокс және қоспалар берілген қатынаспен, белгілі бір мөлшерлемемен – *берумен*, мерзімді түрде (5–10 мин кейін) – шихта бағаны түскен сайын колошникке

түседі. Кезекті беру түсудің дабылы төсеме деңгейімен орнатылатын, материалдың аз шамаға түсуі болып келеді. Шихта бағанының түсуі, үздіксіз кокс жану, шойын және шлак түзілуімен материалдардың балқу процестерінің салдарынан жүреді. Көрікте балқытудың сұйық өнімдері жиналған сайын, оларды астаулар арқылы пештен құю орнына – домна маңы алаңына шығарады. Шойын астауларын бурмашиналарымен ашады, олар астау массасында канал шығарады. Шойын, содан кейін шлак көріктен астау каналы бойымен бас науаға түседі, мұнда олардың қорытынды өзара бөлінуі жүреді. Бас науа пешке карама-қарсы бөлігінде скимерлі бөлу тақтасымен жабдықталған, ол төменгі саңылау арқылы шойынды өткізеді де шлакты ұстап тұрады, және оны бүйір арнасына қарай бағыттайды. Шығару аяқталғаннан кейін астауды электрзеңбірек көмегімен арнайы массамен бітейді. Шығару мерзімділігі әдетте шамамен екі сағат құрайды. Шойын мен шлак құю орнынан шөміштерге (8) түседі және сұйық түрінде мақсаты бойынша жөнелтіледі.

Құрамында ауқымды мөлшерде шаң болатын домна (колошник) газы пеш күмбезінде (төсеме құрылғысы сүйенетін, қаптаманың жоғарғы бөлігі) орналасқан 4 саңылау арқылы пештен шығады. Сыртқы жағынан күмбезге газ өткізгіштер (9) қосылған, олар алдымен симметриялық жұппен, одан кейін бір газ құбырына (10) бірігеді. Газ құбыры боймен газ шаң ұстағышқа (11) түседі, мұнда құрғақ гравитация әдісімен оны шаңнан тазалаудың бірінші сатысы жүреді. Газдың ары қарай аса нәзік тазалануы скрубберде (12), Вентури құбырларында (13), электр сүзгіштерде (14), дроссель тобында (15) жүргізіледі, соңғысының негізгі міндеті пештің жұмысшы көлемінде (колошник астындағы қысым) жоғары қысым құру және ұстап тұру болып келеді. Шаңнан тазартылған және сусызданған газ ауа қыздырғыштарында отын ретінде және зауыт қажеттіліктерінде пайдаланылады. Шаң мен шламдар кесектеуге жіберіледі.

2.3. Темір алудың домнадан тыс тәсілдері

Өнімділігі жоғары жеткілікті тиімді агрегат ретінде домна пешінің қазіргі уақытта күрделі бәсекелестері жоқ және көз жетерлік болашақта шойын өндірісінің негізгі агрегаты болып қалады. Алайда домна өндірісінің келесі кемшіліктері бар: кокс пен даярланған темір кені шикізатын пайдалану қажеттілігі. Бұл металлургиялық циклде байыту, кокс-химиялық және агломерация өндірістерінің кездесуін айқындайды. Дүние жүзінде кокстелетін тас көмірдің жетіспеушілігі байқалуда (көптеген мемлекеттерде ол тіптен жоқ). Жыл сайын кокстелетін көмір алынуы қымбаттап келе жатыр – олардың негізгі массасы шахталы тәсілмен алынады, бұл кезде шахталар тереңдігі 1 км және одан жоғары болады. Егер 2000 ж. дейін кокстелетін көмір құны \$40/т болса, онда 2004 ж. ол ~ \$60/т құрады, ал 2005 ж. ~ \$100/т. Металлургиялық циклді толық зауыттарда домна цехында біріншілей энерготасымалдағыштар шығыны, барлық өнделімдердің жалпы шығынының 70 % құрайды. Агломерациялық және кокс-химиялық өндірістер экологиялық жағдайды күрделі нашарлататыны аса маңызды. Оған қоса, «домна пеші – болат балқыту агрегаты» сұлбасы бойынша болат алуда күрделі ішкі қарама-қайшылықтар бар: бірінші сатысында – домнада балқыту барысында – тотықтардан темір редукциясы ғана емес, оған қоса темірдің көміртегімен, ал кейбір жағдайларда күкіртпен және кокс күлі құрамында кездесетін т.б. элементтермен қанығуы жүреді. Бұл екінші сатының ұйымдастырылуын – тотықтыру арқылы көміртегі мен өзге қоспалардың артық мөлшерін жоюды талап етеді.

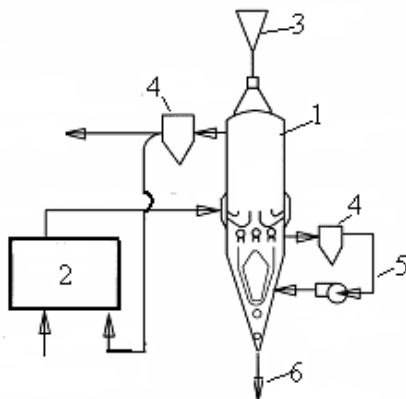
Көрсетілген мәселелер металлургтерді, домнадан тыс немесе тікелей темір алу, сонымен қатар кокссыз металлургия деп аталатын қара металл алудың жаңа әдістерін жасауға итермелейді. Домнадан тыс тәсілдері ретінде химиялық, электрохимиялық және химия-термиялық процестерін түсінеді, олар домна пешінен өтіп, кокс пайдаланбай тікелей кеннен кеуек, қож темір немесе сұйық металл түрінде металды темір алуға мүмкіндік береді.

Шамамен 30 танымал және патенттелген тікелей редукциялаумен металл өндіру тәсілдерінен тек 15 тәсіл техникалық мәнге ие. Редукциялау процестерінің жіктелуіне сәйкес домнадан тыс тәсілдер 2 негізгі топқа бөлінеді: *қатты кеуекті темір алу және сұйық металл алу*. Қолданылатын редукционер түрі бойынша (сұйық фазалы процестер – көміртермиялық) қатты темір алу әдістері топшаларға бөлінеді: көміртермиялық және газтәрізді редукционерлер қолданылуымен. Газ тәрізді редукционерлер ретінде табиғи газды конвертерлеу немесе көмірді газдандыру кезінде алынған редукциялаушы газ, сонымен қатар сутегі пайдаланылады. Өз қатарына, әдістердің әрбір топшаларын – пайдаланылатын агрегаттар типі бойынша түрлерге бөлуге болады. Көміртермиялық: ретортада (Хоганесс тәсілі); айналмалы пештерде (SL/RN, Круп-Айзеншвамм, Электрокемиск, Стретиджик Юди); конвейер машинасында (Дуайт-Ллойд-Мак-Вейн). Газ тәрізді редукционерлер қолданылуымен: қайнау қабатында (H-Iron, HIB, FIOR), ретортада (HyL); шахталы пештерде (Мидрекс, Армко, Пурофер, Виберг).

Қатты кеуекті темір алуда, табиғи газ конверсиясынан кейін алынған газдармен шахталы пештерде редукциялау процестері басым. Нақты тәсілдердің принципіалды ерекшеліктері табиғи газды конверсиялау әдістері мен бөлінетін газдарды пайдалану түрлері болып келеді. Мидрекс тәсілі аса кеңінен танымалдылыққа (әлем өндірісінің 50 % астам) ие болды және бірнеше аз дәрежеде HyL тәсілі (~ 25 %). Ресейде өнеркәсіптік масштабта домнадан тыс темір алудың тек екі өндірісі жұмыс істеп тұр (екеуі де Белгород облысында орналасқан және бір компанияға тиесілі). Олардың бірі Оскольский электрометаллургия комбинатында 1984 ж. Мидрекс тәсілі бойынша жүзеге асырылды, екіншісі Лебединский ГОК-да 2000 ж. HyL тәсілі бойынша. Бастапқы шикізаты, зиянды қоспалар мөлшері бойынша тазалығымен ерекшеленетін Лебединский ГОК кенінің күшті концентраты (~ 70 % темір) болып келеді. Концентраттан алдын ала күйдірілген жентектер өндіреді. Бірінші өндірістің өнімі металданған жентектер болып табылады, олар сол кәсіпорынның электрлі болат балкыту

цехына жіберіледі. Лебединский ГОК өнімі сыртқа жіберу үшін арналған (негізінен, экспортқа) ыстық престоу брикеттері болып табылады.

Мидрекс тәсілімен металдандырудың технологиялық сұлбасы (2.5-сурет) табиғи газдың көмірқышқыл конверсиясына және шахталы пеште кесектелген шикізаттың (жентектің) редукиясына негізделген. Конверсия үшін көмірқышқыл көзі, шаң мен судан тазартылған, бөлінетін газдар болып келеді. Шахталы пеш биіктігі бойынша екі зонаға бөлінген: редукиялау және суыту. Газ зоналар арасында беріледі және агрегатқа кіру температурасы шамамен 750 °C, ал одан шығу кезінде шамамен 400 °C. Редукияланған жентектердің суытылуы сырттан суыту контуры арқылы төменгі бөлікте пеш газының циркуляциясы есебінен жүреді. Құрамында 95 % дейін Fe және 1 – 2 % C болатын металданған өнімді, герметизацияланған бункерге шығарады, мұнда екіншілей тотығуын алдын алу үшін инертті атмосферада сақтайды.



2.5-сурет. Мидрекс процесінің сұлбасы

1 – шахталы пеш; 2 – конверсионды қондырғы; 3 – жүктеу;
4 – скруббер; 5 – салқындату газ айналымы; 6 – түсіру;

HyL процесінде табиғи газдың булы конверсиясы қолданылады. Берілген процестің негізгі сұлбасы бойынша (процестің бірнеше түрі бар – HyL II, HyL III) редукиялау газы

кесекті темір кені шикізатымен толтырылған үш ретортадан кезекпен өтеді. Әрбір ретортаға беру алдында газды $\sim 1000^\circ\text{C}$ температураға дейін қыздырады, ал одан шыққаннан кейін суды жою және редукциялау қабілеттілігін арттыру үшін суытады. Мерзімді түрде (2–3 сағ сайын) сұлбаға жаңа шикізаты бар ретортаны қосып және циклден максималды металданған материалы бар (яғни үш позициядан өткен) ретортаны алып тастап, реторталар орнын өзгертеді. Алынған кеуекті темірдің бір бөлігі біруақытта 2 % дейін көміртектенуімен табиғи газбен суытылады және ыстық брикеттеуге ұшырайды. Брикеттеумен өнім тығыздығының және екіншілей тотығуға қарсы тұрақтылығының жоғарылауы қамтамасыз етіледі.

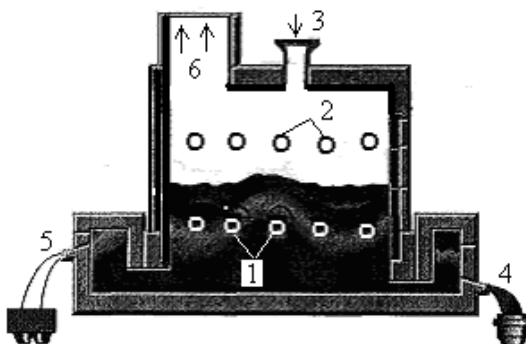
Қатты фазалы редукциялаудың толық өтуін және кеуек сапасын бағалау үшін – *металдандыру дәрежесі* түсінігін – металды темір мөлшерінің өнімде жалпы темір мөлшеріне пайыздық қатынасын ($100\text{Fe}_{\text{мет}}/\text{Fe}_{\text{обш}}$) пайдаланады. Жоғарыда келтірілген процестерде жентектерді металдандыру дәрежесі 90–95 % құрайды.

Сұйық фазада редукциялау процестері: *COREX*, *DIOS*, *HISMELT*, *PLASMASMELT*, *SUMITOMO*, *KAWASAKI*, *AusIron*, *LUBATTI*, *ROMELT*, т.б.

1976 ж. Германияда жасалған *COREX*-процесі белгілі-бір таралымға ие болды. Процесс мәні төменде балқыту газдандыру камерасы орналасқан, газ коллекторларымен жалғасқан редукциялау шахтасына кен мен флюстерді тиеу болып келеді. Материал қыздырылады және балқыту камерасының ыстық редукциялау газдарымен кеуекті темірге дейін редукцияланады, ал кеуекті темір шнекпен балқыту газдандыру камерасына беріледі, мұнда қорытынды редукция мен балқыту жүреді. Көмір тікелей балқыту камерасына балқыма бетіне беріледі, мұнда шлак қабатына оттегі үрлеу есебінен жанады. Сұйық балқыту өнімдері шойын мен шлак болып табылады, олар мерзімді түрде астау арқылы шығарылады. *COREX*-процесс негізінен екі бөлікке бөлінген домна пеші болып келеді. Қазіргі уақытта берілген процеске құқықтар «Фест-Альпине» компаниясына тиесілі, ал дүние жүзінде 4 *Corex* пеші бар (екеуі Үндістанда, Оңтүстік

Кореяда, ОАР, Қытай мен Болгарияда салынуда), олар 1 млн тоннадан кем өнім шығарумен мини-зауыт болып табылады.

ROMELT процесін келешекті деп санауға болады, ол сынақты-өнеркәсіптік нұсқада Липецкте жүзеге асырылды. Процестің жұмыс істеу принципі (2.6-сурет), балкымасы бар пешке төменгі фурмалар (1) арқылы, шлакты барботаждайтын ауа-оттегі коспасын үрлеу болып келеді. шлак бетіне жоғарыдан үздіксіз тиелетін шихта (3) кен бөлігінен, флюс пен көмірден тұрады. Көмір тотықтардың редукциясын қамтамасыз етеді және жылу көзі болып табылады. Қосымша жылу келуі, бөлінетін газдарды пеш ваннасының үстінде орналасқан фурмалардың жоғарғы қатарымен (2) толық жағу арқылы қамтамасыз етіледі. Металл (4) мен шлак (5) әртүрлі деңгейдегі астаулар арқылы жеке шығарылады. Бөлінетін газдар (6) физикалық және химиялық жылуды кәдеге жарату үшін, одан кейін – газ тазалауға жіберіледі



2.6-сурет. Ромелт процесінің сұлбасы

Барлық домнадан тыс тәсілдермен алынатын темір жартылай өнім болып табылады және ары қарай тазалау мен өңдеуді қажет етеді.

Шойынның дүниежүзілік өндірісі 0,5 млрд т жоғары, кеуекті темір өндірісі шамамен 17 млн т құрайды, домнадан тыс сұйық жартылай өнім өндірісі (*Corex* тәсілі бойынша және т.б.) 2 млн т деңгейінде. Домна процесімен салыстырғанда, тікелей редукциялау тәсілінің экономикалық артықшылығы аса төмен

меншікті қаржы шығынымен және қоршаған ортаны қорғау талаптарын аса толық қанағаттандырумен анықталады, себебі кокс өндірісі жойылады. Алайда жаңа технологиялар энергия тұтыну мен өнімділігі бойынша дәстүрлі сұлбадан жеңіледі. Табиғи газ тұтынуға қатысты процестер, оның қорының болжамдық тозуына байланысты, келешекті деп саналмайды. Домнадан тыс процестермен алынатын металл үлесі төмен деңгейде – 3 % қалады.

2.4. Ферроқорытпалар өндірісі

Ферроқорытпалар – темірдің легірлеуші элементтермен немесе қышқылсыздандыру элементтерімен қорытпасы. Ферроқорытпалар болат дайындау процесінің маңызды құрамдасы болып табылады, себебі балқытылған болатқа белгілі бір мөлшерде олардың қосылуы арнайы арнайы физикалық және химиялық қасиеттеріне ие болат алуға мүмкіндік береді. Болат өндірісінде таза металдар немесе қарапайым заттар орнына олардың қолданылуы, құны төмен, қалдықты азайту, аса төмен балқу температурасы есебінен экономикалық және технологиялық аса тиімді болып келеді.

Металлургияда пайдаланылатын ферроқорытпалар негізгі типтер: ферромарганец (Fe-Mn), силикомарганец (Si-Mn), ферросилиций (Fe-Si), феррохром (Fe-Cr), силикохром (Fe-Cr-Si), феррованадий (Fe-V), ферротитан (Fe-Ti), феррофосфор (Fe-P), ферроникель (Fe-Ni), ферробор (Fe-B), феррониобий (Fe-Nb), ферромolibден (Fe-Mo), ферровольфрам (Fe-W).

Айта кету керек, кез-келген болат балқыту технологиясы марганец қорытпаларының – Si-Mn немесе Fe-Mn қолданылуынсыз өтпейді. Кеңінен қолданылатын ферроқорытпалар сапасы стандарттармен регламенттеледі. Жиі, арнайы техникалық шарттар бойынша, *лигатура* деп аталатын (бірнеше легірлеу элементтерінен тұратын) кешенді ферроқорытпалар қолданады.

Ферроқорытпалар алудың бастапқы шикізаты кендер (Mn, Si, Cr) немесе концентраттар болып келеді. Ферроқорытпалар алу процесі нақты металл-элемент тотықтарын редукциялаудан және

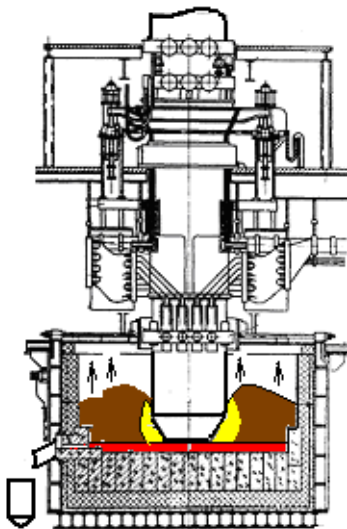
оны балқытылған темірде ерітуден тұрады, бұл өз қатарына редукциялау реакциясының толық өтуіне және оның үдетуге әсерін тигізеді.

Қолданылатын редуccionер түріне байланысты, ферроқорытпаларды көміртермиялық немесе металл-термиялық тәсілдерімен алады. Таяу уақытқа дейін кейбір ферроқорытпалар (ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферроникель, феррофосфор) көміртермиялық тәсілмен домна немесе шахта пештерінде алынды. Қазіргі уақытта ферроқорытпалар алудың негізгі әдісі электрлі балқыту болып табылады. Берілген әдіс кокс шығынын ауқымды төмендетеді (кокс тек редуccionер ретінде пайдаланылады), аса ұсақ, және сәйкесінше фракциясы арзан коксты (аталмыш кокс «жаңғағы» – фракция өлшемі 10–25 мм, сонымен қатар коксик, фракция өлшемі 3–15 мм) қолдануға мүмкіндік береді. Бұл кезде талап етілетін және реттелетін процесс температурасын алу мүмкіндігі қамтамасыз етіледі және отын жануы үшін оттегі (ауа) беру қажеттілігі болмайды (демек редукцияланған металдың екіншілей тотығуы болмайды).

Редукциялау ферроқорытпа алу электрпештері (2.7-сурет) доғалы болып табылады және үздіксіз режимде жұмыс істейді: шихта материалдары берілген мөлшерлемен, олардың балқуына қарай пешке тиеледі, ал қорытпа мен шлак мерзімді түрде (әрбір 1,5–4 сағ) астау мен шөміште ағызу науасы арқылы шығарылады. Ферроқорытпа пешінде шихтаның қыздырылуы мен балқуы, қатты шихтаға батырылған көмір электродтары мен металл ваннасы арасында туындайтын электрлі доғалар жылуының әсерінен жүреді.

Пештер 40–90 кА жоғары ток күшінде жұмыс істеуді қамтамасыз ететін қуатты трансформаторлармен (65 МВА дейін және жоғары) жабдықталған. Пайдаланылатын көмір электродтары – үздіксіз, өздігінен бірігеді. Пеш футеровкасы – көміртекті.

Мәселен, мұндай пештермен және көрсетілген жұмыс істеу режимімен кеңінен таралған ферроқорытпалар – ферросилиций, ферромарганец, феррохром өндіру технологиясы қамтамасыз етіледі. Бұл ферроқорытпаларды балқыту үшін қажетті шихта сәйкес кеннен, кокс «жаңғағынан», темір жоңқасынан тұрады.



2.7-сурет. Ферроқорытпа электр пешінің қимасы

Кокс шығыны шамамен 500 кг/т қорытпаға. Кремний, марганец, хромды редукциялау процесін жоғары температурада жүргізген жөн. Ферросилиция өндірісінде пеш кеңістігінің температурасы шамамен 1700 °С құрайды, феррохрома ~ 1600 °С. Мұндай шарттарда редукциялау дәрежесі құрайды, %: кремний – 98; темір – 99; хром – 90; алюминий – 10 – 55; фосфор – 100. Редукцияланған кремний және темір қорытпаға айтарлықтай толық өтеді, ал алюминий, кальций, фосфор – жартылай (екінші жартысы буланады). Марганецтің қорытпа, шлак пен қалдық арасында таралуы сәйкесінше – 60 %, 30 % және 10 %. Ферромарганец пен феррохромда шихта құрамындағы көміртегі жеткілікті белсенді ериді, оның осы қорытпаларда мөлшері 7–8 %-ға жетеді. Сондықтан мұндай қорытпаларды көміртекті деп атайды. Кремний ферросилицийде көміртегі еруін шектейді. Көміртекті ферромарганецті флюспен немесе флюссіз әдіспен балқытады. Екінші жағдайда, MnO мөлшері 50–55 % дейін болатын шлак силикомарганец алуда шикізат қызметін атқарады.

Редукциялаудың металлтермиялық тәсілін қиын редукцияланатын жетекші элементтері бар ферроқорытпалар

(ферротитан, феррованадий және т.б.) алу үшін және қажет болғанда сұйық фазада редукциялаумен металлтермиялық балқытуға ұқсас көміртексіз ферроқорытпаларды алу үшін пайдаланады [4, б. 47]. Редукционер ретінде әдетте кремний, алюминий, ферросилиций немесе олардың қоспаларын пайдаланады.

2.5. Болат өндірісі

Құрамында шамамен 94 % темір және 6 % қоспасы бар шойынның механикалық қасиеттері төмен және онымен жұмыс істеу қиын. Сондықтан құю әдістерімен алынған шойын бұйымдарының қолдану аясы салыстырмалы түрде шектеулі. Осы мақсаттарға арналған шойынның құрамы кремний құрамына байланысты сорттармен стандартталған және *құйылған* деп аталады. *Қайта өңделетін* шойын деп аталатын балқытылған шойынның басым бөлігі одан әрі өңделеді. Болат балқыту өндірісінің мақсаты – болат-қорытпа алу, яғни тұтынушылық қасиеттерге ие материал алу үшін шойынды шикізат ретінде пайдалану. Бұған зиянды қоспаларды жою (металды тазарту) және пайдалы элементтерді қосу, яғни берілген химиялық құрамдағы металды алу арқылы қол жеткізіледі (және процестің мәні болып табылады).

Болат өндіру әдістерін екі топқа бөлуге болады: конвертерлерді қолдану және пештерді пайдалану. Конвертерлерде болат дайын балқыманы (сұйық шойын) және металл қоспаларының экзотермиялық тотығу реакцияларынан бөлінетін жылуды пайдалану арқылы сырттан жылуды (энергияны) берусіз алады. Бұл қондырғыларда шихтаның қатты түрлерін (сынықтарды) пайдалану шектелген. Конвертер әдістері үрлеу түрі (ауа және оттегі), үрлеу әдістері (төменгі, үстіңгі, бүйірлік), шеген (қышқылдық немесе негіздік) бойынша ерекшеленеді. Пештік әдістерде сыртқы жылумен жабдықтау жүзеге асырылады, сондықтан олардағы қатты шихта үлесі шектелмейді. Бұл әдістер, ең алдымен, қолданылатын энергия түріне байланысты (отынның жануы немесе электр энергиясын түрлендіру есебінен) ерекшеленеді. Қазіргі уақытта болат екі

негізгі әдіспен өндіріледі – оттегі-конвертер (60 %-дан астам) және электр доғалық пештерде (30 % дейін). Бірінші әдіс – сұйық темірді, екіншісі – металл сынықтары мен қатты кеуек тәрізді темірді ұтымды өңдеу.

2.5.1. Болат балқыту өндірісінің негізгі принциптері

Болат балқыту процесінің кірістері (технологиялық тәсілге сәйкес) металл шихтасы, редуционерлер, флюстер, сыртқы жылу болып табылады. Технологиялық өнімдер болат, шлак, қалдық газ және шаң болып табылады.

Шойыннан болат алу үшін қажет емес қоспаларды: С, Si, Р, S тотықтырып жою қажет. Болат өндіру, шын мәнінде, тазарту процесі болып табылады және табиғатты тотығу болып табылады. Металдан қоспалар жойылған сайын, соңғысының балқу температурасы көтеріледі, сондықтан болат өндіру үшін жоғары температура қажет – 1580–1620 ° С.

Қолданыстағы кең тараған болат балқыту технологияларының айырықша ерекшелігі – өндірістің кезеңдік сипаты (металлургиялық циклде болат балқыту қондырғысына дейінгі процестер – байыту, агломерация, шойын өндіру – және одан кейінгі – үздіксіз құю, прокат – үздіксіз жүретінін ескерсек). Осыған байланысты болат балқыту металлургиялық кәсіпорындардың бас сұлбасында «тар» болып табылады және қазіргі уақытта үздіксіз болат балқыту процестерін ұйымдастыру жұмыстары жүргізілуде.

Болат өндірудің нақты әдісіне және ол үшін қолданылатын қондырғыға қарамастан, болат балқыту процесінің жалпы схемасы келесі кезеңдерді қамтиды: *дайындау → жүктеу → құю → балқыту → тотығу кезеңі → шлак түзу және шлақты шығару → редуция → легірлеу → балқымаларды шығару.*

Дайындау отқа төзімді ұнтақтарды қолдану арқылы шегеннің зақымдалған жерлерін жедел қалпына келтіруден тұрады.

Жүктеу – шихтаны болат балқыту қондырғысына тиеу. Болат балқыту қондырғыларының шихтасы: шойыннан басқа сынықтар болуы мүмкін металдық бөлігі (металл шихтасы);,

темірді тікелей редуциялау өнімдері, ферроқорытпалар, кешенді (тотықтырғышпен) материал (суперком, синтик); қатты тотықтырғыштар (кен, окалина, агломерат және т.б.) және шлак түзетін флюсті қоспалар (эк, доломит, боксит, плавик шпаты).

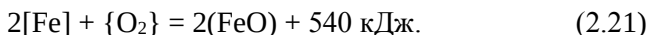
Сұйық шойынды құю жүктеуден кейін бірден жасалады. Шойынды сұйық күйде пайдалану, сөзсіз, өңдеудің тиімділігін арттырады, сондықтан толық металлургиялық циклі бар кәсіпорындар болат прокаттау зауыттарына қарағанда үнемді өндіріс. Болат балқыту өндірісінің тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін араластырғыштарда сұйық шойын алдын ала орташаланады. Қозғалмайтын араластырғыш ішкі жағынан отқа төзімді материалдармен қапталған және оттықтармен жылытылатын болат цилиндрлік ыдыс (типтік сыйымдылығы 1300 және 2500 т). Домна цехынан шойын шөміштерінде жеткізілетін шойын жоғарыдан араластырғышқа құйылады, осьті айналдыру арқылы бүйірінен шығарылады. Араластыру бөлімі болат балқыту цехының жұмыс алаңымен эстакада арқылы байланысты. Шөміштердегі шойын эстакада арқылы тікелей агрегаттарға түседі. Араластырғыштың болуы шойынның тұрақты қорын қамтамасыз етуге және әртүрлі домна пештерінен келетін әртүрлі балқыту процесінен шығатын шойынның құрамы мен температурасын теңестіруге мүмкіндік береді. Араластырғыштар кез-келген технологиялық операцияларды орындай алады (мысалы, кремнийді жою). Мұндай араластырғыштарды белсенді араластырғыштар деп атайды. Кейде шойынды орташалау үшін сыйымдылығы 600 тоннаға дейінгі араластырғыш шөміштер («торпедо») қолданылады.

Балқыту – шихтаның қатты компоненттерін екі араласпайтын фазалардың – металдық балқыма мен шлактың түзілуімен сұйық күйге ауысуы. Осы кезеңде пештің максималды жылу жүктемесі қамтамасыз етіледі.

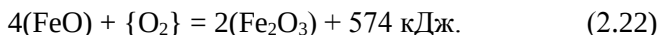
Тотығу кезеңі - тотықтырып тазарту процесі болат балқытудың негізгі процесі және негізгі мақсаты болып табылады. Бұл кезеңде көміртегі жойылады және сонымен бірге қоспалардың (Si, P, Mn) оттегімен тотығуына байланысты жойылады. Оттегінің көзі болып қатты тотықтырғыштар ретінде шихтаның бір бөлігі болып табылатын балқымаға техникалық

оттегі немесе ауа және темір оксидтері (немесе кейде басқа да жеңіл редуцияланатын металдар) күшпен үрленетін сыртқы атмосфера (қоршаған ауа) болып табылады. Тотығу кезеңінің химиясын келесі жеңілдетілген схемамен көрсетуге болады.

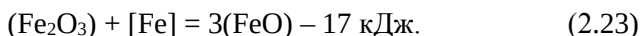
Қоспалардың тотығуы металл балқымасында оттегінің болуымен қамтамасыз етіледі, оның болуы, өз кезегінде, негізінен (масса заңы бойынша) темірдің тотығуы есебінен қамтамасыз етіледі:



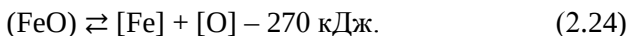
Түзілген және жүктелген қатты тотықтырғыштармен бірге келген темір шалатотығы шлак фазасында болады және газ фазасындағы оттегі арқылы тотыққа дейін тотығады:



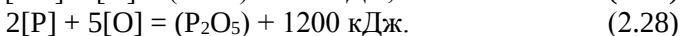
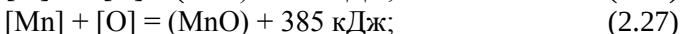
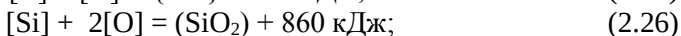
Темір оксиді (қатты тотықтырғыштармен бірге келген және түзілген) металдық темірмен әрекеттеседі:



Қалай болғанда да, түзілген, сондай-ақ шихтамен бірге келген темір шалатотығы метал мен шлак арасында бөлінеді (яғни, ол шлакта да, металда да ери алады). Бұл жағдайда азот тотығының металл балқымасына өтуі әдетте келесі түрде ұсынылады:



Қоспалар және ең алдымен көміртегі реакциялар арқылы тотығады:

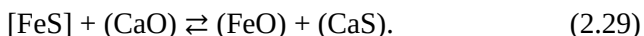


Болат балқыту процестеріндегі көміртегі монототық түзіп тотығады, қостотықтың түзілу үлесі аз және оны елемеуге болады. Көміртектің тотығу реакциясы болат балқыту процестерінің негізгі реакциясы деп аталады (болат пен шойынның негізгі айырмашылығы көміртегі құрамы екенін еске түсірейік). Қоспалардың барлық тотығу реакциялары экзотермиялық болып табылады, олар көп мөлшерде жылудың бөлінуімен жүреді, бұл металл температурасының жоғарылауына әкеледі. Бұл, бір жағынан, қажеттілік, өйткені қоспалар жойылған сайын болаттың балқу температурасы көтеріледі (көміртегінің 1 %-ға төмендеуі болаттың балқу температурасының шамамен 70 °C жоғарылауына әкеледі), ал екінші жағынан, ол қоспалардың ықтимал азаюына және олардың металға кері өтуіне жағдай жасайды.

Тиісті құрамдағы *шлак түзе* отырып, қоспалардың тотықтары салыстырмалы түрде тұрақты қосылыстар түзеді. Шлак түзілу шихта балқыған сәттен басталады. Шлак түзілу көздері – қоспалар, флюстер, шихтамен ластану, содан кейін темір мен қоспалардың тотығу өнімдері, қаптаманың бұзылуы. Шлакқа қойылатын талаптар балқыту мерзіміне (және қолданылатын қондырғыға) байланысты өзгереді. Бастапқы кезеңде шлак жылу беруді және оттегінің атмосферадан металға өтуін, зиянды қоспаларды одан әрі ассимиляциялау және ұстау (кері ауысуды болдырмау), соңғы кезеңде металдың газбен қанықпауын және металл жоғалуын болдырмау және бүкіл балқыту барысында – шегеннің максималды сақталуын қамтамасыз етуі керек. Шегеннің желінуі шлақтың негізділігін тұрақтандыруға кедергі жасайды. Қондырғылардың көпшілігінде негіздік шеген болады, сондықтан толтыруға әк пен доломит қосамыз, ал болат құю шлағының құрамындағы $\text{CaO}/\text{CaO}/\text{SiO}_2$ қатынасы 2–2,5 тең болады. Жылу алмасу және оттегінің атмосферадан металға өтуі балқу және тотығу кезеңдерінде шлакта темір оксидтерінің (~15 % FeO и ~5 % Fe₂O₃) болуы арқылы жүзеге асырылады. Кремний мен фосфордың тотығуы салыстырмалы түрде төмен температурада тотығу кезеңінің басында жүреді. Олардың металдан алынуы және шлакқа өтуі FeO-мен әрекеттесу арқылы Ca₂SiO₄ және Ca₃(PO₄)₂ түзілуімен жеңілдетіледі. Кремний мен фосфор тотықтары CaO-мен әрекеттесіп күшті қосылыстар Ca₂SiO₄ және Ca₃(PO₄)₂ түзгенде түзіледі.

Фосфордың жоғары температурада металға кері ауысуын болдырмау үшін құрамында фосфоры жоғары шлактарды конвертерден немесе пештен шығарады – шлак насос арқылы сыртқа шығарылуы жүзеге асырылады. Фосфоры жоғары шойындарды өңдеу кезінде бұл операция 2–3 рет қайталанады. Осылайша, болаттағы фосфорды бірнеше есе азайтуға болады.

Күкірттің сұйық темірде ерігіштігі шексіз және металдан қайтымды реакция арқылы бөлінеді:



Дегенмен, болат балқытатын шлактардың жоғары негізділігіне қарамастан, күкірт болаттан толығымен жойылмайды және шихтадағы күкірттің шамамен 50 % болатқа өтеді. Нашар күкіртсіздендірудің негізгі себебі – процестің тотығу сипатына байланысты болат құю шлактарындағы FeO мөлшерінің жоғары болуы.

Тотығу кезеңінде темірдің жоғалуы 2 % жетеді, ал тотыққан металдың бір бөлігі шлакқа өтеді. Шлактағы темір оксидтерінің мөлшері 20–25 %, ал болат балқыту кезіндегі шлак шығымы металл массасының 10–20 % құрайды.

Көміртегі тотыққанда болаттағы еріген оттегінің концентрациясы артады. Оттегінің болуы болаттың механикалық қасиеттерін нашарлатады және қажетті көміртекті алуға мүмкіндік бермейді. Осыған байланысты оттексіздендіру операциясы жасалады. Оттексіздендіру алдында әдетте бастапқы шлак шығарылады, бұл келесі кезеңдерге қолайлы жағдайларды қамтамасыз етеді.

Болатты *оттексіздендіру* – металдан еріген немесе байланысқан оттегін алу. Бұған темірге немесе көміртегіге қарағанда оттегіге жақындығы жоғары элементтердің аздаған мөлшерін сұйық болатқа (тұндыру немесе терең оттексіздендіру) немесе шлакқа (диффузиялық оттексіздендіру және синтетикалық шлактармен өңдеу) енгізу арқылы қол жеткізіледі. Оттексіздендіргіш элементтер ретінде Mn, Si, Ti (ферроқорытпалар түрінде), Al, Ca, күрделі қорытпалар мен

сирек жер металдарының қорытпалары қолданылады. Жалпы, оттексiздендіру процессін келесідей көрсетуге болады:



Бұл реакцияда $[\text{Me}]$ тепе-теңдіктің темір тотығының түзілуіне қарай ығысуының нәтижесінде $[\text{Fe}]$ (шлактармен оттексiздендірілгенде кезде) болуы мүмкін. Оттексiздендіру процесінің тотықтар түріндегі өнімдері қалқып (тығыздықтар айырмашылығына байланысты) шлак қабатына өтеді. Болатта еріген көміртегі есебінен металды вакууммен өндегенде де оттексiздендіруге қол жеткізіледі. Оттексiздендірудің арнайы технологияларын қолдану болат өндіру әдісіне және алынған болаттың нақты маркасына байланысты.

Легірлеу – қосымша элементтерді енгізу арқылы болаттың құрамын өзгерту. Бұл қасиеттерді жақсартуға және қажетті металл сапасын алуға, болат бұйымдарының қолданылу аясын кеңейтуге және ұзақ мерзімділігін арттыруға мүмкіндік береді, бұл сайып келгенде, экономиканың жекелеген салаларында металды тұтынудың төмендеуіне әкелуі керек. Негізінен V, Ti, Mn, Cr, Ni, Mo, B, W, Nb ретінде қолданылатын легірлеуші элементтер сұйық болатқа негізінен олардың ферроқорытпалары түрінде енгізіледі.

Дайын балқыма пеште арнайы саңылау (кран тесігі) ашылғаннан кейін немесе қондырғыны көлбеу ағындық желоб бойымен болат құятын шөміштерге *шығарылады*. Болат өндіру кезеңінде оттексiздендіру, легірлеу және металды желобта немесе шөміште қосымша өңдеу операцияларын жүргізуге болады. Осы кезеңде металл жойылуын барынша азайту шаралары қарастырылуы керек.

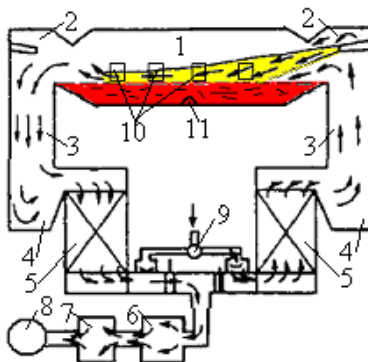
2.5.2. Болат балқытудың негізгі технологиялары

2.5.2.1. Мартенде болат өндіру

1864 жылы Пьер Мартен өзінің конструкциясы бойынша пеште болат балқытуды жүзеге асырды, содан кейін бір ғасырға

жуық уақыт бойы әлемдегі болаттың басым бөлігі мартен пештерінде балқытылды. Бұл өндірістің осы әдісінің әмбебаптығымен – сұйық және қатты металдың (шойын мен сынықтар) кез келген қатынасында шойынның кез келген түрін қолдана отырып және бұрын қолданылған бақылау және талдау әдістерімен кез келген болат маркасын алу мүмкіндігіне байланысты болды. Қазіргі уақытта дүние жүзінің барлық металлургтері мартен пештерінен бас тартты, тек ТМД елдерінде мартен өндірісінің үлесі әлі де 30 % шамасында (әлемде осыған байланысты шамамен 3 %). Бірақ ТМД елдерінде мартен пештері біртіндеп қолданыстан шығарылуда, атап айтқанда, Ресейде 2030 жылға қарай мартендік болаттың үлесі 5 %-дан аспайды деп күтілуде.

Мартен пеші (2.8-сурет) шағылыстыратын типті қондырғы болып табылады. Пеш кешеніне келесі негізгі элементтер кіреді: жұмыс кеңістігі (1), бастар (2), тік каналдар (3), шлак шығаратын құрылғы (4), регенераторлар (5), үстіңгі клапандар, жылу қазандығы (6), газ тазалау (7), мұржа (8), желдеткіш (9). Пештің жұмыс кеңістігі алдыңғы және артқы қабырғалармен, жоғарыдан – аркамен, төменнен – ошақпен, ұштарынан – бастармен шектеледі.



2.8-сурет. Мартен қондырғысы

Алдыңғы қабырғада шихтаны тиеуге және шойын құюға (желоб бойына) тиеу терезелері (10), ал артқы қабырғаның

төменгі бөлігінде (ошақпен түйіскен жерінде) болат шығаратын саңылау (11) бар. Пеш құрама шегенделген: арматура – шамоттан жасалған, оның және болат қаңқаның арасында – жылу оқшаулағыш қабат (кеуекті шамот), жұмысшы (ішкі) қабат – балқыту сипатына байланысты (қышқылдық немесе негізгі шлактар) – динас немесе магнезиттен және жұмыс қабатының үстіне сәйкес шеген жасалады (құм немесе магнезит ұнтағы). Мартен әдісімен болат өндіру негізінен негіздік шегенді пештерде жүргізілді. Пештің төбесі ыстыққа төзімді магнезит-хромит немесе динас кірпішінен жасалған. Жанармай мен ауа бастар арқылы беріледі және жану өнімдері (түтін) шығарылады, мезгіл-мезгіл ванна үстіндегі газ қозғалысының бағытын өзгертеді. Жұмыс кеңістігі бастардан және тік каналдар мен шлактар арқылы регенераторларға қосылады. Регенераторлар мартен пештерінің таптырмас элементі болып табылады, онсыз қажетті температураға жету және балқыған күйде болат алу мүмкін емес еді. Шлак шығарғыштар үлкен шаң бөлшектерінің тұндырылуына байланысты пайдаланылған газдарды өрескел тазалау үшін қолданылады. Регенераторларынан кейінгі түтін газдары тікелей мұржаға түседі, немесе атмосфераға шығарылғанға дейін олар газдарды жақсырақ тазарту үшін газды тазартудан (мысалы, құрғақ электростатикалық тұндырғыштар) және жылуды қалпына келтіру үшін қалдық жылу қазандығынан өтеді. Түтін құбыры газ жолының кедергісін жеңетіндей жасалынуы керек. Сондықтан үлкен мартен пештерінің мұржаларының биіктігі 100 м-ден асады.

Фосфоры жоғары шойындарды өңдеу үшін түбі цилиндр тәрізді және вертикальдан ауытқи алатын бұралмалы мартен пештері қолданылды, бұл тиеу терезелері арқылы шлақты қайта-қайта шығаруға мүмкіндік берді. Мұндай пештер жиі сұйық болатты шағын бөліктерге бөлу қажет болатын құю зауыттарында да қолданылады.

Орташа мартен пештерінің сыйымдылығы 125–300 т, ауыр жүктілігі 900 т-ға жетеді. Мартендік балқытудың ерекшелігі – жылу мен оттегінің металл ваннасына шлак қабаты арқылы жоғарыдан түсуі. Сондықтан, процестің дұрыс жылдамдығын қамтамасыз ету үшін пеште ваннаның тереңдігі таяз (~ 1 м) үлкен балқытылған металл беті ($0,5 \text{ м}^2/\text{т}$) болады.

Пештің жұмыс істеу принципі шихтаны тиегеннен кейін бастардың бірі арқылы отын (мазут, табиғи газ) және регенераторда $\sim 1200^{\circ}\text{C}$ дейін қыздырылған ауа желдеткіштен беріледі, бұл жалынның $\sim 1900^{\circ}\text{C}$ температурасын қамтамасыз етеді. Жылудың тиімді берілуі үшін шам (факель) ваннаға тиіп, оның бетіне жалынның таралуын қамтамасыз ету керек. Шамнан ваннаға жылу шамамен 85 % сәулелену арқылы, ал 15 % конвекция арқылы беріледі. Пайдаланылған газ пештің екінші жағындағы температурасы $\sim 1500^{\circ}\text{C}$ болатын қалып арқылы пештен шығады және жылудың негізгі бөлігін қарама-қарсы регенератордың отқа төзімді шегеніне береді. Регенератор «үрлеу астында» салқындаған сайын және регенератор «газ астында» қызған кезде клапандар өзгереді, нәтижесінде газ ағынының бағыты кері өзгереді.

Мартен процесінде ваннаның ұзындығы мен тереңдігі бойынша температураның біркелкі еместігі байқалады, ал шлақтың температурасы әрқашан металдың температурасынан жоғары болады. Температураны теңестіру көміртегі тотығуынан СО көпіршіктерінің пайда болуына байланысты ваннаның «қайнауын» ұйымдастыру арқылы жеңілдетіледі. Оттегінің көзі оның үрленетін (отынды жағу үшін) ауадағы, жану өнімдеріндегі (CO_2 , H_2O), сондай-ақ қосымша енгізілген қатты тотықтырғыштардағы артық мөлшері болып табылады. Металдың белгілі бір құрамы мен температурасына жеткенде ваннаның қайнауы оттексіздендіргіштер мен легірлеуші реагенттерді енгізу арқылы тоқтатылады.

Мартен балқытудың жалпы ұзақтығы 6 сағаттан асады, жылуды пайдалану коэффициенті 50 %-дан аз.

Шихтаның құрамына қарай мартендік процесс екі түрі болады: сынық (скрап)-руда және сынық (скрап)-процесс. Кең таралған сынық-руда процесінде шихтадағы сұйық темірдің үлесі 60 %-ға жетеді (сынықтардың үлесі 30 %-дан аспайды), бұл қатты тотықтырғыштарды – руданы, агломераттарды, түйіршіктерді – шамамен 10 %-ға жуық, сондай-ақ флюс мөлшерін көбейтуді талап етеді. Сынықтар процесінде шихтаның негізі болат сынықтары болып табылады және тек металды қайта балқыту қажет. Бұл процесті газ және металл емес қосындылар бойынша

болат тазалығын жоғарылатуды қамтамасыз ететін қышқыл ошақта (шеген) жүргізуге мүмкіндік береді. Ваннаны «қайнату» үшін шихтаға карбюризаторлар – құрамында көміртегі бар қоспалар (қатты шойын, кокс және т.б.) енгізіледі.

Қорытындылай келе, балқыту технологиясының жақсы дамығанына қарамастан, мартен процесі барлық көрсеткіштер бойынша конвертерлік және электр доғалық пеш өндірісінен айтарлықтай төмен екенін тағы бір рет атап өту керек. Сондықтан, мартен пештері мен балқыту технологиясы қазірдің өзінде металлургия тарихы ретінде қарастырғанымыз дұрыс.

2.5.2.2. Конвертерлерде болат өндіру

Ауадағы оттегімен темір қоспаларының тотығуы кезінде көп мөлшерде жылудың бөлінуі металды қыздыруға қосымша шығынсыз сұйық шойынды болатқа өңдеуге мүмкіндік береді. Шойынды болатқа айналдырудың мұндай процесі алғаш рет 1856 ж. жасалды, содан кейін 1860 ж. ағылшын Генри Бессемер жүзеге асырды. Бессемер деп аталатын процестің мәні арнайы қондырғы – конвертер түбі арқылы сұйық металды ауамен үрлеуден тұрды. Осы уақытқа дейін түбегейлі өзгермеген конвертер конструкциясы көлденең осьтің айналасында айнала алатын болат корпус пен ішкі шегеннен тұратын алмұрт тәрізді ыдыс болды. Бессемер процесі зиянды қоспалардың (S және P) құрамы бойынша таза және кремний мөлшері жоғары (~ 1,5 %) шойындарды өңдеді. Соңғысының, сондай-ақ марганец пен темірдің тотығуына байланысты, үрлеудің алғашқы минуттарында металдың температурасы 1650 °C-қа дейін күрт көтерілді және балқымалардың сұйық қозғалғыштығының төмендеуінен қорықпай (балку температурасының жоғарылауына байланысты) көміртекті жою үшін үрлеуді жалғастыруға болады. Процестің барысы визуалды түрде анық байқалады: көміртектің тотығуы ваннаның үстіндегі атмосферада көміртегі тотығының жануынан кейін пайда болған жалынмен бірге жүреді; жалынның түсуі және қоңыр түгіннің пайда болуы (темірдің тотығуы) көміртегі мөлшерінің төмендеуін (0,1–0,2 % дейін) және үрлеуді тоқтату қажеттілігін

көрсетеді. Бессемер шлактары темір және марганец силикаттарынан тұратындықтан, конвертердің шегені қышқыл, яғни кремний қостотығы бар материалдардан (динас, кварц және т.б.) болуы керек. Бұл әкті енгізуге және металдан фосфор мен күкіртті тиімді жою мүмкіндігін шектейді.

Томас² процесінде конвертер негізгілік шегенделді (пісірілген доломиттен), фосфор, кремний, күкіртті шлаққа өткізу үшін алдын ала әк жүктелді, құрамында фосфоры жоғары (1,5–2 %) шойындар өңделді, фосфордың тотығуы металды қыздыру үшін жылудың негізгі көзі болды. Мұнда пайдаланылған тотықтырғыш реагент ауа болды, ал шойын құрамы кремний мөлшерімен шектелді (0,7 % дейін).

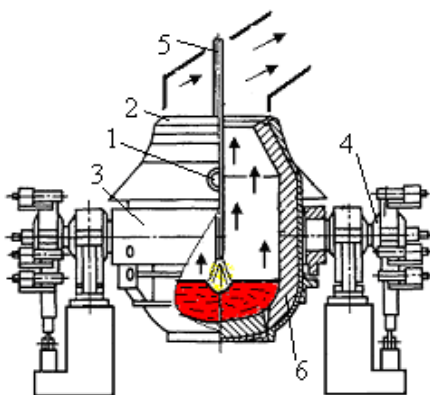
Техникалық прогресс үшін екі процестің де маңызы зор болды. Шойынды болатқа айналдырудың жоғары жылдамдығы – балқу уақыты шамамен 30 мин (таза үрлеу уақыты 15–20 мин) болатын жаппай өндірісін ұйымдастыруға мүмкіндік берді. Сонымен қатар, бұл әдістердің ауамен үрлеуді қолданумен байланысты айтарлықтай кемшіліктері бар. Ауа құрамындағы азот жылу және энергия жағынан балласт болып табылады (яғни артық жылу азотты қыздыруға, ал энергия үрлеуге жұмсалады). Қоспалардың тотығуынан бөлінетін жылу сұйық шойынның болатқа қайта бөлінуі үшін ғана жеткілікті, бұл процестер кезінде сынықтарды аралық өңдеу мүмкін емес. Бұл жағдайда қоспалардың қажетті құрамы шойында қамтамасыз етілуі керек, немесе басқаша айтқанда, шойын белгілі бір құрамда болуы керек. Сонымен қатар, азот болатта ериді (0,03 % дейін), бұл оның сапасына теріс әсер етеді.

Ауаны бөлу әдістері дамығаннан кейін (XX ғасырдың 40-жылдарының аяғында) өнеркәсіптік ауқымда оттегін алу және оны металлургиялық процестерде пайдалану мүмкін болды. Ауа үрлеудің орнына түрлендіргіштерде оттегіні үрлеуді қолдану бірден өзінің артықшылығын көрсетті, алайда табандық фурмалардың төзімділігі төмен болғандықтан (әрбір балқытқаннан кейін ауыстыру қажет болды) және табанның күйіп қалу мүмкіндігіне байланысты бұл рұқсат етілмейтін

² Алғаш рет ағылшын ғалымы С.Томас 1878 жылы жүзеге асылды

болып шықты. Сондықтан біраз уақыт (1950–1965) шойын өңдеу технологиялары оттегімен байытылған ауаны, бу-оттегі қоспасын, оттегінің көмірқышқыл газымен қоспасын үрлеу арқылы тәжірибеден өтті. Конвертерде металды жоғарыдан үрлеу әдістерін жасақтау және енгізу (XX ғасырдың 50-ші жылдарының ортасында), толығымен оттегімен үрлеуге көшуге мүмкіндік берді, бұл сапалы болат (атап айтқанда, металдағы азот мөлшері 10 есе азаяды) болат алу үшін шойынның кез келген түрін өңдеуге мүмкіндік берді. Бұл процесс оттекті-конвертер (сондай-ақ *LD* және *BOP*) деп аталды және қазіргі уақытта әлемдегі болат өндірудің негізгі әдісі болып табылады.

Оттекті-конвертер процесі тәуелсіз сумен салқындатылған фурма арқылы жоғарыдан оттегі үрлеу арқылы негіздік материалмен шегенделген конвертерде 30 %-ға дейінгі сынықтарды қосу арқылы шойыннан болатты балқытуға негізделген. Оттекті-конвертер конструкциясы (2.9-сурет), Бессемер сияқты алмұрт тәрізді пішінге ие, оны үш бөлікке бөліп көрсетуге болады: кесілген конус түріндегі жоғарғы (шлем) бөлік, ортаңғы цилиндрлік және сфералық табаны. Конвертер корпусы дәнекерленген, әдетте біріккен табаны бар, бірақ ол табаны алынатын болуы да мүмкін. Корпустың жоғарғы бөлігінде ауыстырылатын жақтау фланеці және алынбалы мойыны (2) бар болат шығаруға арналған дәнекерленген шүмек (1) бар.

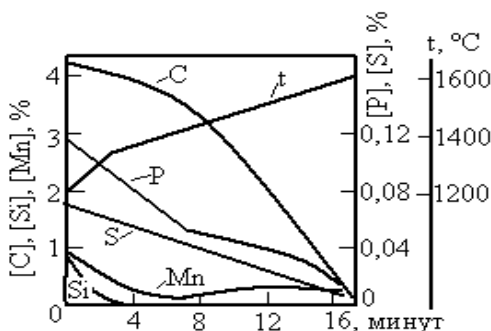


2.9-сурет. Оттекті конвертер

Сыртта ортаңғы бөліктегі конвертер айналу механизміне (4) қосылған тірек сақинасына (3) бекітілген. Фурма (5) конвертерге қатаң түрде ось бойымен енгізіледі және бір-біріне концентрлі түрде орналастырылған үш болат құбырдан тұрады, олардың біреуі оттегімен қамтамасыз ету үшін (әдетте орталық), ал қалған екеуі салқындатқыш суды беру (ортаңғы) және шығару (сыртқы) үшін қызмет етеді. Бір немесе көп арналы мыс шүмегінің төменгі ұшына ажыратылатын қосылым (тез ауыстыру үшін) бекітілген. Фурма кешеніне фурманы көтеру және жылжыту механизмдері, сондай-ақ резервтік фурма кіреді. Конвертердің (6) шегені көп жағдайда негіздік және бірнеше қабаттардан тұрады: шайырлы кірпіштен жасалған жұмысшы (ішкі) қабат, шайырлы доломит массасынан жасалған аралық, арматуралық (қаңқаны қорғайтын) магнезиттік (магнезит-хромит, доломит) материалдан жасалған. Қазіргі заманғы конвертерлердің шегенінің жалпы қалыңдығы 1 м жетеді және жұмыс кезінде өзгеруі мүмкін. Шегеннің төзімділігі 1000 балқытуға дейін, ал жүйелі түрде тексеру (шартты түрде – толтыру) немесе шлаққа үрлеу технологиясын қолдансақ (яғни қорғаныш ретінде шлак горнисажын жасау), ол 5000 балқытуға жетуі мүмкін. Бұл ретте тұрақты жұмыс істейтін (тәулігіне 40 балқытуға дейін) конвертерлердің жұмыс жасау ұзақтығы (күрделі жөндеуге дейін) 4–6 ай.

Оттекті-конвертерде өңдеу технологиясы келесідей ұйымдастырылған. Сынықтар, шлак түзуші материалдар және сұйық темір көлбеу орналасқан қондырғыға ұқыпты құйылады, оған 5–10 минут уақыт жұмсалады. Содан кейін конвертер тік қалыпқа қойылады, оған фурманы түсіріп, үрлеуді 12–17 мин (тотығу кезеңі) жүргізеді. Осы кезеңде фурма мен металл бетінің арасындағы қашықтық реттеледі: бастапқыда фурма жоғарырақ биіктікке – ваннадан ~ 1,5 м орналастырылады, бұл оттегінің шихтаның бүкіл бетіне таралуын, кремнийдің, марганецтің, фосфордың, темірдің тотығуына байланысты металды және шлактарды жылдам және біркелкі қыздыруды қамтамасыз етеді. Үрлек басталғаннан кейін шамамен 4 минуттан өткенде фурма көміртегінің жануының жоғары жылдамдығын қамтамасыз ететін тиімді биіктікке (мысалы, ваннадан 0,7 м) түсіріледі. Үрлеу кезеңіндегі конвертерлік балқыту барысы 2.10-суретте анық

көрсетілген. Үрлеу аяқталғаннан кейін (белгіленген көміртектің мәніне дейін) фурма көтеріледі, конвертер көлденең күйге айналады, үлгілер алынады және температура өлшенеді. Қажетті нәтижелерге қол жеткізгеннен кейін құбыр тесігі ашылады, металл болат шөмішке құйылады, содан кейін шлак екінші жағына шығарылады, шеген тез арада жөнделеді. Өндіріс кезеңінде болат оттегісізденеді және легіріленеді. Үрлеуден кейінгі соңғы операциялар 10–20 минутты алады, ал конвертерлік балқытудың жалпы ұзақтығы 30-дан 45 минутқа дейін.



2.10-сурет. Конвертерлік балқыту кезіндегі металдың құрамы мен температурасы

Температурасы 1500 °C дейінгі құрамында шамамен 0,3 кг/м³ шаң болатын 70–80 м³/т болат және CO (85), CO₂ (10), N₂ (5) (% пайызбен) құрайтын конвертерлік газдар шығады.

Сондықтан барлық заманауи конвертерлер жылуды қалпына келтіру және газды тазарту жүйелерімен жабдықталған.

ТМД қолданылатын заманауи конвертерлер келесі параметрлермен сипатталады:

- сыйымдылығы – 160–400 т;
- меншікті көлем – 0,8–1,0 м³/т;
- ваннаның тереңдігі – 1,5–2,0 м;
- ваннаның меншікті бетінің ауданы – 0,12–0,18 м²/т;
- үрлеу қарқындылығы 3–7 м³ / (т · мин).

Конвертер процесін одан әрі жетілдіруге деген ұмтылыс үрлеудің және металды өндеудің келесі әдістерінің дамуына

әкелді: табиғи газбен қорғап оттегімен түбінен үрлеу, бүйірлік үрлеу (металл деңгейінен төмен), аралас үрлеу (соның ішінде төменнен инертті газ беру), шлактүзуші реагенттерді үрлеу және т.б.

Бұл әдістер процесті қарқындалау, темірдің жойылуын азайтуды, металдың біртектілігін арттыруды және т.б. камтамасыз етеді, бірақ қондырғының конструкциясы біршама күрделене түседі. Осы әдістермен балқытылатын болаттың үлесі конвертерлі болат өндірісінің 10 %-нан аспайды.

2.5.2.3. Электр пештерінде болат өндіру

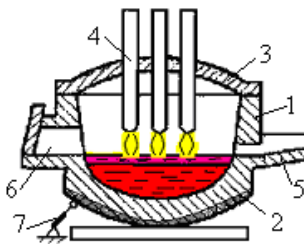
Электр пештерінің жіктелуі электр энергиясын жылуға айналдыру принципіне негізделген. Осы принцип бойынша кедергілік, доғалық, индукциялық, плазмалық және электронды сәулелік қыздыру пештері болып бөлінеді. Кедергілік пештерде электр кедергісі бар өткізгіш арқылы ток өткенде жылу бөлінеді. Электрондық сәуленің қызуы металл бетіне бағытталған электрон ағынының кинетикалық энергиясының бір бөлігінің жинақталуына байланысты болады. Доғалық пештерде электр энергиясын жылуға айналдыру газ фазасындағы разрядтың бір түрі болып табылатын электр доғасында жүзеге асырылады. Тікелей қыздыру кезінде доға электрод пен металл арасында, жанама қыздыру кезінде электродтар арасында пайда болады. Токтың жоғары тығыздығы бар доғалық разряд аймағынан газ өткенде, соңғысы иондалады және плазмалық қыздыруды камтамасыз етеді. Металды индукциялық қыздыру ондағы пайда болатын құйынды токтардан туындайды, өз кезегінде индуктор орамасы арқылы ток өткен кезде магнит өрісімен қозғалады. Кедергілік, электронды сәулелік және плазмалық қыздыру шектеулі мөлшерде, атап айтқанда, металдың сапасын одан әрі жақсарту мақсатында қайта балқыту процестері үшін арнайы металлургияда қолданылады. Өнеркәсіптік болат өндіру үшін индукциялық және доғалық пештер қолданылады.

Индукциялық пештердің өнімділігі 60 тоннаға жетуі мүмкін, бірақ көп жағдайда олардың өнімділігі бірнеше тоннадан аспайды. Индукциялық пештерде өнімділіктің төмендігін

(сәйкесінше қайта өңдеу шығыны жоғары) ескере отырып, ерекше қасиеттері бар мен сапасы жақсартылған болат алынады. Жылу металдың көлемінде пайда болатындықтан, шлак тек одан қыздырылады және салыстырмалы түрде суық болып шығады. Сондықтан балқытуды тазартусыз екі әдіспен жүргізеді: легіріленген сынықтарды қайта балқыту және легіріленбеген сынықтарды, металданған шикізатты ферроқорытпалармен бірге балқыту. Қолданылатын шикізат құрамындағы зиянды қоспалар бойынша таза болуы керек. Индукциялық пештің конструкциясында келесі негізгі элементтерді ажыратуға болады: сумен салқындалатынын индуктор, жақтау (қаңқа), отқа төзімді тигель. Балқыту қондырғысы сонымен қатар еңкейту механизмінен және сыртқы электр жабдықтарын – генераторды, конденсаторлар блогынан тұрады. Тигель негізгі немесе қышқыл отқа төзімді заттардан жасалған. Қышқылды шегеннің тұрақтылығы негіздік шегенге қарағанда әлдеқайда жоғары, бірақ мұндай шегені бар пештерде құрамында кремнеземмен әрекеттесе алатын элементтер мөлшері жоғары болат маркаларын балқыту мүмкін емес. Болаттың барлық сорттарын негіздік шегенді төсемі бар пештерде балқытуға болады. Индукциялық балқытудың айрықша ерекшелігі сұйық металдың электродинамикалық араласуы болып табылады, бұл оның біртектілігін қамтамасыз етеді. Бұл балқытудың басқа артықшылықтарына металдың аз жоғалуының (соның ішінде қымбат легірлеуші элементтер) және газбен қанығуының төмендігі жатады. Балқыту шамамен келесі реттілікпен жүргізіледі: шихтаны ферроқорытпалармен бірге зарядтау, токты қосу, балқудың басталуы, алғашқы шихта отырғаннан кейін қалған материалды қайта тиеу, толық балқыту, аралық ағызу және жаңа шлактарды енгізу, металдың құрамын реттеу, шығару. Жалпы балқу уақыты 1–2 сағатты құрайды. Индукциялық пештердің шағын өлшемдері балқытуды вакуумда немесе инертті атмосферада ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Бұл, өз кезегінде, құрамында газдар мен металл емес қоспалардың мөлшері өте төмен болат өндіруге және оттегіге жоғары жақындығы бар элементтермен жоғалтпай легірлеу мүмкіндігіне қол жеткізеді.

Электр болат өндіруге арналған негізгі қондырғылар үш фазалы, үш электродты, шегені негіздік материалдан жасалған және сыйымдылығы 300 тоннаға дейінгі ток өткізбейтін ошағы бар доғалы пештер болып табылады.

Доғалық электр пешінің конструкциясында (2.11-сурет) келесі негізгі элементтерді көрсетуге болады: цилиндрлік корпус (1), сфералық табан (2), күмбез тәрізді алмалы-салмалы қақпақ (3). Пештің төбесінде графит электродтары өтетін үш тесік бар (4). Әрбір электродтың өзінің тәуелсіз қысқыш механизмі (электрод ұстағышы) және қозғалысы бар. Қазіргі пештерде газдарды шығару үшін қақпақта тағы бір бөлек тесік жасалады. Қаңқа бір жағынан қаптама іргелес науасы (желоб) бар болат шығаратын тесікпен (5), қарсы жағында – жұмысшы тереземен (6) жабдықталған. Пештің ошағы көлбеулеу механизмімен (7) қосылған тербеткішке (тірек конструкция) тіреледі. Сонымен қатар, пеш корпусты тік ось бойынша айналдыруға, қақпақты көтеруге және айналдыруға арналған механизмдермен жабдықталған. Пештің қаңқасы қалыңдығы 40 мм-ге дейін болат парақшасынан жасалған. Жұмыс кеңістігінің шегенін қосарлап жүзеге асырылады: пештің табанының шегені оқшаулағыш (асбест, шамот) және жұмысшы (магнетитті кірпіш) қабаттардан тұрады, қабырғалары хром-магнетитті кірпішпен қаланған, қақпағы магнетит-хромитті кірпіштен жасалған. Доғалы пештер кешеніндегі негізгі электр жабдығы жоғары вольтты энергияны төмен вольтты энергияға түрлендіретін және электродтарға ток беретін трансформатор болып табылады. Трансформатордың құны балқыту зауытының құрылысындағы үлкен капиталдық шығын болып табылады.



2.11-сурет. Доғалы электр пеші

Доғалық балқыту технологиясы бастапқы шихта материалдарымен анықталады және осыған байланысты екі жолмен жүзеге асырылады. Бірінші әдіске сәйкес, қоспалардың тотығуынсыз іс жүзінде тек екіншілік металдар (яғни металл сынықтары және легіріленген қалдықтар) балқытылады. Бұл әдісте тек металл шихтасын қарапайым қайта балқыту процесімен өңдеу жүргізіледі, ал бастапқы құрамдас бөліктерді есептеп таңдау және балқыту соңында аздап реттеу арқылы болаттың қажетті химиялық құрамы алынады. Маңыздылығы жоғары екінші әдістің негізі көміртекті шихтаны тотықтырғыштарды қолдану арқылы балқыту болып табылады. Бұл процес бойынша балқыту технологиясы, жеке кезеңдердің реттілігі жоғарыда келтірілген болат балқыту процестерінің жалпы схемасына ұқсас. Балқыманы шығарғаннан кейін пешті дайындап, шихтаны тиейді. Тиеу жоғарыдан қақпақ ашылып тұрғанда жүзеге асырылады. Осыдан кейін қақпақ орнына орнатылады, электродтар төмендетіледі және трансформатордың максималды қуатында оларға ток беріледі – балку кезеңі басталады. Доғалардың жоғары температурасы нәтижесінде электродтардың астындағы металл балқымаға өтіп, ошақтың ортасына қарай төмен қарай ағады. Электродтар бірте-бірте берілген доғаның ұзындығына дейін төмендетіледі, және шихтада «ұңғымалар» пайда болады.

Электродтардың астындағы материал толығымен балқытылғандықтан, процесті жылдамдату үшін, дәл осылай шихталық «ұңғымаларда» пеш корпусының тік ось айналасында бір және екінші жағына 40° көлбеулікпен электродтар тік ось бойынша айналымдар жасайды. Толық балқыту уақыты трансформатордың қуатына байланысты және шамамен 1,5–2,5 сағат болады. Балку кезеңінде ауадағы оттегінің және шихтаға енгізген темір оксидтерінің есебінен кремнийдің, фосфордың, марганецтің, темірдің біраз бөлігі және көміртектің тотығады. Тотығу кезеңіне дейін фосфордың біршама мөлшері өткен шлак жұмысшы терезе арқылы шығарылады, және де жаңа шлак түзушілер процеске енгізіледі.

Тотықтырғыш ретінде окалина, темір рудасының материалы, техникалық оттегі қолданылады. Балқыманы

тотықтырғыштармен өндеу процестің жүру барысында көбіктенген (СО-ның бөлінуі нәтижесінде) шлактарды жұмысшы терезесі арқылы үздіксіз алып тастау арқылы жүзеге асырылады. Тотығу кезеңі қажетті көміртегі мөлшері қамтамасыз етілгенге дейін және фосфор мөлшері 0,010–0,015 % дейін төмендегенше жалғасады, тотықтырғыш шлакты шығару сатысымен аяқталады. Бұл кезеңнің ұзақтығы 30–70 минут. Редукциялау процессі кезеңінде болат оттегісиздендіріледі, легірленеді, оның құрамы мен температурасы реттеледі.

Бұл кезеңде шлактағы FeO мөлшері 0,5 % дейін төмендейді және металды күкіртсиздендіру сәтті жүреді. Дайын болат пешті көлбеу еңкейту арқылы желоб арқылы шығарылады. Жалпы балқу уақыты 3,5–5 сағатты құрайды. Электр энергиясын тұтыну 1 т болат алу үшін 500–700 кВт/сағ тең.

2.5.2.4. Болатты үздіксіз өндіру

Жоғарыда айтылғандай, жұмыс істеп тұрған болат құю қондырғылары (конвертерлер, мартендік, доғалық, индукциялық пештер және т.б.) өндірістің мерзімді сипатына және осыған байланысты өзіне тән кемшіліктерге ие. Заманауи болат балқытудың жоғары деңгейіне қарамастан, қосалқы операциялармен (жүктеу, толтыру, бұру және т.б.) байланысты агрегаттардың тоқтап қалу үлесі балқыма немесе циклдің жалпы ұзақтығының жартысына дейін жетеді. Нақты өнімділікті одан әрі арттыруға арнайы көмекші операцияларға кететін уақытты азайту арқылы қол жеткізуге болады. Және осыған байланысты үздіксіз жұмыс істейтін болат балқыту қондырғыларын (ҮЖІББҚ) құру мәселені шешудің ықтимал жолы болып табылады.

Үздіксіз болат балқыту қондырғысының жобасын әзірлеумен және осы қондырғыда болат балқыту технологиясын әзірлеумен әлемнің көптеген елдерінің мамандары айналысады, бірақ сенімді практикалық шешім әлі табылған жоқ. Біріншіден, бұл шойыннан термохимиялық қасиеттері бойынша бір-біріне ұқсамайтын қоспаларды бір мезгілде жою үшін әртүрлі жағдайлар жасау қажеттілігіне байланысты. Екіншіден, болат

балқыту процесінің қабылданған схемасында олардың бірігіп жүзеге асырылуын болдырмайтын кезеңдері бар (мысалы, тотығу және редукциялану кезеңі). Үшіншіден, жүктеу мүмкіндігі болмаған жағдайда (профилактикалық қызмет көрсету) жоғары температура және агрессивті орта жағдайында технологиялық операциялардың қажетті реттілігін қамтамасыз ететін және жоғары төзімділікке ие болуы керек қондырғыны құру құрылымдық жағынан қиын. Ақырында, техникалық шешім қазіргі заманғы процестермен салыстырғанда экономикалық тиімділікті қамтамасыз етуі керек.

Осыған қарамастан, бүгінгі күні ҰЖІББҚ конструкцияларының әртүрлі нұсқалары және оларда болат балқыту технологиялары ұсынылды, оларды топтарға бөлуге болады:

- процестің сатыларының саны бойынша: көп сатылы (кезеңдерді ажырата отырып), яғни қондырғының жеке бөлігінде бір немесе бірнеше технологиялық операциялар орындалады (фосфорсыздандыру, күкіртсіздендіру, оттектсіздендіру және т.б.); бір сатылы, барлық сатылар біріктірілген және барлық қоспалар бір уақытта жойылған кезде;

- қондырғының конструкциясы бойынша: *табанды*, газ тәріздес және қатты реагенттер (оттегі, флюстер, кендер және т.б.) желобтық немесе табандық реакторларға түседі; *ағындық реакторлар*, барлық материалдар аспалы атомдалған тамшы тәрізді күйде болады; тек металл сынықтарын өңдеуге арналған *шахталы* пештер;

- балқыту өнімдерінің қозғалыс бағыты бойынша: *тура ағынды*, яғни шлак мен металдың қозғалысы бір бағытта жүреді; *қарама-қарсы ағынды*, яғни шлак пен металдың қарама-қарсы бағытта қозғалады.

Сұйық шойынды болатқа өңдеуге арналған ҰЖІББҚ-ң көпшілігі ошақ (табанды) қондырғы болып табылады. Үздіксіз сынықтарды өңдеу доғалық пештерде де, шахталы пештерде де жүргізіледі. Сұйық темірді өңдеуге арналған ҰЖІББҚ жартылай өнеркәсіптік сынақ деңгейінде болса, металл сынықтарын (сынықтарын) өңдеуге арналған ҰЖІББҚ белгілі бір танымалдылыққа ие екендігін айта кету керек. Бірақ соңғы жағдайда да алынған металл аралық өнім болып табылады және

оны қосалқы қондырғыларда болатқа дейін тазарту қажет, яғни, мұндай процесс болат балқытудың заманауи технологияларын толығымен алмастыра алмайды. Осылайша, бүгінгі күні жоғары сапалы болат өндірудің сенімді технологиясын қамтамасыз ететін және партиялық болатты жаппай өндірудің заманауи процестерімен салыстырғанда даусыз артықшылықтарға ие ҮЖІББҚ-ның оңтайлы конструкциясы бойынша шешімдер әлі табылған жоқ. Мүмкін бұл мәселенің шешімін болат балқыту процесіне және тұтастай алғанда үздіксіз процестерге сәл басқаша көзқараспен іздеу керек шығар. Кез келген үздіксіздік – белгілі бір жиіліктің дискреттілігінің жиынтығы. Мысалы, домна өндірісі үздіксіз процесс болып саналады, алайда ондағы балқыту өнімдерін тиеу де, шығару да мерзімді режимде ұйымдастырылады.

Болат өндірісі қолданыстағы технологияларды салыстырмалы үздіксіздік шарттарына жақындату бағытында дамуы мүмкін. Тағы бір зерттеу бағыт – болат балқыту процесін түсіну (қайта қарау) шойынның қажетті құрамдағы қорытпаға қайта бөлінуі емес, металды немесе дәлірек айтқанда темірді негізгі қоспадан – көміртектен (шойын мен болаттың айырмашылық белгісі бойынша) тазарту процесі ретінде қарастыру болып табылады. Бір мәселені шешу үздіксіз процесті ұйымдастыруды айтарлықтай жеңілдетеді. Тұтастай алғанда, бұған болат балқыту қондырғысының өзінің функцияларын азайту арқылы (қазірдің өзінде белгілі бір дәрежеде) қол жеткізілді, атап айтқанда: шойынның домналық емес күкіртсізденуі, домна пешінің негізгі ошағында шойынның кремнийсіздендіру, белсенді араластырғыштарды қолдану, болатты шығару аймағында оттегісіздендіру, шөміш (ковш) металлургиясы, пештен тыс өңдеу және т.б.

2.5.3. Болаттың классификациясы

Бірыңғай әлемдік классификация жүйесі жоқ. Белгілі бір факторларға байланысты және қасиеттерін тез тану үшін болат келесі критерийлер: мақсаты, сапасы, құрамы, өндіру әдісі және т.б. бойынша жіктеледі.

ТМД елдерінде бірнеше жіктеу әдістері қолданылады. Белгілері бойынша болат конструкциялық, аспаптық, подшипниктік және т.б. жіктеледі. Сапасы бойынша – 3 негізгі топқа: жоғары сапалы, сапалы, қарапайым сапалы болып бөлінеді. оттегісіздендіру әдісі бойынша – қайнату, жартылай тыныш, тыныш болып бөлінеді. Өндіру әдісіне сәйкес болат конвертерлік болат, электрлік болат және т.б. болуы мүмкін; сондай-ақ алудың нақтырақ шарттарын көрсете отырып жіктелуі де мүмкін. Құрамы бойынша, көбінесе болаттың қасиеттерін толық көрсетіледі, ол екі негізгі класқа бөлінеді: *көміртекті* (≥ 94 % темір), оның ішінде төмен көміртекті, орташа көміртекті, жоғары көміртекті; *легіріленген*, соның ішінде төмен легіріленген және жоғары легіріленген болып жіктеледі. Жоғары легіріленген болаттар, темір мен көміртектен басқа, бір немесе бірнеше элементтердің: никель, хром, марганец, кобальт, молибден және т.б. едәуір мөлшерін қамтиды. Жоғары легіріленген болаттар санатына тот баспайтын болаттардың маркалары, аспаптық болаттар, т.б. жатады.

ТМД елдерінде маркада салыстырмалы химиялық құрамды көрсету үшін кириллица алфавитінің әрпімен анықталған металдың құрамындағы элементтерді белгілеу қабылданған (мысалы, Mn – Г; Cr – X; Ni – Н; V – Ф; Ti – Т) және олардың артындағы сандар олардың сандық мазмұны бойынша пайыздық дәлдікпен көрсетеді. Әріптен кейін сандардың болмауы бұл элементтің 1 % -дан аз болуын көрсетеді. Легіріленген болатты таңбалаудағы бірінші сандар (әріпсіз) көміртегінің мөлшерін пайыздың жүзден бір бөлігімен көрсетеді. Мысалы, 30X2N маркалы болат құрамында 0,3 % C, 2 % Cr және 1 % -дан аз Ni бар.

2.6. Болатты пештен тыс өңдеу және құю

2.6.1. Пештен тыс өңдеу

Пештен тыс өңдеу болаттың сапасын жақсарту үшін қолданылады және химиялық байланысқан зиянды қоспаларды одан әрі азайтуға, сондай-ақ еріген газдар мен металл емес қосындыларды жоюға бағытталған.

Практикада пештен тыс өндеудің келесі түрлері қолданылады.

Синтетикалық шлактармен болатты өңдеу

Берілген химиялық құрамдағы балқытылған шлак алдын ала болат массасының 5–8 % мөлшерінде болат құю шөмішіне құйылады. Содан кейін болат шағын ағынмен шөмішке жіберіледі. Бұл жағдайда болаттың қожбен қарқынды араласуы орын алады, олардың жанасу беті күрт артады, бұл металды күкіртсіздендіру мен тотықсыздандырудың жоғары дәрежесін қамтамасыз етеді. Ең жиі қолданылатын шлактар: CaO 50–55 %; Al_2O_3 40–45 %; FeO (<1%) және SiO_2 (<5 %) ең аз мөлшерімен.

Металды вакуумдық өңдеу

Вакуумдық өндеу кезінде сұйық болаттан еріген газдар бөлінеді: CO , CO_2 , N_2 және H_2 әсіресе белсенді, сонымен қатар оксидті металл емес қосындылардың пайда болуы. Болатты вакуумдық өндеуді жүзеге асырудың әртүрлі әдістері бар, олардың ең тиімдісі шөміштен шөмішке құю нұсқалары және әсіресе металды құю кезінде. Металл ағыны вакуумда (100–400 Па) толып кеткен кезде бөлек тамшыларға ыдырайды. Металдың меншікті бетінің ұлғаюына байланысты газсыздандыру процесі айтарлықтай жылдамдайды. Екінші нұсқада болаттың құймаларға құю кезеңінде оның газдармен қанығуы да жоққа шығарылады.

Болатты инертті газдармен тазарту

Бұл әдісте үрлеу нәтижесінде болат қарқынды араласады және газ фазасындағы еріген компоненттердің парциалды қысымы төмендейді. Нәтижесінде газдар мен металл емес қосындыларды жою процестері жеделдетіледі (соқтығыстар кезінде оксидтердің кішкентай тамшыларының ұлғаюы нәтижесінде). Газды тұтыну (әдетте аргон) болат 0,5–2,5 м³/т. Жұмыс принципі бойынша әдіс алдыңғыға ұқсас.

Ұнтақты материалдарды болатқа айдау

Әдіс химиялық құрамын реттеу үшін қолданылады. Фосфорды жою үшін ұсақталған әк, темір рудасы және флюорит қоспасын ауамен үрлейді. Күкіртті кетіру үшін әк пен флюоршпаттың ұнтақ қоспасы аргонмен үрленеді. Карбюризациялау мақсатында графит, кокс және көмір

ұнтақтары инертті газбен үрленеді. Еркін кесілетін болаттарды алу үшін қорғасын үрленеді. Бұл әдіспен тасымалдаушы газ да болаттың сапасына белгілі бір оң әсер етеді.

Электрошлак металдарын қайта балқыту

Әдіс айтарлықтай электрлік кедергісі бар сұйық шлак қабаты арқылы электр тогын өткізуден тұрады. Бұл кезде оның ішінде жылу бөлінеді, ол қожға батырылған қайта балқытылған электродтың ұшын ерітуге жеткілікті. Металл тамшылары шлактан өтіп, күкірт пен оксидті металл емес қосындылардан тазартылады, сумен салқындатылған мыс кристаллизаторына құйылады, құйма түзеді. Жылдам қатаю зиянды элементтердің бөлінуімен байланысты құймадағы ақаулардың пайда болуына жол бермейді. Тұтынылатын электрод кәдімгі болат құймасынан соғу, илемдеу немесе жартылай үздіксіз құю арқылы дайындалады. Электрқожды қайта балқыту процесінде болаттағы Cu , Mn , Ni , Cr , V , W , Mo мөлшері өзгермейді; Si , Ti , Al ішінара жанып кетті. Күкіртсіздендіру деңгейі 80 % жетеді; болаттағы қалдық күкірт мөлшері 0,005–0,006 % құрайды. Электр энергиясын тұтыну 1400 кВт/т болат.

2.6.2. Болат құю

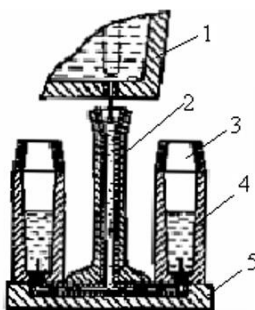
Балқытылған болаттың бір бөлігі (жалпы өндірістің шамамен 2 %) болат құюға жұмсалады. Негізгі сома әртүрлі пішіндер мен өлшемдердің құймаларына құйылады, олар пластикалық деформация әдістерін қолданатын бұйымдарды дайындауға арналған дайындамалар болып табылады. Құю – болат балқытудағы маңызды кезең. Құйманың технологиясы мен ұйымдастырылуы көбінесе дайын металдың сапасын және құймаларды қайта бөлу кезіндегі қалдықтардың мөлшерін анықтайды. Бұрын балқытылған болаттың 25 %-ға дейінгі құйманы құю және кристалдану кезінде пайда болған ақауларға байланысты қайта балқытуға қайтарылатын.

Сұйық болаттан құйма немесе дайындамаларды өндіру не құю қалыптарымен (шойынның массивтік пішіндері), өз кезегінде, жоғарыдан немесе сифонмен, немесе үздіксіз құю машиналарында (ЦМ) жүзеге асырылады.

Жоғарыдан құю кезінде шөміштен алынған болат паллеттерде орнатылған қалыптарға тікелей беріледі. Қалыпты толтырғаннан кейін шөміш түбіндегі саңылау сырғымалы қақпақпен немесе тығынмен жабылып, шөміш келесі қалыпқа тасымалданады.

Кейде жоғарыдан құйылған кезде құю уақытын қысқарту үшін қос тоқтағыш шөміштер қолданылады. Металл шашырауын болдырмас үшін тундилер немесе шұңқырлар да қолданылады.

Сифонды құю жағдайында (2.12-сурет) паллетке бірнеше қалып орнатылады, олар төменнен орталық шнурға отқа төзімді материалдан жасалған арналар арқылы қосылады. Болат құю шөмішінен сұйық болат орталыққа түседі, ал одан – арналар арқылы қалыптарға түседі.

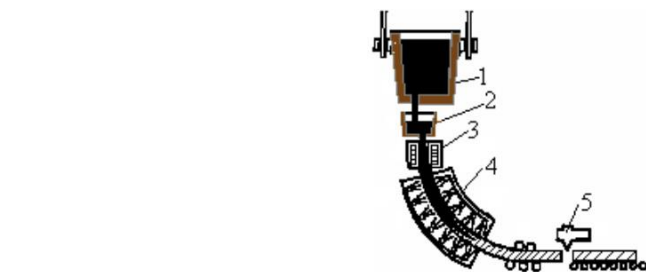


2.12-сурет. Сифонды құю
1 – шөміш; 2 – орталық; 3 – пайдалы ұзарту;
4 – қалып; 5 – паллет

Қазіргі уақытта жаппай өндірістегі қалыптарға құйылған болаттың үлесі тұрақты түрде төмендеуде. Жақын арада болаттарды қалыптар арқылы құю тек жеке (түпнұсқа) немесе шағын өндірістің жоғары сапалы, жауапты құймалары үшін қалады.

Металлургиялық кәсіпорындарда болаттың негізгі бөлігі үздіксіз құю машиналарына құйылады. Үздіксіз құю машинасының жұмыс істеу принципі (2.13-сурет) сұйық болат

болат құятын шөміштен (1) аралық шөмішке (2) және одан сумен салқындатылатын кристаллизаторға (3) үздіксіз шығарылады. түбі жоқ қалыптың бір түрі.



2.13-сурет. Үздіксіз құю машинасының сұлбасы

Қалыпта түзілген сұйық өзектелген құйма орамдар арқылы тартылады. Қалыптан шыққан кезде құйма қайталама салқындату аймағына (4) түседі, онда оның беті саптамалардың көмегімен сумен қарқынды түрде салқындатылады. Толығымен қатайған құйма содан кейін кесу аймағынан өтеді, онда газбен кесу немесе ұшатын гидравликалық қайшылар (5) көмегімен қажетті ұзындықтағы дайындамаларға қозғалысын тоқтатпай кесіледі. Алынған дайындама әртүрлі секциялық пішінге ие болуы мүмкін (шаршы, тіктөртбұрыш, шеңбер). Үздіксіз құю машинасының өнімділігі белгілі бір өндіріс үшін таңдалады және кең ауқымда өзгереді. Конструкциясы бойынша БКМ бірнеше түрде жасалады: тік, қисық, құйма иілісі бар, көлденең; сонымен қатар – бір мезгілде алынған құймалардың санына байланысты – бір, екі, көп жіпті. Үздіксіз құю машиналарының (формаларға құюмен салыстырғанда) негізгі артықшылықтары:

- өнімділікті арттыру;
- қолайлы шығымдылықтың жоғарылауы (жиырылу қуысының болмауына байланысты);
- құйманың химиялық және физикалық біртектілігін арттыру;
- қол еңбегінің құнын төмендету және еңбек жағдайын жақсарту;

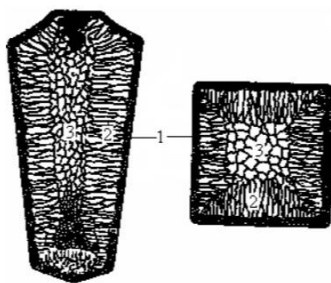
- құю процесін автоматтандыру мүмкіндігі;
- металлургиялық кәсіпорындардың құрамынан гүлдейтін (гүлдеу және тактайшалар) және тіпті дайындамаларды шығару.

2.6.3. Болаттың кристалдануы және болат құймасының құрылымы

Қаттылану – кристалдану металдарды белгілі бір температураға дейін суытқанда жүреді. Әрбір металдың, қорытпаның өзіндік теориялық кристалдану температурасы бар, ол сондай-ақ балку нүктесі болып табылады. Металл балқымасы теориялық кристалдану температурасына жеткенде, сұйық фазаның бос энергиясы кристалдық фазаның бос энергиясына тең болады. Жүйе тепе-теңдікте және кристалдану процесі жүрмейді. Кристалдануды бастау үшін сұйықтықты теориялық кристалдану температурасынан төмен салқындату керек. Бұл температура нақты кристалдану температурасы деп аталады. Теориялық және нақты кристалдану температураларының арасындағы айырмашылық суыту дәрежесі деп аталады. Кристалдану процесі екі кезеңнен тұрады – кристалдану орталықтарының (ядролардың) ядролануы және кристалдардың өсуі. Кристалдардың біртекті және гетерогенді ядролануын ажырату. Біртекті нуклеация жоғары таза металдардың кристалдануына тән және атомдардың қозғалысының (кинетикалық энергиясының) төмендеуіне, атомдық топтардың түзілуіне және ядро термодинамикалық тұрақты болатын атомдық топтардың критикалық радиусқа жетуіне дейін төмендейді. Ыдырамайды және кристалдану орталығының рөлін атқара бастайды. Нақты жағдайларда нуклеацияның көзі металлда әрқашан болатын қатты бөлшектер (металл емес қосындылар) болып табылады – гетерогенді ядролар. Кристалдардың өсуі балқымадан ядроларға жаңа атомдардың қосылуына байланысты болады. Кристалдану процесі біркелкі емес. Бастапқыда процесс көбірек эмбриондар пайда болған сайын жеделдетіледі. Кейіннен өсіп келе жатқан кристалдардың өзара соқтығысуы, сондай-ақ сұйықтық көлемінің азаюы кристалдардың өсуін болдырмайды және процесс баяулайды. Кристалл сұйықтықпен қоршалған кезде

оның пішіні дұрыс болады, бірақ кристалдардың соқтығысуы және жиналуы кезінде олардың дұрыс пішіні бұзылады, ал кристалдардың пішіні өсіп келе жатқан кристалдардың жанасу жағдайларымен анықталады. Болат көп компонентті ерітінді болып табылады және таза металдардан айырмашылығы, белгілі бір фазалық түрлену температурасы болмайды және кристалдану диапазоны деп аталатын белгілі бір температура диапазонында кристалданады. Біріншіден, көміртегі мен қоспалар азайып кеткен кристалдар тұнбаға түседі, яғни балқу температурасы жоғары. Сәйкесінше балқымадағы қоспалардың концентрациясы жоғарылайды және сұйық фазаның қату температурасы төмендейді. Мұның бәрі қатып қалған құйманың химиялық гетерогенділігіне әкеледі. Кристалдану интервалының мөлшері болаттың құрамына және құйманың қатаю шарттарына байланысты.

Құрылымы бойынша кез келген құйма құйманы (2.14-сурет) салқындату жағдайларымен анықталатын үш негізгі аймаққа бөлуге болады.



2.14-сурет. Құйманың макроқұрылымы

Сыртқы (1) аймақ – ұсақ түйіршікті қыртыс, күрт салқындауға және көп мөлшерде эмбриондардың пайда болуына байланысты ол бағдары бұзылған ұсақ кристалдардан – дендриттерден тұрады. Екінші аймақ (2) жылуды кетіру жағдайының өзгеруіне байланысты пайда болады және ядролардың салыстырмалы түрде аз санынан алынған және жер қыртысының бетіне қалыпты бағытталған бағаналы

кристалдардан тұрады. Құйманың ортасында тепе-тең кристалдар аймағы (3) бар, өйткені енді жылу берудің белгілі бір бағыты жоқ. Бағаналы кристалдар аймағында металл тығызырақ, қабықтар мен газ көпіршіктері аз болады. Сондықтан бағаналы және тең осьті кристалдар аймақтарының қатынасы үлкен мәнге ие. Салқындату жылдамдығының жоғарылауымен бағаналы кристалдардың үлесі артады, баяу салқындаған кезде тең осьті кристалдар аймағы артады. Кристалдану барысында металл көлемі азаяды, сондықтан құйма құрылымында да шөгу қуыстары пайда болады. Әртүрлі тотықсыздандырылған болаттан жасалған құймалардың өзіндік құрылымдық ерекшеліктері бар.

Тыныш болаттан жасалған құйманы келесі 6 құрылымдық аймаққа бөлуге болады: 1 – жұқа қыртыс болып табылатын және ұсақ тураланбаған кристалдардан тұратын беткі қабат; 2 – бағаналы кристалдар аймағы; 3 – кристалдардың баяу өсу аймағы, олардың өлшемдерінің кішіреюі және құйма басына ауытқуы; 4 – тең осьті (еркін бағытталған) кристалдар аймағы; 5 – құйманың төменгі бөлігіндегі тұндыру конусы аймағы, ол тігінен бағытталған кристалдар мен 2 және 3 аймақтардың қоқыстарынан және 4 аймақ кристалдарының түсуінен түзілген өзара өскен кристалдар; 6 – құйманың жоғарғы бөлігіндегі шөгу қуысы.

Қайнайтын болат құймасы келесі аймақтардан тұрады: 1 – беткі қабат; 2 – шығарылатын газдардың әсерінен бағаналы кристалдар арасында түзілетін бал ұяшық көпіршіктерінің аймағы; 3 – тығыз металл аймағы; 4 – кристалдардың өсу қарқынының төмендігі жағдайында түзілген сфералық екінші көпіршіктер аймағы; 5 – осьтік аймақ, тең осьті (еркін бағытталған) кристалдардан тұрады, олардың жоғарғы бөлігінде шөгу сипатының көпіршіктері де болуы мүмкін.

Тынышпен салыстырғанда қайнаған болат құймасын алудың артықшылықтары: шөгу қуысының болмауы және тиісінше бас жиектерінің кішірек (2 есе) үлесі; жоғары металл шығымдылығы; күйу жабдығының қарапайымдылығы (пайдалы кеңейтулер жоқ); тотықсыздандырғыштарды аз тұтыну. Кемшілігі: гетерогенділік дәрежесінің жоғарылауы (ликвациясы).

Жартылай тыныш болат тотықсыздану және кристалдану тәртібі бойынша қайнау және тыныш болат арасында аралық

орынды алады. Жартылай тыныш болаттың құймасын өндіру кезінде қайнау және тыныш болаттың артықшылықтары пайдаланылады. Құйма біртектілігі жоғары, шөгілетін қуыссыз және тотықсыздандырғыштардың аз шығынымен алынады. Кристалдану кезінде металл қысқа уақыт қайнайды, содан кейін тыныш күйде қатады.

Үздіксіз құйылатын дайындаманың құрылымы кез келген құйма құймалар үшін анықталған аймақтардан тұрады.

2.7. Қюю өндірісі

Қюю цехының мақсаты – сұйық металдан берілген геометриялық пішіндегі бұйым алу. Қюю өндірісінің мәні балқытылған металды дайындалған құйма қалыпқа қююдан тұрады, ол кристалданғаннан кейін болашақ өнімнің конфигурациясы мен өлшемдерін алады. Алынған бұйымның материалы ретінде қолданылатын металл қорытпасы белгілі бір құйма қасиеттеріне ие болуы керек: жоғары өтімділік (яғни, қалыпты жақсы толтыру мүмкіндігі), кристалдану кезінде аз шөгу және төмен сегрегация. Қюйма жасау процесі бірқатар параллельді және кезекті операцияларды қамтиды: **үлгілерді жасау, қалыптау құмдарын дайындау, қалып алу, металл балқымасын дайындау, қалып қюю, қатайғаннан кейін қалыптан құймаларды қағу, өнімді тазалау.**

Металл балқымасын алу үшін әртүрлі шағын көлемді пештер қолданылады: күмбезді, доғалық және индукциялық электр пештері, сирек мартен пештері және т.б. Кесек, құймалар, құймалар, сынықтар, тиісті қалдықтар (берілген химиялық құрамды алу үшін) металдар, сонымен қатар қоспалар, флюстер, кейде отын. Металлургиялық кәсіпорындардың құрамына кіретін қюю цехтарында құйма алу үшін түпнұсқа металл балқымасын пайдалануға болады. Темір қюю тәжірибесінде шойынның 90 %-ға жуығы өндірілетін күмбездер ең көп таралған. Куполь – әдетте цилиндрлік тұрақты көлденең қимасы бар шахталы пеш. Жұмыс принципі бойынша бұл домна пешінің жеңілдетілген нұсқасы, яғни кокс бар шихта жоғарыдан арнайы терезе арқылы жүктеледі, ал ауа ауа қорабы мен фурмалар арқылы ошаққа төменнен

беріледі. Күмбез төменгі бөлігінде шойын мен қожды кезенді түрде ағызу құрылғыларымен – кран саңылауларымен, жоғарғы бөлігінде – шанды жинауға арналған ұшқын сөндіргішпен жабдықталған. Шойын құю шөмішіне жіберіледі және (кейде алдын ала өңдеуден кейін – модификациядан, тазартудан және т.б.) құю қалыптарына тасымалданады. Қожды металл ыдыстарға – кож құмырасына төгеді. Кейбір жағдайларда күмбездерді шүмексіз саңылаусыз жасайды – балқыту өнімдері жинау жәшігіне үздіксіз шығарылады. Коксты тұтынуды азайту үшін жарылыспен бірге табиғи газ (газ купальдары) беріледі, сонымен қатар қыздырылған ауа қолданылады. Күмбезді балқыту науқанының ұзақтығы орта есеппен бір тәулікке жуық. Содан кейін тиеу токтатылады, шихта колоннасы максималды балқытылады, салқындату жүргізіледі және бөлінген түбі ашылады, ол арқылы қалдық материалдар жойылады. Күмбез ішінен отқа төзімді кірпішпен (шамот, сирек магний) қапталған. Балқыту процесінде қаптама негізінен төменгі (ошақ) бөлігінде коррозияға ұшырайды. Сондықтан кейде күмбезді бөлінген типті – домалақ ошақпен жобалайды. Электр пештерінде қара металдардың балқымасын алу оларда болат өндіруге ұқсас (шын мәнінен екі жағдайда да құйма алу үшін).

Модель – қалыптарда балқытылған қуыстар жасауға арналған бөлшектің макеттері.

Қалыптау қоспасы – құю қалыптарын жасауға арналған материал – құм, саз, байланыстырғыш және қоспалардан тұрады. Тұтқырлар мен қоспаларды қалыптау қоспаларына олардың пластикасын, газ өткізгіштігін, термохимиялық төзімділігін, сәйкестігін және басқа да қасиеттерін жақсарту, жоғары сапалы құйма алуды қамтамасыз ету үшін енгізеді. Қоспаның спецификалық құрамы құйма қорытпасының маркасымен, оның температурасымен, өнімнің көлемімен және т.б. жүгірушілермен) бір мезгілде ылғалдандырумен, саздың толық және біркелкі ылғалдануымен (2–6 сағ ішінде) пісіп жетіледі. Газ өткізгіштігін және тығыздаудың біркелкілігін арттыру үшін қосыту. Материалдарды үнемдеу үшін қалыптау қоспалары, әдетте, екі түрде дайындалады – қаптау және толтыру. Беткейлік қоспалар, жаңа материалдарды пайдалана отырып, қалыптың

жұмыс бетінің шағын қабатын құрайды және балқымамен тікелей байланыста болады. Толтырғыш қоспалар қалыптың негізі ретінде қызмет етеді және қалдық материалдардан тұрады.

Құйма қалыптарды дайындау қалыптарды қалыптау қоспасымен (арнайы жақтаулар) оның ішінде үлгісі немесе оның бір бөлігі (егер модель бөлінген болса) толтырудан, қоспаны нығыздаудан, үлгіні алуан, *қалыптарды* құрастырудан (бөлінген және күрделі үлгілер үшін) және оны қатайту (кептіру немесе химиялық қатайту арқылы) тұрады. Егер құйылған бөлікте қуыстардың болуы қамтамасыз етілсе, онда штангалар қалыпқа орнатылады. Құю цехында бір реттік (құмды-сазды қалыптау қоспаларынан), жартылай тұрақты (отқа төзімді материалдардан) және тұрақты (металлдан – *салқындатқыш қалып* деп аталатын) пішіндер қолданылады. Инвестициялық құю әдісінде үлгі қалыптан алынбайды, күйдіру, еріту, балқыту арқылы жойылады. Қалыптың ішкі беті оны дайындағаннан кейін және балқымамен құяр алдында жабыспайтын материалдың жұқа қабатымен (бояулар, отқа төзімді материалдардан шаң) жабылады.

Қалып ысырма жүйесі арқылы балқытылған металмен толтырылады (қалып қуысына металды жеткізуге арналған арналар жүйесі). Шкафтар жүйесі қалыптың тегіс толтырылуын қамтамасыз етуі және құймаға металл емес қосындылардың түсуін болдырмауы керек. Шлагбаум жүйесі, жалпы алғанда, келесі бөліктерден тұрады: *тостаған, көтергіш, шлак ұстағыш, қоректендіргіштер және саңылаулар*. *Тостаған* металды қабылдауға және шлақты сақтауға арналған. *Көтергіш* – тостаған мен қож ұстағыштың арасында орналасқан тік арна. *Шлакты ұстағыш* – көтергішті қоректендіргіштерге қосатын және металл емес қосындыларды қосымша сақтайтын көлденең арна. *Қоректендіргіштер* – балқыманы тікелей қалыпқа біркелкі беру үшін арналар жүйесі. *Желдеткіш* – ығысқан ауаны шығаруға, құю процесінің аяқталуын анықтауға және қату кезеңінде құйманы қайта зарядтауға арналған қалып қуысын сыртқы ортамен байланыстыратын тік арна. Шкафтар жүйесінің конструкциясы және құю процесі көбінесе қалыпқа металды беру орны және қалыпты балқымамен толтыру жылдамдығы сияқты

факторлардың әсерінен дайын құйма сапасын анықтайды. Толтыру жылдамдығын бақылау үшін арнайы құю және мөлшерлеу құрылғылары қолданылады.

Құйма қатайғаннан кейін, беріктікке ие болу және бұзылып кетпеу үшін оны қағу алдында біраз уақыт қалыпта ұстайды. Пішіндерді әдетте механикалық діріл немесе діріл-шок торларында қағып тастайды. Құйма мен колба торда қалады, ал қалыптау құмы ыдырап, оның ішіне түседі. Жауапты және нәзік құймалар қағу алдында арнайы берілген элементтерге арналған қалыптардан алынады. Қалыптан құйма бөлгеннен кейін штангалардың қалдықтары дірілмен, сығылған ауамен немесе сумен жойылады. Қалыптан бөлінген құйма қандай да бір жолмен құю цехының соңғы операцияларына – *кесу және тазалауға ұшырайды*. Түтіктеу – қақпалардың, көтергіштердің, көтергіштердің, шығанақтардың өнімінен бөлу. Тазалау – күйген жерлерді жою және бет сапасын жақсарту (мысалы, атқылау машиналарымен).

Құю өндірісінің тиімділігін және құймалардың сапасын арттыру үшін арнайы құю әдістері де қолданылады: қысыммен, центрифугалық және т.б.

2.8. Металдарды қысыммен өңдеу

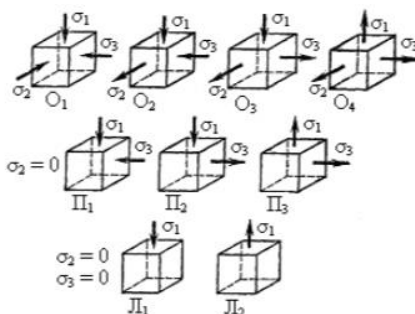
Қысыммен өңдеу металдардан механикалық күштерді қолдану арқылы, көрсетілген геометриялық параметрлері бар бұйымдарды алуға арналған және металдардың пластикалық (яғни, жүктемені алып тастағаннан кейін қайтымсыз) деформациялану қабілетіне негізделген. Қысыммен өңдеу металдардың ыстық күйінде де, суық күйінде де жүргізіледі. Суық өңдеу негізінен дайын өнім өндірудің соңғы сатыларында қолданылады. Бұл жағдайда деформация көбінесе жұмыстың катаюы (қатайту) құбылысымен бірге жүреді, бұйымдар өлшемдік дәлдік пен бет сапасының жоғарылауымен ерекшеленеді, шкала түзілмейді. Дегенмен, суық күйде металдың деформацияға төзімділігі жоғары және өңдеу шығындарының жоғарылауын талап етеді. Сондықтан қысыммен өңдеу алдында металды тиісті күй диаграммасы бойынша солидус сызығынан аспайтын температураға дейін алдын ала қыздырады (болат

дайындамалар $\sim 1250^\circ \text{C}$ дейін қызады). Өндіріс көлемі бойынша ыстық өңдеу салқын өңдеуден айтарлықтай алда. Өңдеу алдында металды қыздыру үшін әртүрлі конструктивті ерекшеліктері бар пештер қолданылады: камералық, қыздыру ұңғымалары – құймаларды қыздыру үшін; әдістемелік, айналмалы ошағы бар дөңгелек, электрлік және т.б. – дайындамаларды жылытуға арналған.

Практикада металды қалыптаудың келесі түрлері қолданылады: илемдеу, тарту, престеу, соғу, штамптау.

2.8.1. Металды қалыптаудың теориялық аспектілері мен принциптері

Қысым немесе пластикалық деформация арқылы металды түзу теориясы көбінесе материалдардың беріктігі туралы ғылымға, сонымен қатар қолданбалы математикаға, физикаға, физикалық химияға және т.б. негізделген. Деформация – дененің үздіксіздігін сақтай отырып пішін мен өлшемнің өзгеруі. Пластикалық деформация денеге сыртқы (белсенді) күштер мен байланыс реакцияларының әсерінен жүзеге асады, бұл бастапқыда денеде ішкі кернеулердің пайда болуына (күштің ауданға қатынасы) және серпімді (қайтымды) деформацияның пайда болуына әкеледі. Басқаша айтқанда, дене пластикалық деформацияға дейін кернеулі күйде болады. Металлдың элементар көлемінің деформация кезінде кернеулік күйі кернеу бағытына байланысты 9 түрлі схема бойынша мүмкін болады (2.15-сурет): 2 – сызықтық, 3 – жазық және 4 – көлемдік.



2.15-сурет. Күйзеліс күйлерінің диаграммалары

Пластикалық деформация пайда болады пластикалық шарт орындалғанда, яғни кернеу белгілі бір мәнге жеткенде, әрбір нақты жағдай үшін шекті мән. Деформацияға төзімділік берілген шекті мәнге дейін пішіні мен өлшемінің қайтымсыз өзгерістеріне төзімділікпен анықталады. Деформацияға төзімділік кернеу күйінің диаграммасына, металдың табиғи қасиеттеріне, температураға, өңдеу режимдеріне, металдың сапасына байланысты және жалпы алғанда пропорционалды, ал сызықтық кернеулік күй диаграммасы жағдайында аққыштық нүктесіне тең. Икемділік шартының және деформацияға төзімділікті женудің практикалық мәні берілген қайтымсыз деформацияны қамтамасыз ету үшін ең аз мүмкін болатын күшті анықтау болып табылады.

Металл қалыптау процестерінде келесі негізгі принциптер сақталады:

- ең аз қарсылық принципі, егер әртүрлі бағытта қозғалу мүмкін болса, деформацияланатын дене бөлшектерінің қозғалысы ең аз кедергі жолымен жүреді;

- көлемнің тұрақтылық принципі, яғни деформацияға дейінгі металдың көлемі деформациядан кейінгі көлемге тең.

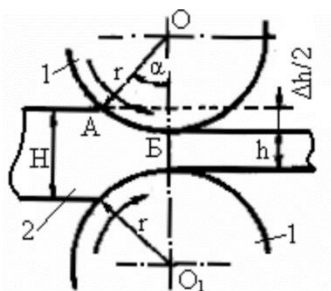
Соңғы принцип қалыптасу процесін кез келген уақытта талдауға мүмкіндік береді. Ұзындығы мен көлденең қимасының ($L_1 S_1 = L_2$) көбейтінділері түріндегі көлемдердің теңдігі ($V_1 = V_2$) L_2 / L_1 қатынасы салыстырмалы ұзаруды сипаттайды және созылу (μ) деп аталады. Бірнеше ретті операцияларда қысыммен өңдеу кезінде жалпы сығынды жеке сығындылардың өніміне немесе операциялар санының қуатында бір операциядағы орташа экстракцияға тең:

$$\mu_{\Sigma} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \dots \cdot \mu_n = (\mu_{cp})^n \text{ немесе } n = (\lg S_0 - \lg S_n) / \lg \mu_{cp}. \quad (2.31)$$

Егер көлемді уақытқа байланыстырсақ, онда прокат жағдайында металдың деформацияның кез келген сәтіндегі жылдамдығын анықтауға болады.

Деформация механизміне тетік пен құралдың беттерінің өзара орын ауыстыруынан туындайтын жанасу немесе сыртқы үйкеліс айтарлықтай әсер етеді. Бұл жағдайда кернеу күйінің

диаграммасы өзгереді. Сыртқы үйкеліс, илектеуден басқа, әдетте энергия шығындарының артуына, құралдың тозуына, сапаның төмендеуіне және т.б. салдарынан қалыптау процестеріне теріс әсер етеді.



2.16-сурет. Домалау кезіндегі деформация аймағы

1 – орам; 2 – жолақ

Үйкелісті азайту үшін әртүрлі майлау материалдары қолданылады, құралдың да, бөлшектердің де беткі қабатының жоғарылауы, құрал мен бөліктің материалдарының қасиеттерінің айырмашылығы. Домалау теориясында үйкеліс басқа рөл атқарады.

Дайындама айналмалы орамдарға тиген кезде (2.16-сурет), олардың арасында металды деформация аймағына тартатын үйкеліс күшін қоса алғанда, өзара әрекеттесу пайда болады. Үйкеліс күші үйкеліс коэффициентіне пропорционал екені белгілі, ол өз кезегінде үйкеліс бұрышының тангенсіне тең. Шиыршық жолақпен жанасатын доға (айналу кезінде деформацияланған кез келген қиманың денесі жолақ деп аталады) түсіру доғасы (AB) деп аталады, ал оған тірелген бұрыш түсіру бұрышы (α) деп аталады. Ұстауды қамтамасыз ету үшін ұстау бұрышы ұстау кезінде үйкеліс бұрышынан (β) немесе шағын үйкеліс бұрыштарында ($\operatorname{tg} \beta \sim \beta$ кезінде) үйкеліс коэффициентінен аз болуы қажет. Жолақ деформация аймағына енген кезде металды сығып шығарады, ол орамдарға кірер алдында жолақтың бір бөлігіне баяулататын және орамдардан

кейін жолақтың бір бөлігіне үдеткіш әсер етеді. Жолақ пен орамдардың сызықтық жылдамдығы арасындағы салыстырмалы айырмашылық бірінші жағдайда лаг деп аталады, екіншісінде – жетекші. Прокаттың міндеті, жалпы алғанда, көлденең қиманың ауданын азайту және соның салдарынан бойлық өлшемдерді ұлғайту болып табылады. Сонымен қатар, кеңею пайда болады – қажетсіз көлденең деформация. Кеңейтудің дамуына немесе азаюына әртүрлі факторлар әсер етеді: жолақ өлшемі, абсолютті қысқарту, орам диаметрі, өту саны және т.б.

Домалау кезінде қажетті пластикалық деформацияны қамтамасыз ету материалға тиісті күштің арқасында қол жеткізіледі және домалау күшімен сипатталады. Домалау күші процестің ең маңызды параметрі болып табылады, өйткені ол бір жағынан илемдеуді жүзеге асырудың шарты болса, екінші жағынан жабдықты дұрыс таңдаудың бастапқы нүктесі болып табылады. Домалау күші (P) контактінің ауданы бойынша (16-суретке сәйкес орам мен металл арасындағы) орташа жанасу қысымының (немесе меншікті күш – p) көбейтіндісі арқылы анықталады және оны мына теңдеу түрінде көрсетуге болады:

$$P = p \cdot ((B_1 + B_2)/2) \cdot \sqrt{(\Delta h \cdot r)}, \quad (2.32)$$

мұндағы B_1, B_2 – прокатқа дейінгі және одан кейінгі жолақ ені. Домалау күшінің шамасы бойынша домалау моменті ($M_{пр}$) әсер етуші күштердің иінінен домалау күшінің қос көбейтіндісі ретінде есептеледі ($M_{пр} = 2\Pi$).

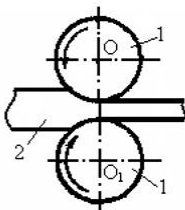
2.8.2. Металды қалыптау әдістерінің сипаттамасы

Металл илемдеу – дайындаманың көлденең қимасын кішірейту және оған берілген пішін беру үшін бастапқы дайындаманы айналмалы роликтер арқылы сығымдайтын пластикалық өңдеу түрі. Пластикалық деформация әдістерінің ішінде прокат ерекше орын алады, өйткені бұл әдіс дайын өнімдерді, сондай-ақ дайындамаларды алу үшін қолданылады. Барлық балқытылған металдың 75 %-дан астамы прокат стандарттарының орамдары арқылы өтеді. Прокат өндірісінің

технологиялық схемасы келесі операцияларды қамтиды: құйма немесе дайындамаларды дайындау → қыздыру → илектеу → салқындату → дайын прокатты өңдеу және жеткізу. Егер балқытылған металл құймаларға құйылған болса, әсіресе үлкен салмақты, дайындамаларды алдын ала алады – гүлдену (шаршы қима) немесе плиталар (тікбұрышты қима). Содан кейін блюмдер секциялық диірмендерде, ал плиталар табақ диірмендерінде тікелей немесе дайындама диірмендерінде илектенуден кейін илектеледі. Прокат илемдеу стандартында жүзеге асырылады – қозғалтқышты, беріліс механизмдерін және құрылғыларды, жұмыс стендтерін қамтитын механизмдер жиынтығы. Прокат стандарты тағайындалуы, жұмыс стендтерінің түрі және олардың орналасуы бойынша жіктеледі. Прокат стандарты мыналарға бөлінеді: дайындама (жартылай өнім) өндіруге арналған диірмендер – гүлдейтін (гүлдеу және тақталайтын), дайындама диірмендері; дайын прокат өндіруге арналған диірмендер – секциялы (кіші секциялы, орташа секциялы, ірі секциялы, сымды), рельсті, қаңылтырлы, құбырлы және т.б. Түрі бойынша жұмыс стендтері орамдардың саны және олардың өзара орналасуы бойынша ерекшеленеді: екі орамды стенд (дуо стенд), үш орамды стенд (трио), төрт, алты және көп орамды стендтер, сондай-ақ планетарлық стендтер. Жұмысшылардың орналасқан жері бойынша домалау стендтері бір тұғырлы, сызықты, үздіксіз, жартылай үздіксіз, иректік, шахматты болып бөлінеді.

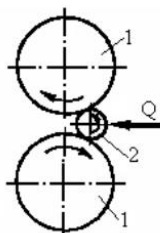
Домалаудың 3 негізгі әдісі бар: бойлық, көлденең және бұрандалы.

Бойлық илемдеу кезінде (2.17-сурет) бір-біріне қарай айналатын орамдар арасында деформация пайда болады.



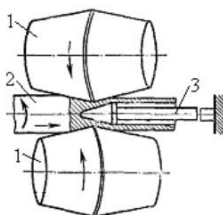
2.17-сурет. Бойлық илемдеу
1 – орамдар; 2 – жолақ

Көлденең прокатта (2.18-сурет) орамдар мен өңделетін дайындаманың осьтері параллель болады, орамдар бір бағытта айналады, дайындама орамдарға қарай айналады.



2.18-сурет. Айқас илемдеу
1 – орам; 2 – дайындама

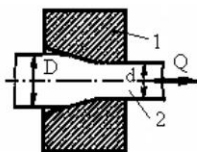
Бұрандалы илемдеу (2.19-сурет) бір-біріне белгілі бір бұрышта орнатылған бір бағытта айналатын орамдарда орындалады.



2.19-сурет. Бұрандалы илемдеу
1 – орамды; 2 – дайындамаларды бұрандалы илемдеу;
3 – мандрел бар өзек

Сызу (2.20-сурет) – дөңгелек немесе пішінді профильді металды конустық қалыптың нүктесі арқылы тарту, оның шығыс бөлігінің ауданы бастапқы өнімнің қима ауданынан аз. Сызу көбінесе дайындаманы қыздырмай, пластикалық деформация кезінде орындалады, жұмысты шыңдаумен (яғни шынықтырумен) жүреді. Контактілі үйкелісті және ілеспе құбылыстарды (қызу, тозу және т.б.) азайту үшін жанасу

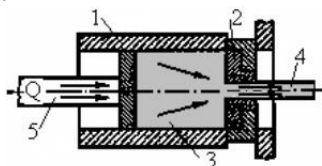
беттеріне жеткізілетін майлау материалын, сонымен қатар кері кернеуді қолданыңыз – артқы жағына қолданылатын күш. Сызылған бұйымдар бетінің жоғары сапасы мен көлденең киманың жоғары өлшемдік дәлдігіне ие. Калибрлеу – сызбаның бір түрі. Сым, шыбықтар, құбырлар және басқа профильдер сызу арқылы алынады. Сызу негізгі элементтері сызу аспабы мен тарту құрылғысы болып табылатын сызу стандартында жүргізіледі. Диірмендер түзу сызықты және катушканы, бір ретті және бірнеше ретті, көп тізбекті және т.б. – әртүрлі жабдықтың орналасуымен.



2.20-сурет. Сызба схемасы

1 – сүйреу; 2 – өнім

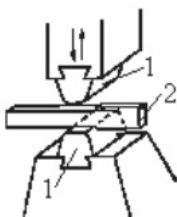
Престеу (2.21-сурет) – ыдысқа салынған металл дайындаманы штамппен саңылау арқылы сығу. Металдарды престеу суықта да, ыстық күйде де жүргізіледі және қысыммен өңдеудің басқа әдістерімен алынбайтын күрделі секцияларды қоса алғанда, әртүрлі профильдер (шыбықтар, құбырлар және т.б.) алынады. Престеу әдістеріне сәйкес әдіс металдың тікелей, кері және бүйірлік ағып кетуімен ерекшеленеді. Престеуге арналған жабдық ретінде гидравликалық жетекі бар престер кеңінен қолданылады. Үйкелісті азайту үшін жағармай да қолданылады.



2.21-сурет. Престеу схемасы

1 – ыдыс; 2 - матрица; 3 – дайындама, 4 – бұйым; 5 – соққы

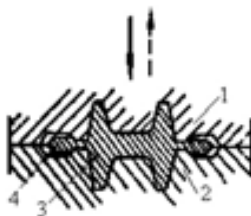
Соғу (2.22-сурет) – денеге берілген пішін мен өлшемді беру үшін әмбебап соғу құралының және/немесе соққылардың үзіліссіз әрекеті арқылы дайындаманы пластикалық деформациялау. Соғу шағын өндірісте, жөндеу жұмыстарында, 300 тоннаға дейінгі ауыр соғылмаларды (гидравликалық турбиналық біліктер, диірмен орамдары және т.б.) жасау үшін қолданылады. Соғу балғалар мен престерде орындалады.



2.22-сурет. Соғу сұлбасы
1–6 шандыр; 2 – дайындама

Штамптау – штамптың жұмыс жазықтығын (көлемін) металмен толтыру арқылы дайындамаға берілген пішін мен өлшем беру.

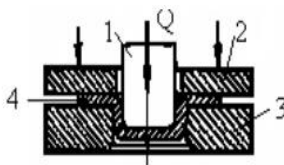
Ыстық соғу (2.23-сурет) өлшемі бойынша дайындалған дайындаманың деформация жағдайларымен анықталған температураға дейін қызып, қалыптардың арасына орналастырылуын білдіреді. Ыстық штамптау жарқылмен өшірудің екі әдісімен орындалады (*butt*) ашық матрицаларда және жабық штамптарда жарқылсыз. Жарқыраудың болуы қалып қуыстарының жақсы толтырылуына ықпал етеді, соғылмалардың пішіндері әртүрлі. Екінші әдіс металл шығынын азайтуды қамтамасыз етеді, бірақ соғылмалардың пішіндері аз әртүрлі. Штамптау процесі әртүрлі қондырғыларда жүзеге асырылады, олардың ең кең таралғаны балғаларда, престерде және көлденең соғу станоктарында штамптау болып табылады.



2.23-сурет. Ыстық соғу

1, 2 – штамптың жоғарғы және төменгі бөліктері;
3 – өнім; 4 – алау

Суық штамптау (2.24-сурет) алдын ала қыздырусыз жалпак дайындамаларға (қабақ, жолақ, таспа) қолданылады. Негізгі операциялар: бөлу – арналған парақтан дайындаманы алу, пішіндеу – парақ дайындамасынан кеңістіктік бөлікті алуды қамтамасыз ету, престоу – деформацияланған бөліктің немесе бүкіл көлемінің жылжуына негізделген дайындамалар, штамптау – бір бұйымға бірнеше бөліктерді біріктіруге арналған.



2.24-сурет. Парақты суық штамптау

1 – штамп, 2 – қысқыш, 3 – матрица; 4 – өнім

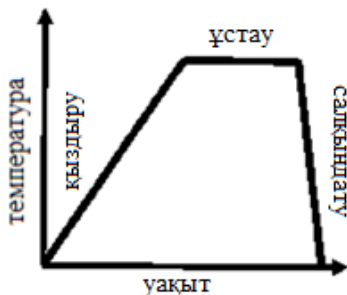
2.9. Металдарды термиялық өңдеу

2.9.1. Термиялық өңдеу туралы жалпы түсініктер

Металдарды термиялық өңдеу – арнайы режимдер бойынша қыздыру және салқындатумен байланысты және нәтижесінде металл бұйымдарының қасиеттерін өзгертуге (жақсартуға) бағытталған операциялардың жиынтығы олардың ішкі құрылымындағы өзгерістер. Осылайша, термиялық өңдеу үш кезеңді қамтиды: қыздыру, ұстау және салқындату; ал

термиялық өңдеу режимі келесі параметрлермен сипатталады: максималды қыздыру температурасы, қыздыру жылдамдығы, ұстау уақыты және салқындату жылдамдығы. Кез келген термиялық өңдеу процесін графикалық түрде «температура – уақыт» графигі арқылы сипаттауға болады (2.25-сурет).

Белгілі бір металды, дәлірек айтқанда қорытпаны термиялық өңдеудің теориялық негізі сәйкес күй диаграммасы болып табылады. Болатты термиялық өңдеу үшін «темір – көміртекті» күй диаграммасының төменгі, сол жақ бөлігі ерекше маңызға ие (2.26-сурет).



2.25-сурет. Термиялық өңдеу

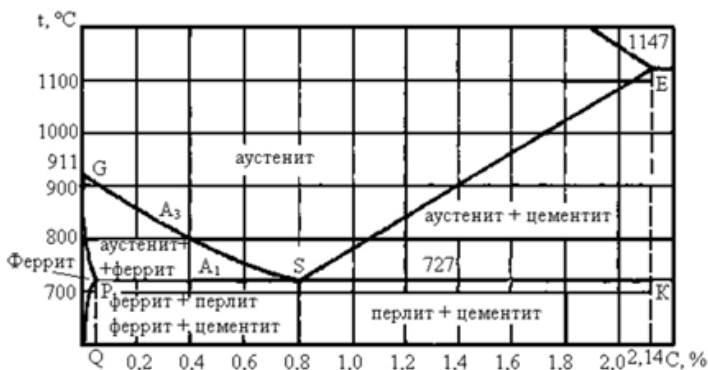
Болат бұйымының құрылымының қалыптасуы темірдің аллотропты түрлендіруге, қатты ерітінділерді және көміртегімен химиялық қосылыс (Fe_3C) түзу қасиеттеріне негізделген. Болат бұйымдарын термиялық өңдеу кезінде төрт негізгі құрылымдық өзгерістер байқалады:

1 – перлиттің трансформациясы (бір уақытта түзілген ферриттің эвтектоидты қоспасы α -темір және карбид) аустенитке (қатты ерітінді C в γ -темір);

2 – аустениттің перлитке айналуы

3 – аустениттің мартенситке айналуы (қатты ерітінді C в α -темір);

4 – мартенситтің перлитке айналуы.



2.26-сурет. «Темір-көміртекті» күй диаграммасының фрагменті

Бір немесе басқа соңғы құрылым болаттың механикалық қасиеттерін анықтайды: қаттылық, беріктік, иілгіштік, қаттылық. Механикалық қасиеттердің жоғары кешенін алу үшін ұсақ түйіршікті біртекті құрылымды алуға ұмтылу керек (жұқа ацикулярлы мартенсит).

2.9.2. Болатты термиялық өндеудің негізгі түрлері

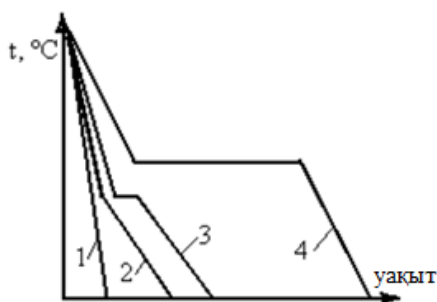
Күйдіру – белгілі бір белгіленген температурадан жоғары қыздырудан, ұстаудан және баяу салқындатудан тұратын термиялық өндеудің кең таралған түрі. Жасыту мақсатына қарай бірінші және екінші түрдегі күйдіру болып екіге бөлінеді. Бірінші түрдегі күйдіру химиялық және физикалық біртектілікті жоюға, сондай-ақ алдыңғы технологиялық операциялар кезінде пайда болған ішкі кернеулерді жоюға бағытталған: кристалдану, пластикалық деформация. Ол, өз кезегінде, бөлінеді: диффузиялық күйдіру (гомогенизация) – дендритті сегрегацияны азайту мақсатында құймалар үшін (процесс 1100–1200 °C температурада 50–100 сағ бойы жүргізіледі); қайта кристалдану жасыту – жұмысты қатайту мақсатында суық өндеуден өткен өнімдер үшін (қайта кристалдану шегінен жоғары температурада 0,5–1,5 сағ бойы жүргізіледі, яғни болат үшін 700–750 °C); қалдық кернеулерді жою үшін күйдіру – олардың біркелкі емес

салқындауы немесе біркелкі емес деформациясы нәтижесінде өнімдер үшін (әдетте 350–600 °C бірнеше сағ бойы жүргізіледі). Екінші түрдегі күйдіру ұсақ түйіршіктері бар тұрақты тепе-теңдік құрылымдарын алу үшін фазалық қайта кристалдану мақсатын көздейді. Жасытудан кейін болат өнімдерінің қаттылығы мен беріктігі төмендейді, ал иілгіштік пен қаттылық жоғарылайды. Жасытудың 2-ші түрі бар: толық, изотермиялық және толық емес. Толық және изотермиялық күйдіру кезінде болат өнімі АЗ диаграмма сызығынан жоғары температураға дейін (30–50 °C) және А1-ден толық емес жоғары, бірақ АЗ-тен төмен қызады. Изотермиялық күйдіру салқындату режиміндегі толық жасытудан ерекшеленеді. Изотермиялық күйдіру кезінде өнім салыстырмалы түрде тез арада шамамен 100 °C А1 төмен температураға дейін салқындатылады, осы температурада (~ 600 °C) аустенит толық ыдырағанша ұсталады және одан әрі ауада салқындатылады.

Нормалау – бұл болатты қыздыру, сондай-ақ жасыту кезінде фазалық түрлендіру температурасынан шамамен 50 °C асатын температураға дейін (яғни диаграммада АЗ-тен жоғары), қысқа ұстаудан және ауада кейіннен салқындатудан тұратын термиялық өңдеу әдісі. Салқындату жылдамдығы бойынша қалыпқа келтіру жасыту мен сөндіру арасындағы аралық орынды алады. Қалыпқа келтіру кезінде болаттың толық фазалық қайта кристалдануы орын алады және ірі түйіршікті құрылым жойылады. Болат күйдірілгеннен 10–15 % қаттырақ және берік болып шығады. Ыстық илектелген болатты нормалау оның сынғыш сынуға төзімділігін арттырады.

Закалка– термиялық өңдеу әдісі, ол болатты АЗ диаграмма сызығынан жоғары температураға дейін қыздырудан, содан кейін жылдам салқындатудан тұрады. Шынықтырудың мақсаты – бастапқы құрылымның аустенитке қайта кристалдануы нәтижесінде (тез салқындатудың арқасында) мартенситке айналатын құралдың және конструкциялық болаттардың қаттылығын, беріктігін және тозуға төзімділігін арттыру. Негізгі қатайту әдістері салқындату жылдамдығымен сипатталады (2.27-сурет) және болат бұйымдарының қасиеттеріне байланысты қолданылады: қарапайым – бір салқындатқышта (бөлік) толық

салқындағанша сұйық ортаға батырылады); үзік – екі салқындатқышта (бөлік алдымен жылдам салқындату ортасына (мысалы, су), содан кейін баяуырақ (ауа, май) батырылады); қадам (температура градиентін жою үшін ұстап тұру арқылы жылдам салқындату, содан кейін баяу); изотермиялық (соңғы және соңғы баяу салқындауды толық аяқтау үшін ұстап тұру арқылы фазалық түрлендіру температурасына дейін жылдам салқындату).



2.27-сурет. Закалка кезіндегі салқындату сұлбалары:
1 – қарапайым; 2 – үзік-үзік; 3 – сатылы; 4 – изотермиялық

Болатты суықпен өңдеу – ұсталған аустениттің мартенситке айналуын аяқтау үшін жаңадан шыңдалған болатты 0 °C-тан төмен температураға дейін салқындату. Суық өңдеу көміртекті болат маркалары үшін қолданылады (шамамен $C \geq 0,5 \%$), ал өңдеудің меншікті температурасы мартенситтік трансформацияның аяқталу температурасымен анықталады.

Отпуск – бұл сөндіргіштен кейінгі қайталама операция, ол қорытпаны (болат) тепе-теңдік фазалық түрлендірулер температурасынан жоғары емес (яғни, A1-ге дейін) қыздырудан тұрады. Мұндай қыздыру атомдардың қозғалғыштығын арттырады және диффузиялық процестерді күшейтеді. Шынықтыру нәтижесінде шынықтыру процесінде пайда болатын ішкі кернеулер жойылып, қорытпаның құрылымы тұрақты күйге жақындайды. Болатты шынықтыру үш түрге бөлінеді: 250 °C дейін қыздырумен төмен шынықтыру; 350–500 °C аралығындағы

температураға дейін қыздыру ортасы; жоғары, 500–650 °С орындалады. Шынықтыру температурасы дайын өнімнің механикалық қасиеттерінің қажетті комбинациясына байланысты таңдалады.

Термомеханикалық өңдеу (ТМӨ) – материалдың қажетті ішкі құрылымын қалыптастыру мақсатында пластикалық деформация мен температура әсерінің комбинациясы немесе комбинациясы. ТМТ үш сұлба бойынша орындалады: жоғары температуралық (ЖТМӨ), төмен температуралық (ТТМӨ) және алдын ала термомеханикалық өңдеу (АТМӨ).

ЖТМӨ схемасы келесі кезеңдерді қамтиды: қыздыру → ұстау (аустенизация) → пластикалық деформация → салқындату → шынықтыру.

ТТМӨ схемасы: қыздыру → ұстау (аустениттеу) → аустениттің метатұрақты күйінің температурасына дейін салқындату → пластикалық деформация → сөндіру → шынықтыру.

АТМӨ схемасы: суық пластикалық деформация → қайта кристалдану алдындағы қыздыру → жоғары жылдамдықтағы қыздырудан сөндіру → шынықтыру.

Термохимиялық өңдеу (ТХӨ) – болат бұйымның бетінің жеке элементтерін атомдармен диффузиялық қанықтыру, оған ерекше қасиеттер беру. ТХӨ нақты процеске және қанықтыру үшін қолданылатын элементке байланысты 500-ден 1200 °С-қа дейінгі температурада жүргізіледі. Қаныққан элемент ретінде көміртегі, азот, алюминий, хром және т.б. ТХӨ процесінің механизмі диффузиялық элемент атомдарын сыртқы ортадан бөліп алудан, оларды болат бұйымының бетімен сіңіруден және қабатта атомдардың диффузиялануынан тұрады. Химиялық өңдеу әдістерін 3 негізгі топқа бөлуге болады (қолданылатын диффузиялық элементке байланысты): болаттың беткі қабатын көміртегімен қанықтыру процесі – көміртектеу, азотпен – азоттау, әртүрлі металдармен – диффузиялық металдандыру (Al – алюминизирлеу, Cr – хромдау және т.б.). Бір мезгілде қанығудың құрама процестері де мүмкін, мысалы, циандау (C және N), хромоалюминизация және т.б.

Айта кету керек, әртүрлі металдардың қорытпалары бір немесе басқа термиялық өңдеуге ұшырауы мүмкін. Осылайша, 1-ші түрдегі күйдіру барлық дерлік металл бұйымдарына қолданылады. Термиялық өңдеудің басқа түрлерін қолдану күй диаграммасында көрсетілген белгілі бір қорытпаның қасиеттерімен анықталады. Күйдіру және қалыпқа келтіру әдетте бастапқы термиялық өңдеу операциялары, ал шынықтыру соңғы болып табылады. Тәжірибеде термиялық өңдеу әдістерінің комбинациясы жиі қолданылады, мысалы: шынықтырумен қалыпқа келтіру, өздігінен шынықтырумен сөндіру, шынықтыру – суық өңдеу – шынықтыру және т.б. Ең жиі қолданылатын комбинация қарапайым шынықтыру және шынықтыру. Жоғары шынықтырудан кейінгі сөндірудің комбинациясы жақсарту деп аталады және құрылымдық болаттарды термиялық өңдеудің негізгі түрі болып табылады. Термиялық өңдеу, әдетте, өнімге оның соңғы қасиеттерін беретін өндірістің технологиялық схемасының соңғы кезеңі болып табылады.

2.10. Металлургияның даму болашағы

2.10.1. Металлургия өнеркәсібінің экономикадағы рөлі

Металлдар негізгі конструкциялық материал болып қала береді, ал металлургияның даму деңгейі көбінесе өнеркәсіп салаларының көпшілігінде техникалық прогресті анықтайды.

Металлургия өнеркәсібі елдің макроэкономикалық көрсеткіштерін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Ресейдегі өнеркәсіп өндірісінің жалпы көлемінде металлургияның үлесі шамамен 16,5 %, өнеркәсіптегі жұмысшылар санында шамамен 12 % құрайды. Саланың кәсіпорындары ресейлік валюталық түсімдердің жалпы көлемінің 15 %-ға дейін, өнеркәсіптен шоғырландырылған бюджетке салық түсімдерінің 6 %-дан астамын қамтамасыз етеді.

Металлургияның ерекшелігі оның жоғары капиталы, материалды және энергия сыйымдылығы болып табылады. Металлургия өнеркәсібі негізінен экономиканың бірқатар базалық салаларындағы өндірістік қуаттарды пайдалану деңгейін

анықтайды. Металлургиялық кешен өнімдерінің өндірісі отынның 14 %-ын, өнеркәсіптегі жалпы тұтынуынан электр энергиясының 33 %-ын, республикадағы жалпы тұтынудың 40 %-ын шикізат пен минералды ресурстарды тұтынады. Metallургиялық кәсіпорындар темір жол көлігінің жүк айналымының 30 %-ға жуығын қамтамасыз етеді.

Қара және түсті металдардың әлемдік өндірісіндегі Ресейдің үлесі тиісінше 7 % және 8,5 % құрайды, бұл оның әлемдік ЖІӨ-дегі үлесінен айтарлықтай асып түседі. Қазіргі уақытта Ресей Федерациясының металлургия өнеркәсібінде шамамен 3,5 мың кәсіпорын, оның ішінде 800-ге жуық ірі және орта кәсіпорындар бар. Metallургияда жұмыс істейтін қызметкерлердің жалпы саны 1,4 миллион адамнан асады. Metallургиялық кәсіпорындардың 70 %-дан астамы қала құраушы болып табылады және олардың жұмыс нәтижелері өңірлердің экономикасы мен әлеуметтік тұрақтылығын айқындайды. Жетекші металлургиялық облыстарға Вологда, Челябинск, Липецк, Свердловск, Белгород, Кемерово, Орынбор, Магадан, Мурманск облыстары, Краснояр өлкесі, Хакасия және Саха-Якутия Республикалары жатады.

2.10.2. Жалпы металлургияның болжамдық бағасы

Осы ғасырдың басынан бастап және жақын болашақта металлургияның барлық салаларда, дүниежүзілік ауқымда да, ресейлік масштабта да одан әрі дамуы үшін қолайлы жағдай қалыптасты.

Түсті металдардың әлемдік нарығында бүкіл болжамды кезеңде (2010 жылға дейін) сұраныстың артуы күтілуде. Болжамдарға сәйкес, алюминий мен мысты тұтыну орташа жылдық қарқынмен 2,5–2,7 %, мырыш пен тазартылған қорғасын – 1,7–2 % өседі. Бұл 2000 жылмен салыстырғанда 2010 жылға қарай негізгі түсті металдарға сұраныстың 55–60 %-ға артуына әкеледі. Түсті металдарға сұраныстың болжамды өсуі, ең алдымен, төртінші сатыдағы өнімдерге сұраныстың кеңеюімен анықталады: 2010 жылға қарай алюминий мен мыс прокатына

сұраныс 70–80 %-ға, титан мен жез прокатына өседі, өнімдер – 60–70 %-ға.

Қолданыстағы макрокөрсеткіштердің болжамдарына және экономиканың жекелеген салаларын дамыту стратегияларына сәйкес 2010 жылы Ресейдің қара металл өнімдерінің ішкі нарығының сыйымдылығы 32–33 млн тоннаға дейін өседі. Осылайша, мыңжылдықтың басынан металл тұтынудың өсуі 50 % құрайды. Дайын өнімді тұтынудың ассортименттік құрылымында қаңылтыр, құбырлар, металл бұйымдары үлесінің ұлғаюынан тұратын прогрессивті өзгерістер үрдісі жалғасады.

Ішкі нарықтағы сұраныстың кеңеюі нәтижесінде 2010 жылға дейінгі кезеңде металл өнімдерінің экспорты төмендейді, бірақ оның үлесі айтарлықтай болып қалады. Болжам бойынша 2010 жылы қара металдар прокатының экспортының үлесі 40 %, негізгі түсті металдар – 65 % құрайды. Осылайша, 2010 жылға дейінгі кезеңде ресейлік металлургия өнеркәсібінің сыртқы металдар нарығындағы жағдайға айтарлықтай тәуелділігі сақталады. Металл өндірісіндегі басым орынды Қытай алады, ал барлық дерлік елдердегі өңдеуші кәсіпорындардың позициялары оның әлемдік нарықтағы мінез-құлқына байланысты. Соңғы жылдардағы (және осы уақытқа дейін) металл өнімдерін сатудағы дағдарыстар мен қолайлы жағдайлар ішкі Қытай нарығының сыйымдылығымен байланысты болды. Бірақ, бұл мемлекеттің белсенді дамып жатқан экономикасын ескере отырып, жақын болашақта Қытай металл өнімдерінің салыстырмалы түрде төмен экспорты күтілу керек.

Техникалық тілде металлургияның дамуы, ең алдымен, кенді және минералды шикізатты кешенді пайдаланумен байланысты. Бұл металлургиялық циклдің процестері мен кезеңдерін жоспарлау мен жетілдіруді анықтайды. Кешенді тәсіл қазірдің өзінде пайдалы элементтің «кесімді» маркасын төмендету бағытында бекітілген кен қорларын қайта қарауға мүмкіндік береді.

Қолайлы нарықтық конъюнктураға қарамастан процестері, жабдықтары мен технологиялары ескірген шағын кәсіпорындарды пайдаланудан шығару жалғасады. Бұл энергия бағасының тұрақты өсуіне және олардың өсіп келе жатқан

тапшылығына байланысты. Бұрын материалды және энергияны тұтыну металл өндірісінің өзіндік құнына әлдеқайда аз дәрежеде әсер етті. Егер XX ғасырдың 90-шы жылдарының басында энергия көздері металл бұйымдарының өзіндік құнының 18 %-ын ғана құраса, қазір – 40 %-ы. Сонымен қатар, энергияның төмен құны бұрын көлік құрамдас бөлігін айтарлықтай төмендетті. Мысалы, болат прокатының өзіндік құнында ол небәрі 6 % болса, қазір оның бестен бір бөлігін құрайды. Осыған байланысты энергия үнемдейтін технологияларды енгізу және жетілдіру жалғасады. Жалпы сала бойынша соңғы 10–15 жылда металлургиялық өндірістің энергия сыйымдылығы мен материалды тұтынуы 10 %-ға төмендегенін атап өткен жөн.

Осыған байланысты металл өндірісін ірі науқандарда шоғырландыру үрдісі жалғасады. Қазіргі уақытта жылына 50 миллион тоннаға жуық болат өндіретін компаниялардың контурлары пайда болды: Арселордың жылдық қуаттылығы 50 миллион тонна болат прокатын құрайды, Mittal-Steel компаниясы 40 миллион тоннадан астам. Болашақта дүниежүзілік металлургияны жылына орташа қуаттылығы 100 миллион тонна металл прокатын құрайтын он шақты кәсіпорын көрсетеді деген болжам бар.

Энергияны тұтынуды азайтуға және шартты түрде белгіленген шығындарды азайтуға ұмтылу сөзсіз металлургиялық қондырғылардың меншікті өнімділігін арттыруға әкеледі. Жалпы алғанда, аталған даму бағыттарын іске асыру есебінен 2010 жылға қарай еңбек өнімділігі (2000 жылмен салыстырғанда) кемінде 1,5 есеге артуы тиіс деп күтілуде.

2.10.3. Қара металлургияның міндеттері

2004 жылғы адам қызметінің нәтижелері маңызды оқиғамен сипатталды – биылғы жылы әлемдік болат өндірісі 1 млрд тоннаға жетті. Дегенмен, болат пен басқа темір қорытпаларына сұраныс құрылымы айтарлықтай өзгерістерге ұшырауда. Бір жағынан, әлемдік экономикада металды, мысалы, пластмассамен ауыстырудың қарқынды процесі жүріп жатыр. Екінші жағынан, болат құрылыс сияқты дәстүрлі түрде металл тұтынбайтын

аймақтарды басып алуда. ХХІ ғасырдағы кара металдардың бәсекеге қабілеттілігі, қолданудың жаңа салаларында (жаңа энергия көздерін жасау, ғарыш кеңістігін және мұхит түбін зерттеу, биотехнология, ғылымды қажет ететін өндірістер және т.б.) осы материалдардың прогресті қамтамасыз ету қабілетімен анықталатын болады. Металл бұйымдарының жұмыс жағдайларының күрделілігінің айтарлықтай артуы, атап айтқанда, әртүрлі қасиеттердің жиынтығынан басқа, жоғары сенімділік, пайдалану қауіпсіздігі және экологиялық талаптарға сәйкестік талап етілетін экстремалды режимдерде болжанады. Металл бұйымдарының ассортиментіне қойылатын талаптар айтарлықтай өзгереді, бұл жоғары өнімділік қасиеттерін сақтай отырып, өнімдердің өлшемдері мен салмағын азайтуға ұмтылумен байланысты. Бұйымдар ассортиментін ұлғайту және металды пайдалану шарттарын кеңейту металды пайдаланудың нақты режимдеріне сәйкес металл бұйымдарының параметрлеріне қойылатын талаптарды даралаумен (дифференциялаумен) жүреді.

Ресейде өнімдердің үнемді түрлерін өндіруді дамыту керек, яғни металды айтарлықтай үнемдеуді қамтамасыз ететін жақсартылған сапа сипаттамалары бар. Мұндай өнімдерге микролегирленген болат, термобекітілген прокат, суықтай иленген қаңылтырлар, дифференциалды жабыны бар қаңылтыр, пештен тыс өңдеуге ұшыраған металл және темір ұнтақтарынан жасалған бұйымдар жатады.

Соңғы он екі жылда Ресейде бірде-бір жаңа тау-кен байыту комбинаты іске қосылған жоқ. Қолданыстағы зауыттар өндіріс қарқынын өте баяу арттыруда. Тау-кен өнеркәсібіндегі өндірістің өсуі кара металлургиядағы өндірістің өсуінен 2–3 есе артта қалды. Руданың жетіспеушілігі ресейлік металлургтерге өндірілетін болат көлемін күрт арттыруға және әлемдік нарықтағы қолайлы баға конъюнктурасын пайдалану мүмкіндігіне мүмкіндік бермейді. Темір рудасы шикізатының тапшылығы орталық облыстардың тау-кен байыту кәсіпорындарының металлдалған шикізат өндірісін іске қосу жоспарларына байланысты одан әрі шиеленісуі мүмкін. Бұл шикізат экспортталатын болады, өйткені ресейлік электр болат

өндіретін өндірістің қуаттылығы шектеулі (ресейлік болат өндіру көлеміндегі электр болатының үлесі $\sim 13\%$). Сондай-ақ, сарапшылардың пікірінше, темір рудасының барланған қоры қазіргі тұтыну деңгейінде тағы 30 жылға, ал егер игеруге баланстан тыс кен орындары тартылса, 50 жылға дейін жететінін айта кеткен жөн. Осылайша, металлургтерге бар тау-кен жұмыстарын оңтайландыру қажет.

Бірақ металлургтердің тағы бір шикізат ресурсы бар. Рудадан басқа Ресейде 1–1,5 млрд тоннаға бағаланған металл сынықтарының әсерлі қоры бар. Дегенмен, әзірге Ресейде қара металл сынықтарын жинау жылына шамамен 18 млн тоннаны құрайды, оның үштен бірінен астамы шетелге экспортталады.

Ресейлік рудалардың, мысалы, Австралияда немесе Бразилияда өндірілген шикізаттан айырмашылығы – құрамында темірдің төмен болуы. Бұл бірегей тау-кен технологияларын жасауға итермелейді. Мәселен, орталық өңірдегі тау-кен байыту комбинаттарының бірінде жер асты гидротехникалық өндіру технологиясы әлемде алғаш рет енгізілуде. Ресейлік кендердің де өзіндік артықшылықтары бар. Атап айтқанда, Орал кен орындарының рудасында ванадий, никель, хром сияқты легирленген металдар, сондай-ақ бағалы түсті металдар (мыс, сирек жер және асыл металдар) бар, бұл дайындық өңдеу құрылымдарының дамуын анықтайды және негіздейді. терең шоғырлану шығындары.

Қазіргі уақытта ең үнемді болат өндіру «домна пеші – оттегі конвертер» схемасы бойынша жүзеге асырылады. Сондықтан домналық процесс бастапқы металды алудың негізгі әдісі болып қала береді. Домна шихтасының негізгі компоненттері агломерат пен түйіршіктер болып табылады. Агломерация фабрикаларының міндеттері экологиялық талаптардың орындалуын қамтамасыз ету және өнім сапасын барлық жағынан одан әрі арттыру болып табылады. Домна өндірісін жақсарту, ең алдымен, кокстың үлестік шығынын азайтуға бағытталған шаралармен байланысты. Сонымен қатар, кейбір өңірлерде шойын өндіруден тыс қондырғыларды іске қосу жалғасуда және жоспарлануда. Осы әдістердің ішінде сұйық ваннада балқыту процестері белгілі бір перспективаға ие. Көмірсутектерді (мұнай

және газ) тұтынумен байланысты кез келген металлургиялық процестер олардың қорларының таусылуына және оларға бағаның сөзсіз, тұрақты өсуіне байланысты алыс болашағы жоқ.

Еліміздің кара металлургия кәсіпорындарының алдында мартендік болат өндірісінің үлесін 5–7 %-ға дейін қысқарту, конвертер және электр пештері өндірісінің үлесін 95 %-ға дейін, үздіксіз болат құю үлесін 80–85%-ға дейін арттыру және конвертер және электр пештері болат өндіру технологияларын жетілдіру міндеттері тұр. Болат өндіру кезінде ауаға зиянды заттардың жалпы шығарындыларының деңгейі екі есеге дерлік (36 кг/т болаттан 20 кг/т дейін) төмендеуі керек. Ресейде металл бұйымдарының салмағы мен қалыңдығын азайта отырып, пайдалану сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік беретін микролегирленген болат өндірісін дамыту қажет. Ванадий сияқты жетіспейтін легирленген қоспаларды қолдануды кеңейту соңғы өнімнің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Қалыңдығы 50–90 мм болатын жұқа плиталарға металды үнемді құюға көшу перспективалы болып табылады. Жолақты бұйымдарды өндіруде әлемдік тәжірибеде сұйық болаттан тікелей жұқа болат жолақты алуға қызығушылық артуда. Қолданыстағы технологиялармен салыстырғанда жұқа ыстықтай илектелген таспаларды өндіру технологияларын әзірлеу және енгізу суықтай илектеу өнімдерінің 35 %-ын, қапталған металдың 10 %-ын алмастыра алады және қалыңдығы төмендетілген бұйымдарға қажеттілік мәселесін шешеді. Тұтынушылар қалыңдығы 2 мм-ден аз болат жолақты талап етеді. Оның құнын балқымадан тікелей жұқа жолақты шығару арқылы айтарлықтай төмендетуге болады. Бір тонна өнім өндіруге жұмсалатын энергия шығыны дәстүрлі өндіріс әдісімен салыстырғанда 7,5 есе төмен. Жаңа үнемді технологияны пайдаланудан түсетін пайда \$60–70/т құрауы мүмкін. Жұқа жолақтарды құю процесі ғылымды қажет етеді, өйткені ол жоғары сапалы болатты, құю технологиясын дәл баптауды, соңғы өнімнің сапасын қатаң бақылауды сақтауды талап етеді.

Металл бұйымдарының сапасын арттыруда келесі негізгі бағыттарды бөліп көрсету қажет:

- конструкциялық болаттың жаңа түрлерін жасау және дайын металл бұйымдарының профилі мен өлшемдерінің дифференциациясын арттыру;

- беріктігі мен суыққа төзімділігі жоғары үнемді легирленген ұңғыма дәнекерленетін болатты (шығу нүктесі 700–900 Н/мм², соққыға төзімділігі – 70 °С кемінде 60 Дж/см²) құрамды және өндіру технологиясын оңтайландыру;

- физика-техникалық негіздерін әзірлеу және композицияларды оңтайландыру, өндіру технологиясы және ерекше беріктіктегі (аққыштық шегі 2300–2500 Н/мм²) және құрылымдық сенімділіктегі үнемді болат маркаларын шыңдау;

- қаңылтыр және секциялық ыстық илемдеу стандартында прокаттың термомеханикалық шынықтыруын автоматты басқару жүйесін әзірлеу және әзірлеу;

- қорғаныш жабыны бар және беріктігі жоғарылаған микролегирленген секциялы болат пен қаңылтырдың өндіріс технологиясы мен сапасын жақсарту;

- автомобиль және құрылыс өнеркәсібі үшін суықтай илемделген металға жабындардың кең спектрін қолдану процестерін жетілдіру;

- жолаушылар және жүк пойыздарының жылдамдығы 160–250 км/сағ дейін рельстердің өткізу қабілетін 1 млрд брутто тоннаға дейін ұлғайта отырып, темір жол көлігінің бәсекеге қабілетті өнімінің номенклатурасын кеңейту;

- газ өнеркәсібі үшін қабырғасының қалыңдығы 18–32 мм болатын арнайы беріктік санатындағы диаметрі 1420 мм құбырларды өндіруді қамтамасыз ету;

- өндіріс технологиясын әзірлеу және құрылыс индустриясына арнайы конструкциялық болат маркаларын енгізу;

- металл бұйымдарының сапасын бақылаудың принципті жаңа әдістерін жетілдіру және дамыту және материалдардың құрылымын, қасиеттерін, құрамын зерттеу.

Кәдімгі болатқа қарағанда болаттың жаңа түрлерін өндіру және тұтыну көлемі аз болғандықтан, олар болашақта дайын металл өнімдерін өткізудің құндық құрылымында айтарлықтай үлеске ие болады. Бұл салаларды дамытуға бағытталған

инвестиция басым және тиімділігі жоғары салалардың қатарында. Технологияларды дамыту және «интеллектуалдық» болаттың тұрақты өндірісін қамтамасыз ету белгілі бір дәрежеде ресейлік қара металлургияның инновациялық мүмкіндіктері мен технологиялық жетістіктерінің жалпы деңгейін, оның ғылыми әлеуеті мен бәсекеге қабілеттілігін сипаттайтын болады.

Жалпы, ресейлік қара металлургияның бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін саланың өнімі мен технологиялық құрылымын өзгерту қажет. Болаттың жаңа түрлері жұқа және ультра жұқа жолақтарды, термобекітілген прокаттарды, суықтай илектеу табактарын, полярлық жағдайларда жұмыс істейтін үлкен диаметрлі құбырларды және басқа да жоғары технологиялық соңғы өнімдерді өндірудің ұлғаюымен байланысты.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Начала металлургии. Под ред. В. И. Коротича. Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 392 с.
2. Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М. Общая металлургия. Изд. 6-е, перераб. и доп. – М.: ИКЦ Академкнига, 2002. – 768 с.
3. Коротич В. И., Братчиков С. Г. Металлургия черных металлов. – М. Металлургия. 1987. – 240 с.
4. Процессы и аппараты цветной металлургии. Под ред. С. С. Набойченко. Екатеринбург, УГТУ, 1997. – 648 с.
5. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали. – М.: Мир, 2003. – 528 с.
6. Тлеугабулов, Б. С. Основы производства и обработки металлов. Часть 1. Общие принципы и основные этапы металлургии : курс лекций. Нижний Тагил: НТИ (ф) УГТУ-УПИ, 2005. – 60 с.
7. Металлургия чугуна / под ред. Ю. С. Юсфина. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: ИКЦ Академкнига, 2004. – 774 с.
8. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. Металлургия чугуна // К.: Высшая школа, 1988. – 351 с.
9. Юсфин Ю. С., Пашков Н. Ф. Металлургия железа // Учебник для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 464 с.
10. Товаровский И. Г. Доменная правка. – Днепропетровский: Пороги, 2003. – 596 с.
11. Мевкус А. Учебный курс металлургии чугуна, железа и стали. – Харьков, 1984.
12. Баптизманский В. И., Меджибожский М. Я., Охотский В. Б. Кооновертерные процессы производства стали. – Киев: Вища школа. 1984. – 343 с.
13. Кудрин В. А. Металлургия стали. – М.: Металлургия. – 1989. – 560 с.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	3
1 бөлім	6
1.1. Металлургияның қағидалы негіздері	6
1.1.1. Металдар классификациясы	6
1.1.2. Металлургияның басты формуласы.....	6
1.1.3. Металл алудың принципиалды сұлбасы.....	7
1.2. Өндірістің тиімділігі және ұйымдастыру негізі.....	8
1.3. Кен алу және кен сипаттамалары.....	10
1.3.1. Кенді біркелкілеу процесі.....	14
1.3.2. Ірілігін оңтайландыру.....	16
1.3.3. Кен байыту.....	21
1.3.4. Сусыздандыру.....	29
1.3.5. Кенді күйдіру.....	33
1.4. Кен мен концентраттарды гидрометаллургиялық өндеу.....	35
1.5. Концентраттарды кесектеу.....	37
1.6. Редукциялаушылар (тотықсыздандырғыштар)....	49
1.6.1. Редукциялаушыларды алу	50
1.7. Металлургиялық агрегаттар (пештер).....	64
1.8. Редукциялау (тотықсыздану) процестері.....	66
1.8.1. Редукциялау процестерінің классификациясы....	66
1.8.2. Редукциялау процестерінің қысқаша сипаттамасы	67
1.8.3. Сұйық фазаны қалпына келтірудің негізгі процестері	69
1.9. Металлургиялық қорытпалар	73
1.9.1. Металл емес балқымалар	74
1.9.2. Металдарды тазарту	74
1.9.3. Электрохимиялық тазарту	74
1.9.4. Пирометаллургиялық тазарту.....	76
1.10. Негізгі металдарды өндіру сұлбасы.....	80
2 бөлім.....	87
2.1. Темір кені және оны өндеуге дайындау	87
2.1.1. Қара металлургияның шикізат базасы.....	87

2.1.2.	Темір кенін балқытуға дайындау.....	88
2.2.	Домна өндірісі.....	89
2.2.1.	Домна пешінің конструкциясы.....	90
2.2.2.	Домна процесінің негізгі қағидалары.....	91
2.2.3.	Пеш жұмысы және негізгі жабдықтар.....	100
2.3.	Темір алудың домнадан тыс тәсілдері	103
2.4.	Ферроқорытпалар өндірісі.....	108
2.5.	Болат өндірісі.....	111
2.5.1.	Болат балқыту өндірісінің негізгі принциптері.....	112
2.5.2.	Болат балқытудың негізгі технологиялары.....	117
2.5.2.1.	Мартенде болат өндіру.....	117
2.5.2.2.	Конвертерлерде болат өндіру.....	121
2.5.2.3.	Электр пештерінде болат өндіру.....	126
2.5.2.4.	Болатты үздіксіз өндіру.....	130
2.5.3.	Болаттың классификациясы	132
2.6.	Болатты пештен тыс өңдеу және құю.....	133
2.6.1.	Пештен тыс өңдеу.....	133
2.6.2.	Болат құю.....	135
2.6.3.	Болаттың кристалдануы және болат құймасының құрылымы.....	138
2.7.	Құю зауыты.....	141
2.8.	Металдарды қысыммен өңдеу.....	144
2.8.1.	Металды қалыптаудың теориялық аспектілері мен принциптері.....	145
2.8.2.	Металды қалыптау әдістерінің сипаттамасы.....	148
2.9.	Металдарды термиялық өңдеу.....	153
2.9.1.	Термиялық өңдеу туралы жалпы түсініктер.....	153
2.9.2.	Болатты термиялық өңдеудің негізгі түрлері....	155
2.10.	Металлургияның даму болашағы.....	159
2.10.1.	Металлургия өнеркәсібінің экономикадағы рөлі	159
2.10.2.	Жалпы металлургияның болжамдық бағасы.....	160
2.10.3.	Қара металлургияның міндеттері.....	162
	Библиографиялық тізім.....	168

Оқулық басылым

Сулейман Мустафьевич Тлеугабулов, Гүлзада Мынғышқызы
Қойшина, Елеусиз Болатович Тажиев

ШОЙЫН МЕН БОЛАТ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Оқу құралы

БДБ бастығы

Л. Т. Қасжанова

Редакторы

Т. С. Жақсыбаева

Компьютерлік беттеу

Л. П. Умирбекова

Басуға қол қойылды 18.04.2021 ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84x 1/16.
№ 1 баспаханалық қағаз.
Е.-б.т.10,7. Ш.б.т.9,9. Тапсырыс № 959
Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу
университеті басылымы
Polytech баспасы,
Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-323-284-3

