ӘБЛІҚАС САҒЫНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҒАНДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

SAGINOV TECHNICAL UNIVERSITY 1953



Пән атауы: Металлургия өндірісінің технологиясы

Дәріс -5 « ШОЙЫН МЕТАЛЛУРГИЯСЫ»

техника ғылымдарының докторы, профессор

НУРУМГАЛИЕВ АСЫЛБЕК ХАБАДАШЕВИЧ

Қарағанды, 2026

Дәріс № 5
ШОЙЫН МЕТАЛЛУРГИЯСЫ

Дәріс мақсаты: домналық цех жұмысының сұлбасымен және домналық пеште өтетін физика-химиялық үрдістерді оқып білу

Дәріс жоспары:
Домна өндірісінің шикізаттары
Домна пеші
Домналық үрдіс
Құймалық шойын өндірісі

Кілт сөздер: шойын, домна пеші, құдық пеш, магнетит, гематит, сидерит, колошник, шахта, иықша, көрік, көмірқышқыл газ, тотықсыздану

Шойын – темірдің 2,14%-дан астам (әдетте 3,0-4,5%) көміртегімен қорытпасы. Көміртегі шойында темір карбиді – цементит Fe_3C түрінде (ақ шойын) немесе бос графит түрінде (сұр шойын) болуы мүмкін. Шойын – темір кендерін домна пештерінде балқыту жолымен алынатын бастапқы өнім. Арналу мақсаты мен химиялық құрамы жөнінен шойындар қайта өңделетін, яғни болат болып қайта өңделетін (домна пештерінің барлық өнімдерінің 80%-ынан астамы); құймалық, яғни машина жасау зауыттарында фасондық құймалар өндірісінде қолданылатын және арнаулы болып бөлінеді.

1. Домна өндірісінің шикізаттары. Домна өндірісінің шикізаттары – темір кені, қождама, отын және ауа.

Темір кені – құрамындағы темірді бөліп алу экономикалық тиімді болатын тау жынысын атайды. Темір кені теміркұрамдас минералдар мен бос жыныс қоспасынан тұрады. Бос жыныс құрамына әр түрлі қосылыстар, соның ішінде кремнезем SiO_2, глинозем Al_2O_3, кальций оксиді CaO және магний оксиді MgO кіреді. Темір кенінің домна пешінде балқытуға жарамдылығы темір мөлшеріне, бос жыныс құрамына және күкірт, фосфор, мышьяк және т.б. зиянды қоспалар концентрациясына байланысты. Құрамындағы темірдің тотықсыздану жылдамдығымен анықталатын кеннің тотықсыздану қабілеті маңызды роль атқарады және ол темір тотықтың табиғатына, кеннің тығыздығы мен кеуектілігіне байланысты. Кен неғұрлым тығыз және кеуектілігі аз болса, соғұрлым оның тотықсыздану қабілеттілігі нашар болады. Шойын өндіру үшін темір кендерінің келесі негізгі түрлері қолданылады.

Магнитті теміртас немесе магнетит Fe_3O_4 оксиді түріндегі темірден (45-70% Fe) тұрады және магниттік қасиеттерге ие. Кен күңгірт түске, жоғары тығыздылыққа ие және қиын тотықсызданады.

Қызыл теміртас немесе гематит Fe_2O_3 сусыз оксиді түріндегі темірден (50-60% Fe) тұрады. Қызыл теміртас құрамында зиянды қосылыстар (күкірт, фосфор) аз; магнетитпен салыстырғанда оңай тотықсызданады. Осы қасиеттерінің арқасында қызыл теміртас ең жақсы темір кендерінің қатарына жатады.

Қоңыр теміртас – бұл темірдің сулы оксиді $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$. Бос жыныс әдетте күкірт және фосформен ластанған. Кендегі темір мөлшері 30%-ға жуық. Жақсы тотықсызданатындығына байланысты қоңыр теміртастың кедей кендерін пайдалану экономика тұрғысынан тиімді.

Шпатты теміртас (сидерит) $FeCO_3$ темір карбонаты түріндегі темірден (30-40% Fe) тұрады. Сидеритті кен жоғары тотықсыздану қабілетімен және күкірт пен фосфордың аз мөлшерімен сипатталады.

2. Домна пеші. Домна пеші – шахта типтес тік пеш. Қазіргі заманғы домна пештерінің жалпы биіктігі 80 м-ге дейін, пайдалы көлемі (жұмыс кеңістігінің көлемі) 5600 $м^3$-ге дейін жетеді. Домна пешін отқа төзімді, аса берік кірпіштен қалыңдығы бір метрден артық етіп қалайды да, сыртын қалыңдығы 30-40 мм болат бүркенішпен қаптайды. Көлемі 3000 $м^3$ домна пешінің өнімділігі тәулігіне 6000 тоннадан жоғары. Қазіргі металлургиялық зауыт домна цехының жұмыс істеу сұлбасы 1 суретте келтірілген.

Шикі материалдар өздігінен аударылатын вагондарда пеш линиясына параллель орналасқан кен ауласына әкелінеді. Көпірлі кран материалдарды домна пештерінің қабылдау шанаптарына тиейді, әрі қарай олар таразы-вагондар (*1*) көмегімен шанап (*2*) арқылы жүктеу вагоншалары – скиптерге (*3*) тиеледі. Пешке белгіленген қатынаста берілетін агломерат, кен, қождама және кокс қоспасы *шикіқұрам* деп аталады. Скипті көтергіш үстімен екі вагонша жүретін көлбеу рельсті көпір түрінде болады. Скип болат канатпен рельстік көпірдің жоғарғы нүктесіне жетіп, аударылады. Түсіргіш құрылғы (*4*) арқылы шикіқұрам домна пешіне беріледі. Пеш мойындық (*5*), шахта (*6*), пешқазан (*7*), иықша (*8*) және көріктен (*9*) тұрады.

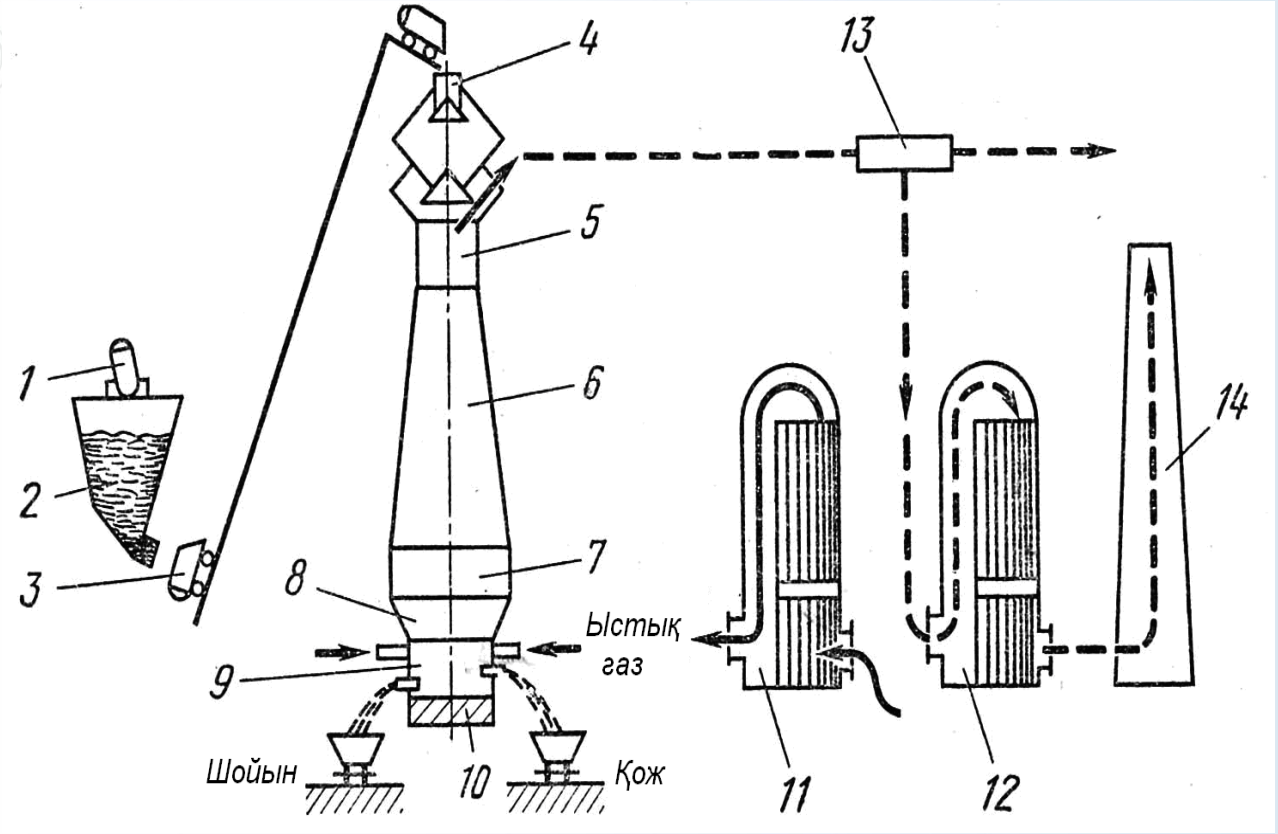
Домна пештері бүкіл шахталы пештер тәрізді қарама-қарсы ағын принципімен жұмыс істейді. Жоғарыдан шикіқұрам материалдары түседі, ал төменнен оларға қарсы отынның жануынан пайда болған газдар қозғалады.

Мойындық цилиндрлі пішінге ие. Ол материалдарды жүктеуге және газдарды шығаруға арналған. Мойындық шамот кірпіштерімен қаланған және ішінен болат плиталармен қорғалған. Мойындықтың үстінде орналасқан тиегіш аппарат шикі материалдарды белгілі-бір кезекпен түсіріп отырады.

Төменге қарай кеңейетін конустық *шахта* материалдардың түсуі мен пеш қимасы бойынша газдардың біркелкі таралуын жеңілдетеді. Шахтаның шамоттық қалауында салқындатушы су айналатын тоңазытқыштар бар. Шахтада темір оксидтерінің тотықсыздану және оның көміртектену үрдістері жүреді.

Шахтадан төмен домна пешінің ең кең цилиндрлік бөлігі – *пешқазан* орналасқан. Мұнда бос жыныс пен қождама балқып, қож түзіледі. Бұл үрдіс пішіні төменге қарай кішірейетін конус тәріздес *иықшада* аяқталады. Балқыған кезде материалдар көлемінің кішіреюіне байланысты иықшалар төменгі табанының диаметрі кіші болады.

Иықшалардан төмен орналасқан *көрік* цилиндрлі пішінге ие. Көрік пен иықшалардың қалаулары плиталық мұздатқыштармен салқындатылады. Көріктің жоғарғы бөлігінде орналасқан сумен салқындатылатын мыс фурмалары арқылы домналық пешке қыздырылған ауа беріледі. Мұнда кокстың жануы жүреді, ал көріктің төменгі бөлігіндегі *пеш табанында* (*10*) балқыған шойын мен қож жиналып, периодты түрде арнайы тесік – ағынөзектер арқылы шығарылып отырады. Шойын ағынөзегі пеш табанынан 0,5 м, ал қож ағынөзегі – 1,5 м жоғары орналасқан. Пеш табанында қашан да қалып отыратын жарты метрлік сұйық шойын қабаты оны бүлінуден сақтайды. Шойын шығару арасында ағынөзек отқа төзімді массамен бітеліп қойылады. Қож ағынөзегі сумен суытылатын мыс фурмасы түрінде жасалынады.



1 – Вагон-таразы; 2 – шанап; 3 – жүктеу вагоншасы-скип; 4 – түсіргіш құрылғы; 5 – пеш мойындығы; 6 – шахта; 7 – пешқазан; 8 – иықша; 9 – көрік; 10 – пеш табаны; 11, 12 – ауа қыздырғышы; 13 – газ тазарту жүйемі; 14 – түтін мүржесі

Сурет 1 – Домна цехының сұлбасы

Домна пеші бірнеше ауа қыздырғыштар – кауперлермен жабдықталған. Әдетте олардың саны үштен кем емес (көбінесе төртеу): біріншісі бөлінген газдармен қыздырылады, екіншісі салқын ауаны қыздырады, ал үшіншісі резервте тұрады. 1-суретте тек екі ауа қыздырғышы көрсетілген. Ауа үрлеу машинасы салқын ауаны бірінші қыздырғышқа (*11*) береді, мұнда ауа қыздырылған салма арқылы өтіп 1200-1300°С-ге дейін қызады да, фурма арқылы домна пешіне жеткізіледі. Ауа қыздырғыштың (*12*) салмалары тазартудан өткен (*13*) домна және табиғи газдардың жануынан бөлінген жылу есебінен қызады. Жану өнімдері түтін мұржасы (*14*) арқылы кетеді. Бірінші ауа қыздырғыштың (*11*) салмасы суыған кезде, ал екінші ауа қыздырғыштың (*12*) салмасы қызған кезде, олардың автоматты ауысуы жүзеге асады. Ауаны қыздыру домна үрдісін айтарлықтай қарқындатуға мүмкіндік береді.

Домна пештерінің өнімділігін арттыру және дефицитті кокты үнемдеу мақсатында келесі шаралар қолданылады: ылғалдылығы тұрақты ауа үрлеу, мойындық астында жоғары қысым ұстау, оттегімен байытылған ауа үрлеу және фурма арқылы табиғи газ, мазут, көмір шаңын үрлеу. Барлық негізгі үрдістер: шикіқұрам материалдарын дайындау және жүктеу, ауаны қыздыру және байыту, пештің қалыпты жұмысын қамтамасыз ету, қож бен шойынды шығару және тасымалдау – механикаландырылған және автоматтандырылған.

3. Домналық үрдіс. Домна пешінің әр түрлі аймақтарында өтетін физика-химиялық үрдістер сондағы температуралармен анықталады.

Мойындыққа жүктелген шикі материалдар төменгі температуралар 200-300°С аймағына түседі. Материалдардың төменге түсуі барысында температура көтеріледі де, фурма деңгейінде максимум мәніне 1900-2100°С-ге жетеді, ал көрікте 1450°С-ге түседі.

Фурма деңгейінде қыздырылған ауа ағынында жанған кокс көп мөлшерде жылу бөледі:

$C + O_2 = CO_2 + Q.$

Түзілген көмірқышқыл газы (IV) кокстың қатты көміртегісімен әрекеттесіп, көміртегі оксидіне (II) дейін тотықсызданады. Бұл реакция жылу жұта жүреді:

$CO_2 + C = 2CO - Q.$

Кенмен кездескенде көміртегі (II) оксиді темір оксидтерін тотықсыздандырады:

$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2 + Q$

$Fe_3O_4 + CO = 3FeO + CO_2 - Q$

$FeO + CO = Fe + CO_2 + Q.$

Темірдің көміртегі оксидімен тотықсыздануы *жанама* тотықсыздану деп аталады. Жанама тотықсыздандырудың жалпы жылу эффектісі – оң. Бұл үрдіс шахтаның төменгі бөлігінде салыстырмалы төмен температураларда өтеді.

Кокстың қатты көміртегісімен тотықсыздандыруды *тікелей* тотықсыздандыру деп атайды. Қатты көміртегімен тотықсыздандыру, негізінен, келесі түрде жүзеге асады:

$$FeO + C = Fe + CO - Q.$$

Бұл реакция көп мөлшерде жылу жұтып, пешқазан мен иықшалардың жоғарғы бөлігінде өте жоғары температураларда жүреді. Тікелей тотықсыздану сонымен қатар,

$$2CO = CO_2 + C_{күйе}$$

реакциясы бойынша түзілетін және шикіқұрам материалдарының кеуектерінде жинақталатын күйелі көміртегі көмегімен де жүзеге асуы мүмкін.

900-1000^oC-ден жоғары температураларда темір оксиді (FeO) тек қана тікелей жолмен тотықсызданады. Әдетте домна пешінде газдармен, яғни жанама жолмен 60-70%, ал қатты көміртегімен 30-40% темір тотықсызданады. Тотықсыздану үрдісі аяқталған соң 1300-1400^oC температурада темір губка тәріздес қатты масса түрінде болады (темірдің балқу температурасы 1536^oC).

Темірдің көміртегі оксидімен немесе тікелей көміртегімен әрекеттесуі нәтижесінде темір карбиді (цементит) Fe_3C түзіледі:

$$3Fe + 2CO = Fe_3C + CO_2;$$

$$3Fe + C = Fe_3C.$$

Цементит темірде жақсы еріп, оны көміртектендіреді. Осының нәтижесін-де, балқу температурасы әлдеқайда төмен темір мен көміртегінің қорытпасы түзіледі. Жоғары температуралы аймақтарда (пешқазан мен иықшалар) мұндай қорытпа сұйық күйге өтіп, көрікке жинақталады. Темірдің тотықсыздануы және көміртектенуімен қатар кремний, марганец, фосфор және басқа да элементтер оксидтерінің тотықсыздануы мен олардың металда еруі орын алады.

Домна пешіне шикі материалдармен түскен бүкіл фосфор тотықсызданып, шойын құрамына өтеді. Шойындағы фосфор концентрациясын реттеу сәйкес шикіқұрамды таңдау арқылы ғана мүмкін. Келесі зиянды қоспаның – күкірттің негізгі пайда болу көзі – кокс. Күкірттің жартысына жуығы пештің жоғарғы горизонттарында мойындық газдарымен SO_2 және H_2S түрінде бөлініп кетеді. Күкіртті барынша азайту үшін (десульфурация) мынадай шарттар қажет: қож құрамында әктің артық мөлшері; қождың жоғары негізділігі; домна пешінің көрігіндегі жоғары температура. Күкірт металда жақсы еритін сульфид FeS түрінде кездеседі. Оның бөлінуі

$$FeS + CaO = CaS + FeO$$

реакциясы бойынша жүреді. Күкіртті кальций шойында ерімейтін болғандықтан қожға өтеді.

Қождың түзілуі пешқазан облысында 1200°С температурада бос жыныс пен әк балқығанда жүреді. Түзілген қож көрікке ағып, шойын қабатының бетіне жиналады да, периодты түрде қож ағынөзегінен шығарылады. Қож, негізінен, негізді және қышқылды оксидтерден тұрады. Домналық қождың негізгі сипаттамасы – оның негізділігі, ол негізді оксидтердің қышқылды оксидтерге қатынасымен $(CaO + MgO)/(SiO_2 + Al_2O_3)$ анықталады. Әр түрлі шойындар мен ферроқорытпалар балқытуда қож негізділігі 0,9 бен 1,4 аралығында болады. Негізділік неғұрлым жоғары болса, шойын десульфурациясы да соғұрлым жақсы өтеді.

Шойын пештен шойын ағынөзектері арқылы күніне 4-6 рет шығарылады. Шойын науа арқылы сыйымдылығы 100 т-ға дейінгі арнайы шойынтасығыш шөміштерге құйылады. Ал олар темір жолмен құю машинасына жөнелтіледі немесе әрі қарай болатқа өңделген жағдайда арнайы қыздырылатын жинақтағыштар – миксерлерге құйылады. Миксерлерде шойынның химиялық құрамы мен температурасы біркелкіленеді.

Құю машинасы шойын қалыптардан құралған тұйық конвейер түрінде болады. Қалыптарға құйылған шойын қатайып, суығаннан кейін қалыптар төңкеріліп, массасы 55 кг-ға дейінгі шойын құймалары (чушки) теміржол вагондарына тиеліп, басқа зауыттарға жөнелтіледі. Құю машинасы жұмысының барлық операциялары механикаландырылған және автоматтандырылған.

Домна пеші жұмысының негізгі көрсеткіштері – ПКҚК (пайдалы көлемді қолдану коэффициенті) және 1 т шойын балқытуға кокс шығыны. ПКҚК дегеніміз пайдалы көлемнің V (шойын ағынөзегі деңгейінен шикі материалдардың максималды деңгейіне дейінгі аралықтың көлемі) тәулігіне балқытылатын шойын мөлшеріне G қатынасы, $м^3/т$:

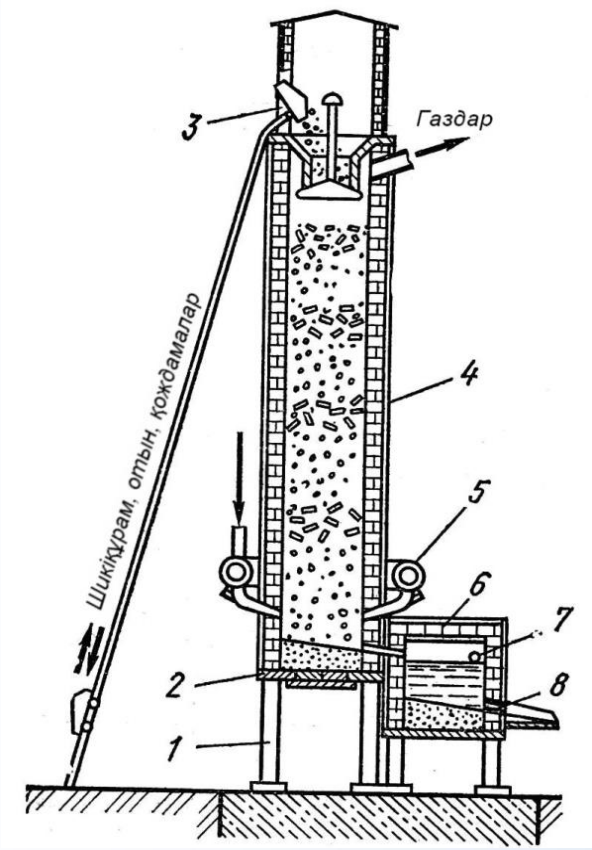
$$ПКҚК = V / G$$

ПКҚК сан мәні неғұрлым аз болса, домна пеші де соғұрлым жақсы жұмыс істейді. ПКҚК кен құрамындағы темір мөлшеріне, шикіқұрам материалдарының дайындалуына, балқытылған шойын сұрыбына байланысты 0,4-0,7 аралығында ауытқиды. Отандық зауыттарда қайта өңделетін шойын балқытқанда ПКҚК-ның орташа мәні 0,55-ке тең.

Кокс құны шойын құнының 40-50%-ын құрайды. Кокстың меншікті шығыны шикіқұрамның сапасына, үрленетін ауаның қыздыру температурасы мен оттегімен байытылуына, газдардың физикалық жылуы мен тотықсыздандыру қабілетінің пайдалану дәрежесіне байланысты. Отандық домналық өндірісте 1 т қайта өңделетін шойынға кокстың орташа меншікті шығыны 550 кг-ды құрайды, ал алдыңғы қатарлы елдерде бұл көрсеткіш 470-490 кг-ға дейін төмендетілген.

Домналық үрдісті әрі қарай жетілдірудің маңызды бағыттарының қатарына домна пештерінің пайдалы көлемін арттыруды, ауамен үрлеуді оттегімен байытуды, табиғи газды қолдануды, шикіқұрамды дайындауды жетілдіруді, темір кенін агломератпен немесе шекемтастармен ауыстыруды, балқытудың барлық үрдістерін автоматтандыруды жатқызуға болады.

4. Құймалық шойын өндірісі. Құймалық шойынды құдықпештерде, жалынды, электр доғалы және индукциялы пештерде балқытады. Өзінің қарапайым конструкциясының арқасында құдықпештер кеңінен таралған (сур. 2).



1 – коллоналар; 2 – тірек плитасы; 3 – жүктеу терезесі; 4 – шахта;
5 – үрлеу фурмасы; 6 – жинақтағыш; 7 – қож ағынөзегі; 8 – шойын ағынөзегі

Сурет 2 – Құдықпеш сұлбасы

Құдықпештің жұмыс істеу принципі төмендегідей: кезекті жөңдеуден өткен соң, пеш шахтасына фурма деңгейінен пеш диаметріне тең биіктікке дейін кокс толтырылады. Содан кейін, металдық шикіқұрам (құймалық және қайта өңделетін шойын, өндіріс қалдықтары, болат сынықтары, ферроқорыт-палар және т.б.), кокс және қож түзуге қажет қоздамалар тиеледі. Қоздама ретінде әк қолданылады. Кокстың бірінші бөлігі тұтанып жанғаннан кейін фурмалардан ауаны үрлей бастайды. Балқыған металл жинақтағышта жиналып, периодты түрде шығарылып отырады. Металл балқыған сайын пешке жүйелі түрде шикіқұрам тиеліп отырады. Қазіргі заманғы құдықпештер 2,5-50,0 т/сағ. Сұйық шойын өндіреді. Кокс шығынын азайту мақсатында, берілетін ауаны 350-550^{o}С-ге дейін қыздырады.

Бақылау сұрақтары:

1. Шойын дегеніміз не және көміртегінің мөлшеріне байланысты шойын қалай бөлінеді?
2. Темір кенінің қандай түрлері бар?
3. Домналық пеш қандай бөліктерден тұрады және олардың қызметтері қандай?
4. домна пешінде жүретін негізгі реакцияларды жазыңыз?
5. Пайдалы көлемді қолдану коэффициенті және ол қалай есептелінеді?
6. Құймалық шойын қандай агрегатта балқытылады?

Глоссарий:

Шойын – темірдің 2,14%-дан астам (әдетте 3,0-4,5%) көміртегімен қорытпасы.

Ақ шойын – құрамында көміртегі темір карбиді (цементит) түрінде болатын шойын.

Сұр шойын – құрамында көміртегі бос графит түрінде болатын шойын.

Қайта өңделетін шойын – болат өндірісінде қолданылатын негізгі бастапқы өнім.

Құймалық шойын – машина жасау зауыттарының фасонды құю өндірісінде қолданылатын шойын.

Магнетит – құрамында Fe_3O_4 тотығы түріндегі 45-60% темір бар және магниттік қасиеттерге ие минерал.

Гематит – құрамында сусыз Fe_2O_3 түріндегі 50-60% темірі бар минерал.

Сидерит – құрамында $FeCO_3$ темір карбонаты түріндегі 30-40% темірі бар минерал.

Домна пеші – шойын балқытатын вертикальді шахталы пеш.

Мойындық – материалдарды жүктеуге және газдарды шығаруға арналған домна пешінің цилиндрлі бөлігі.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИТТЕР ТІЗІМІ

1 **Абдулабеков Е.Э.** Металлургия бастамалары: Оқу құралы / Е.Э. Абдулабеков, Д.К. Каскина. - Актобе: К. Жубанов ат. АМУ РББ, 2010. - 112 бет

2 **Воскобойников В.Г.** Общая металлургия: Учебник / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. - 6-е изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2002. - 768 с

3 **Каблуковский А.Ф.** Производство электростали и ферросплавов. - М.: Академкнига, 2003. - 511 с.

4 Начала металлургии: Учебник / Под ред. проф. **В.И.Коротича.** - Екатеринбург: УГТУ, 2000. - 392 с.

5 **Уткин Н.И.** Производство цветных металлов/ Н.И. Уткин. - 2-е изд. - М.: Интермет Инжиниринг, 2004. - 442 с.

6 **Тарасов А.В.** Металлургия титана: Учебное пособие / А.В. Тарасов. - М.: ИКЦ"Академкнига", 2003. - 328 с.

7 **Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В.** Производство стали. Том 1. Процессы выплавки внепечной обработки и непрерывной разливки. – М.: «Теплотехник», 2008. -528 с.

8 **Дюдкин Д.А., Кисиленко В.В.** Производство стали. Том 2. Внепечная обработка жидкого чугуна. – М.: «Теплотехник», 2008. -400 с.

9 Траектория технологического развития металлургии Казахстана / **Д.Муканов, М.А.Айсаутов, Т.К.Батпенов** и др. - Науч. изд. - Алматы, 2006. - 296 с.

10 **Бакенов М.М.** Нетрадиционные и новые виды полезных ископаемых Казахстана: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2008. 140 с.