ӘБЛІҚАС САҒЫНОВ АТЫНДАҒЫ ҚАРАҒАНДЫ ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ

SAGINOV TECHNICAL UNIVERSITY 1953



Пән атауы: Металлургия өндірісінің технологиясы

Дәріс -9 «ЭЛЕКТР ПЕШТЕРІНДЕГІ БОЛАТ ӨНДІРІСІ»

техника ғылымдарының докторы, профессор

НУРУМГАЛИЕВ АСЫЛБЕК ХАБАДАШЕВИЧ

Қарағанды, 2026

Дәріс №9
ЭЛЕКТР ПЕШТЕРІНДЕГІ БОЛАТ ӨНДІРІСІ

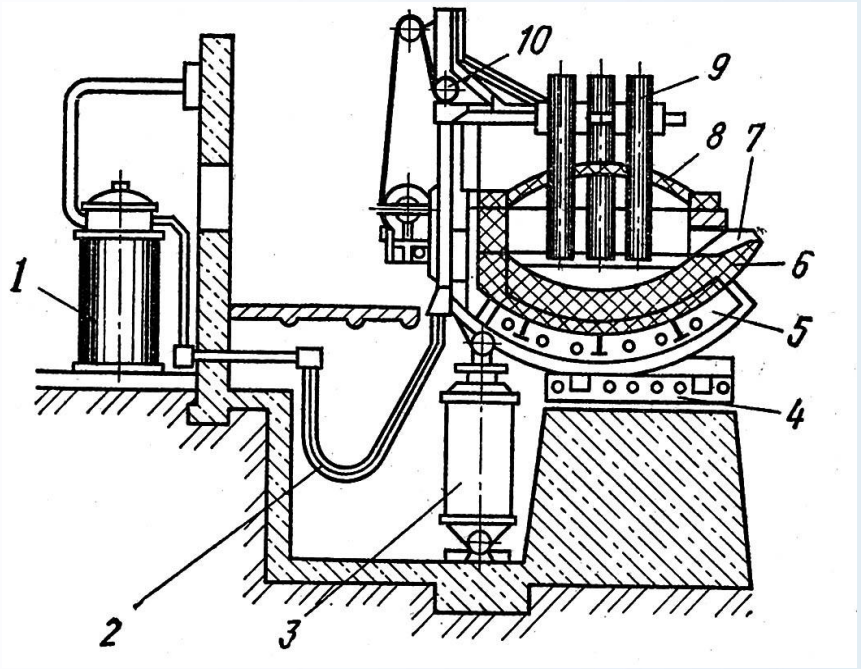
Дәрістің мақсаты: электрлік және индукциялық пештердегі болат өндірісін және қайта балқытуға арналған қондырғыларда болатты тазартуды оқып білу

Дәрістің жоспары:
1. Доғалы және индукциялық пештерде болат өндіру
2. Болатты қайта балқыту қондырғыларында тазарту
3. Болатты пештен тыс тазарту

Кілт сөздер: электр пеші, индукциялық пеш, қайта балқыту, электрод, болат, тазарту, электрқожды, вакуумды-доғалы, электронды-сәулелі, плазмалы-доғалы.



1. Доғалы және индукциялық пештерде болат өндіру. Электр балқыту - болат алудың барынша жетілдірілген әдісі. Оның конвертерлер мен мартен пештеріндегі болат өндірісімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтары бар. Жылу режимін реттеудің қарапайымдылығы және үрдістің жоғары температуралары зиянды қосылыстардың барынша бөлінуін жеңілдететін жоғары негізді қождарды қолдануға мүмкіндік береді. Пештің тотықсыздандырушы атмосферасы болаттың тереңірек қышқылсыздануына себепші болады. Электр пештерде жоғары сапалы конструкциялық, құралдық, коррозияға төзімді, ыстыққа төзімді және т.б. арнайы болаттар мен қорытпалар балқытылады. Болат балқыту үшін доғалы және индукциялы электр пештер қолданылады. Кеңінен қолданылатын доғалы пештердің сыйымдылығы 0,5-360т аралығында ауытқиды. Орташа және үлкен сыйымдылықты пештер металлургиялық зауыттарда құймалар алу үшін, ал сыйымдылығы аз пештер - машина жасау кәсіпорындарында болат құймабұйымдарын алу үшін қолданылады. Доғалы пештердегі жылу көзінің ролін металдық шикіқұрам мен графиттік электродтар арасында қозатын электр доға атқарады. Үш электродты доғалы электр пеш сұлбасы 1 - ші суретте көрсетілген. Пеш жазық немесе сфералы түбі бар, ішінен отқа төзімді кірпішпен қаланған дәнекерленген цилиндрлі бүркеніштен және электродтарға арналған үш тесігі бар алынбалы күмбезден тұрады. Электродтар электродұстағыштармен бекітілген және арнайы механизм көмегімен автоматты түрде вертикальді бағытта қозғалады. Ерекше механизм пешті еңкейтуге мүмкіндік береді. Болат шығарған кезде пешті ағызу тесігіне қарай, қожды шығарғанда - жүктеу терезесіне қарай еңкейтеді. Трансформатордың бірінші ретті орамасы жоғары кернеулі 6-30кВ айнымалы тоқпен қоректенеді, нәтижесінде екінші ретті орамада бірнеше сатылы 90-нан 280В-қа дейінгі төмен кернеулі тоқ алынады. Трансформатор қуаттылығы мен электродтар диаметрі пеш сыйымдылығымен анықталады. Электродұстағыштарға тоқ иілмелі кабельдер мен мыс шиналар арқылы беріледі. Шикіқұрам болат сынықтары, легірленген қалдықтар, шойын, қождама, темір кені, легірлеуші қоспалар және қышқылсыздандырғыштардан тұрады. Пешке шикіқұрамның жүктелуі түбі ашылатын қауға немесе грейфермен орындалады.



1 - төмендеткіш трансформатор; 2 - тоқ жеткізетін кабельдер; 3 - еңкейтетін гидравликалық жетек; 4 - сектор тірегі; 5 - еңкейтуге арналған сектор; 6 - пеш табаны; 7 - металл шығаратын тесік; 8 - пеш күмбезі; 9 - электрод; 10 - электродтарды көтеріп-түсіретін механизм

Сурет 1 - Доғалы электр пеш сұлбасы

Тек сыйымдылығы аз пештер ғана жүктеу терезесі арқылы толтырылады. Электр доғалы пештерде балқытуды негізді және қышқылды үрдістермен жүргізеді. Негізді үрдіс жиі қолданылады. Негізді үрдісте пеш табаны мен қабырғасының футеровкасы - негізді отқа төзімді материалдардан, қышқылды үрдісте - қышқылды отқа төзімді материалдардан қаланады. Негізді пештерде электр болатты өндіруде қооспаларды толық және жартылай тотықтырып немесе тотықтырмай балқыту сияқты үрдістің түрлері қолданылады.

Шикіқұрам материалдарында фосфордың және басқа да қоспалардың көп мөлшері болғанда толық тотықтырып балқыту үрдісі қолданылады. Оларды тотықтыру және үрдісті жеделдету үшін, пешке балқытудың басында және балқыту барысында темір кені мен әк салынады. Темір оксидтері қоспаларды (Si, Mn, P, C) тотықтырады да, негізді мартендік скрап-үрдістегідей темірлі қож түзіледі. Фосфордың металға қайта тотықсыздануының алдын алу үшін фосфорлы қожды ағызып алады. Қоспалардың тотығуы жүретін бұл кезеңді тотықтыру кезеңі деп атайды. Оның аяғында қоспалар мен еріген газдар (сутегі және азот) мөлшері азаяды, ал металдағы фосфор мөлшері минималды болады. Оттегіні пайдалану үрдісті үдетуге, көміртегі мен басқа да қоспалардың тотығуын жеделдетуге мүмкіндік береді. Ваннаға оттегіні үрлеу шикіқұрамның балқу және металдың қызу уақытын қысқартады, нәтижесінде тотығу кезеңінің ұзақтығы қысқарады. Сонымен қатар, металдың бейметалл кірінділермен және газдармен қосымша ластану қауіпі азаяды. Оттегіні пайдалану, әсіресе коррозияға төзімді және көміртегі концентрациясы төмен басқа да болат маркаларын балқытқанда тиімді. Оттегіні қолданғанда балқыту ұзақтығы 30-35%-ға, электр энергия шығыны 20-25%-ға азаяды да, болат сапасы жақсарады. Казіргі уақытта электр болаттың 2/3 бөлігі оттегіні қолдану арқылы балқытылады. Тотықтыру кезеңінен кейін балқытудың тотықсыздандыру кезеңі басталады. Тотықсыздандыру кезеңінің негізгі мақсаттары - болатты қышқылсыздандыру, күкірттен арылу, металдың химиялық құрамы мен температурасын түзету. Тотықтыру кезеңінің қожын ағызып алған бойда металл бетіне ұсақталған ферромарганец, ферросилиций, силикомарганец және т.б. түріндегі қышқылсыздандырғыштарды беру арқылы болатты қышқылсыздандырады (тұнбалы қышқылсыздандыру). Содан соң, металл массасының 2,0-3,5% мөлшерінде жаңадан әкті қож түзеді. Металды әлде де тереңірек қышқылсыздандыру үшін қожды қосымша қышқылсыздандырғыштар және кокс ұнтағының қоспасымен өңдейді (диффузиялы қышқылсыздандыру). Қождың қышқылсыздануы FeO-ның тотықсыздануына себепші болады. Қождағы FeO концентрациясының азаюы, таралу заңдылығына сәйкес, оның металдан қожға қарқынды диффузиялық өтуіне әкеледі, ал ол өз кезегінде металдың қышқылсыздануын тудырады.

Үрдіс қожда немесе оның металмен шекарасында өтетіндіктен, металл қышқылсыздандыру өнімдерімен - SiO_2, MnO, Al_2O_3 сияқты бейметалл кірінділермен ластанбайды. Қышқылсыздандыру өнімдерімен ластану - әдеттегі тұнбалы қышқылсыздандыруға тән құбылыс.

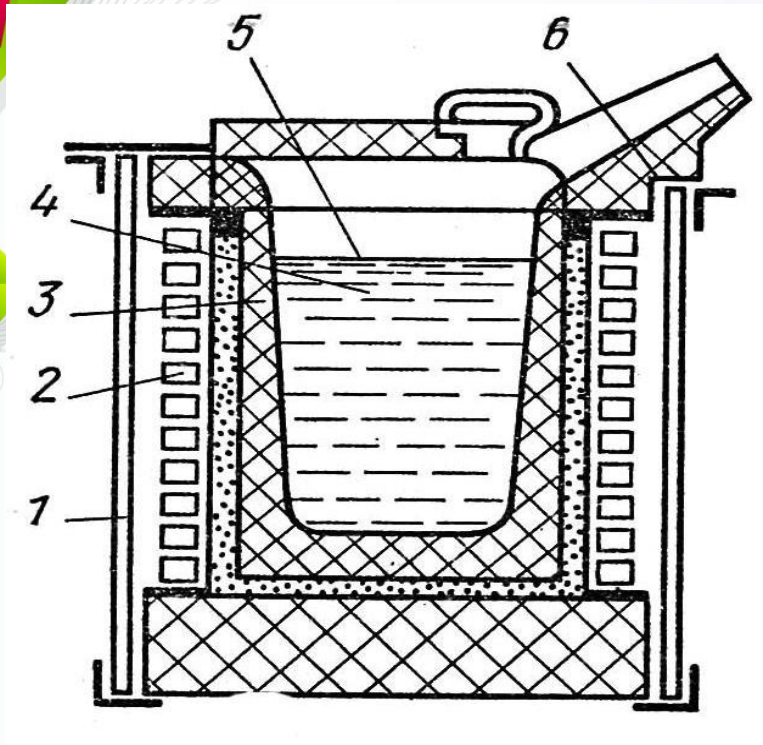
Тотықсыздандыру кезеңі барысында пеште FeO мөлшері аз, жоғары негізді ақ қож түзіледі. Ақ қож болаттың терең десульфурациясын қамтамасыз етеді:

$$FeS + C + CaO = CaS + Fe + CO;$$

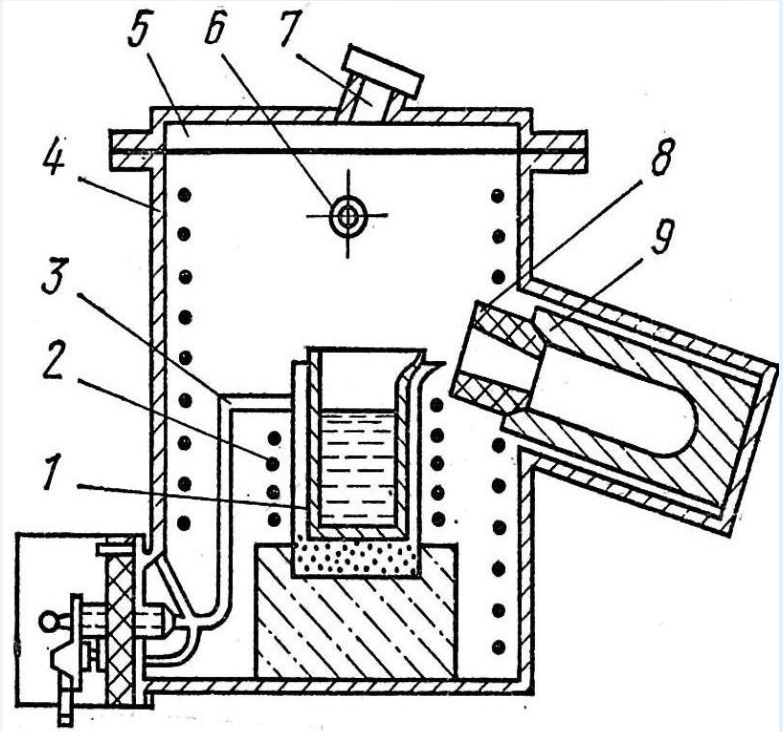
$$MnS + C + CaO = CaS + Mn + CO.$$

Мартен пештерімен салыстырғанда электропештерде металл десульфурациясының терең өтуі үрдіс температурасының жоғарылығымен, қождың жоғары негізділігімен және ондағы темір тотығы мөлшерінің аздығымен түсіндіріледі. Қождағы FeO және MnO мөлшері пайыздың ондық үлестеріне дейін төмендейді, ал күкірт концентрациясы іздерге дейін жеткізіледі. Балқыту аз мөлшерде қышқылсыздандырғыштарды - ферросилиций мен алюминийді және легірлеуші элементтерді берумен, олардың толық игерілуінен кейін болатты шөмішке шығарылуымен аяқталады. Қышқылды электр доғалы пештерде балқытуды, әдетте, құю цехтарында фасондық болат құймабұйымдарының өндірісінде қолданады. Пеш қышқылды футеровкаға ие, ал балқыту 65%-ға дейін SiO_2 құрамдас қышқыл қожбен жүргізіледі. Зиянды қоспалардан арылу мүмкін болмағандықтан шикіқұрамда тек таза шикізат материалдары, әдетте, өзінің өндіріс қалдықтары қолданылады. Тотықтыру кезеңінде күкірт пен фосфордан таза темір кенінің шамалы мөлшері еңгізіледі. Қышқылды үрдісте ваннаның қайнауы, негізді үрдістегідей, болат сапасы үшін маңызды, өйткені, осы кезде металл араласып, оның құрамынан бейметалл кірінділер мен газдар бөлінеді. Тотықтыру кезеңінен соң жаңа қожтүзгіш қоспалар - кварц құмы, шамот сынығы және т.б. енгізу арқылы қожды жартылай жаңартады. Қожды ұсақталған ферросилициймен және кокспен немесе ағаш көмірмен қышқылсыздандырады. Көміртегінің қажетті мөлшеріне қол жеткізілген соң, болатты силикомарганец және алюминиймен қышқылсыздандырады. Қышқылды үрдістің кемшілігі - зиянды қоспалардан таза шикіқұрам материалдарының қажеттігі. Сонымен қатар, қышқылды электр пеште балқыту бір қожбен жүргізіледі және негізді үрдіске қарағанда ұзақтығы аз.

Қышқылды футеровка негіздіден арзан, әрі төзімділігі жоғары. Металдың газға қанықкандығы аз, температурасы жоғары және аққыштығы жақсы, бұл фасондық құю үшін өте маңызды. Қышқыл пештер сыйымдылығы әдетте салыстырмалы аз 1-5т болып келеді. Индукциялы пештер сыйымдылығы бірнеше килограмнан 90т-ға дейін ауытқиды. Индукциялық пештердегі қыздыру айнымалы электрмагнитті өрісте индукциялынатын құйынды ағындармен қатты немесе сұйық металда бөлінетін Джоуль жылуы есебінен іске асырылады. Болат балқытуға арналған индукциялық пештің сұлбасы 2 - ші суретте келтірілген. Магнитсіз бүркеніште индуктор мен отқа төзімді балқыту тигелі орналасқан. Ішімен суытушы су жүретін мыс түтікшеден тұратын катушка түріндегі индуктор арқылы ток жіберіледі де, ол айналасында айнымалы магниттік өріс қоздырады. Электр тоғы индукторға иілмелі кабель немесе мыс шиналар арқылы беріледі. Тигельде орналасқан металда оның қызуы мен балқуын қамтамасыз ететін қуатты құйынды токтар индукциялынады. Тигельдер негізді немесе қышқылды отқа төзімді материалдардан жасалады. Шикіқұрам зиянды қоспалардан таза материалдардан құралады және оның тигельге тиелуі үстіден жүргізіледі. Балқыту барысында тигельге пеш футеровкасына қарай әк немесе кремнезем негізіндегі қож қоспасы тиеледі. Толық балқыған соң пеш қуаттылығын максималды мәнінің 30-40%-на дейін азайтады және химилық сарапматаға сынаманы алады. Сараптама нәтижесі және металдың қажетті температурасы алынғаннан кейін, болатты қышқылсыздандырып легірлейді. Индукциялық пештерде болатты қайта балқыту әдісімен алады. Шикіқұрамды балқыған кезде берілген металл құрамын алатындай етіп есептейді. Индукциялық пештің артықшылығы - жоғары легірленген әр түрлі болаттар мен арнайы мақсаттағы қорытпалар балқытуға мүмкіндік беретін айтарлықтай жоғары температураға қол жеткізу мүмкіндігі. Индуктордың электрмагнитті өрісі әсерінен тигельдегі металл қарқынды араласа бастайды, бұл біркелкі химиялық құрам алуға себепші болады. Индукциялық пештер балқытуды кез келген атмосферада немесе вакуумда жүргізуге мүмкіндік береді. Вакуумды индукциялық пеш сұлбасы 3 - ші суретте келтірілген.



1 - пеш бүркеніші; 2 - индуктор;
3 - тигель; 4 - металл; 5 - қож;
6 - металл шығаратын науа
Сурет 2 - Индукциялы электр пеш

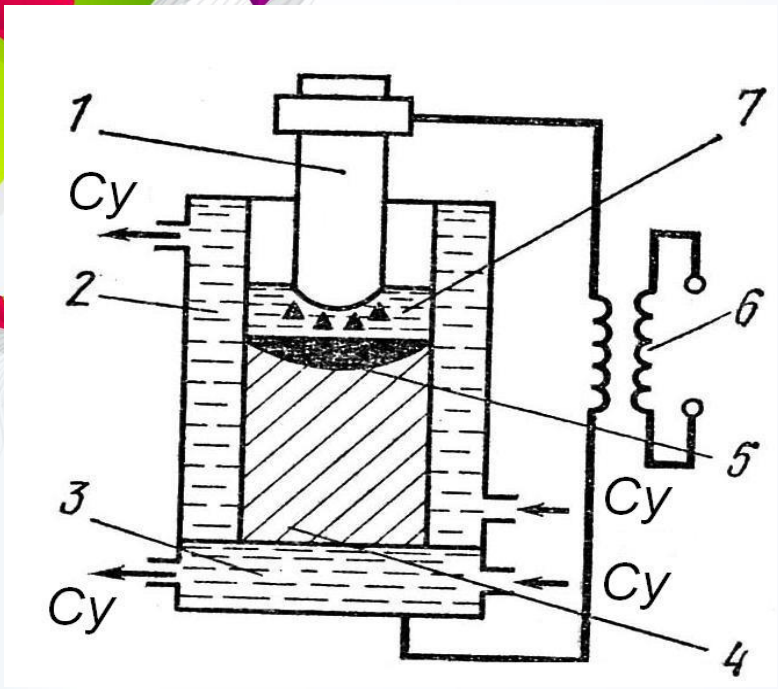


1 - тигель; 2 - индуктор; 3 - су мен тоқтың жеткізілуі;
4 - вакуумды камераның корпусы; 5 - сумен суытылатын
күмбез; 6 - ауа сору тесігі мен цапфа; 7 - бақылау
терезесі; 8 - ұра; 9 - болат құйылатын құймақалып
Сурет 3 - Вакуумды индукциялы пеш

Жұмыс кеңістігіндегі вакуум 1,4Па-ға дейін жетеді. Қышқылсыздандыруды көміртегімен жүргізеді, түзілген СО металдан аластатылады да, ол қышқылсыздандыру өнімдерімен ластанбайды. Вакуумды индукциялық пештерде балқыту газ және бейметалл кірінділер мөлшері өте төмен тығыз металл алуға мүмкіндік береді.

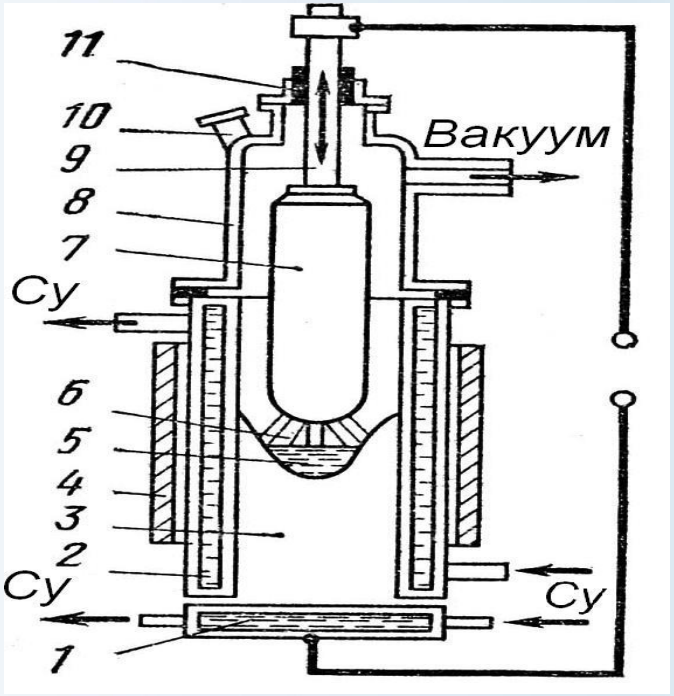
2. Болатты қайта балқыту қондырғыларында тазарту. Қайта балқыту арқылы, аса жоғары сапалы және жауапты істерге арналған болат пен қорытпалар алынады. Арнайы электрметаллургияға электрқожды, вакуумды-доғалы, электронды-сәулелі, плазмалы-доғалы әдістері және олардың үйлесімдері жатады. Украинада шығарылған шығындалатын электродтарды сумен суытылатын кристаллизаторда электрқожды қайта балқыту әдісі коррозияға төзімді, подшипниктік, құралдық және т.б. арнаулы мақсаттағы болаттар өндірісінде кеңінен қолданылады. Электрқожды қайта балқыту қондырғысының сұлбасы 4 - ші суретте келтірілген. Шығындалатын электрод пен балқып қапталатын құйма арасында электрөткізгіш қож орналасады. Осы қож арқылы электр тоғы өткенде жылу бөлініп, оны 2000^{o}С температураға дейін қыздырады. Қожды доғалы электр пештерде балқытып, кристаллизаторға құяды. Шығындалатын электрод металы балқиды да, тамшылап қож қабаты арқылы өтеді. Бұл металл мен қождың үлкен жанасу ауданын қамтамасыз етіп, рафинадтау үрдістерінің өтуін күшейтеді. Қож қабатының астында орналасқан кристаллизаторда массасы бірнеше ондаған тоннаға жетуі мүмкін құйма балқып қапталады. Электрқожды қайта балқыту нәтижесінде металл зиянды қоспалар мен бейметалл кірінділерден тазарады. Қайта балқытудан соң болаттағы күкірт мөлшері екі есеге жуық азаяды. Сумен суытылатын кристаллизаторда жылудың қарқынды әкетілуі металдың тез қатаюын және төменнен жоғары бағытталған кристалдануды қамтамасыз етеді. Нәтижесінде кеуектілік, отыру қопсымалылығы, аймақтық ликвация, бейметалл және газ кірінділері жоқ жоғары сапалы, біртекті тығыз құйма түзіледі. Электрқожды қайта балқыту металы әлдеқайда жоғары және біртекті механикалық қасиеттерге ие.

Электрқожды қайта балқытудың түр өзгерісі ө электрқожды құю. Бұл әдіспен сумен суытылатын металдық құю қалыптарында фасондық құймабұйымдар алуға болады. Электрқожды құю балқыған металдың құю қалыбын толтыруына негізделген. Ал бұл металдың ауамен, газдармен және қалып материалдарымен әсерлесуінің алдын-алуға көмектеседі. Шығындалушы электродты вакуумды-доғалы қайта балқыту қондырғысының сұлбасы 5 - ші суретте келтірілген. Қондырғы сумен суытылатын кристаллизатор орналасқан герметикалық камерадан тұрады. Ол келте құбыр арқылы вакуумдық жүйеге жалғанған. Қайта балқытылатын электрод, электрқожды қайта балқытудағыдай, алынатын құйманың болат маркасынан жасалады. Вакуумды-доғалы қайта балқыту қондырғылары тұрақты тоқпен жұмыс жасайды. Шығындалушы электрод - катод, ал сумен суытылатын мыс кристаллизатордағы тазартылған металл құймасы - анод қызметін атқарады. Электр доға электрод пен затравка арасында тұталады, ал жұмыс жағдайында электрод пен балқыған металл арасында жанады. Жұмыс камерасындағы қысым 13Па-дан кем деңгейде ұсталынады. Вакуумды-доғалы қайта балқыту металды газдар мен бейметалл кірінділерден жақсы тазартады. Металл қасиетінің жоғарылауына вакууммен өңдеу және төменнен жоғарыға бағытталған кристалданудың арқасында қол жеткізіледі. Вакуумды-доғалы қайта балқыту әдісімен массасы үлкен құймалар балқытуға болады. Қазіргі уақытта массасы 60т-ға дейінгі құймалар балқытылуы игерілген, массасы 100-200т-ға дейінгі құймалар балқытуға арналған қондырғылар жобалануда. Электронды-сәулелі қайта балқыту қондырғыларында металдың қыздырылуы және балқытылуы жоғары кернеулі зеңбірек сәулелендіретін электрон ағынының кинетикалық энергиясы есебінен жүргізіледі. Металдық шикіқұрамды жоғары қуатты электрондар шоғырымен атқылағанда кинетикалық энергия жылулық энергияға ауысады, нәтижесінде металл балқып, сумен суытылатын мыс кристаллизаторды толтырады. Қалыптасушы құйма балқып қапталған сайын төменге тартылады. Терең вакуум мен сумен суытылатын кристаллизаторда қатаюдың қолайлы жағдайларының үйлесімі механикалық қасиеттері жоғары аса таза металл алуға мүмкіндік береді.



1 - шығындалатын электрод; 2 - мыс кристаллизатор; 3 - табан; 4 - құйма; 5 - сұйық металл; 6 - трансформатор; 7 - балқытылған қож

Сурет 4 - лектрқожды қайта балқыту қондырғысының сұлбасы



1 - табан; 2 - кристаллизатор; 3 - құйма; 4 - соленоид; 5 - сұйық металл; 6 - электр доға; 7 - шығындалатын электрод; 8 - вакуумды камера; 9 - шток; 10 - бақылау терезесі; 11 - тығыздағыш

Сурет 5 - Вакуумды-доғалы қайта балқыту қондырғысының сұлбасы

3. Болатты пештен тыс тазарту. Болат сапасының қосымша жақсаруы пештен тыс өңдеу арқылы мүмкін. Қазіргі металлургиядағы пештен тыс рафинадтаудың негізгі тәсілдері: сұйық металды шөміште синтетикалық қожбен өңдеу, болатты инертті газдармен үрлеу және вакуумдеу. Әдетте, рафинадтау үшін құрамында 55% CaO және 45% $A1_2O_3$ болатын қоскомпонентті әкті-глиноземді қож қолданылады. Бұл қожды графитпен футеровкаланған электр доғалы пештерде балқытады. Балқу температурасының салыстырмалы төмен (1450°С) болғанының арқасында мұндай қож аққыш, белсенді және жақсы десульфурациялаушы қасиеттерге ие. Температурасы 1650°С қожды болат массасының 5-6%-ы мөлшерінде болат құю шөмішіне құяды. Шөмішті болат балқыту агрегатының науасына апарып, белгілі температураға дейін қыздырылған болатты шығарады. Үлкен биіктіктен шөміштегі қож қабатына құлап аққан сұйық болат ағыны көптеген тамшыларға шашырап, қожбен белсенді араласады. Осының салдарынан металл мен қождың әрекеттесу беті ұлғайып, зиянды қоспалардан тазару үрдісі қарқынды жүреді. Инертті газдармен үрлеген кезде металда еріген газдар мен бейметалл кірінділер кетіріледі, сонымен қатар құяр алдында шөміштегі болаттың температурасы мен химиялық құрамы біркелкілендіріледі. Әдетте, үрлеу үшін 0,2-0,5МПа қысымдағы аргон пайдаланылады. Үрлеуді шөміш түбіндегі кеуекті отқа төзімді ендірмелер немесе жоғарыдан түсірілетін футеровкаланған фурма арқылы жүргізеді. Аргон көпіршіктері қалқып шығуы барысында оларға болатта еріген азот пен сутегі өтіп, металдан бөлініп кетеді. Нәтижесінде осы газдардың болаттағы мөлшері азаяды. Сұйық болатты пештен тыс вакууммен өңдеуді онда еріген газдар мен бейметалл кірінділер мөлшерін азайту мақсатында жүргізеді. Вакуумдеуді шөмішті немесе құймақалыпты вакуумды камераға орнату арқылы іске асырады. Азот пен сутегі газ фазасына өтіп, олардың металдағы концентрациясы төмендейді. Металдағы оттегі концентрациясын көміртегімен әлде де тереңірек қышқылсыздандыру арқылы азайтады.

Бақылау сұрақтары:

1. Электрпештеріндегі болат өндірісі конвертерлер мен мартен пештеріндегі болат өндірісімен салыстырғанда қандай артықшылықтарға ие?
2. Болат балқыту үшін қандай электрлік пештер қолданылады?
3. Доғалы электрлік пеш қандай бөліктерден тұрады?
4. Электр пештеріндегі болат алу үрдісі қандай кезеңдерден тұрады және олардың мәндері неде?
5. Индукциялық пештердің жұмыс жасау принципі.
6. Арнайы электрметаллургия қандай қайта балқыту әдістерінен тұрады олардың мәндері неде?
7. Қазіргі таңдағы металлургияда пештен тыс тазартудың қандай негізгі әдістері бар?

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.